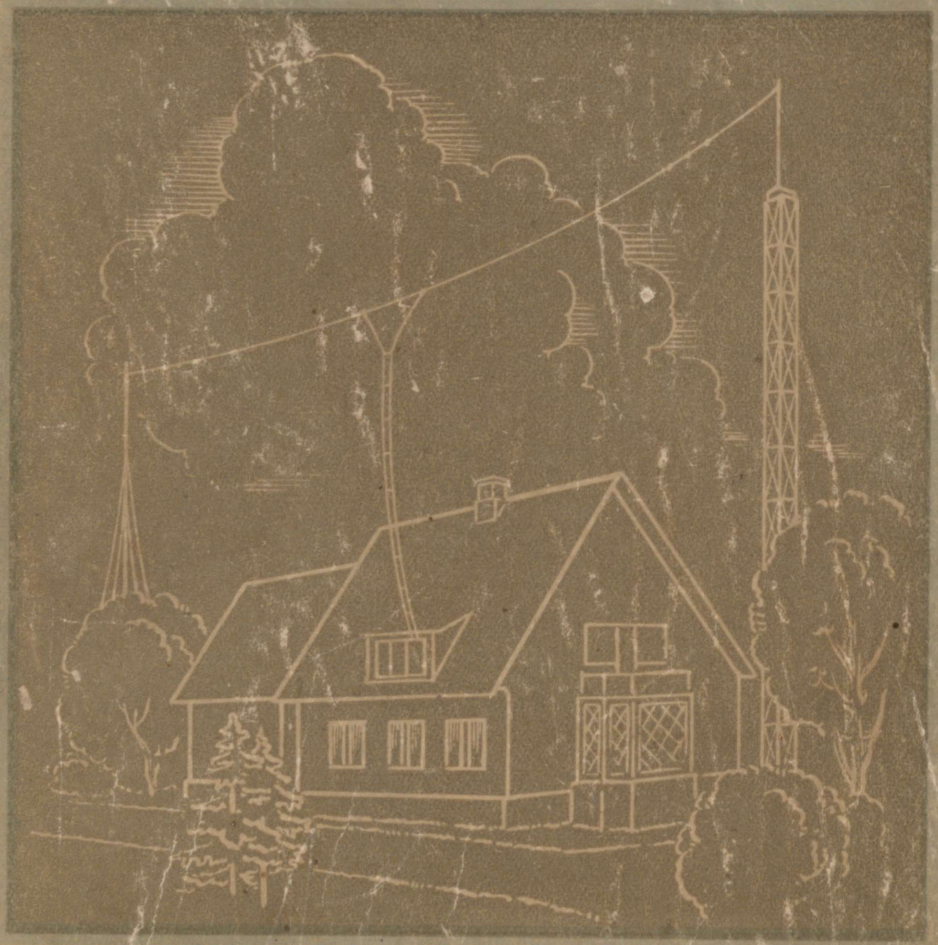
ARNOLD ISOTAMM

RAADIOAMATÖÖRI KÄSIRAAMAT



ARNOLD ISOTAMM

RAADIOAMATÖÖRI KÄSIRAAMAT

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1950

SAATEKS

Raadioamatööri käsiraamatu koostamist üritas autor juba kauemat aega, kuid ikka ei leidunud selleks soodsat võimalust. Alles nüüd, pärast nõukogude korra kehtestamist Eestis ning sõjajärgsele rahvamajanduse ülesehitamisele ja arendamisele asumist, on see üritus teoks saanud.

Käsiraamatu ulatuse plaanimisel juhindusin eesmärgist anda meie raadiohuvilisele noorsoole võimalus pühenduda igakülgselt raadiotehnika rakenduslikesse küsimustesse, et ta vajalike teadmiste omandamisel võiks iseseisvalt lahendada rida tehnilisi probleeme, mida õpperaamat ei käsitle. Seepärast on käsiraamatu koostamisel arvestatud, et ta kasutajad on enne läbi võtnud elektrotehnika põhikursuse ning omavad üldisi teadmisi raadio teooriast, mida raamatus on käsiteldud vaid üldsõnaliselt, konspektiivselt. Sääraseiks käsiraamatu kasutajaiks on eeskätt meie tegelikult töötav amatööride kollektiiv ja Armee Abistamise Vabatahtliku Ühingu Raadioklubis õppiv noorsugu, kes hiljem siirdub tegevusse raadio erialal.

Kuid rööbiti sellega tahab käsiraamat osutada abi raadio erialal töötavaile meistritele, tehnikutele ja laborantidele, kellel igapäevases töös tuleb kokku puutuda raadiotehniliste probleemide lahendamisega. Kõigile raskemaile tehnilistele probleemidele on näidete varal antud lõplik konkreetne lahendus, mis peaks olema abiks kõigile neile, kes ise raadioseadmeid valmistavad. Toodud mitmesuguste seadmete tüüplülitustest on valitud säärased, mis enamalt jaolt on kas autori poolt isiklikult koostatud või proovitud ning tegelikult otstarbekaks osutunud või mille tehniliselt rakendatavuses pole kahtlust.

Raadiotehnika märgatava arengu aastail enne Suurt Isamaasõda ja sõja-aastail on mitmed endised tõekspidamised elektri olemusest muutunud või paremini täpsustunud. Seda moodsamat kallakut on käsiraamatus vaadeldavate elektriliste nähtuste selgitamisel püütud rakendada. Erilist tähelepanu on juhitud nähtuste käsitlusele ja eriseadmete vaatlusele ülikõrgsageduslikus astmikus, sest tõenäoliselt ootab just see astmik kõige lähemal ajal intensiivset rakendamist.

Selle, esmakordselt eesti keeles ilmuva teose koostamisel on autoril tulnud võita rida raskusi eestikeelse raadiotehnilise terminoloogia alal. On püütud leida ja luua eesti keeles puuduvatele tehnilistele mõistetele

eestikeelseid vasteid. Kuivõrd õnnestunud need on, seda peab otsustama tarvitajaskond. Samuti on käsiraamatu sõnastust ja osalt ka sisu mõjutanud raamatu koostamiseks määratud lühikesed tähtajad. Lugejaskonna soovid ja tähelepanekud käsiraamatu sõnastuse ja sisu küsimustes oleksid suureks abiks mitte ainult käsiraamatu parandamisel ta võimaliku kordustrüki puhul, vaid ühtlasi oleksid need kasulikud meie eestikeelse raadiotehnilise terminoloogia taseme tõstmiseks.

Käsiraamatu peaeesmärgiks on uute värskete raadiokaadrite ettevalmistamine. Sõjajärgsel rahvamajanduse taastamise ja arendamise ajastul vajab meie sotsialistlik kodumaa neid kaadreid rohkem kui kunagi varem. Stalinlik rahvamajanduse taastamise ja arendamise viie aasta plaan näeb ette ennenähtamatut tõusu raadiotehnika rakendamises kõigil tegevusaladel.

Tänu partei ja valitsuse suurele hoolitsusele on raadio sünnimaast saanud mitte ainult eesrindliku tehnikaga maa, vaid nõukogude tehnika on teised kapitalistlike riikide tehnilised saavutused paljuski ületanud. Käesoleva viie aasta plaani täitmine kindlustab nõukogude tehnikale, kaasa arvatud raadio, ülemaailmalise võidu.

AUTOR.

A. SISSEJUHATUS.

RAADIOAMATÖRISM NÕUKOGUDE LIIDUS.

Ükski teine tehnika rakendusala pole läbi teinud nii ulatuslikku arenguprotsessi suhteliselt lühikese aja kestel kui raadio. Ükski teine tehnika-ala pole muutunud nii populaarseks ja kujunenud laiades rahvahulkades nii levinenud harrastusalaks kui raadio. Tänapäeval on raadio oma universaalsuse tõttu õigustatult võitnud tähelepandava seisukoha kõigi teiste tehnika-alade seas, kuna raadio kaasabil on leidnud suurepärase lahenduse rida tähtsaid tehnilisi ja loodusteaduslikke probleeme.

Selles raadio arengu käigus peab eriliselt mainima kuulsat vene õpetlast Aleksander Stepanovitš Popovi, kes tema poolt leiutatud esimest raadiovastuvõtjat demonstreeris 7. mail 1895 Vene Füüsika-Keemia Ühingu füüsikaosakonna koosolekul. Sama seadmega, mis omas kõiki raadio vastuvõtuks vajalikke abinõusid, kaasa arvatud antenn, teostas Popov koos oma assistendi P. Rõbkiniga 24. märtsil 1896 esimese raadiotelegrammi üleandmise-vastuvõtmise 250 m vahemaal, mis koosnes sõnadest „Heinrich Hertz".

Hilisematel katsetel tegi Popov kindlaks raadiolainete absorbeerimise merel saatja ja vastuvõtja vahelt läbisõitvate laevade poolt. Nende tähelepanekute põhjal ennustas Popov raadiolainete kasutamise võimalust navigeerimise otstarbel, milline põhimõte tänapäeval on rakendatud moodsates radarseadmetes.

NSV Liidu valitsus, hinnates kõrgelt raadio tähtsust üldse ja A. Popovi teeneid eriti, oma otsusega 2. maist 1945 tunnistas raadio leiutamise 50 aasta juubeli tähistamiseks 7. mai üleliiduliseks raadiopäevaks.

Möödunud poolsajandi kestel saavutatud tulemused on paljude teadlaste uurimuste ja katsetajate visa töö vili. Eriti suur osatähtsus selles arengulises töös oli katsetajail-amatööridel, kes oma katsete varal avastasid uusi raadio kasutusalasid, leiutasid uusi tehnilisi konstruktsioone, antenni tüüpe jne.

Raadiolambi leiutamine tekitas suure pöörde edaspidises raadio arengus. Raadiojaamade arv tõusis päevast päeva ja kuna tolleaegsete kogemuste ning tõekspidamiste järgi kaugsideks olid kõlblikud ainult pikad lained, siis oldi peagi sunnitud rahvusvaheliselt otsima abinõusid tekkiva eetriülekoormamise ja segamiste vastu. Tulemuseks oli see, et amatöörid tõrjuti pikalainelisest piirkonnast välja, jättes neile kasutamiseks vabaks lained alla 200 m. Kuid sellega amatööridel avaneski soodne võimalus veelgi innukamalt katsetesse süveneda. Juba peatselt selgus, et amatööridel oli õnnestunud ainult mõnekümne-vatise võimsusega katta tuhande-kilomeetrilisi ulatusi. See oli suureks sensatsiooniks tehnilisele maailmale: lahenes eetri ülekoormamise probleem, avanesid uued võimalused raadiojaamade paigutamiseks lainealadelt avaramaisse tingimustesse. Amatööridel tuli laineala 200—100 m üle anda kasutamiseks üldteenistusele ning siirduda üha lühematele lainealadele.

Kuid ka siin amatööride võidutee jätkus — kasutatavad lained lühenesid, kaetavad ulatused suurenesid, võimsused vähenesid.

Tekkis uus ja moodne ajajärk, nn. „lühilaine-ajajärk", uue lühilainelise tehnikaga ja seadmetega, mille loomises amatöörid etendasid kandvat osa. Seda arvestades jäeti edaspidistes rahvusvahelistes konventsioonides amatööridele kasutada rida lühilainelisi laineribasid: 160 m, 80 m, 40 m, 20 m ja 10 m, hiljem lisaks veel 5 m, 2½ m ja 1¼ m ribad. Samal ajal amatööride katsetusala siirdus nn. „ultralühilainete" piirkonda, mille kohta teooria näitas, et nende lainete levimine piirdub ainult optilise vaatekaugusega. Kuid ka siin tõid amatöörid kehtivasse teooriasse oma katsetega korrektiive. Amatööridel läks korda ka ultralühilaineil saavutada rekordilise kaugusega ühendusi.

Kuid amatööride tegevus ei piirdu ainult lainete levimisküsimuste uurimisega, vaid nende teened on hindamatud paljude uute tehniliste konstruktsioonide loomises ja kasutusele võtmises, uute antennitüüpide arendamises ja paljudes muudes küsimustes. Tänu suurtele tehnilistele oskustele ja praktilistele kogemustele on amatöörid alati olnud hinnatavaiks osavõtjaiks uurimisretkedest, ekspeditsioonidest jne. Raadio praktiline rakendamine pole tänapäeval veel kaugeltki lõppjärku jõudnud. Ees seisab detsimeetriliste ja sentimeetriliste lainete kasutamise võimaluste uurimine ja rakendamine, mis annab amatööridele üha uusi suundi senise töö jätkamiseks.

Endisest kitsast kaugside loomise taotlemisest on tänapäeva raadio valgunud õige paljudesse suundadesse, on arenenud välja rida uusi raadioga lähemalt või kaudsemalt seotud omaette alasid. Ringhääling, traatringhääling, avalik reportaaž ja teadete edasiandmine on tunginud tihedalt meie igapäevasesse ellu.

Kuid peale ülalmainitu on raadio andnud rea seesuguseid asendamatuid esemeid kui elektronmikroskoop, liikuvteenistuse ohutusseadmed, täpsusmõõteriistad, täpsuslugejad, arvutid, automaatlülitid mitmesugusteks eriotstarveteks, kaugjuhtimisseadmed, raviaparaadid, seadmed kõrgeväärtusliku metalli tootmiseks ja loendamatul arvul seadmeid ja abinõusid kõigilt aladelt.

Tsaari-Venemaal, raadio sünnimaal, ei võetud Popovi suurt leiutist tõsiselt, raadiojaamade tellimised anti välismaa firmadele ning Popovil tuli katseid sooritada eraalgatusel oma ressurssidega. Alles Suure Sotsialistliku Oktoobrirevolutsiooniga tekkis raadio tähtsuse hindamises põhjalik pööre. Juba 1918. a. andis Lenin dekreedi raadio-laboratooriumi asutamiseks Nižni-Novgorodis, mis kujuneski Nõukogude Liidu raadio arenemise keskseks aigbaasiks. Partei ja valitsuse juhtide väsimatu hoolitsuse tulemusena on Nõukogude Liidus raadio areng olnud väga produktiivne.

Tähtsa panuse raadiotehnika arengus on andnud oma põhjapanevate leiutistega vene ja nõukogude teadlased ja insenerid, kes väärikalt on jätkanud oma kaasmaalase A. Popovi poolt alustatud tööd.

Eriti tähelepandavad teened on vene ja nõukogude teadlastel televisiooni väljaarendamise alal, mis võimaldas praktiliselt lahendada televisiooni levi probleemi ta tänapäevasel küpsel kujul. Juba 1888. a. avastas A. Stoletov fotoefekti nähtuse, millel põhineb mitte ainult fotoelemendi, vaid kõigi moodsate televisiooni süsteemide toime.

Mõeldamatu oleks tänapäeva raadio ilma kaudse küttega lampideta. Kaudse küttega ekvipotentsiaalse katoodi töötas välja nõukogude leidur A. Tšernõšov juba 1921. a. Tähelepandavad on akadeemik N. Papaleksi tööd raadiolampide arendamise, modulatsiooni süsteemide uurimise, sageduse stabiliseerimise ja muundamise täiustamise ja paljudel muudel aladel. Laiaulatuslikud on akadeemik M. Šuleikini tööd raadiojaamade ehitamise, uute lülituste arendamise ja antennide insenerilise arvutuse alal.

Nõukogude teadlaste poolt on koostatud põhjapaneva tähtsusega uurimistöid raadiotehnika alal. Nõukogude teadlaste, inseneride ja tehnikute poolt on teostatud tähtsaid leiutisi kõigil raadiotehnika rakendusaladel.

Nõukogude tehnika arengus on eriti tähelepandav see asjaolu, et teooria ja praktika on teineteisega kõige lähedamas seoses, täiendades üksteist pidevalt. See on võimalik ainult Nõukogudemaal, kus teadus ja tehnika on täielikult rahva teenistuses.

Suure Isamaasõja algul seltsimees Stalin määratles raadioside osatähtsust kui kõige kindlamat sidevahendit nüüdisaegse manööversõja tingimustes, millest võtavad osa tohutud tankide ja lennukite koondised.

Täites seltsimees Stalini juhiseid, oli Nõukogude armee kogu Isamaasõja kestel varustatud moodsa raadioside materiaalse osaga, mis võimaldas teostada vägede eeskujulikku juhtimist ja koostööd väeliikide vahel, mis omakorda oli tähtsaks panuseks Nõukogude armee kuulsusrikkas võidus.

Erilist tähelepanu pööratakse Nõukogude Liidus raadioamatörismi arendamisele, millele pandi alus 24. veebruaril 1926 erakasutuslike raadiojaamade määruse avaldamisega. Varsti pärast määruse ilmumist anti reale amatööridele load era raadiosaatejaamade omandamiseks ning määrati kutsungid, mis koosnesid tähtederühmast „RA" ja sellele järgnevaist järjekorranumbreist. Üheaegselt anti ka lühilaineliste vastuvõtjate omanikele kutsungid, mis koosnesid tähtederühmast „RK", järgneva järjekorranumbriga. Esimese amatöörina registreerus Jaroslavli linna amatöör Gauchmann, omandades kutsungi „RK-1".

Nõukogude amatöörid, võttes aktiivselt osa suurtest riiklikest ekspeditsioonidest ja teaduslikest retkedest, evivad suuri teeneid raadio arendamise alal. Polaarekspeditsioonidest on raadio-operaatorina osa võtnud paljud nimekad Nõukogude Liidu amatöörid.

Arvestades nõukogude noorsoo ja kodanike suurt huvi raadioamatörismi vastu, koostasid ÜLKNÜ ja NSVL Osoaviahimi Kesknõukogu laiaulatusliku kava raadioamatörismi arendamiseks meie maal, kusjuures raadio-amatöörala juhtimine, eriala kursuste tasuta korraldamine asjahuvilistele ning kvalifikatsioonikatsete korraldamine amatöörjaamas töötamiseks vajalike oskuste ja kogemuste saamiseks on pandud praegu Armee Abistamise Vabatahtliku Ühingu organisatsioonidele.

Armee Abistamise Vabatahtliku Ühingu organisatsioonide poolt korraldatavaid raadio eriala kursusi on nelja liiki:

1. Algkursus, nn. raadiomiinimumi kursus, mis haarab algteadmisi praktilisest raadiotehnikast, ulatusega 60 õppetundi, korraldatakse asjahuvilistele Armee Abistamise Vabatahtliku Ühingu algorganisatsioonide juures käitistes, asutistes, koolides jne.

2. Ultralühilaine kursus, milles praktiliselt võetakse läbi raadioseadmete käsitsemist ja kasutamist. Õppekavas on eri rõhk pandud ülikõrgsageduslikule tehnikale. Kursusi korraldatakse Armee Abistamise Vabatahtliku Ühingu Vabariikliku Raadioklubi ja selle filiaalide juures. Kursuse kestus on 120 õppetundi.

3. Lühilaine-operaatori kursus, mis kujuneb algkursuse või ultralühilaine kursuse jätkuks ja mis haarab 250 õppetundi, võetakse läbi Armee Abistamise Vabatahtliku Ühingu Vabariikliku Raadioklubi ja tema filiaalide juures maakonnalinnades korraldatavail kursustel. Selle kursuse sooritamine annab kursuslastele raadio-operaatori kutse ning õiguse amatöörjaamades operaatorina töötamiseks.

4. Lühilaine-instruktori kursus kujutab endast kõrgema tasemega viimistluskursust, mis organiseeritakse operaatori kursuse lõpetanuile Armee Abistamise Vabatahtliku Ühingu Vabariikliku Raadioklubi juures, tarbe korral klubi filiaalide juures maakonnalinnades. Kursuse ulatuseks on ette nähtud 300 õppetundi. Kursuse lõpetajad omandavad lühilaineinstruktori kutse ja neil on soodustusi individuaalsete amatöörjaamade kasutamisel.

Amatöör-raadiojaamu on kolme liiki:

1. Kollektiivsed raadiojaamad raadioklubide, nende filiaalide ja Armee Abistamise Vabatahtliku Ühingu organisatsioonide juures, mis on määratud kasutamiseks neile amatööridele, kes ei oma individuaalseid jaamu.

2. Individuaalsed saate-vastuvõtujaamad, mis asuvad amatööri enda koduses kasutuses.

3. Individuaalsed lühilaine vastuvõtujaamad, mis samuti asuvad amatööri isiklikus koduses kasutamises.

Igale ühte loeteldud liiki kuuluvale amatöörjaamale hangitakse Vabariikliku Armee Abistamise Vabatahtliku Ühingu Keskkomitee taotlusel jaama ehitamise või hankimise luba koos jaamas töötamise loa ja kutsungiga.

Amatöörjaama võib avada ainult jaama ehitamis-hankimisloa ja tööloa omamisel, jaamal töötamiseks on vajalik vastav kvalifikatsioonitõend ja jaamas töötamise luba.

Kvalifikatsiooni ja jaamas töötamise praktilise staaži järgi vormistatakse loal lubatav saatevõimsus ja kasutatavad laineribad. Algajatel piiratakse võimsused 5 vatiga, laineribad 160 ja 40 meetriga.

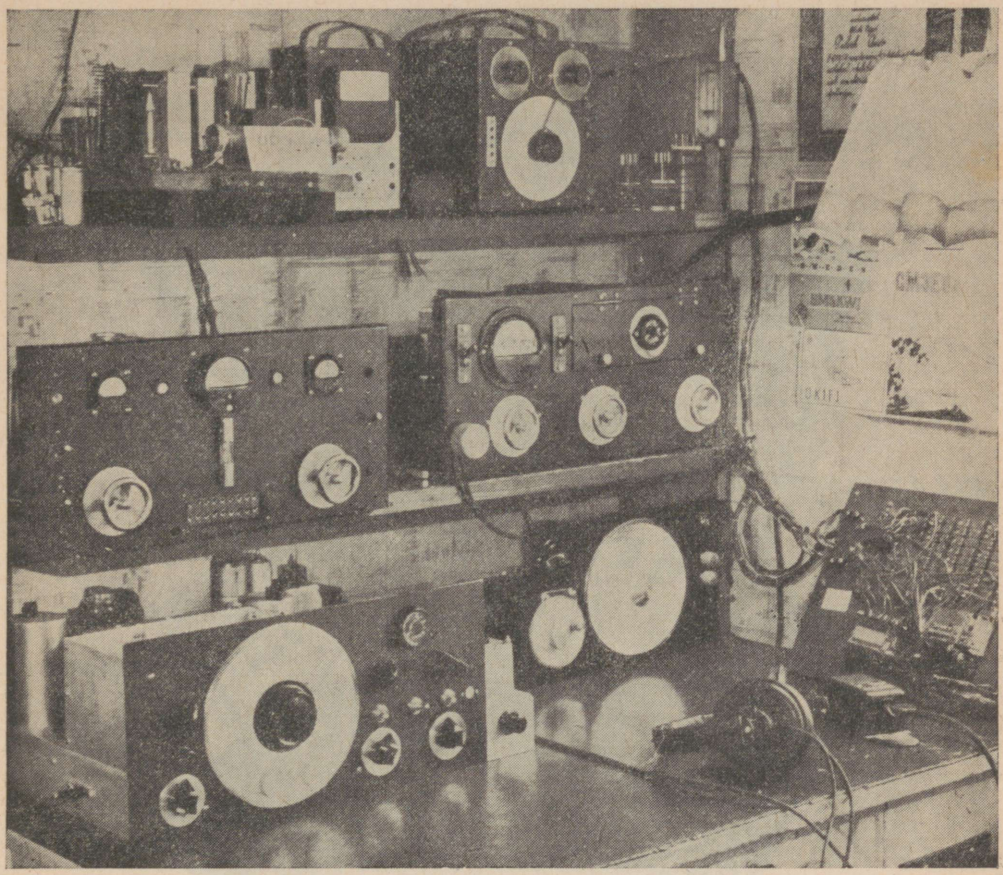
Vormistatud amatööril on õigus:

1. Loa kohaselt pidada sidet „eetri kaudu" kõigi amatööridega kõigil kontinentidel (kuuldejaama omanikul — ainult vastu võtta teiste amatööride poolt vahetatavaid teateid) ja vahetada nendega Üleliidulise QSL-büroo kaudu tehnilisi teatmekaarte-kviitungeid, nn. QSL-kaarte, sooritatud sidemete tõendamiseks.

2. Osa võtta kõigist üleliidulistest, vabariiklikest jne. võistlustest parima raadio-operaatori nimele.

3. Osa võtta kõigist üleliidulistest ja vabariiklikest raadiotestidest, mis kujutavad samuti individuaal-kollektiivseid võistlusi suurima arvu kaugühenduste sooritamises testiaja kestel.

4. Osa võtta raadionäitustest, s. o. esineda neil väljapanekutega parimate raadioseadmete ja -abinõude väljaselgitamiseks, osa võtta reast muudest raadiotehnilistest üritustest ja võistlustest. Võistlustel ja näitustel sel-



Amatöörjaama UR2AH üldvaade.

gunud parimaid amatööre autasustatakse aukirjadega ja premeeritakse rahaliste tasudega.

Raadioklubid ja nende filiaalid on raadioamatööride kesksteks õppe- ja tööbaasideks, kust amatööre varustatakse raadioseadmete ehitamiseks vajalike materjalidega ja osadega ning kus neil võimaldatakse kasutada klubi mõõteabinõusid ja -riistu oma isiklike seadmete kontrollimiseks ja viimistlemiseks. Samuti on klubi raamatukogu avatud laialdasele amatööride perele kasutamiseks.

Seega annab raadio-amatöörala organisatsioon Nõukogude Liidus kõigile asjahuvilistele kõik võimalused amatöörtööst osavõtuks, oma raadiotehnilise kvalifikatsiooni järjekindlaks tõstmiseks ja laialdase uurimis-katsetamistöö sooritamiseks.

Kuid raadio-amatöörala ei piirdu ainult sellega. Raadio-amatörismi harrastus- ja viljeldamisaladesse kuuluvad peale selle veel loendamatud kit-



Amatöörjaamade QSL-kaarte.

Vasakpoolses reas (ülalt alla): Leedu NSV, Soome, Norra, Tšehhoslovakkia; keskmises reas: Gruusia NSV, Eesti NSV, Ukraina NSV, Leningradi oblasti; parempoolses reas: Hollandi, Rootsi, Prantsuse ja Šoti amatöörjaamade QSL-kaardid.

samad alad, mis eespool on juba nimetatud. Kõik seesugused uudsed alad vajavad eeskätt agaraid raadio entusiaste-amatööre, kelle kaudu need alad levitatakse töötava rahva sekka.

Sõjajärgsel rahvamajanduse taastamise ja ülesehitamise ajastul vajab meie kodumaa määramata arvul uusi raadio eriteadlasi, kes teostaksid raadio erialalist tööd käesoleva ja tulevaste stalinlike viisaastakute raamides, mis on tarvilik meie kodumaa kaitsevõime tõstmiseks ja majandusliku-kultuurilise elu viimiseks vastu paremale, helgemale tulevikule.

ESIMENE OSA

ELEKTRI- JA RAADIOTEOORIA ALUSEID

B. RAADIOTEOORIA ALUSEID.

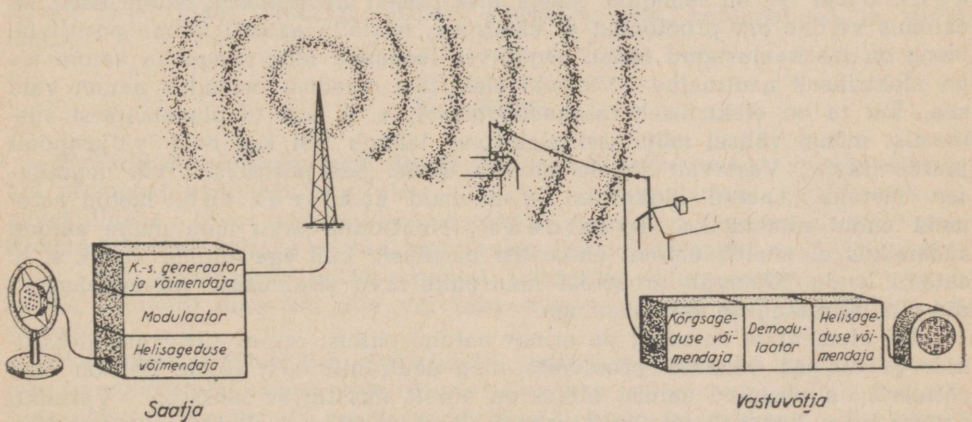
I peatükk.

RAADIOSIDE PÕHIMÕTE.

Erinevalt teistest tehnilistest sidepidamise viisidest kasutatakse raadioside puhul signaalide või muu tajutava kompleksi ülekandmisel ruumis elektromagnetilisi laineid. Ülekandmisel raadio teel eraldatakse, samuti kui teistegi tehniliste sideseadmete juures, kolme lüli: saatjat, ülekandvat vahendit ja vastuvõtjat. Raadiosaatja ülesandeks on toota vastavakujulist elektrienergiat, mis juhituna saateantenni muundub elektromagnetiliseks kiirgusenergiaks ning levib ruumi elektromagnetiliste lainetena. Ühtlasi on raadiosaatja ülesandeks juhtida seda kiirgusenergiat antenni ülekantavate signaalide või muu ülekantava kompleksi taktis. Viimatimainitud tegevust nimetatakse moduleerimiseks.

Saateantennist väljakiirgunud energia levib ruumis elektromagnetiliste lainetena, nõrgenedes kaugusega ja tehes seejuures läbi rea füüsikalisi protsesse. Eemalasuva raadiovastuvõtja ülesandeks on ruumis kulgevast elektromagnetilisest laineenergiast kinni püüda võimalikult rohkem vastuvõtuantenni abil, milles laineenergia muundub uuesti elektrienergiaks.

Kuna antennis vastuvõetud ja elektrienergiaks muundunud laineenergia on suhteliselt väga nõrk, eriti vastuvõtu puhul suurtelt kaugustelt, siis sooritatakse vastuvõtjas kõigepealt selle energia võimendamist vajalikes piirides, misjärel temast eraldatakse kasulik osa, s. o. saatjas moduleerimisel juurdeliidetud signaalide takt või muu tajutav kompleks. Seesugust toimingut vastuvõtjas nimetatakse detekteerimiseks ehk demoduleerimiseks. Detekteе-



Joon. 1. Helilainete raadio teel ülekande põhimõtte diagramm.

ritud (demoduleeritud) signaale võimendatakse tarbe korral veelkordselt kasutamiseks sobiva väärtuseni ning juhitakse kasutamis-iseloomu kohaselt vastavasse seadmesse (valjuhääldajasse, katoodkiirtetorusse jne.) (joon. 1).

Kuna ruumis levivad üheaegselt paljudelt saatjatelt väljakiirgunud elektromagnetilised lained, siis on vastuvõtja ülesandeks ühtlasi eraldada vastuvõtuantennis kinnipüütud saateenergiast ning juhtida vastuvõtuprotsessi ainult selle saatja energia, millist soovitakse vastu võtta.

Raamatu esimese osa ülesandeks on selgitada neid elektrotehnilisi aluseid, milledel põhineb raadioside praktiline rakendamine.

II peatükk.

ELEKTRI OLEMUS.

1. Elektronid.

Üldiselt on tunnustatud, et kogu mateeria koosneb umbes üheksakümnest algainest, mida nimetatakse *elementideks*. Need algained võivad olla *vabas olekus*, nn. lihtainetena, nagu vask, süsi, hapnik, või omavahel *keemiliselt liitunud* nn. liitaineiks, näit. vesi ja keedusool. Iga elemendi väikseimat keemiliselt jagamatut osakest nimetatakse *aatomiks*. Aatomite rühma, mis kujutab endast lihtaine või liitaine kõige väiksemat üksust, millel on veel kõik sama aine omadused, nimetatakse *molekuliks*.

Üldtunnustatud teooria kohaselt kujutab aatom endast väga väikest planeetide süsteemi taolist süsteemi, mis omab positiivselt laetud suure massiga keskset tuuma ja selle ümber tiirlevaid väga väikese massiga negatiivseid elektrilaenguid — *elektrone*. Aatomi tuum koosneb kahesugustest osakestest, mis omavad umbes võrdset, elektroniga võrreldes umbes 1800 korda suuremat massi, kuid mis erinevad üksteisest oma laengu poolest. Ühed neist, mida nimetatakse *prootoneiks*, kannavad positiivset laengut, teised — *neutronid* — on laenguta, seega elektriliselt neutraalsed. Normaalselt on aatomis võrdne arv prootoneid ja elektrone, mistõttu aatomi üldine positiivne laeng on tasakaalustatud üldise negatiivse laenguga ning seega ka aatom ise on elektriliselt neutraalne. Väliseid elektrilisi omadusi omandab aatom vaid siis, kui ta on elektriliselt tasakaalustamata, s. o. kui ta planetaarsest süsteemist mõnel välisel mõjutusel elektrone lahkub või kui neid väljastpoolt juurde liitub. Vastavalt sellele muutub aatom kas positiivselt või negatiivselt laetuks. Laetud olukorras on aatomid *ioniseeritud*; laetud aatomeid endid nimetatakse *ioonideks*. Neutronite arvu muutumine aatomi südamikus ei muuda aatomi elektrilisi omadusi, küll aga aatomi massi, s. o. aatomi kaalu. Sõltuvalt erinevast neutronite arvu sisaldusest võivad elemendid olla mitmesuguse aatomkaaluga.

Eri elementide aatomeil on erinev aatomi ehitus: erinev tiirlevate elektronide ja tuumas asuvate prootonite ning neutronite arv. Kõige lihtsam oma ehituselt on vesiniku aatom, milles on ainult üks tiirlev elektron. Vesiniku aatomi tuum koosneb tavaliselt samuti ühest prootonist, kuid raske vesiniku aatomis on täiendavalt veel üks neutron. Raskeima looduses esineva ele-

mendi — uraani aatomis on 92 tiirlevat elektroni ning tuumas samapalju prootoneid, kuid uraani aatom võib esineda kolmes erineva aatomkaaluga variandis, mille määrab tuuma neutronite arv.

Elektronid tiirlevad aatomi tuuma ümber kindlail orbiitidel, mis määratletakse tuuma laenguga ja elektronide arvuga. Seejuures väiksemat energiat omavate elektronide orbiidid asuvad tuumale lähemal, suurema energiahulgaga — tuumast kaugemal. Elektron võib väljastpoolt energiat juurde saada ja võib osa oma energiast ära anda, mispuhul elektron paikneb vastavalt ümber teisele orbiidile. Kui juurdetuleva energia hulk ületab elektroni kriitilise energia hulga, mis võib toimuda välise elektromagnetilise kiirituse mõjul või kokkupõrke puhul teiste aatomite algosakestega, lahkub elektron üldse aatomi süsteemist, põhjustades elektrivoolu. Samal ajal elektroni kaotanud aatom muutub ise ioniseerituks.

Elektroni ümberpaiknemisel kõrgemalt energiaastmelt madalamale, s. o. nihkumisel tuumale lähemal asetsevale orbiidile, annab elektron osa oma energiast ära kiirgusenergiana, põhjustades elektromagnetilise laine tekkimist.

2. Isolaatorid ja elektrijuhid.

Sõltuvalt aine molekulaarstruktuurist välisorbiitidel tiirlevad elektronid võivad olla seotud aatomi tuumadega lõdvemalt või tugevamalt. Suuremal osal lihtaineist, eriti metallidel, on välisorbiitide elektronid seotud seevõrra lõdvalt, et neid võib suhteliselt nõrgal välismõjul aatomi koosseisust eraldada. Sääraseid aineid, milles elektronid on kergesti eraldatavad, nimetatakse elektrijuhtideks ning neid kasutatakse elektrivoolu juhtmematerjalidena, näit. vask, alumiinium, hõbe.

Enamikul liitaineil ja osal lihtaineil on elektronid oma orbiitidel seotud väga tugevasti ning neid saab aatomi koosseisust eraldada ainult tugevate välismõjutuste teel. Selliseid aineid, mis praktiliselt üldse elektrit ei juhi, nimetatakse isolaatoreiks. Isolaatoreid kasutatakse elektrivoolu tõkestamiseks väljaspool elektrivoolu juhtmeid. Isolaatoritena tuntakse sääraseid aineid nagu klaas, bakeliit, paber, vilgukivi, õhk, keraamilised ja muud ained.

3. Takistus.

Elektrilisel välismõjutusel ühtsesuunaliselt liikumapandud vabad elektronid põrkavad oma teekonnal alatasa kokku juhtmematerjali, näiteks metalli molekulidega, lüües välja nende aatomite koosseisu kuuluvaid elektrone. Kokkupõrkamise tagajärjel osa elektronide liikumisenergiast muundub soojuseks. See elektronide ühtsesuunalisel liikumisel kuluv energiahulk oleneb sellest, kuivõrd tugevasti ühe või teise aine elektronid oma aatomitega on seotud.

Pole olemas täiuslikke elektrijuhte, milledest elektrone saaks eraldada ilma energiakuluta; samuti pole olemas täiuslikke isolaatoreid, milledest elektrone üldse pole võimalik eraldada. Selline elektronide eraldamine elektrilisel välismõjutusel igas aines on seotud kas suurema või väiksema energiakuluga,

mida võib vaadelda kui välismõjule elektronide ümberpaiknemisel aine poolt avaldatavat vastumõju. Seda vastumõju, mida avaldab juhtmematerjal temas elektrilisel välismõjutusel liikumapandud elektronide voolule, nimetatakse elektriliseks takistuseks.

Aine elektriline takistus määrab ära ta kasutusotstarbe elektro-raadiotehnikas: head elektrijuhid peavad evima võimalikult väikest, head isolaatorid võimalikult suurt elektrilist takistust. Kuid elektrivooluringides leiavad kasutamist ka säärased materjalid, millede takistuste väärtused asuvad mainitud kahe äärmuse vahel, näit. grafiit, takistussulamid, vedelikud, gaasid.

Elektrilise takistuse (R) mõõtühikuks on oom (Ω), see on takistus, mida omab 106,25 cm pikkune, 1 mm² ristlõikepinnaga elavhõbedasammas 0°C temperatuuri juures. Oomist 1000 korda suuremat ühikut nimetatakse kilo-oomiks (kΩ), 1 000 000 korda suuremat ühikut — megaoomiks (MΩ).

Elektrijuhi materjali takistust iseloomustavat tegurit nimetatakse materjali eritakistuseks (ϱ). Selle määramiseks mõõdetakse samast ainest valmistatud juhtme takistust oomides 20°C juures, kui mõõdetava juhtme pikkus on 1 m ja ristlõikepind 1 mm².

Voolujuhtme takistus on võrdeline materjali eritakistusega (ϱ) ja juhtme pikkusega (l), pöördvõrdeline juhtme ristlõikepinnaga (q). Arvutades juhtme pikkust meetrites, ristlõikepinda ruutmillimeetrites, saame juhtme üldtakistuse oomides:

$$R = \frac{\varrho l}{q} \quad (\Omega).$$

Juhtme takistus sõltub mitte ainult juhtme materjalist ja mõõteist, vaid ka juhtme temperatuurist. Seejuures suuremal osal metallidest takistus temperatuuri tõustes suureneb, enamikul isolaatoreil aga takistus temperatuuri tõusuga väheneb. Seetõttu elektronlambi metallist kütteniidil on külmalt väiksem takistus kui normaalse töötemperatuuri juures, samal ajal söe, klaasi ja portselani takistus temperatuuri tõusuga langeb.

Takistuse muutumist olenevalt temperatuurist arvutatakse materjali takistuse temperatuuriteguriga (α) mis näitab üheoomise takistuse muutumist temperatuuri muutudes 1°C võrra:

$$Rt_2 = Rt_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)] \quad (\Omega),$$

kusjuures Rt_1 ja Rt_2 on juhtmetakistused vastavalt temperatuuridel t_1 ja t_2.

Lisas nr. 16 on toodud andmed tähtsamate elektrijuhtide kohta.

4. Takistite tüüpe.

Raadioseadmeis kasutatavaid takisteid[1] liigitatakse ehitusviisi järgi püsivtakistiteks ja muudetavaiks takistiteks. Kumbki rühm jaguneb omakorda kahte alarühma: traattakistid ja masstakistid.

Püsiv-traattakistid valmistatakse takistustraadist, mähituna fiib-

[1] Takisti — materiaalne ese (keha), mis omab vajadusekohast elektrilist takistust.

rist, bakeliidist või keraamilisele alusele. Valmistooted tavaliselt kaetakse erilise emaillakiga. Kasutatakse alalis- ja vahelduvvooluringides.

Püsiv-masstakistites kasutatakse takistusmaterjaliks söe- või grafiidipulbrit, segatuna sobivas vahekorras sideainetega. Saadud materjal asetatakse õhukese kihina keraamilisele või klaasalusele ning kaetakse lakiga. Kasutatakse nii alalis- ja vahelduvvooluringides kui ka kõrgsagedus-vooluringides.

Muudetavad traattakistid, üldiselt tuntud reostaatide ja potentsiomeetrite nimetuse all, valmistatakse takistustraadist, asetatuna spiraalselt fiiber-, pertinaks- või teistest isoleerainetest ribale, mille ühel küljel libiseb kontaktvedru. Sõltuvalt mähkimisviisist ja alusriba kujust on muudetavaid takisteid, millede suurused muutuvad libiseva kontaktvedru liikumisega ühtlaselt või ebaühtlaselt. Neid kasutatakse alalis- ja vahelduvvooluringides reostaatidena ning potentsiomeetritena.

Muudetavais masstakistites kinnitatakse grafiidisegu kiht pertinaksist või keraamilisest materjalist alusele, millel liigub libisev kontaktvedru. Kuna takistusmaterjali alusele kinnitamist on võimalik sooritada väga mitmesuguses kontsentratsioonis ja gabariidis, siis valmistatakse muudetavaid masstakisteid, millel takistus muutub võrdeliselt libiseva kontaktvedru pöördenurgaga (lineaarselt) või eri kõverate kohaselt (logaritmiliselt jne.). Neid kasutatakse raadioseadmeis nii madal- kui kõrgsagedus-vooluringides.

Lülitatuna vooluringi läbib takistit elektrivool, mille tulemusel takisti soojeneb, kusjuures soojenemine on võrdeline takistis soojuseks muutuva elektrivõimsusega. Seepärast on takisteil peale takistuse tegeliku väärtuse oomides, kilo-oomides või megaoomides tavaliselt märgitud veel võimsuskadu vattides[1], mida tuleb takistite valikul alati arvestada.

Takisteid valmistatakse neil tekkiva võimsuskao järgi tavaliselt järgmistes suurustes: ¼, ½, 1, 2, 3, 5, 10 jne. vatti.

5. Elektrivool.

a) Elektrivool metallis. Juhtmematerjalis on alati olemas vabu elektrone, mis liiguvad juhuslikes suundades. Juhtmematerjali väliselt elektriväljaga mõjutades võtab vabade elektronide liikumine ühtse kindla suuna, sõltuvalt elektrivälja suunast. Seesuguste elektronide ühtsesuunaline liikumine juhtmematerjalis kujutab endast elektrivoolu. Säärane olukord tekib voolujuhtmes siis, kui juhtme otstele lülitada elektrivoolu allikas, näit. patarei. Elektronid, omades negatiivset laengut, liiguvad voolujuhtmes patarei positiivsele (+) klemmile, s. o. vastupidi elektrivälja suunale. Elektrivool

[1] Kui takisti võimsuskao suurust pole talle peale märgitud, võib seda masstakistite puhul kindlaks määrata takisti pinna järgi, arvestades, et lubatav võimsuskadu pinna 1 cm² kohta on keskmiselt 0,1 ... 0,15 vatti (keskmine 0,12 W). Näit. takisti, mille läbimõõt $d = 5$ mm ja pikkus $l = 27$ mm, lubatud võimsuskadu P_k on:

$$P_k = 0{,}12\,S = 0{,}12\left(\pi dl + 2\,\frac{\pi d^2}{4}\right) = 0{,}12\pi d\left(l + \frac{d}{2}\right) = 0{,}555 \text{ (vatti)},$$

seega takisti on 0,5-vatine.

saab tekkida ainult siis, kui elektrivälja tekitava vooluallika klemmid on ühendatud välise voolujuhtmega, s. o. kui elektronidel on katkematu liikumistee. Säärast katkematut elektronide välist liikumisteed, mis ühendab vooluallika klemme, nimetatakse elektriliseks vooluringiks. Tavaliselt lülitatakse vooluringi koormus, millest läbiminekul vool sooritab kasulikku tööd.

Eeltoodust ei tule aru saada nii, et vooluallika toimel vooluringis iga liikuma pandud elektron peaks sooritama täieliku ringtee vooluallika miinusklemmilt plussklemmini. Tegelikult sooritab liikuma pandud elektron aatomite vahel võrdlemisi lühikese teekonna, mida jätkab järgmise aatomi koosseisust vabanev elektron. Elektronide liikumisel toimub „teatejooksule" sarnanev protsess, kusjuures elektronide üldine liikumise kiirus, käsitatuna voolujuhtme kogu pikkuses, võrdub peaaegu valguse kiirusega.

Elektrivoolu suurust mõõdetakse elektronide hulgaga, mis läbib vooluringi ristlõikepinda teatava aja vältel. Kui elektronide hulka *(Q)* arvutada kulonites ja aega *(t)* sekundites, siis kujuneb elektrivool *(I)* voolutugevuse mõõtühikutes amprites:

$$I = \frac{Q}{t} \text{ (amprit).}$$

Seega üheks ampriks (A) nimetatakse voolutugevust, mis tekib voolujuhtmes ühe kuloni elektrihulga läbivoolamisel ühe sekundi vältel. Vaadelduna elektronide voolu seisukohalt voolab 1-amprilise voolutugevuse puhul 1 sekundi vältel voolujuhtme vaadeldavast ristlõikepinnast läbi $0{,}629 \cdot 10^{19}$ elektroni.

Amprist 1000 korda väiksemat ühikut nimetatakse milliampriks (mA), miljon korda väiksemat — mikroampriks (μA), tuhat korda suuremat ühikut nimetatakse kiloampriks (kA).

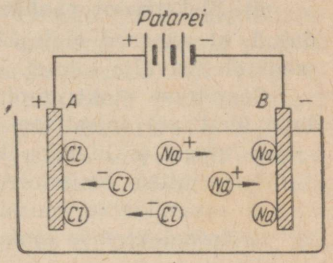
Elektri voolamisel metallis esinevad kaks kõrvalnähtust, mis annavad võimaluse elektrivoolu olemasolu kindlakstegemiseks ja tema suuruse mõõtmiseks. Esimene neist on voolujuhtme soojenemine, mis tekib ühtses suunas liikuvate elektronide põrkamise tagajärjel aatomite osakestega. Seejuures soojuseks muutuv elektrivõimsus *(P)* on võrdeline voolu ruuduga *(I^2)* ja takistusega *(R)*, kusjuures elektrivõimsust mõõdetakse vattides (W):

$$P = I^2R \text{ (vatti).}$$

Teise kõrvalnähtusena elektronide ühtsesuunalisel liikumisel tekib elektronide vooluse ümber magnetväli.

b) Elektrivool vedelikes. Erinevalt elektrivoolust metallides, mis kujutab endast puhtakujulist elektronide voolu, toimub elektri voolamine vedelikes. Paljudel liitaineil aatomid lahustatud olekus ioniseeruvad. Seejuures metallide aatomid muutuvad positiivseiks ioonideks, milledel on normaalsest koosseisust vähem elektrone, kuna mittemetallide aatomid muutuvad negatiivseiks ioonideks, s. o. liigse elektronide arvuga aatomiteks. Kui elektrivooluringi, milles asub vooluallikas, lülitada lahustatud aine keskkond, tekivad lahuses kahesugused ioonide voolused, mille suunad on üks-

teisele vastupidised: positiivsed metallide ioonid liiguvad vooluallika miinusklemmi suunas, negatiivsed mittemetalli ioonid — vooluallika plussklemmi suunas, mille tulemusena lahuses tekib elektrivool. Jõudnud lahuse keskkonna kontaktplaatidele (elektroodidele), mis on ühendatud vooluallika klemmidega, tasakaalustavad ioonid oma ebavõrdse siselaengu, kas andes oma liigsed elektronid üle kontaktplaadile (mittemetalli negatiivsed ioonid vooluallika plussplaadile, s. o. a n o o d i l e) või saades juurde kontaktplaadilt täiendavalt elektrone (metalli positiivsed ioonid miinusplaadile, s. o. k a t o o d i l e). Kontaktplaatidelt ioonid vooluallikani edasi liikuda ei saa, kuna kontaktplaatide ja vooluallika vaheline vooluringi osa on metalljuhtmest, seega seal on vool elektroniline. Elektrivoolu toimel lahuses sisalduvad ained kanduvad seega üle kontaktplaatidele, s. o. anoodile ja katoodile, kusjuures metallid (ja vesinik) sadestuvad katoodile, aine mitte-metallid anoodile (joon. 2).



Joon 2. Elektrivool vedelikus. Anumasse on paigutatud keedusoola (NaCl) lahus. Välise elektrivooluallika toimel (ühendatuna anumasse asetatud kontaktplaatidega A ja B) tekib lahuses keedusoola ioonide liikumine: positiivsed naatriumi ioonid (+Na) suunduvad miinusplaadile B, kus nad muutuvad neutraalseiks naatriumi aatomeiks (Na), kuid ühinevad uuesti veega, negatiivsed kloori ioonid (—Cl) liiguvad plussplaadile A, millega kokkupuutel nad muutuvad samuti neutraalseiks kloori aatomeiks (Cl) ning eralduvad kloorgaasina.

Liitaine lagundamise protsessi lahuseis elektrivoolu toimel nimetatakse e l e k t r o l ü ü s i k s. Elektroodidel sadestuva metalli massid on võrdelised voolutugevuse *(I)* ja ajaga *(t)*.

Seega on võimalik voolutugevust mõõta elektrolüüsi teel sadestuva metalli kogusega. Praktiliselt nimetatakse üheks ampriks säärast voolutugevust, mis sadestab hõbenitraadi vesilahusest ühe sekundi vältel 1,11815 mg hõbedat.

c) Elektrivool gaasides. Gaasides elektrivool kujutab vahepealset nähtust, võrreldes vooluga metallides ja vooluga vedelikes. Gaasides leidub peale neutraalsete aatomite alati vabu elektrone, mis ei kuulu aatomi koosseisu, samuti ioniseeritud aatomeid, mille normaalses koosseisus puudub elektrone. Kui seesugust gaasilist keskkonda mõjutada elektriväljaga, tekib elektronide kui negatiivsete laengute liikumine vooluallika positiivse elektroodi suunas ja positiivsete ioonide liikumine vooluallika negatiivse elektroodi suunas. Kuid nii elektronid kui ka positiivsed ioonid ei suuda gaasi tiheduse tõttu tavalise atmosfäärilise surve juures arendada kuigi suuri kiirusi, sest nad satuvad kokku vastupidiselt laetud aatomiosakestega ning muutuvad neutraalseiks aatomeiks, mis elektrivälja mõjule ei allu. Seega tavalise atmosfäärilise surve all gaaside keskkonnas elektrivoolu ei teki.

Kui aga elektriväljaga mõjutada hõrendatud gaasi keskkonda, milles aatomid ja nende ioonid asetuvad suhteliselt suurtel vahekaugustel, siis arendavad liikuvad ioonid küllaldast kiirust, et kokku põrgates neutraalsete aatomitega lüüa neist välja elektrone, muutes nad omakorda ioonideks. Kokkupõrkel teostunud ionisatsiooni tõttu tekib elektrivälja mõjul hõrendatud gaa-

side keskkonnas elektronide ja positiivsete gaasi ioonide liikumine: elektronid liiguvad positiivsele elektroodile, positiivsed ioonid — negatiivsele elektroodile, kus nad neutraliseeruvad. Säärane elektronide ja positiivsete ioonide liikumine kujutabki endast elektrivoolu hõrendatud gaasides, millega sageli kaasneb valguskiirguse nähtus.

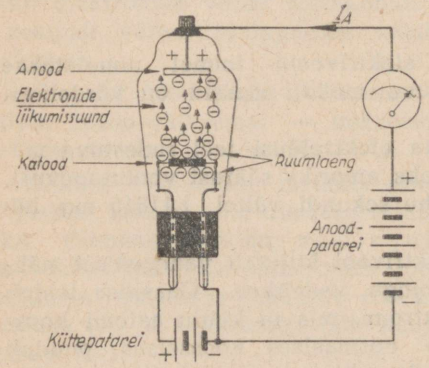
Gaasi ioniseerimiseks ja seega elektrivoolu tekitamiseks on tarvis ületada teatavat elektrivälja tugevust või vastavalt kriitilist ioniseerumispotentsiaali, mis oleneb gaasi liigist ja survest.

Headeks elektrijuhtideks on hõrendatud inertgaasid (heelium, neoon jt.) ja metallide aurud (elavhõbe), mida kasutatakse praktiliste seadmetena pinge stabiliseerimiseks ja voolu õgvendamiseks. Ioniseerimisel hõrendatud gaasid eraldavad valgust, mis on iseloomustav igale eri gaasile (heeliumil — roosa, neoonil — punane, elavhõbeda aurudel — sinakasviolett, naatriumi aurudel — kollane jne.).

d) Elektrivool vaakumis. Praktilises vaakumis on gaasid seevõrra hõrendatud, et vähesed alalejäänud gaasiaatomid ei põhjusta elektrivoolu tekkimist isegi elektrivälja toimel.

Seepärast elektrivoolu tekitamiseks vaakumis on tarvis kõigepealt eraldada ühel või teisel teel vabu elektrone. Praktiliselt toimub vabade elektronide ainest eraldamine kolmel teel:

1) termilise emissiooniga,
2) sekundaarse emissiooniga ja
3) fotoelektrilise emissiooniga.



Joon. 3. Elektronide vool elektronlambis. Katoodi kuumutatakse elektriliselt küttepatareiga. Katoodi ja anoodi vahele on lülitatud anoodpatarei, mille plussklemm on ühendatud anoodiga, miinusklemm katoodiga. Kuumutatud katoodi ümbruses moodustub elektronidest negatiivne ruumlaeng, mille ületamisel anoodpatareist antava plusspotentsiaaliga tekib vaakumis elektronide vool.

Termilise emissiooni korral tekib elektronide eraldumine ehk emiteerumine metallist kuumutamise teel. Tavalise toatemperatuuri juures pole elektronide tiirlemise kiirus metalli aatomeis küllaldane elektronide eraldumiseks väljapoole metallipinda. Metalli kuumutamisega omandavad elektronid küllaldast lisaenergiat (metalli kuumutamiseks kasutatud soojusenergia arvel) metallipinnalt lahkumiseks. Naatrium eraldab elektrone võrdlemisi suurel hulgal juba 200°C temperatuuri juures, volfram vajab küllaldaseks elektronide eraldamiseks kuumutustemperatuuri vähemalt 2000° C. Termilisel teel metallipinnalt lahkunud vabad elektronid moodustavad pinnalähedases ruumalas tiheda elektronide pilve ja kuna elektronid ise on negatiivse laenguga, siis nad vastastikku tõukuvad ning osaliselt langevad tagasi emiteerivale pinnale. Emiteeriva pinna, nn. katoodi ümbruses tekib seega ruum-

laeng, mille ületamiseks ja kindlasuunalise elektronide voolu saamiseks on tarvis eraldunud elektrone mõjutada elektriväljaga. Selleks paigutatakse vaakum-alasse, kus asub elektrone emiteeriv katood, teine elektrood — anood, millele antakse välisest vooluallikast katoodi suhtes positiivne elektripotentsiaal. Kui anoodile lülitatud positiivne potentsiaal ületab elektronide pilvest tekitatud negatiivse ruumlaengu väärtuse, tekib katoodi ja anoodi vahel elektronide vool, mis kujutabki endast elektrivoolu vaakumis. Seejuures emiteeritava voolu suurus oleneb katoodi materjalist ja ta pinna suurusest, katoodi kuumutustemperatuurist ja anoodile lülitatud positiivse potentsiaali suurusest. On arusaadav, et potentsiaalide lülitamisel vastupidiselt, s. o. positiivne potentsiaal katoodile ja negatiivne anoodile, ei teki elektronide liikumist ja seega ka elektrivoolu vaakumis. Elektronide termilise emissiooni nähtust rakendatakse elektronlampides.

Sekundaarset emissiooni tekitavad emiteerunud elektronid, kui nad positiivse anoodi potentsiaali mõjul liikudes põrkavad kokku metallipinnaga. Sõltuvalt anoodi potentsiaali suurusest on vaakumis liikuma pandud elektronidel kas suurem või väiksem kiirus ja seega suurem või väiksem kineetiline energia. Küllaldase kiiruse omandanud elektronid, põrgates vastu anoodi, löövad omakorda anoodipinnast välja nn. sekundaarseid elektrone, millist nähtust nimetatakse sekundaarseks emissiooniks. Suurte kiiruste puhul väljalöödavate elektronide arv võib kujuneda mitmekordseks, võrreldes algelektronide arvuga.

Sekundaarse emissiooni nähtust kasutatakse erilistes elektronlampides, nn. sekundaaremissiooni lampides ja elektronpaljundajates.

Fotoelektrilise emissiooni puhul tekib elektronide vabanemine metallide pinnalt valgusega kiiritamise tõttu. Eriti intensiivset fotoelektrilist emissiooni tekitab lühilaineline nähtav (sinine, violett) ja ultravioletne valgus. Kuna ka siin, nagu termilisegi emissiooni puhul, tekib katoodi ümber ruumlaeng, siis lülitatakse elektronide voolu saamiseks anoodile positiivne potentsiaal.

Fotoelektrilise emissiooni suurus on võrdeline valguse intensiivsusega, kuid muutub kiiritava valguse lainepikkusega ja katoodiks kasutatava materjaliga. Katoodi temperatuuri tõstmine fotoelektrilise emissiooni tekitamiseks pole vajalik.

Fotoelektrilist emissiooni kasutatakse fotoelementides ja ikonoskoopides.

6. Elektrivoolu suund.

Varematel aegadel on elektrilisi nähtusi püütud selgitada mitmesugusel viisil, mis vastasid tolleaegseile tõekspidamistele ainest ja energiast. Lepiti kokku, et välises vooluringis elektrivool voolab vooluallika positiivselt (+) klemmilt negatiivsele (—) klemmile, milline seisukoht püsib klassikalises elektrotehnikas tänapäevani. Moodne elektroni- ja kvantide-teooria avastas elektrivoolu tõelise olemuse, mille kohaselt elektrivool ja elektronide vool on tahketes ainetes ja vaakumis vastupidise suunaga. Käesolevas raamatus käsitellakse elektrivoolu suunda senise tõekspidamise kohaselt.

III peatükk.

ELEKTRIVÄLI.

7. Elektrivälja mõiste.

Iga elektriliselt laetud, s. o. liigselt või defitsiitselt elektrone omava eseme ümber tekib ruumis eriline pingestatud olukord, mis avaldub mehaaniliste jõudude ilmnemises. Sääraste jõudude ilmnemist saab kindlaks teha, kui paigutada ruumi veel teine elektriliselt laetud, kuid esimesest elektriliselt isoleeritud ese. Juhul, kui mõlemal esemel on ühenimelised laengud, avaldavad nendevahelised jõud eemalelükkavat, vastasnimeliste laengute puhul — tõmbavat toimet. Seejuures jõud on võrdelised laengute suuruste korrutisega ja pöördvõrdelised nendevahelise kauguse ruuduga.

Laengute mõjupiirkonnas ilmnevaid jõudusid käsitellakse elektriväljadena. Elektriväljade tugevuse võrdlemiseks ja suundade määramiseks loetakse neid omakorda koosnevaiks elektrilistest jõujoontest, mis algavad positiivsest, s. o. defitsiitselt elektrone omavast laengust, ning levides radiaalselt lõpevad negatiivseis, s. o. liigselt elektrone omavais laenguis.

Selline jõujoonte radiaalne paiknemine ruumis on mõeldav senikaua, kui laetud eseme pind on väike ja ese ise asub kaugel teistest laetud esemetest. Tegelikus olukorras võivad laetud esemed evida väga mitmesugust kuju, elektronlampides näiteks silindrilist, sambalist jne., katoodkiirtetorudes tasapinnalist, mis koos laetud esemete vastastikuse asetusega ja vahekaugusega deformeerib tunduvalt elektrivälja ühtlast hargnemist. Neil puhkudel elektriväljad keskenduvad suuremal või vähemal määral piiratud ruumaladesse ning nende intensiivsus ei vähene enam radiaalselt, vaid pigem lineaarses vahekorras kauguse suurenemisega.

Elektrilisi jõujooni ei tule vaadelda kui sõna tõsises mõttes ruumis tegelikult tõmmatavaid materiaalseid jooni, neid käsitletakse vaid selleks, et lihtsustada pingestatud olukorra ettekujutust ruumis.

Elektrilaeng ühes kaasneva elektriväljaga ei teki iseenesest, vaid selleks tuleb kulutada välist energiat, näiteks mehaanilist — laengu tekitamiseks esemete hõõrumise teel, keemilist — laengu esilekutsumiseks elektrivooluallika kaudu jne. Kord loodud elektriväli enda edaspidiseks säilitamiseks lisaenergiat ei vaja. Elektrilaengu tekitamiseks ja elektrivälja loomiseks kulunud energia koguneb elektriväljasse potentsiaalse energiana, mis püsib seal senikaua, kuni elektrilaeng neutraliseerub. Praktiliselt neutraliseerub laeng siis, kui laengusse koondunud elektronidel avaneb võimalus tasakaalustuda teise, elektronidest defitsiitse laenguga. Laengute neutraliseerumise tulemuseks on laengute-vahelises keskkonnas elektrivool, mille tekkimisel elektriväljasse varutud potentsiaalne energia vabaneb, muundudes elektronide liikumisel kineetiliseks energiaks.

8. Potentsiaalide vahe. Elektromotoorne jõud.

Nagu käsiteldud eelmises punktis, kulutatakse laengu tekitamiseks energiat, mis laengu säilitamisel muundub potentsiaalseks elektrivälja energiaks. See potentsiaalne väljaenergia sarnaneb mehaanikas tuntud potentsiaalsele

energiale, mis varutakse esemesse ta ülestõstmisega maakera külgetõmbejõu ületamisel. Samuti kui varutud mehaaniline potentsiaalne energia muundub ülestõstetud eseme allakukkumisel liikumisenergiaks, muundub ka varutud elektrivälja potentsiaalne energia elektronide liikumisel elektrivooluks, kui laetud ese ühendada voolujuhtme kaudu vastupidiselt laetud või neutraalse esemega.

Tõstetud eseme potentsiaalset energiat mõõdetakse eseme raskuse ja tõstekõrguse järgi, s. o. töökogusega, mida kulutati ta ülestõstmisel. Samuti mõõdetakse laengu elektrivälja varutud potentsiaalse energia suurust välja igas punktis mehaanilise töö hulgaga, mida kulutatakse välja mehaanilise jõu ületamiseks teise kindla suurusega laengu viimisel välja vaadeldavasse punkti. Seda mehaanilisele jõule vastavat väljatugevust välja vaadeldavas punktis nimetatakse välja **potentsiaaliks** ja välja kahe vaadeldava punkti vahel eksisteerivate mehaaniliste jõudude väärtusele vastavat väljatugevuste vahet — välja **potentsiaalide vaheks**, mida mõõdetakse elektrilistes mõõtühikutes **voltides** (V).

Üldisemalt ei ole potentsiaalide vahe absoluutne, vaid pigem suhteline mõiste. Potentsiaalide vahe tekitamiseks pole oluline, et neid põhjustavad laengud oleksid tingimata vastasnimelised: potentsiaalide vahe tekib samuti ka ühenimeliste, kas negatiivsete või positiivsete laengute juures, eeldusel, et laengud ise pole võrdsed. Kahe erineva suurusega laengu puhul on liigseid elektrone rohkem omav laeng suhteliselt negatiivsem, väiksema elektronide hulgaga laeng aga positiivsem, kui laengud asetsevad võrdsete mahtuvustega kehadel.

Potentsiaalide vahe erijuhtu voolujuhtmes võib vaadata kui tööhulka, mida kulutatakse elektronide sundviimiseks juhtme negatiivse potentsiaaliga (—) punktist juhtme positiivse potentsiaaliga (+) punkti.

Pideva elektronide voolu alalhoidmiseks on tarvis voolujuhtme otstel säilitada püsiv potentsiaalide vahe, sest vastasel korral elektronide vool lakkab laengute neutraliseerimisel. Potentsiaalide vahet tekitavat või pidevalt alalhoidvat jõudu nimetatakse **elektromotoorseks** jõuks *(E)*, mida mõõdetakse samuti voltides.

Praktikas kasutatakse potentsiaalide vahe (mida nimetatakse ka **pingeks**) ja elektromotoorse jõu (EMJ) mõõtühikuga — voldiga rööbiti 1000 korda väiksemaid ühikuid — millivolte (mV), 1 000 000 korda väiksemaid ühikuid — mikrovolte (μV) ja 1000 korda suuremaid ühikuid — kilovolte (kV).

9. Mahtuvus.

Eeltoodust selgub, et elektrivälja tugevus on võrdeline elektri laenguga ja et potentsiaal on võrdeline elektriväljaga, millest järeldub, et ka laeng on võrdeline potentsiaaliga:

$$Q = CU,$$

milles Q — laengu suurus, U — potentsiaalide vahe ja C — võrdelisuse tegur, mis oleneb laengut kandvate materiaalsete esemete ja väljaga pingestatud keskkonna omadustest ja mida nimetatakse **elektriliseks mahtuvuseks**.

Kui väljendada laengut Q ja potentsiaalide vahet (pinget) U nende algühikutes vastavalt kulonites ja voltides, kujuneb mahtuvus

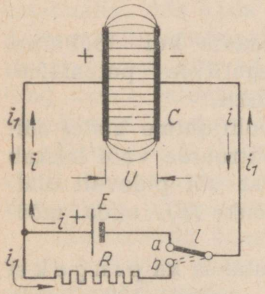
$$C = \frac{Q}{U}$$

faradites. Seega farad (F) on selline mahtuvus, mis ühekulonilise laengu puhul omab potentsiaalide vahet (pinget) üks volt.

Kuna farad on praktiliseks kasutamiseks liiga suur ühik, siis väljendatakse mahtuvust 10^6 korda väiksemates ühikutes — mikrofaradites (μF) või 10^{12} korda väiksemates ühikutes — pikofaradites (pF) ehk mikromikrofaradites ($\mu\mu$F). Rööbiti pikofaraditega tarvitatakse mahtuvuse väiksema ühikuna veel sentimeetrit, kusjuures 1 pF = 0,9 cm.

10. Kondensaator.

Kondensaatoriks nimetatakse praktilist elektrilist mahtuvust omavat seadist, mis koosneb kahest, isoleeriva keskkonnaga teineteisest eraldatud metallplaadist, kusjuures metallplaadid on elektrilaengute kogujateks, kuna isolaator, mida antud juhul nimetatakse dielektrikuks, on keskkonnaks, kus laengute puhul kontsentreerub elektriväli.



Joon. 4. Kondensaatori laadimine ja tühjenemine. Kondensaatori C ühendamisel lüliti l kaudu asendis a järjestikku vooluallikaga E tekib vooluringis laadimisvool i, mis läheb kondensaatori plaatide vahelise elektrivälja ülesehitamiseks ja kestab seni, kuni kondensaator evib laengut Q pingega U. Lüliti paigutamisel asendisse b põhjustab laadimisel kondensaatorisse elektriväljana varutud laeng Q vooluringis vastassuunalise tühjenemisvoolu i_1, mis kestab seni, kui elektriväli on langenud kokku ja laenguenergia vooluringi takistuses R on muutunud soojuseks.

Kondensaatori mahtuvus oleneb kondensaatori plaatide pinnast, plaatide vahekaugusest ja dielektriku omadusest. Plaatide pinna all mõeldakse plaatide-paari vastastikust mõjuvpinda, mille vahel tekib elektriväli. Seejuures mahtuvuse suurus on võrdeline mõjuvpinnaga, sest suurem mõjuvpind mahutab endasse võrdse laengutiheduse juures suurema laengu ja on pöördvõrdeline plaatide vahekaugusega, kuna sama laengusuuruse juures plaatidevaheline potentsiaalide vahe väheneb plaatide vahekauguse vähenedes. Kondensaatori dielektriku omadused määratakse kindlaks dielektriku-konstandiga (ε). Dielektriku-konstant on antud dielektrikuga kondensaatori mahtuvuse suhe sama kondensaatori mahtuvusega, kui dielektrikuks on õhk. Täpsemalt öeldes, mahtuvuse võrdlust peaks sooritama vaakumiga, kuid õhu dielektriline nihkekonstant on praktiliselt võrdne vaakumi dielektrilise nihkekonstandiga, mistõttu tehtav viga pole oluline. Kasutatavamate dielektrikute omaduste kohta on toodud andmed tabelis lisa nr. 17.

Kondensaatori mahtuvust arvutatakse järgmiste valemite järgi:

$$C = 0{,}0885\ \varepsilon \frac{S}{t}$$

ja mitmeplaadilise kondensaatori juures

$$C = 0{,}0885\ \varepsilon \frac{S\,(n-1)}{t},$$

kus C — mahtuvus pF, ε — dielektriku-konstant (õhul = 1), S — ühe plaadi pindala cm², t — plaatide vahekaugus cm ja n — plaatide arv.

Nagu varem käsiteldud, on kondensaatori laadimiseks tarvis kulutada teatud hulka elektrienergiat, mis läheb elektrivälja tekitamiseks dielektriku keskkonnas. Seda elektrivälja tekitamiseks kulunud energiahulka tuleb vaadelda kui varutud energiat, kuna kondensaatori tühjenemisel elektrivälja kadudes ta muundub uuesti elektrienergiaks (välja arvatud dielektrilised ja kiirguskaod, vt. B 41 c).

Kui võtta kondensaatori laadimispinge keskmiseks väärtuseks $\frac{U}{2}$ volti ja laadimisvoolu keskmiseks väärtuseks $\frac{CU}{t}$ amprit, kujuneb kondensaatori laadimiseks vajatav võimsus

$$P_e = \frac{U}{2} \cdot \frac{CU}{t} = \frac{1}{2}\frac{CU^2}{t} \quad \text{(vatti)},$$

varutud energia

$$W_e = P_e t = \frac{1}{2} CU^2 \text{ (vattsekundit)}.$$

11. Dielektriku läbilöögipinge.

Dielektriku materjalis on elektronid tugevasti seotud aatomite tuumadega, mistõttu välise elektrivälja mõjul ei saa dielektrikus tekkida elektrivoolu, vaid deformeeruvad ainult elektronide liikumisteed. Kui aga kondensaatori laeng, s. o. kondensaatorile lülitatud pinge ületab antud dielektriku kihi paksuse juures kriitilise piiri, lahkub osa elektrone elektrivälja mõjul siiski oma aatomite koosseisust, mille tulemuseks on elektrivoolu tekkimine kondensaatori plaatide vahel. Kriitilist pinget, mille juures toimub dielektriku läbilöömine ja mis on isesugune erinevatele dielektriku materjalidele, nimetatakse *dielektriku läbilöögipingeks*. Dielektriku läbilöögipinge väärtust kilovoltides dielektriku kihi 1 mm paksuse kohta nimetatakse *dielektriku läbilöögitugevuseks*.

Dielektriku läbilöögipinge kujutab endast keskmist väärtust, muutudes dielektriku temperatuuriga, laengu kestusega, elektrivoolu liigiga ja kokkupuute-keskkonnaga. Temperatuuri tõustes läbilöögipinge väärtus langeb. Kui aga dielektriku koosseisu ebaühtluse tõttu tekib kuskil punktis mini-

maalnegi läbilöök, siis tõuseb kujunenud elektrivoolu tõttu tunduvalt temperatuur, millele järgneb peatselt dielektriku täielik hävinemine. Dielektrikud suudavad vastu pidada kõrgematelegi pingetele lühema aja kestel, kuid kestvama koormuse all nad laostuvad, sest isolatsiooni mõttes pole olemas ideaalset dielektrikut — isolaatorit, alati tekib väiksem või suurem elektrivoolu lekkimine, mis kestvama koormuse puhul omakorda tõstab sisetemperatuuri. Samuti on dielektriku läbilöögipinge madalam kõrgsagedusvoolude juures, võrreldes alalis- ja vahelduvvooludega. Umbritsev niiskus, tolm jne. vähendavad läbilöögipinget tunduvalt.

Praktikas liigitatakse kondensaatorid *proovi-* ja *tööpingete* järgi, mis tavaliselt märgitakse kondensaatorile ja mis määrab ära kasutatavate pingete maksimaalsed piirid.

12. Kondensaatori kaotegur.

Ükski isolatsioonimaterjal ei ole oma isoleerivate omaduste poolest täiuslik, vaid kõigis neis absorbeerub teatav hulk võimsust, kui neile rakendada vahelduv potentsiaalide vahe [1].

Selle tulemusena osa kondensaatorile antud elektrilaengust muutub dielektrikus soojuseks, mille võrra kondensaatorist tagasisaadav tühjenemislaeng kujuneb sisseantavast laengust väiksemaks. Sääraseid kadusid nimetatakse *võimsuskadudeks* ehk *dielektrilisteks kadudeks* ja nad muutuvad dielektriku materjaliga ja kondensaatorile antava pinge suuruse ning sagedusega.

Võimsuskadude suurus tavaliselt määratakse kindlaks dielektriku *kaoteguriga* ehk *kaonurga tangensiga* ($\mathrm{tg}\delta$)[2]. Mida väiksem on aine kaotegur, seda otstarbekam on ta kondensaatori dielektrikuna kasutamiseks eriti neis vooluringides, kus kadusid tuleb vähendada miinimumini.

13. Dielektriku temperatuuritegur.

Dielektriku-konstant pole suurema osa dielektrikuks kasutatavate ainete juures siiski püsiv suurus, vaid muutub dielektriku temperatuuriga. Tavaliselt omab see muutumine temperatuuri tõusuga nõrka positiivset, kuid mõnede keraamiliste ainete juures negatiivset väärtust, s. o. temperatuuri tõustes dielektriku-konstant langeb. Säärase negatiivse muutusega dielektriku-konstandiga dielektrilisi materjale kasutatakse edukalt raadiotehnikas võnkerin-

[1] Võimsuse absorbeerumist isolaatoris põhjustavad paljud tegurid, nagu voolu lekkimine isolaatori materjalis — isolatsioonitakistuses, elektriline hüsterees, elektronide eraldumine teravikelt jne., mis kõik kokku põhjustavad isolaatori kuumenemist ja seega võimsuskadusid.

[2] Võimsuskadude tagajärjel kondensaatori dielektrikut läbiva üldise vahelduvvoolu nihkenurk φ kujuneb rakenduspinge U ja temaga faasis oleva kaovoolu suhtes väiksemaks kui 90° kaonurga δ võrra. Sel juhul kondensaatori võimsuskadu P_k, mis kujutab kondensaatori dielektrikus soojuseks muunduvat võimsust, võrdub $P_k = UI \cos\varphi$ ehk $P_k = UI \sin\delta$. Kuna raadiotehnikas kasutatavate kondensaatorite kaonurk δ tavaliselt on väga väike, siis sin δ asendatakse tg δ, sest väikeste nurkade sin ja tg on võrdsed; kaotegur väljendatakse harilikult tgδ. Kaotegurit on võimalik leida valemiga $\mathrm{tg}\,\delta = 2\pi fRC$, milles f — sagedus Hz, R — ekvivalentne kaotakistus oomides, C — mahtuvus faradites.

gide parameetrite kompenseerimiseks neil juhtudel, kui soovitakse saavutada suurt sageduse stabiilsust sõltumata temperatuuri muutumisest.

Dielektriku-konstandi muutumist sõltuvalt temperatuurist määratakse dielektriku temperatuuriteguriga, mis näitab dielektriku-konstandi muutumist protsentides temperatuuri tõustes 100°C võrra. (Andmed on toodud lisas nr. 17.)

14. Praktilisi kondensaatorite tüüpe.

Kondensaatoreid võib liigitada mitmeti, kas nende ehituse, tööpinge, kasutamise ja dielektriku järgi või selle järgi, kas nende mahtuvus on püsiv või muudetav. Tavaliselt kasutatakse viimast põhiliigitust.

a) Püsivkondensaatorid. Püsivkondensaatorid jagunevad kasutatava dielektriku järgi nelja põhirühma: paber-, vilgukivi-, keraamilised ja elektrolüütkondensaatorid.

Paberkondensaatorites kasutatakse dielektrikuks impregneeritud paberit, kondensaatorite plaatideks õhukest metallkarda. Hermeetilise ehitusviisi juures on paberkondensaatorite elektrilised omadused küllaldased nende kasutamiseks alalis- ja vahelduvvooluringides. Kõrgsagedus-vooluringides, eriti võnkeringides, on nende kasutamine suhteliselt suure võimsuskao tõttu piiratud.

Vilgukivikondensaatorid leiavad kasutamist kõikjal, omavad väikest kaotegurit ja on vastupidavad kõrgetele läbilöögipingetele. Võrdlemisi suurte mõõdete ja kalliduse tõttu valmistatakse neid ainult väiksemates mahtuvussuurustes.

Keraamilised kondensaatorid oma suhteliselt väikeste kadude, väikeste mõõdete ja muude heade elektriliste omaduste tõttu leiavad kasutamist peamiselt kõrgsagedus-vooluringides, eeskätt võnkeringides. Temperatuurimõjude kompensaatoritena võnkeringides on keraamilised kondensaatorid asendamatud. Neid valmistatakse väikestes mahtuvussuurustes.

Elektrolüütilisi kondensaatoreid kasutatakse nende suure kaoteguri tõttu ainult madalsageduslike pulseerivvoolude juures, kus neis tekkivad kaod pole olulised. Kuid arvestades nende suuri mahtuvusi, mis ulatuvad 10...10 000 μF, on nad sageli asendamatud. Peale suure kaoteguri piiravad nende kasutamist veel lülitavate pingete kindel polaarsus ja maksimaalne tööpinge, mis ulatub kuni 600 V. Elektrolüütilisi kondensaatoreid valmistatakse kahte liiki — nn. märgadena ja kuivadena.

Peale loeteldud kondensaatorite leiavad kõrgsagedus-vooluringides kasutamist õhk- ja suruõhk- (gaas-) kondensaatorid, milledel on väga väike kaotegur ja mis on kasutatavad kõrgete pingete puhul.

b) Muudetava mahtuvusega kondensaatorid. Muudetava mahtuvusega kondensaatorid valmistatakse metallplaatidest, mille dielektrikuks on õhk, ja seega neis tekkivad kaod sõltuvad peamiselt materjalist, mis hoiab kohal kondensaatoriplaatide pakette. Seepärast kasutatakse selleks paremates kondensaatorites kõrgeväärtuslikke isolaatoreid, nagu kvartsi, steatiiti ja teisi keraamilisi materjale.

Muudetava mahtuvusega kondensaatorid, või üldisema nimetusega pöördkondensaatorid, leiavad kasutamist kõrgsageduslikes võnke-

ringides. Vastavalt kasutamisotstarbele valmistatakse neid mahtuvuse muutmise järgi neljal kujul: mahtuvusvõrdelised, lainevõrdelised, sagedusvõrdelised ja logaritmilised. Need nimetused on tuletatud sellest, missuguses vahekorras muutub kondensaatori mahtuvus sõltuvalt plaatide rootorpaketi pöördenurga muutusest, s. o. kas pöördenurk on võrdeline otseselt mahtuvusega või lainepikkusega jne.

Õhk- ja seega ka pöördkondensaatorite tähtsamate elektriliste omaduste hulka kuulub veel nende läbilöögipinge määramine, mis on eriti oluline saatja kondensaatorite valikul.

Tubastes tingimustes arvestatakse õhkkondensaatorite läbilöögipinge tippväärtuseks keskmiselt 1000 volti 1 mm õhuvahe kohta.

Peale õhkkondensaatorite kasutatakse raadioseadmetes veel kõva dielektrikuga, muudetava mahtuvusega kondensaatoreid, milles dielektrikuks on peamiselt pertinaks, vilgukivi ja keraamilised ained. Pertinaks-dielektrikuga kondensaatorid töötavad suhteliselt suurte kadudega ja seepärast on nende kasutamine piiratud. Keraamilise ja vilgukivi-dielektrikuga reguleeritavad kondensaatorid leiavad üldist kasutamist võnkeringide järelhäälestamiseks *trimmer*- ja *lühenduskondensaatoritena*.

Peale tavaliste ühekordsete pöördkondensaatorite leiavad raadioseadmeis kasutamist veel *liit-pöördkondensaatorid*, milles kaks või enam kondensaatorit on mehaaniliselt ühendatud kokku ühisele raamistikule ja milles liidetud kondensaatorite mahtuvuse reguleerimine toimub ühise rootorite võlli abil. Seejuures rootorvõll võib olla elektriliselt ühendatud kõigi liidetud kondensaatorite rootorpakettidega või neist isoleeritud.

Vastavalt sellele, kuidas muutuvad üksikute liidetud kondensaatorite mahtuvused, eristatakse kahte liiki liit-pöördkondensaatoreid: *ühtseid* ja *diferentsiaalseid*. Esimesel juhul toimub kõigi liidetud kondensaatorite mahtuvuste muutumine rootorvõlli pööramisel rangelt ühise reegli järgi, s. o. võlli pööramisega teatud kraadide arvu võrra ühes või teises suunas suurenevad või vähenevad võrdselt koos kõigi liidetud kondensaatorite mahtuvused. Ühtseid liit-pöördkondensaatoreid valmistatakse kas kaksik-, kolmik- või nelik-kondensaatoritena.

Teisel juhul muutuvad kahe liidetud kondensaatori mahtuvused nende ühise rootorvõlli pööramisel vastupidiselt, s. o. ühe kondensaatori mahtuvuse suurenemisel teise kondensaatori mahtuvus väheneb. Seejuures säilitatakse harilikult mõlema kondensaatori mahtuvuste liitväärtus ligikaudu konstantsena.

Ühtseid liitkondensaatoreid kasutatakse vastuvõtjates ühenupu-häälestamise teostamiseks ja kaksikkondensaatoritena, nn. lõhestatud staatoriga kondensaatoritena saatjate võnkeringide sümmetreerimiseks. Diferentsiaalsete liitkondensaatorite kasutamine piirdub peaaegu eranditult tagasiside regulaatorina otsevastuvõtja detektorastmes.

IV peatükk.

MAGNETVÄLI.

15. Magnetvälja mõiste.

Peale elektrostaatiliste nähtuste, mis avaldusid välises keskkonnas elektronide viimisel liikumatusse, eriliselt pingestatud olukorda, ilmnevad magnetilised nähtused ümbritsevas keskkonnas elektronide keskendatud liikumise tagajärjel. Juhul, kui elektronide keskendatud liikumine piirdub keskkonna algosakestega, s. o. aatomites ja molekulides endis, on tegemist *püsivmagnetiliste nähtustega*. Kui aga elektronide keskendatud liikumine areneb aatomite ja molekulide vahel, s. o. elektrivooluna juhtmes või elektronide vihuna vaakumis, näit. katoodkiirtetorus ja elektronlambis, on tegemist *elektromagnetiliste nähtustega*.

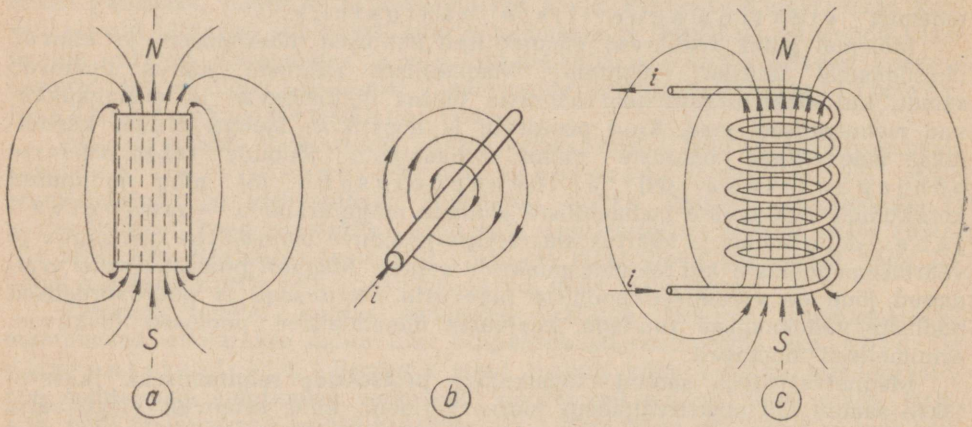
Mõlemal juhul avalduvad magnetilised nähtused ühesuguselt ja alluvad ühesugustele füüsika reeglitele. Magnetiliste nähtuste juures ilmnevad samuti kui elektrostaatilistegi nähtuste juures ligitõmbavad ja eemalelükkavad mehaanilised jõud. Kuid positiivse ja negatiivse laengu asemel käsitellakse magnetiliste nähtuste puhul mehaaniliste jõudude rakenduspunkte *põhjapoolusena* (N) ja *lõunapoolusena* (S) ning mõjutatud keskkonnas avalduvate mehaaniliste jõudude mõjupiirkonda — *magnetväljana*, mille suund ja väärtus määratakse avalduva mehaanilise jõu suuna ja väärtusega pooluste kui rakenduspunktide suhtes. Magneti pooluste vahel avalduvad jõud on võrdelised pooluste tugevuste korrutisega ja pöördvõrdelised pooluste vahekauguse ruuduga, kusjuures ühenimelised poolused tõukuvad, erinimelised tõmbuvad.

Magnetväljadega seotud füüsikaliste protsesside selgitamiseks kasutatakse samuti kui elektriväljadegi juures jõujooni, kuid erinevalt elektrivälja jõujoontest, mis algavad ja lõpevad vastasnimelistes laengutes, ei oma magnetvälja jõujooned algust ega lõppu, vaid on ringikujuliselt omaette suletud. Magnetringis oletatakse, et jõujooned väljuvad igas magnetringi osas põhjapoolusest ja suubuvad lõunapoolusesse, nagu on kujutatud püsivmagneti juures joonisel 5 *a*. Sääraseid jõujooni ei tule siiski kujutleda kui tegelikult eksisteerivaid materiaalseid jooni, vaid kui meetodit magnetiliste nähtuste piltlikuks selgitamiseks.

Magneteid iseloomustab veel nende pooluste säilivus. Nimelt selgub püsivmagneti poolitamisel, et poolitatud magneti osades säilivad endiselt põhja- ja lõunapoolused. See näitab, et magnetväli on alati seotud mõlema poolusega; üheainsa pooluse olemasolu on mõeldamatu. Kuna seesugune magnetipooluste säilivus ulatub tõenäoliselt kuni kõige väiksema kujuteldava magnetiosakeseni, siis tuleb arvata, et aine molekulid, mida haarab magnetiline mõjupiirkond, kujutavad ise miniatuurseid magneteid. Praegusaegsete tõekspidamiste kohaselt tiirlevad magneetimata, s. o. väliselt mõjutamata keskkonna aatomite elektronid aatomi tuuma ümber ja pöörlevad ka oma telje ümber igasugustes võimalikes pindades ja telgedel. Seetõttu magneetimata keskkonna üldine koond-magnetvälja tugevus võrdub nulliga, kuna mingis kujuteldavas suunas arendatav magnetväli neutraliseerub vastassuunaliselt arendatava magnetväljaga. Magneeditud olukorras muutub elektronide

liikumine suuremal või vähemal määral korrapäraseks: elektronide tiirlemine keskendub teatavaile ühtsesuunalistele telgedele.

Eeltoodu kohaselt on magnetvälja tekkimise eelduseks magnetis elektronide liikumise korrapärastamine ühtsesuunalistele telgedele aatomite või molekulide koosseisus. Sellest pole raske järeldada, et magnetilised nähtused peavad ilmnema ka vabade elektronide ühtsesuunalisel liikumisel kas vooluhtmes või elektronide vihuna vaakumis. Katsed näitavad, et vabade elektronide ühtsesuunalisel liikumisel tõepoolest tekib magnetväli, kusjuures kujuteldavad jõujooned paiknevad elektronide liikumissuunale risti asetsevail pindadel kontsentriliselt voolujuhtme (või elektronide vihu) ümber, nagu on näidatud joonisel 5 *b*. Magnetiliste jõujoonte ja elektrivoolu suunad on alati teineteisega kindlas sõltuvuses ja neid saab hõlpsasti kindlaks teha k o r g i-



Joon. 5. Magnetvälja kujutamine püsivmagneti (*a*), voolujuhtme (*b*) ja voolu läbiva pooli (c) juures. Magnetilised jõujooned väljuvad põhjanabast (*N*) ja suubuvad lõunanabasse (*S*). Voolujuhtme ümber asuvate jõujoonte suund määratakse korgitõmbaja-reegli järgi.

t õ m b a j a - r e e g l i järgi. Kui kujutleda, et korgitõmbaja pöörleb oma telje ümber nii, et ta liikumise suund ühtib voolusuunaga (s. o. vastupidi elektronide liikumise suunale), on ringitaoliste suletud magnetiliste jõujoonte suund ühtne korgitõmbaja pöörlemise suunaga.

Elektrivooluga seotud magnetväljade ilmnemist käsitletakse elektromagnetiliste nähtustena ja seadmeid, milles magnetvälju tekitatakse elektrivooluga, nimetatakse e l e k t r o m a g n e t i t e k s. Kuna magnetvälja tugevus ilmselt on võrdeline voolutugevusega, s. o. liikuvate elektronide arvuga, siis suurte keskendatud väljatugevuste saavutamiseks ei kasutata mitte üksikut pikka voolujuhet, vaid juhe keritakse mähisena p o o l i k s, milles kõrvuti asetsevate keerdude magnetväljad sel puhul summeeruvad. Kuna magnetvälja tekitavate elektronide üldarv võrdub üksikus poolikeerus kulgevate elektronide arvuga korrutatult pooli keerdude arvuga, sest järjestikuse vooluringi iga vaadeldava ristlõike pinda läbib vaatluse hetkel alati võrdne arv elektrone, siis pooli magneetimisergutust kui elektromagnetiliste nähtuste ilmnemise põh-

just tegelikult arvutataksegi voolutugevuse (I) ja pooli keerdude arvu (w) korrutisena — amperkeerdudena (Iw). Kooskõlas sellega on võimalik elektromagnetis tekitada kindla väärtusega magneetimisergutust soovi kohaselt kas väikese voolutugevusega ja suure keerdude arvuga või suure voolutugevusega ja väikese keerdude arvuga. Magnetvälja suund poolis määratakse sama korgitõmbaja-reegli järgi: pooli ots, millest jõujooned väljuvad ruumi, kujuneb samuti kui püsivmagnetigi juures põhjapooluseks, ja pooli ots, millesse ruumist suubuvad jõujooned — lõunapooluseks (joon. 5 *c*).

16. Magnetring.

Magnetiliste jõujoonte ringikujulise suletuse tõttu nimetatakse seda keskkonda, mis asub magnetilises mõjupiirkonnas, s. o. milles paiknevad magnetilised jõujooned, magnetringiks. Magnetringi ja elektrivooluringi mõistetes ning nende arvutusviisides on palju sarnasust. Ent samal ajal, kui elektrivoolu voolamise eelduseks on suletud vooluringi moodustamine, mille kaudu elektronid saavad liikuda, ei vaja magnetring säärast moodustamist, vaid ta kujuneb alati täiuslikuna, vaatamata keskkonna koosseisule ja iseloomule, sest magnetvälja suhtes pole olemas isolaatoreid.

Analoogiliselt elektrivooluringile vastavad magnetringis: elektromotoorsele jõule — magneetimisergutus Θ, elektrivoolule — magnetvoog Φ, takistusele — magnetiline tõkestus R_m. Samuti kui elektrivooluringis, kujuneb ka magnetringis seos nende väärtuste vahel:

$$\Phi = \frac{\Theta}{R_m}.$$

Kuna aga magnetringi arvutus on paljude muutlike tegurite tõttu mitmeti komplitseeritum kui elektrivooluringi arvutus, siis magnetvälja arvulisel määramisel kasutatakse veel täiendavaid iseloomustussuurusi.

Magnetvälja tekitamiseks vajalik magneetimisergutus Θ võrdub magnetpooli läbiva voolutugevuse (I) ja pooli keerdude arvu (w) korrutisega ning mõõdetakse amperkeerdudes (AK):

$$\Theta = Iw \quad \text{(AK)}.$$

Magnetvälja tihedust B arvutatakse mehaanilise jõu suuruse F järgi, mida avaldab magnetväli teda risti, kiirusega v, läbivale elektrilaengule Q, ja mõõdetakse voltsekundites ruutsentimeetri kohta (Vsek/cm^2):

$$B = \frac{F}{Q\,v} \quad \text{(Vsek/cm}^2\text{)},^1$$

milles F on avaldatud vattsekundites sentimeetri kohta $\left(\frac{\text{VAsek}}{\text{cm}}\right)$, Q — kulonites (Asek) ja v — sentimeetersekundites $\left(\frac{\text{cm}}{\text{sek}}\right)$, sest jõud ($F$) on võrdeline laengu suurusega (Q) ja laengu liikumise kiirusega (v). Magnetringi üldist magneetimisseisukorda määrab magnetvoog Φ, mida juhul, kui magnetvälja

[1] $\left[B\right] = \left[\frac{F}{Q\,v}\right] = \frac{\text{VAsek}}{\text{cm}} \cdot \frac{1}{\text{Asek}} \cdot \frac{\text{sek}}{\text{cm}} = \frac{\text{Vsek}}{\text{cm}^2}$.

tihedus (B) igas magnetringi ristlõikepinna S vaadeldavas punktis on ühtlane, arvutatakse

$$\Phi = BS \quad \text{(Vsek)}^1.$$

Magnetvoo mõõtühikuks, arvutatuna Vsek, on veeber (Wb). Vastavalt sellele magnetvälja tiheduse mõõtühikuks, arvutatuna Vsek/cm^2, kujuneb veeberite jagatis ruutsentimeetrile (Wb/cm^2).

Absoluutses mõõdusüsteemis vastavad loetletud mõõtühikuile järgmised mõõtühikud:

1 gilbert (Gb) $= \frac{10}{4\pi}$ AK (ümardatult 0,8 AK), ning

1 AK $= 0{,}4\pi$ gilbertit (Gb) (ümardatult 1,256 Gb),

1 gauss (G) $= 10^{-8}$ Vsek/cm^2, ning 1 Vsek/cm^2 $= 10^8$ gaussi (G),

1 maksvell (M) $= 10^{-8}$ Vsek, ning Vsek $= 10^8$ maksvelli (M).

Piltlikul kujutamisel käsitellakse magnetringis magnetvoogu jõujoonte üldarvuna ja magnetvälja tihedust — jõujoonte arvuna magnetringi ristlõikepinna 1 cm^2 kohta.

Magnetvälja tihedus igas vaadeldavas väljapunktis sõltub mitte ainult rakendatavast magneetimisergutusest, s. o. magnetpooli läbiva voolu tugevusest ja pooli keerdude arvust, vaid veel ka pooli kujust, mõõdetest, asetusest vaadeldava punkti suhtes ja magnetringi keskkonna omadustest. Amperkeerdude arvu, mis on tarvilik vajaliku magnetvälja-tiheduse tekitamiseks magnetringi pikkuse ühe sentimeetri kohta, nimetatakse magnetvälja tugevuseks ehk magneetimis-eriergutuseks H ning mõõdetakse amperkeerdudes sentimeetri kohta (AK/cm):

$$H = \frac{I w}{l} \quad \text{(AK/cm)}.$$

Absoluutses mõõdusüsteemis vastab

1 örsteed (Oe) $= \frac{1}{0{,}4\pi}$ (ümardatult 0,8) AK/cm ning

1 AK/cm $= 0{,}4\,\pi$ (ümardatult 1,256) örsteedi (Oe).

Magnetringi moodustava keskkonna mõju, sõltuvalt magneetimisergutusest arendatavale väljatihedusele selles keskkonnas, nimetatakse magnetiliseks läbitavuseks Π, mida mõõdetakse $\frac{\Omega\,\text{sek}}{\text{cm}}$ ehk henri/cm:

$$\Pi = \frac{B}{H} \left(\frac{\Omega\,\text{sek}}{\text{cm}}\right)^2.$$

Vaakumi magnetiline läbitavus Π_0 (praktiliselt ka õhu magnetiline läbitavus) võrdub

$$\Pi_0 = 0{,}4\pi \cdot 10^{-8} \text{ (ümardatult } 1{,}256 \cdot 10^{-8}\text{) (H/cm)}.$$

Tavaliselt kasutatakse arvutustes mitte aine tegelikku magnetilise läbitavuse

[1] $\left[\Phi\right] = \left[B\,S\right] = \frac{\text{Vsek}}{\text{cm}^2} \cdot \text{cm}^2 = \text{Vsek}.$

[2] $\left[\Pi\right] = \frac{[B]}{[H]} = \frac{\text{Vsek}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{\text{cm}}{\text{A}} = \frac{\Omega\,\text{sek}}{\text{cm}}$, kuna Ω sek kujutab ühtlasi induktiivsuse ühikut — henrit, siis võrdub ta H/cm.

väärtust, vaid ta suhet vaakumi magnetilise läbitavusega, mida nimetatakse aine **suhteliseks läbitavuseks** ehk **permeaabluseks** μ,

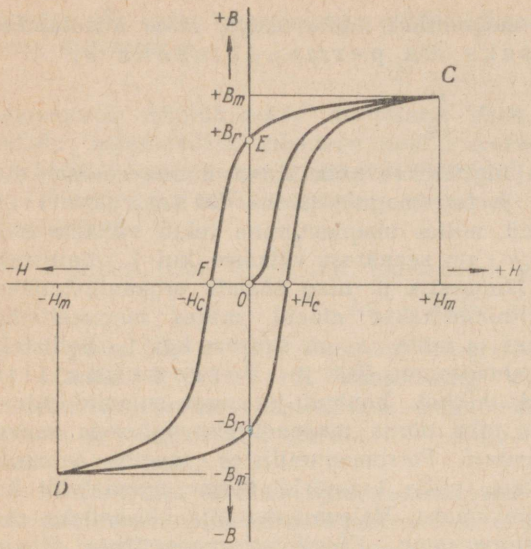
$$\mu = \frac{B}{B_0}.$$

Magnetilise läbitavuse suhtes liigitatakse kõik ained kolme rühma: diamagnetilisteks, paramagnetilisteks ja ferromagnetilisteks. **Diamagnetilisteks** nimetatakse sääraseid aineid, milles magneetimine tekib välisele väljale vastupidises suunas ja mille μ on seepärast väiksem kui 1. Sellisteks aineteks on vismut, kuld, hõbe, lämmastik jt. ning enamik orgaanilisi ühendeid. **Paramagnetilisteks** nimetatakse aineid, milles magneetimine toimub välise väljaga ühises suunas ja mille μ on suurem kui 1. Sellisteks aineteks on plaatina, mangaan, alumiinium, õhk jt. **Ferromagnetilisteks**, mille hulka kuuluvad raud, nikkel, koobalt ja nende sulamid, nimetatakse seesuguseid aineid, milles juba nõrga magneetimisergutusega saavutatakse kõrgeid magnetvälja tihedusi. Ferromagnetilistes ainetes aatomite magnetväljad liituvad välise väljaga, mille tagajärjel üldine magnetväli kujuneb välisväljast märgatavalt tugevamaks. Välismagnetvälja ülesandeks seejuures on vaid aatomite ümberorienteerimine. Kõigil ferromagnetilistel ainetel on permeaablus märgatavalt suurem kui 1. Alates kõrgsagedusrauaga, mille $\mu = 1{,}8 \ldots 12$, ulatuvad tavaliste elektrotehniliste rauasortide μ-d mitme tuhandeni ja erilistel raua-nikli sulamitel, nagu näiteks permalloy, mumetall (loe müümetall) jt., isegi kuni 100 000 ja enam.

Erinevalt dia- ja paramagnetilistest ainetest pole ferromagnetiliste ainete permeaablus püsiv suurus. Väljatiheduse *(B)* neis määrab mitte ainult väljatugevus *(H)*, vaid ta oleneb peale selle veel väljatugevuse hetkväärtustest ja ka väljatugevuse eelmistest väärtustest. Seejuures ei jää väljatihedus alati ühesuunaliseks väljatugevusega. Keskmistel väljatihedustel on ferromagnetiliste ainete permeaablus maksimaalne, väga kõrgetel väljatihedustel langeb permeaablus tunduvalt. Säärane muutumine seletub sellega, et ferromagnetilistes ainetes magnetvälja tihedus on võrdeline rakendatud magneetimis-eriergutusega (väljatugevusega) ainult võrdlemisi kitsastes piirides. Eriergutuse pideva tõstmisega omandavad magnetringi aine aatomid üha kindlamat korrapärasust, mis areneb seni, kuni praktiliselt kõik aatomid on ühesuunaliselt „ümber rivistunud". Säärast olukorda nimetatakse **magnetiliseks küllastumiseks**. Eriergutuse edaspidisel suurendamisel tõuseb magnetvälja tihedus ainult aatomitevahelise vaakumi magneetimise arvel, kusjuures magnetringi permeaablus läheneb 1-le.

Joonisel 6 on kujutatud väljatiheduse B muutumine sõltuvalt eriergutuse H muutumisest. Eriergutuse esialgsel rakendamisel tõuseb väljatihedus punktist O algul aeglaselt. Seejärel muutub tõus järsuks ning ligikaudu lineaarseks, mis kestab seni, kui algab magnetiline küllastumine (punkt C, kus eriergutusele $+H_m$ vastab väljatihedus $+B_m$). Kõverjoont OC, mis kujutab ferromagnetiliste ainete magneetimiskäiku, nimetatakse **magneetimiskõveraks**.

Eriergutuse H vähendamisel väärtuselt $+H_m$ ei lange väljatihedus B enam endist kõverjoont mööda, vaid aeglasemalt. Eriergutuse täielikul katkestamisel, s. o. kui $H=0$, jääb alale **jääk-väljatihedus** (remanentne



Joon. 6. Hüstereesisilmus.

väljatihedus) $+B_r$, mille nulliseks muutmiseks on vaja muuta ergutuse suunda ja mis hävineb alles vastassuunalise ergutuse väärtuse $-H_c$ juures. Seesugust vastassuunalist eriergutust $-H_c$, mis on tarvilik jääk-väljatiheduse hävitamiseks, nimetatakse **pidurdus- ehk koertsitiivjõuks**.

Eriergutuse edasisel suurendamisel muudab suunda ka väljatihedus, lähenedes küllastuspunkti D eriergutuse väärtusel $-H_m$. Eriergutuse vähendamisel kulgeb väljatihedus mööda kõverat D—B, ja eriergutuse suunda uuesti muutes, edasi H_cC.

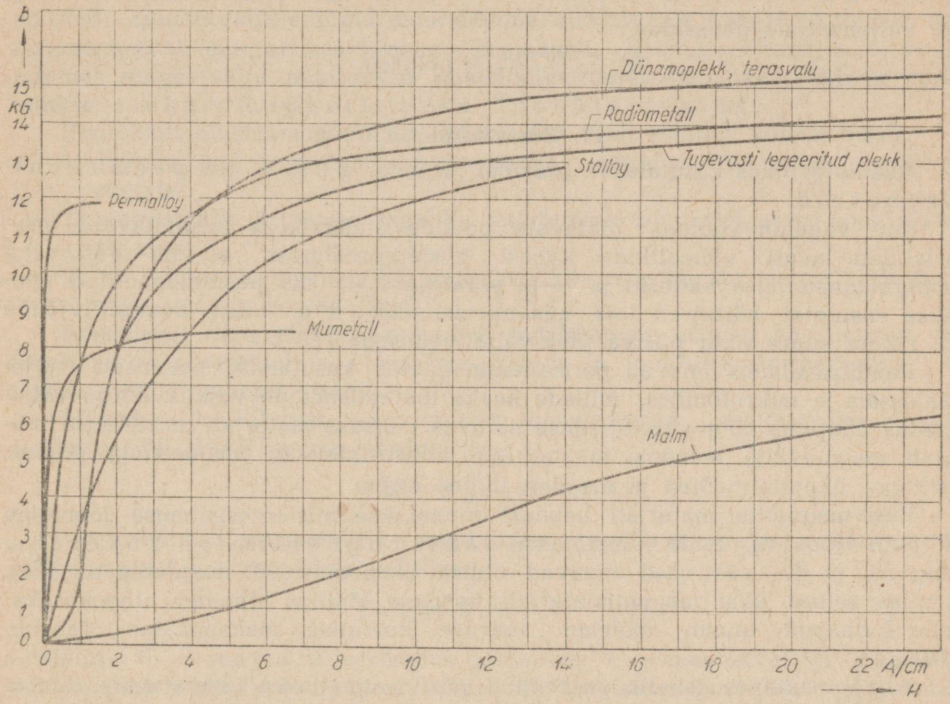
Ferromagnetiliste ainete ümbermagneetimisel kujunevat, väljatihedust eriergutusega siduvat silmusekujulist kõverjoont nimetatakse **hüstereesisilmuseks**. Sellest hüstereesisilmust moodustavast kõverjoonest, mille tõus kujutab magneeditava aine permeaablust $\left(\frac{B'}{H} = 1{,}256\,\mu\right)$[1], selgub, et ferromagnetiliste ainete permeaablus muutub mitte ainult magneetimis-eriergutuse väärtusega, vaid sõltub ühtlasi ka sellest, millist magneetimissuunda ning väärtust oli rakendatud eelmisel magneetimisel. Seda magnetvälja muutumise hilinemise nähtust magneetimisergutuse suhtes nimetatakse ferromagnetiliste ainete juures **magnetiliseks hüstereesiks**.

Jääk-magnetvälja viimiseks nullisele väärtusele tsükliliselt, nagu see toimub vahelduvvooluga ergutamisel, tekib paratamatult energiakadu, mis magnetimaterjalis muundub soojuseks ja mida peab katma vooluallikas. Seda liiki kadusid, mida graafiliselt kujutab hüstereesisilmusega ümbritsetav pindala, nimetatakse hüstereeskadudeks. Need kaod on seda suuremad, mida suurem on jääk-väljatihedus ja mida suurem on pidurdusjõud. Ühtlasi suurenevad hüstereeskaod ümbermagneetimise sagedusega. Vahelduvvooluga ergutatavais seadmetes kasutatavailt magnetimaterjalidelt nõutakse väikesi hüstereeskadusid, millisele tingimusele paremini vastavad lisaaineist (C, S, P) puhtad rauasordid. Eriti vastutusrikastes kohtades, kus kadude vähendamine on eriti oluline, kasutatakse raua-nikli sulameid nagu permalloy, mumetall, perminvar jt.

Eeltoodust selgub, kuivõrd oluline on magnetväljade põhimõttel toimivate seadmete arvutamisel teada magnetimaterjalide omadusi. On vähe, kui teada ainult teatava materjali magneetimiskõverat, millest nähtuvad lineaarsed ja ebalineaarsed seospiirid B ja H vahel ja mille järgi pole raske arvutada iga

[1] B on mõõdetud gaussides ja H amperkeerdudes cm kohta.

üksiku punkti kohta vastavat permeaabluse väärtust. Eri materjalide magnetilised andmed erinevad üksteisest tunduvalt, seepärast on tarvilik tunda vähemalt tähtsamaid neist. Peale selle on oluline teada magnetimaterjalide hüsterees- ja pöörisvoolu-kadude (B 19) ja teatavail puhkudel veel ringpermeaabluse (B 21g) väärtusi. Joonisel 7 on toodud tähtsamate magnetimaterjalide magneetimiskõverad.



Joon. 7. Poolide (paispoolide, trafode) südamikeks kasutatavate rauasortide magneetimiskõveraid. Tavalisemaiks materjalideks on dünamoplekk ja legeeritud plekk. Eriti kõrget maksimaalset permeaablust omavad suure niklisisaldusega sulamid — permalloy ja mumetall (μ kuni 100 000). Võrdluseks on graafikul toodud malmi magneetimiskõver.

Kooskõlas eelnevaga tuletub magnetringi arvutamisel magnetringi tõkestus

$$R_m = \frac{l}{\Pi_0 \mu S} \left(\frac{1}{\text{henrit}}\right),$$

milles l — magnetringi või selle osa pikkus cm, Π_0 — vaakumi läbitavus $0{,}4\pi \cdot 10^{-8}$ H/cm, μ — magnetringi aine permeaablus, S — magnetringi ristlõike pindala cm^2. Kui magnetring koosneb mitmest eri ainest lõigust, või ühest ning samast ainest, kuid erineval väljatihedusel toimivaist lõikudest, leitakse iga üksiku lõigu kohta magnetiline tõkestus eraldi, mille algebraline summa moodustab magnetringi tõkestuse koondväärtuse.

$$R_m = R_{m_1} + R_{m_2} + R_{m_3} + \ldots$$

Magnetringi magnetvoog arvutatakse

$$\Phi = \frac{\Theta}{R_m} = \frac{Iw}{R_m} \quad \text{(Vsek)}$$

ning magnetvälja tihedus

$$B = \Pi H = \frac{\Pi Iw}{l} = \frac{0{,}4\,\pi\,\mu\,Iw\,10^{-8}}{l} \quad \text{(Vsek/cm}^2\text{)}$$

või väljendatuna gaussides

$$B' = \frac{0{,}4\,\pi\,\mu\,Iw}{l} \text{ (gaussi).}$$

17. Püsivmagnetid.

Raadiotehnikas kasutatakse paljudel juhtudel püsiv- ehk permanentmagneteid.

Kui vahelduvvooluga töötavate poolide südamikeks kasutatavailt materjalidelt nõuti võimalikult kitsast hüstereesisilmust, et viia väikeseks ümbermagneetimise kadusid ja tõsta permeaablust, siis püsivmagnetitelt nõutakse vastupidi äärmiselt laia hüstereesisilmust, s. o. suurt koertsitiivjõudu (H_c) koos suure ning püsiva jääk-väljatihedusega (B_r).

Raadioseadmeis leiavad permanentmagnetid kasutamist peamiselt valjuhääldajais ja mikrofonides, millede heaks töötamiseks on vajalik kõrge väljatihedus õhupilus ning väljatiheduse säilivus. Lisaks materjali omadustele mõjutab magnetvälja omadusi magnetringi konstruktsioon: magnetringi pikkus, ristlõige, õhupilu mõõted ja magneti üldine kuju.

Püsivmagnetite materjali headust hinnatakse hüstereesisilmuse joonlõigu EF järgi (joon. 6), mida nimetatakse lahtimagneetimise kõveraks. Kuigi H_c ja B_r väärtused annavad üldise iseloomustuse magnetimaterjalist, ei piisa sellest üksi magnetimaterjali headuse lõpliku hinnangu tegemiseks. Selle hinnangu annab mõlema suuruse korrutise maksimaalne väärtus $(HB)_{max}$.

Allpool antavas tabelis on toodud püsivmagnetiteks kasutatavate tähtsamate magnetimaterjalide võrdlusandmed.

Nagu nähtub tabelist, asuvad oma magnetiliste omaduste poolest esikohal koobalt-, alumiinium-nikkel- ja alumiinium-nikkel-koobaltterased, milledest viimaseid kahte kasutatakse praegusel ajal peaaegu eranditult valjuhääldajate püsivmagnetite valmistamiseks.

TABEL I.

Püsivmagnetite materjale.

Materjal	Koertsitiivjõud H_c (A/cm)	Jääk-väljatihedus B_r (G)	Korrutis $(HB)_{max}$	Omadusi
Süsinikteras	44	8 500	150 000	Põrutuste mõjul ebapüsiv
Kroomteras	64	10 400	343 000	Vastupidav
Volframteras	68	10 800	360 000	Põrutustele vähetundlik
Kroom-koobaltteras	159	8 300	560 000	Püsiv
Koobaltteras	244	9 330	1 000 000	Püsiv
ALNI	455	6 020	1 160 000	Püsiv
ALNICO	750	6 100	1 540 000	Püsiv

18. Elektromagnetiline induktsioon.

Samuti kui elektriväli, kujutab ka magnetväli endast potentsiaalset energiat, mille ülesehitamine on seotud energia kuluga. Elektrivoolu toimel kord tekkinud magnetvälja alalhoiuks lisaenergiat enam ei kulu, elektrivoolu katkemisel magnetväljas varutud energia muundub uuesti elektrivoolu energiaks. Elektrivoolu energia muundumine magnetvälja energiaks, ja ümberpöördult, magnetvälja energia muundumine elektrivoolu energiaks toimub siis, kui magnetväli muutub kas ruumis või ajaliselt. Viimast nähtust, s. o. voolujuhtmes magnetvälja muutumise toimel elektromotoorse jõu tekkimist nimetatakse elektromagnetiliseks induktsiooniks.

Tegelikult elektromagnetiline induktsioon võib esineda kolmel viisil:

1) juhtme ja magnetvälja vastastikuse suhtelise liikumise tagajärjel ruumis;
2) magnetvälja tugevuse tegeliku muutumise tagajärjel ajas, voolujuhtme piirides;
3) nii juhtme ja magnetvälja suhtelise liikumise kui ka magnetvälja tugevuse muutumise tagajärjel.

Praktiliselt neid elektromagnetilise induktsiooni nähtusi kasutatakse vastavalt elektrigeneraatoreis, transformaatoreis ja pöördtransformaatoreis ning teistes vahelduvvoolumasinais.

Magnetväljas liikuvas voolujuhtmes (generaatoris) indutseeruva elektromotoorse jõu (EMJ) suurus võrdub

$$E = B'lv \cdot 10^{-8} \text{ (V)}.$$

Voolujuhtmes magnetvälja muutumise tagajärjel (trafos) indutseeruva EMJ-i suurust E arvutatakse voltides:

$$E = 4{,}44\ B'Sfw \cdot 10^{-8} \text{ (V)}.$$

kusjuures B' — magnetvälja tihedus gaussides, l — magnetväljast mõjutatud juhtme pikkus cm, v — juhtme liikumiskiirus risti magnetilistele jõujoontele cm/sek, S — magnetringi ristlõige cm^2, f — magnetvälja tsükliliste muutumiste arv 1 sekundi vältel, w — magnetväljast mõjutatud juhtmekeerdude arv.

Indutseeritud pingest tekkinud vool põhjustab omakorda uue välja tekkimist, mis on suunalt vastupidine algmagnetväljale ning avaldub juhtme liikumist tõkestava mehaanilise jõuna. Säärase mehaanilise jõu avaldumine on arusaadav energia jäävuse seaduse alusel, sest indutseeritav elektrivoolu energia ei saa tekkida iseenesest, vaid juhtme liikumiseks kulutatava mehaanilise energia muundumise arvel.

Kui mõjutatav juhe püsib muutlikus magnetväljas, nagu see esineb transformaatori juures, siis indutseeritud voolust tekkiv vastupidine magnetväli nõrgendab algmagnetvälja, mille kompenseerimiseks omakorda kulub täiendavalt elektrivoolu algenergiat, vastavalt indutseeritud energia hulgale.

19. Elektrivoolu energia muundumine.

Samuti kui mehaaniline energia magnetvälja toimel muundub elektrivoolu energiaks, võib ka elektrivoolu energia muunduda mehaaniliseks energiaks.

Kui paigutada püsivasse magnetvälja voolu all olev juhe, siis tekib püsiva magnetvälja ja voolujuhtme ümber oleva magnetvälja vahel mehaaniline jõud, mis on suunatud sääraselt, et ta püüab säilitada endist olukorda, mille tagajärjel voolu all olev juhe hakkab liikuma risti magnetväljale. Seda põhimõtet rakendatakse elektrimootorites, kus samuti kui generaatoriteski mehaanilise võimsuse väliseks ülekandmiseks antakse voolujuhtmete süsteemile roteeriv kuju.

Nii generaatori kui ka mootori puhul on mehaanilise ja elektrivoolu energia vastastikune muundumine kindlas sõltuvuses teineteisest — mehaanilise võimsuse ühik hobujõud on

$$1 \text{ HJ} = 0{,}736 \text{ kilovatti (kW)}$$

ja elektrivoolu võimsuse ühik kilovatt on

$$1 \text{ kW} = 1{,}36 \text{ hobujõudu (HJ)}.$$

Muundumisprotsessil loomulikult läheb osa rakendatavast võimsusest kaotsi muunduskadudena voolujuhtmes (vases), magnetringis (rauas) ja mehaanilises hõõrdumises (laagrites), muutudes soojuseks.

Kuna elektromotoorne jõud indutseerub voolujuhtmes, kui voolujuhet mõjutab muutlik magnetväli, siis pole sugugi oluline, et voolujuhtmeks alati oleks elektrigeneraatori või trafo voolumähised, vaid sellisteks voolujuhtmeteks võivad olla igasugused muutliku magnetvälja mõjupiirkonnas asetsevad metallesemed. Olenevalt oma mõõdetelt kujutavad seesugused metallesemed endist alati kas suurema- või väiksemaulatuslikke vooluringe, milles indutseeritud EMJ tagajärjel arenevad kohalikud, nn. p ö ö r i s v o o l u d. Neid voolusid üldiselt tuleb pidada kahjulikuks nähtuseks, sest nendele kasutatud võimsus kulub, kasulikku tööd sooritamata, metallesemete takistuses soojuseks. Seepärast kõikjal, kus kahjulike pöörisvoolude tekkimine on võimalik, nagu näiteks elektrimasinate ja trafode raudkehades, võetakse ette abinõud nende kadude vähendamiseks võimaliku miinimumini. Sellisteks abinõudeks on: 1) lõhestada raudkeha materjal risti pöörisvoolude suunale õhukesteks, harilikult 0,35 ... 0,5 mm paksusteks lehtedeks ja isoleerida lehed üksteisest õhukese paberi, laki jne. kihiga, 2) tõsta raua elektrilist takistust, mida saavutatakse praktiliselt räni lisamisega rauasulamisse 1 ... 5% piirides. Selline räni lisamine ei halvenda praktiliselt raua magnetilisi omadusi, kuid suurendades rauamaterjali takistust vähendab märgatavalt pöörisvoolude kadusid. Vastavalt ränisisaldusele eristatakse kodumaisi elektrimasinate ja trafode lehtterase sorte markidena EC1 ... EC4, milles margi number näitab ühtlasi ränisisalduse protsenti rauas.

Samalaadsed pöörisvoolud tekivad metallesemetes samuti ka kõrgsageduslike magnetväljade toimel, kus kadude vähendamise võimalused on avaramad (lähemalt B 41).

20. Induktiivsus.

Eespool käsitlesime elektromotoorse jõu indutseerumist magnetvälja mõjupiirkonda paigutatud juhtmes. Tegelikult aga tekivad elektromagnetilise induktsiooni nähtused mitte ainult magnetvälja mõjupiirkonda paigutatud

juhtmes, vaid samuti algmagnetvälja tekitavas voolujuhtmes endas voolutugevuse muutmise, s. o. magnetvälja tugevuse muutmise kestel. Kuna säärased elektromagnetilise induktsiooni nähtused toimuvad voolujuhtmes endas, siis kutsutakse neid ka omainduktsioonilisteks ehk lihtsamalt induktiivsuslikeks nähtusteks ning voolujuhtme induktiivsuslike omaduste kompleksi — induktiivsuseks. Seejuures juhtmes endas tekkivate indutseeritud EMJ-de suund on säärane, et nad püüavad säilitada juhtme normaalset elektrilist olukorda: voolutugevuse suurenemisel nad on suunatud vastu alg-EMJ-le, takistades voolutugevuse tõusu vooluringis, voolutugevuse vähenemisel — ühesuunaliselt alg-EMJ-ga, säilitades endist voolutugevust.

Induktiivsust võib käsitada kui elektrivoolu inertsi, kuna voolu suurenemisel osa vooluenergiat muundub täiendava magnetvälja ülesehitamiseks, mis püsib magnetvälja energiana seni, kuni voolutugevus ühel või teisel põhjusel vooluringis langeb, ja muundub siis uuesti elektrivooluks ning liitub algvooluga.

Indutseeritav EMJ on võrdeline voolutugevuse muutmise määraga, s. o. voolutugevuse muutmise ulatuse ja kiirusega. Peale selle sõltub indutseeritav EMJ vooluringist ja teda ümbritsevast keskkonnast, nagu juhtme pikkusest, läbimõõdust ning paigutusviisist ja magnetringi mõõdetest ning ainest, mis antud vooluringi puhul evivad püsivat suurust ning mida seetõttu võib nimetada selle vooluringi iseloomustussuuruseks — induktiivsusteguriks või lihtsalt induktiivsuseks L.

Seega vooluringis indutseeruv EMJ on võrdeline induktiivsusega ja voolutugevuse muutumisega vaadeldava ajaühiku vältel:

$$E = -L\,\frac{\Delta I}{\Delta t}\ \text{(V)}.^{1}$$

Kui voolutugevuse muutuse tagajärjel vooluringis ühes sekundis ühe ampri võrra indutseeruv EMJ võrdub ühe voldiga, on vooluringi induktiivsus üks henri (H).

Rööbiti induktiivsuse algühikuga (henri) leiavad praktilist kasutamist tuhat korda väiksem ühik — millihenri (mH) ja miljon korda väiksem ühik — mikrohenri (μH).

Voolutugevuse suurendamisel mõjub alg-EMJ-le vastupidiselt indutseeruv EMJ, mille ületamiseks on tarvis kulutada osa elektrienergiast. See kulutatud energia läheb täiendava magnetvälja loomiseks ja kujutab endast varutud energiat, mis elektrivoolu vähenemisel uuesti elektrienergiana voolujuhtmesse tagasi kandub.

Võttes voolumuutuse keskväärtuseks $\frac{I}{2}$ amprit ja indutseeruva EMJ keskväärtuseks $L\frac{I}{t}$ volti, kujuneb magnetvälja ülesehitamiseks vajalik keskmine võimsus

$$P_L = \frac{I}{2}\,\frac{LI}{t} = \frac{1}{2}\,\frac{LI^2}{t}\ \text{(vatti)}$$

ja varutud energia

$$W_L = P_L\,t = \frac{1}{2}\,LI^2\ \text{(vatt-sekundit)}.$$

[1] Miinusmärk avaldises näitab seda, et indutseeruv pinge avaldub vastupidiselt voolu muutumisele.

21. Poolide ja juhtmete induktiivsus.

a) Poolide liigitus. Nagu eelmises punktis mainitud, sõltub juhtme induktiivsus voolujuhtme enda ja magnetringi omadustest. Juhtme pikendamisega induktiivsus suureneb, juhtme läbimõõdu suurendamisega — väheneb. Teatud pikkusega juhtme mähkimisel poolina, seega ta magnetvälja keskendamisel, tõuseb induktiivsus tunduvalt. Seepärast praktiliselt kasutatavaid, keskendatud induktiivsusega vooluringi lülisid tuntaksegi üldnimetuse all — p o o l i d.

Pooli induktiivsus sõltub keerdude arvust, pooli pikkusest ja läbimõõdust ning pooli südamikuks kasutatava aine magnetilisest läbitavusest (õhk, raud). Keerdude arvu ja läbimõõdu suurendamisega pooli induktiivsus tõuseb, pooli pikkuse suurendamisega üldiselt langeb.

Kasutamisotstarbe järgi jagunevad poolid kahte pearühma:

h ä ä l e s t u s p o o l i d, milledelt nõutakse, et nad omaksid induktiivsust võimalikult puhtal kujul, s. o. minimaalse elektrilise takistuse ja mahtuvusega ning väikeste kadudega, ja

p a i s p o o l i d, milledes takistuse ning kadude äärmine piiramine tavaliselt ei oma esmajärgulist tähtsust, kuid milledes on oluline väike sisemahtuvus.

Ehitusviisi järgi võib poole jaotada
kõrgsageduspoolideks ja
madalsageduspoolideks.

Madalsageduspoolid ehitatakse peaaegu eranditult raudsüdamikule, kuna kõrgsageduspoolid, milledelt nõutakse äärmiselt väikesi kadusid, mähitakse erilistele kaovaesest materjalist (nagu immutatud presspapist, keraamilistest ainetest ja trolituulist) poolialustele kas õhksüdamikpoolidena või paigutatakse poolid erilisest pulbristatud rauast valmistatud kõrgsagedusrauast (ferrokardist) südamikele.

Kõigis alljärgnevais poolide arvutusis on induktiivsused väljendatud mikrohenrides, mõõted — sentimeetrites.

b) Sirge ümmarguse vaskjuhtme induktiivsus. Sirge ümmarguse vaskjuhtme induktiivsus, kui tagasitulev juhe asub kaugel, arvutatakse

$$L = 0{,}002\ l\ (2{,}303\ \log \frac{4l}{d} - 1 + \delta) \quad (\mu\text{H}),$$

milles l — juhtme pikkus, d — juhtme läbimõõt, δ on tegur, sõltuv juhtme läbimõõdust ja sagedusest.

TABEL II.

δ väärtusi induktiivsuste arvutamiseks.

Juhtme läbimõõt mm	δ suurused sagedustel		
	$f = 10^6$ (Hz)	$f = 10^7$ (Hz)	$f = 10^8$ (Hz)
0,1	0,249	0,195	0,066
0,2	0,237	0,102	0,033
0,5	0,125	0,042	0,013
1,0	0,066	0,022	0,007
2,0	0,032	0,011	0

c) Kahe rööbitise ümmarguse vaskjuhtme induktiivsus. Kahe paralleelse juhtme puhul, milledes voolud kulgevad vastassuundades, juhtmete pikkusel l, juhtmete läbimõõduga d ja vahekaugusega juhtmete tsentrumite vahel D, arvutatakse juhtmete induktiivsus

$$L = 0{,}004\ l \left(2{,}303 \log \frac{2D}{d} - \frac{D}{l} + \delta\right) \quad (\mu\text{H}).$$

d) Uhekihilise õhksüdamikuga silinderpooli induktiivsus. Uhekihilise õhksüdamikuga silinderpooli induktiivsus arvutatakse

$$L = \frac{0{,}0395 r^2 w^2}{b} k \quad (\mu\text{H}) \text{ ning}$$

$$w = \frac{5{,}03}{r} \sqrt{\frac{Lb}{k}},$$

milles r — pooli raadius mõõdetuna pooli ja juhtmete tsentrumite vahel, w — keerdude arv, b — pooli (mähise) pikkus ja k — kujutegur, mis tuletub pooli läbimõõdu ja pikkuse suhtest; kujuteguri k suurused on toodud järgnevas tabelis ja graafiliselt joonisel 8.

TABEL III.

Pooli kujuteguri k väärtusi.

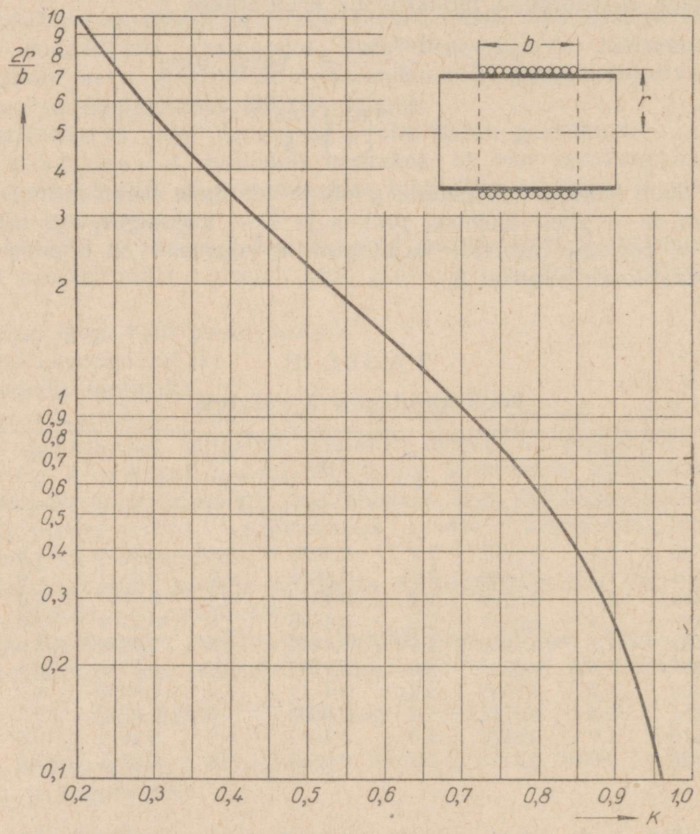
$\frac{2r}{b}$	k	$\frac{2r}{b}$	k	$\frac{2r}{b}$	k	$\frac{2r}{b}$	k	$\frac{2r}{b}$	k
0,1	0,9588	1,1	0,6673	2,2	0,5025	4,0	0,3654	6,8	0,2633
0,2	0,9201	1,2	0,6475	2,4	0,4816	4,2	0,3551	7,0	0,2584
0,3	0,8838	1,3	0,6290	2,46	0,4758	4,4	0,3455	7,4	0,2491
0,4	0,8499	1,4	0,6115	2,6	0,4626	4,6	0,3364	7,8	0,2406
0,5	0,8181	1,5	0,5950	2,8	0,4452	4,8	0,3279	8,0	0,2366
0,6	0,7885	1,6	0,5795	3,0	0,4292	5,0	0,3198	8,5	0,2272
0,7	0,7609	1,7	0,5649	3,2	0,4145	5,4	0,3050	9,0	0,2185
0,8	0,7351	1,8	0,5511	3,4	0,4008	5,8	0,2916	9,5	0,2106
0,9	0,7110	1,9	0,5379	3,6	0,3882	6,0	0,2854	10,0	0,2033
1,0	0,6884	2,0	0,5255	3,8	0,3764	6,4	0,2739	15,0	0,1527

Optimaalne, s. o. antud juhtme pikkuse juures maksimaalse induktiivsusega silinderpool saadakse siis, kui mähise läbimõõdu suhe mähise pikkusega võrdub 2,46. See suhe ei ole väga kriitiline, kuid induktiivsus langeb võrdlemisi järsult, kui suhe on palju väiksem optimumist.

Näide: Arvutada ühekihilise õhksüdamikuga silinderpooli induktiivsus, kui poolialuse ⌀ on 2,6 cm, mähis koosneb 18 keerust 2-kordse siidisolatsiooniga 0,5 mm läbimõõduga traadist ja mähise pikkus on 1,08 cm.
Toodud valemi järgi

$$L = \frac{0{,}0395\ r^2 w^2}{b} k \quad (\mu\text{H}).$$

Eeltoodud kujuteguri tabelist (või graafikust joon. nr. 8) leiame k, mis tuletub $2r/b$ suhtest; käesoleval juhul $2r$ = poolialuse läbimõõt + traadi läbimõõt koos isolatsioonikattega = $2{,}6+0{,}06=2{,}66$ cm. $b = 0{,}06 \cdot 18 = 1{,}08$ cm; $\frac{2r}{b}=\frac{2{,}66}{1{,}08}=2{,}46$, seega optimaalne, millele vastab $k = 0{,}4758$. Asendades väärtused, saame $L=\frac{0{,}0395 \cdot 1{,}33^2 \cdot 18^2}{1{,}08}\,0{,}4758 = 9{,}98\ \mu H$, seega $\approx 10\ \mu H$.



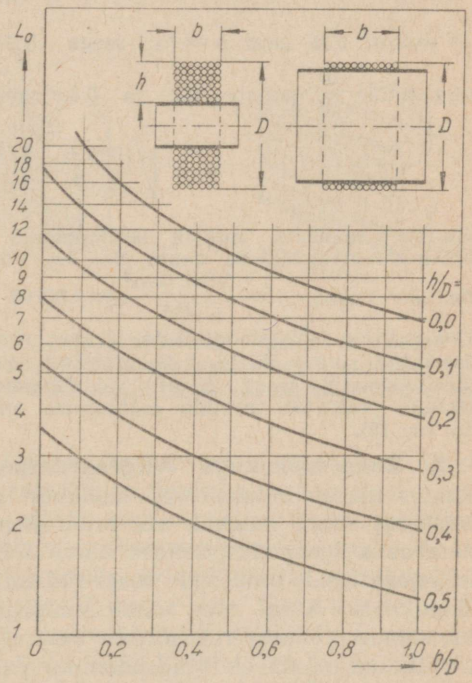
Joon. 8. Graafik ühekihilise õhksüdamikuga silinderpooli kujuteguri k leidmiseks. Vertikaalteljele on paigutatud mähise keskmise läbimõõdu suhe mähise pikkusega $2r/b$, horisontaalteljele pooli kujuteguri k vastavad väärtused.

e) Mitmekihilise õhksüdamikuga silinderpooli induktiivsus. Mitmekihilise õhksüdamikuga silinderpooli arvutamiseks võib kasutada lihtsustatud valemit

$$L=\frac{L_o w^2 D}{1000}\ (\mu H) \text{ ning } \quad w=\sqrt{\frac{1000\ L}{L_o D}},$$

milles L_o on pooli kujutegur ja on toodud järgnevas tabelis ning graafiliselt joonisel 9, w — keerdude arv, D — pooli üldine läbimõõt. L_o leidmiseks on tarvis teada mähise pikkuse ja üldläbimõõdu suhet $\frac{b}{D}$ sõltuvalt mähise kõrguse ja üldläbimõõdu suhtest $\frac{h}{D}$. Tabel ja graafik on ühtlasi kasutatav ka ühekihilise silinderpooli induktiivsuse arvutamiseks, kui suhe $\frac{h}{D}$ võtta võrdseks nulliga (kõver 0,0). Kuna mitmekihilise pooli induktiivsus sõltub õige tunduvalt veel mähkimisviisist (ristmähis, tihemähis jne.), siis käesolev arvutusmeetod annab ainult keskmised lihtsustatud väärtused, mis praktikas on küllaldased.

Mitmekihilise silinderpooli valmistamisel tuleb silmas pidada seda, et mitmekihiline silinderpool evib maksimaalset induktiivsust siis, kui mähise ristlõige on ruudukujuline, s. o. $b = h$. Ruudukujulise mähise ristlõike puhul on induktiivsus maksimaalne, kui mähise keskmise läbimõõdu D_c ja mähise kõrguse h suhe $\frac{D_c}{h}$ (joon. 9 järgi $\frac{D-h}{h}$) võrdub 3,02, s. o. $D = 4{,}02\ h$ või $h = 0{,}249\ D$.



Joon. 9. Graafik mitmekihilise õhksüdamikpooli kujuteguri L_o leidmiseks. Horisontaalteljele on paigutatud mähise pikkuse ja läbimõõdu suhe b/D, vertikaalteljele pooli kujuteguri L_o vastavad väärtused olenevalt mähise kõrguse ja mähise läbimõõdu h/D suhtest. Graafik on kasutatav niihästi ühe- kui ka mitmekihiliste poolide arvutamiseks, kusjuures suhe h/D ühekihiliste poolide juures võrdub nulliga (kõver 0,0). Graafikul toodud mitmekihilise ja ühekihilise pooli mõõdete suhted on optimaalsed, s. o. antud juhtmepikkuse juures saavutatakse maksimaalne induktiivsus.

Joonisel 9 näidatud mitme- ja ühekihilise pooli mõõdete suhted on optimaalsed.

TABEL IV.

Pooli kujuteguri L_o väärtusi.

D — pooli üldläbimõõt, b — mähise pikkus, h — mähise kõrgus.

$\frac{h}{D}$ \ $\frac{b}{D}$	0,000	0,125	0,250	0,375	0,500	0,625	0,750	1,0	1,5	2,0
0,0	∞	18,68	14,43	12,02	10,37	9,167	8,213	6,795	5,062	4,038
0,1	17,46	12,92	10,52	8,93	7,78	6,90	6,28			
0,2	11,51	9,10	7,58	6,49	5,68	5,00	4,50			
0,3	7,82	6,33	5,31	4,57	4,00	3,59				
0,4	5,26	4,27	3,59	3,08	2,69	2,48				
0,5	3,48	2,82	2,37	2,03	1,78	1,62				

Näide: Arvutada õhksüdamikuga mitmekihiline silinderpool vahesagedustrafole, kui on antud, et pooli $L = 1120\,\mu$H, $D = 2{,}5$ cm, $b = h = 0{,}625$ cm (seega mõõted ligikaudu optimaalsed).

Arvutame kõigepealt pooli kujuteguri L_o. Suhe $\frac{b}{D} = \frac{0{,}625}{2{,}5} = 0{,}25$; suhe $\frac{h}{D}$ = samuti 0,25 (sest $b = h$); seega L_o tuletub $\frac{b}{D}$ suhte 0,250 tulbast ja omab keskväärtust $\frac{h}{D}$ suhete 0,2 ja 0,3 vahel, s. o. $L_o = \frac{7{,}58 + 5{,}31}{2} \approx 6{,}45$. Edasi

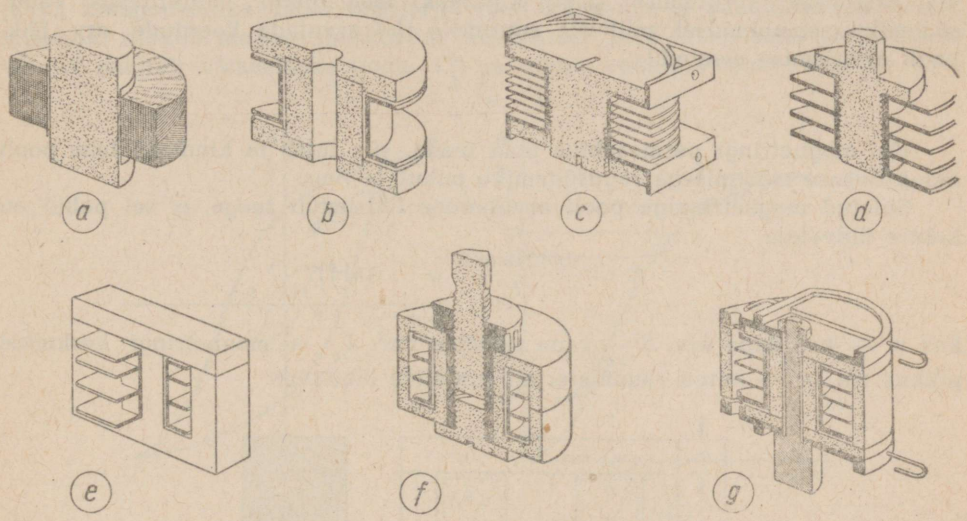
$$w = \sqrt{\frac{1000\,L}{L_o\,D}} = \sqrt{\frac{1000 \cdot 1120}{6{,}45 \cdot 2{,}5}} \approx 264.$$

Jääb veel määrata, millise läbimõõduga traat täidab parajasti ülesandes antud mähise ruumi. Mähise ruum $S = bh = 0{,}625 \cdot 0{,}625 = 0{,}391$ cm^2; 1 keeru kasutada olev ruum $s_1 = \frac{0{,}391 \text{ cm}^2}{264} \approx 0{,}00148$ cm^2 ehk 0,148 mm^2, millesse mahuks neljakandiline isolatsioonikihita traat ristlõike küljega $a = \sqrt{0{,}148} = 0{,}385$ mm. Ettenähtud ruumi täielikul kasutamisel osutub sobiveks traadiks 0,3 mm email- + siidisolatsiooniga traat. Email- või siidisolatsiooniga traatide puhul on otstarbekam kasutada praktilisi traatide mähkimise andmeid, mis on toodud traatide tabelis (lisa nr. 18).

f) Raudsüdamikuga kõrgsageduspoolide induktiivsus. Raudsüdamikuga poolides tõuseb induktiivsus tunduvalt raua kõrge permeaabluse tõttu. Kuid arvestades suuri kadusid, mis raudsüdamikus tekivad pöörisvoolude tõttu, kasutatakse kõrgsageduspoolides ainult tolmustatud ja väikesekaolise sideainega survemenetlusel toodetud mass-südamikke, mis on tuntud ferrokart-poolisüdamikena. Kuigi raua tolmustamisega pöörisvoolude kaod viiakse madalaks, samuti kohaste rauasortide valikul ümbermagneetimise (hüstereesi) kaod on väikesed, siiski on raudsüdamiku puhul lisakaod poolis paratamatud, kusjuures kaod tõusevad eriti kõrgetel sagedustel. Kuid tingituna tõhusast uurimistööst kõrgsagedusraua tootmisel, on raudsüdamikpoolide kvaliteet seevõrra tõusnud, et nende kasutamine sagedustel kuni 10 MHz on täiesti põhjendatult kujunenud üldiseks. Rauas tekkivad lisakaod kompenseeruvad pooli juhtme

lühenemise tõttu vähenenud takistuskadude arvel täielikult. Samal ajal raudsüdamikuga pool evib tunduvalt väiksemaid mõõteid kui võrdsete omadustega õhksüdamikpool, rauast moodustatud magnetringi tõttu on tal ka väga väikesed puisteväljad, mille tulemusena poolide varjestamine osutub sageli tarbetuks. Peale selle võimaldavad nad peaaegu alati induktiivsust suuremal või väiksemal määral muuta, mis on väga oluline raadioseadmete järelhäälestamisel ja mis õhkpoolide juures pole teostatav. Sageduse tõustes tõusevad rauaskaod tunduvalt, mistõttu kõrgemate sageduste juures raudsüdamikpoolid asendatakse õhksüdamikpoolidega.

Ehitusviisilt võib kõiki raudsüdamikpoole liigitada kahte põhigruppi: lahtise magnetringiga ja suletud magnetringiga poolideks, ning mõlemaid gruppe omakorda püsivateks ja reguleeritavateks. Joonisel 10 on toodud tüüpilisemaid



Joon. 10. Tüüpilisi raudsüdamikega kõrgsageduspoolide konstruktsioone. Joonise ülemisel real (*a, b, c, d*) on toodud lahtise magnetringiga, alumisel real suletud magnetringiga poolid. Reguleeritava südamikega poolid on näidatud *c, d, f*.

poolide konstruktsioone läbilõikes. Joonisel kujutavad *a, b, c* ja *d* lahtise magnetringiga, *e, f* ja *g* — suletud magnetringiga poole; *a, b, e* ja *g* on püsiva, *c, d, f* — reguleeritava ehitusviisiga, milles reguleerimine toimub südamiku või südamikku täiendavalt asetatava kõrgsagedusrauast reguleerimiskruvi abil. On arusaadav, et suletud magnetringiga poolid evivad võrdse juhtmepikkuse juures suuremat induktiivsust — vähenenud magnetilise tõkestuse tõttu. Sõltuvalt kasutatavast materjalist omavad seesugused raudsüdamikud permeaablust keskmiselt 1,6... 18. Poolimähise materjaliks kasutatakse sageli kõrgsageduse litset, millega säästetakse tunduvalt kõrgsagedustakistuslikke kadusid.

Arvestades seda, et toodetavad kõrgsageduspoolide raudsüdamikud erinevad nii materjalilt kui ka valmistusviisilt, on võimatu anda universaalset valemit seesuguste poolide induktiivsuse arvutamiseks. Induktiivsus sõltub mitte

ainult südamikus kasutatava materjali permeaablusest, magnetringist, s. o. kas magnetring on suletud või avatud, ja südamiku materjali kogusest, vaid samuti eelmagneetimisest alalisvoolu läbilaskmisel pooli mähisest, mis tekib alati, kui pool on lülitatud lambi anoodringi. Eelmagneetimise tagajärjel väheneb permeaablus μ ja vastavalt ka pooli induktiivsus. Seda omadust kasutatakse mõnikord vastuvõtja automaatse või kaughäälestamise puhkudel, lülitades vajaliku suurusega eelmagneetimisvoolu pooli erimähisele.

Ligikaudseks ja lihtsamaks raudsüdamikpooli induktiivsuse arvutusmeetodiks on, kui on teada raudsüdamiku permeaablus: arvutada induktiivsus õhksüdamikpooli arvutusviisil ja saadud induktiivsuse väärtus (L_1) korrutada südamiku permeaablusega (μ):

$$L \approx L_1 \mu,$$

või keerdude arvutamisel algul kindlaks teha pooli induktiivsus raudsüdamiku eemaldamisel, millisele suurusele (L_1) arvutada keerdude arv õhkpooli arvutamise meetodil:

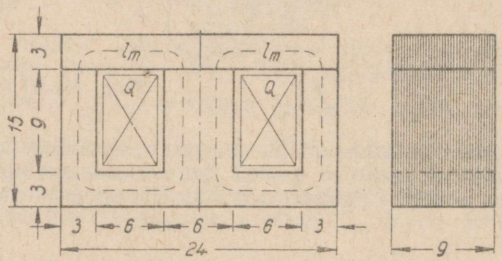
$$L_1 \approx \frac{L}{\mu},$$

Kui magnetringi permeaablus pole teada, siis tuleb ta kindlaks teha pooli induktiivsuse mõõtmisega raudsüdamiku puhul ja ilma.

Suletud magnetringiga pooli arvutamine lihtsustub seega, et sel puhul on kehtiv üldvalem

$$L = \frac{0{,}01256\, w^2 S}{l_m}\, \mu \qquad (\mu\mathrm{H}),$$

kus w — keerdude arv, S — raua ristlõige cm², l_m — magnetringi keskmine pikkus cm, μ — antud raudmaterjali suhteline läbitavus.



Joon. 11. Suletud magnetringiga pooli induktiivsuse arvutamine.
Mõõted on toodud mm; Q — mähise ristlõige. Magnetringi pikkus $l_m = 2(9+3+6+3) = 42$ mm ehk 4,2 cm; magnetringi ristlõige $S = 6 \cdot 9 = 54$ mm² ehk 0,54 cm².

Näide: Arvutada joonisel 11 toodud raudsüdamikpooli induktiivsus, kui on teada, et $w = 111$, $\mu = 10$, magnetringi andmed joonise järgi $S = 0{,}54$ cm² ja $l_m = 4{,}2$ cm.

$$L = \frac{0{,}01256\, w^2 S \mu}{l_m} = \frac{0{,}01256 \cdot 111^2 \cdot 0{,}54 \cdot 10}{4{,}2} = 199\ \mu\mathrm{H}.$$

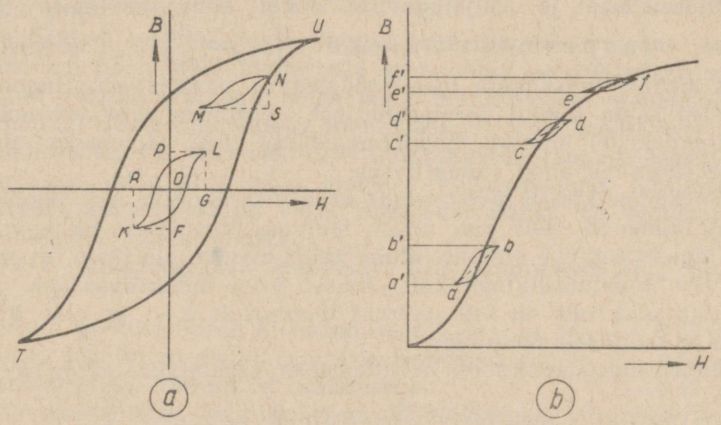
g) Raudsüdamikuga madalsageduspoolide induktiivsus. Raudsüdamikpoolide, mille südamikud koostatakse õhukestest raudplekkidest, kasutamine piir-

dub tehniliste ja helisageduslike vooludega. Poolide induktiivsus sõltub kasutamistingimustest, s. o. kas pooli läbib ainult vahelduvvool või vahelduvvoolu komponenti sisaldav alalisvool. Voolu tugevuse tõustes, muude võrdsete tingimuste juures, pooli induktiivsus langeb raua magnetilise läbitavuse (Π) vähenemise tagajärjel, kuid mitte võrdeliselt; Π määramiseks on tarvis teada südamikus kasutatava rauasordi magneetimiskõverat (joon. 7), mis tuletatakse erinevate väljatiheduste (B) ja väljatugevuste (H) suhtena

$$\Pi = \frac{B}{H} \text{ ning } \mu = \frac{B}{0{,}4\pi H} \approx 0{,}8\,\frac{B}{H},$$

milles B on arvutatud gaussides.

Enamikul juhtudel raadioseadmeis kasutatavaid madalsageduse (m.-s.) raudsüdamikpoole läbib vahelduvvool (v.-v.) suhteliselt suure alalisvoolu (a.-v.) komponendiga, mille tagajärjel raud küllastub ja vahelduvvoolu toimimispunkt nihkub magneetimiskõvera põlvikusse. Selle tulemusena pooli induktiivsus muutub väiksemaks (joon. 12) ja ainult vahelduvvoolu tugevuse tõst-



Joon. 12. Induktiivsuse vähenemine alalisvooluga eelmagneetimise tagajärjel.

misega ulatub v.-v. toimimispiirkond tagasi üle põlviku, kusjuures induktiivsus samuti vastavalt tõuseb. Järelikult neis tingimustes raudsüdamikpooli induktiivsus väheneb a.-v. komponendi tõustes ning suureneb v.-v. komponendi tõustes.

Induktiivsuse vähenemine alalisvooluga magneetimise ehk *eelmagneetimise* tagajärjel seletub pooli südamiku polariseerimisega. Südamikku läbiv alalisvoolu komponent tekitab südamikus alalise magnetvoo, mis vähendab südamiku molekulaarmagnetite liikuvust ja seega ühtlasi permeaablust. Võrdeliselt südamiku permeaabluse vähenemisega väheneb aga ka pooli induktiivsus.

Joonisel 12 selgub lähemalt eelmagneetimisest tingitud permeaabluse vähenemine magneetimisvoolu vahelduvvoolu komponendi suhtes. Joonisel 12 *a* on kujutatud magneetimiskõverad *TU* ja *KL* suureamplituudilisele ja väikese-

amplituudilisele vahelduvale ergutusvoolule. Kui rakendada poolile algul ainult väikeseamplituudiline ergutusvool (magneetimiskõver *KL*), mis arendab väljatugevust väärtusega *OG* ja millele tekib vastav väljatihedus *OP*, siis permeaablus võrdub *OP*/*OG*. Kui seejärel lülitada poolile täiendavalt suureamplituudiline vahelduvvool (magneetimiskõveraga *TU*) ning piirata järsku ta edaspidine suurenemine punktis *N*, mis on analoogiline alalisvooluga eelmagneetimisega samas punktis, siis väikeseamplituudiliselt vahelduvvoolult arendatav magneetimiskõver *KL* siirdub uuele töökohale *MN*. Seejuures selgub kujukalt, et väljatugevuse *H* endiseks jäädes (*MS* = *RG*) väljatihedus *B* väheneb märgatavalt (*SN* < *FP*). Seega võrdsed vahelduvvoolust arendatavad väljatugevuste muutused magneetimiskõvera eri lõikudes kutsuvad esile erinevaid väljatiheduse muutusi, kusjuures eelmagneetiva väljatugevuse tõustes väljatiheduse muutused järjest vähenevad, muutudes küllastumisel praktiliselt nulliks.

Joonisel 12 *b* on kujutatud kolm juhtu võrdsete väljatugevuse muutuste *ab*, *cd*, *ef* puhul, millele vastavalt vähenevad järjekorras väljatiheduse muutused *a'b'*, *c'd'*, *e'f'*. Magneetimisergutuse vahelduvvoolu komponendist arendatava väljatiheduse ja väljatugevuse suhet eelmagneetimise tingimustes nimetatakse ringpermeaabluseks $\left(\mu_{\Delta} = \frac{\Delta B}{\Delta H}\right)$. Joonisest selgub ühtlasi, et magneetimiskõvera igas vaadeldavas punktis on ringpermeaablus alati väiksem sama punkti permeaablusest. Ergutuse vahelduvvoolu komponendi suurendamisel muutub ringpermeaabluse tõus järsumaks ning vastavalt sellele suureneb pooli induktiivsus.

Kui raudsüdamikpooli magnetringi sisse viia õhupilu, siis pooli induktiivsus üldiselt väheneb. Kui aga pooli läbivad üheaegselt nii a.-v. kui v.-v., vähendab õigesti valitud õhupilu üldist magnetvoogu seevõrra, et magnetiline läbitavus v.-v. toimimisel tegelikult tõuseb koos induktiivsusega. Seepärast raudsüdamikpoolid, mis on ette nähtud üheaegselt a.-v. ja v.-v. kandmiseks, valmistatakse tavaliselt õhupiluga.

Õhupiluta raudsüdamikpooli arvutamiseks kasutatakse järgmist valemit:

$$L = \frac{1{,}256\ w^2 S}{l}\ \mu \cdot 10^{-8} \text{ (henrit)},$$

kus w — keerdude arv, *S* — puhas raua ristlõikepind cm², mille tegelikud mõõted on plekkidevahelise isolatsiooni tõttu umbes 10% suuremad, *l* — magnetringi pikkus cm, μ — leitakse magneetimiskõverast, arvestades sõltuvust voolust. Induktiivsus saadakse henrides.

Õhupiluga raudsüdamikpooli arvutamist sooritatakse järgmise valemi abil:

$$L = \frac{1{,}256\ w^2 S}{\delta'} 10^{-8} \text{ (henrit)},$$

seejuures δ' kujutab redutseeritud õhupilu ja võrdub

$$\delta' = \delta + 1{,}1 \frac{l}{\mu},$$

kusjuures δ — õhupilu pikkus cm, *l* ja μ — nagu eelmises valemis.

Näide: 1) Arvutada õhupiluta raudsüdamikuga paispooli induktiivsus, kui on antud: $w = 3000$, $S = 6$ cm^2, $l = 16$ cm, $\mu = 1000$.

$$L = \frac{1{,}256\, w^2 S}{l}\,\mu \cdot 10^{-8} = \frac{1{,}256 \cdot 9 \cdot 10^6 \cdot 6 \cdot 10^3 \cdot 6 \cdot 10^{-8}}{16} \approx 42{,}2 \text{ henrit.}$$

2) Arvutada sama paispooli induktiivsus, kui sisse on viidud õhupilu $\delta = 0{,}1$ cm.

$$\delta' = \delta + 1{,}1\frac{l}{\mu} = 0{,}1 + 1{,}1\,\frac{16}{1000} = 0{,}1176$$

$$L = \frac{1{,}256\, w^2 S}{\delta'}\,10^{-8} = \frac{1{,}256 \cdot 9 \cdot 10^6 \cdot 6 \cdot 10^{-8}}{0{,}1176} \approx 5{,}73 \text{ henrit.}$$

Siit selgub, et õige lühikese õhupilu sissetoomisega, mis käesoleval juhul moodustab vaid 0,6% magnetringi üldpikkusest, vähenes induktiivsus 7,5-kordselt. Õhupilu suurendamisel induktiivsus väheneb veelgi ning õhupiluga pool hakkab käituma enam õhkpooli taoliselt. Teiste sõnadega, õhupiluga raudsüdamikpool kujutab endast säärase ehitusviisiga õhksüdamikpooli, mille pikkus on äärmiselt väike võrreldes tema magnetvoo üldtee pikkusega ümber pooli.

Nagu öeldud eespool, tekib õhupilu sissetoomise vajadus raudsüdamikpoolis siis, kui pooli läbiv alalisvoolu komponent on suhteliselt suur, võrreldes liidetud vahelduvvooluga, viies pooli induktiivsuse madalamale, kui see oli ette nähtud vooluringi õigeks toimimiseks. Võttes lubatavaks piiriks a.-v. komponendi liitumisel tekkivat 20% induktiivsuse langust sellest induktiivsuse väärtusest, mida pool omas ainult v.-v. komponendi läbilaskmisel, võib raudmaterjali andmete põhjal välja arvutada, millal on õigustatud õhupilu sisseviimine pooli raudsüdamikku.

Kui a.-v. komponendist arendatav lisa-väljatugevus H_{av} osutub suuremaks kui

legeeritud plekil (vähese Si lisandusega) — 0,67 AK/cm,
tugevasti legeeritud plekil (suure Si lisandusega) — 0,63 AK/cm,
legeeritud plekil vähese Ni lisandusega — 0,47 AK/cm,

on õhupilu sisseviimine tarvilik, kuna aga väiksemad väljatugevused õigustavad südamiku kasutamist õhupiluta. Kõrge permeaablusega suure niklisisaldusega materjalid nagu permalloy (78,5% Ni + 21,5% Fe), megaperm, mumetall (74% Ni + 20% Fe + Mn, Co, W) ei kannata üldse a.-v. koormamist.

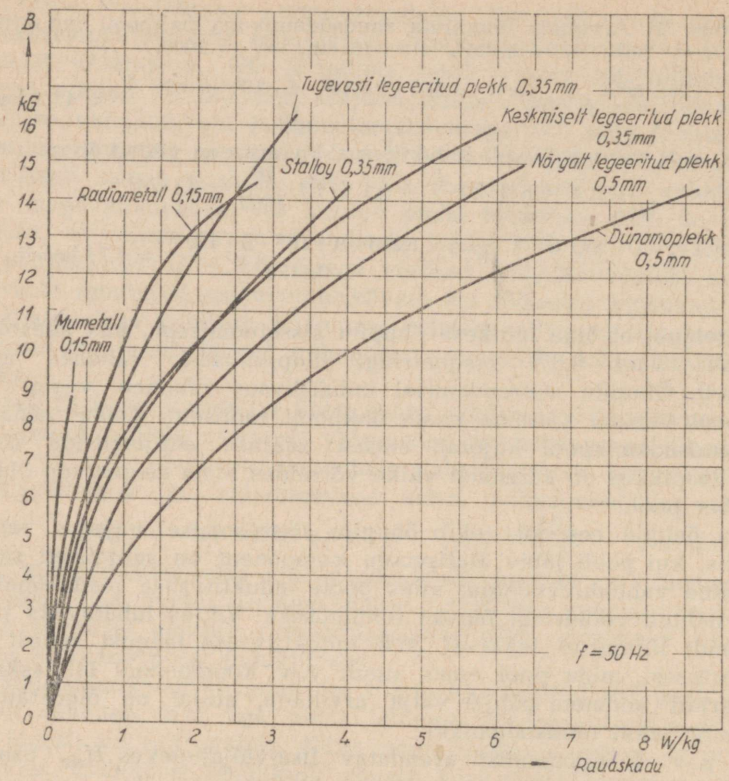
Näiteks, kui lambi anoodringi lülitatud legeeritud rauast südamikuga m.-s. paispooli läbib anoodvool 2,1 mA ja paispool omab 4100 keeru juures induktiivsust 40 henrit ning ta südamiku keskmine pikkus on 13 cm, siis maksimaalselt lubatav keerdude arv 20% induktiivsuse languse juures võib olla

$$\frac{0{,}67}{2{,}1 \cdot 10^{-3}}\,l \approx 319\ \text{K/cm}$$

ja üldine maksimaalselt lubatav keerdude arv $w = 319 \cdot 13 \approx 4150$.

Järelikult käesoleval juhul 2,1 mA a.-v. läbilaskmisel õhupiluta raudsüdamikpoolist on induktiivsuse vähenemine lubatavais piirides, langedes 40 henrilt umbes 32 henrile. Suurema a.-v. korral osutub õhupilu sisseviimine vältimatuks.

h) Varjestatud poolide induktiivsuse korrigeerimine. Poolide elektromagnetiliste ja elektrostaatiliste väljade välismõjuvuse neutraliseerimiseks ase-



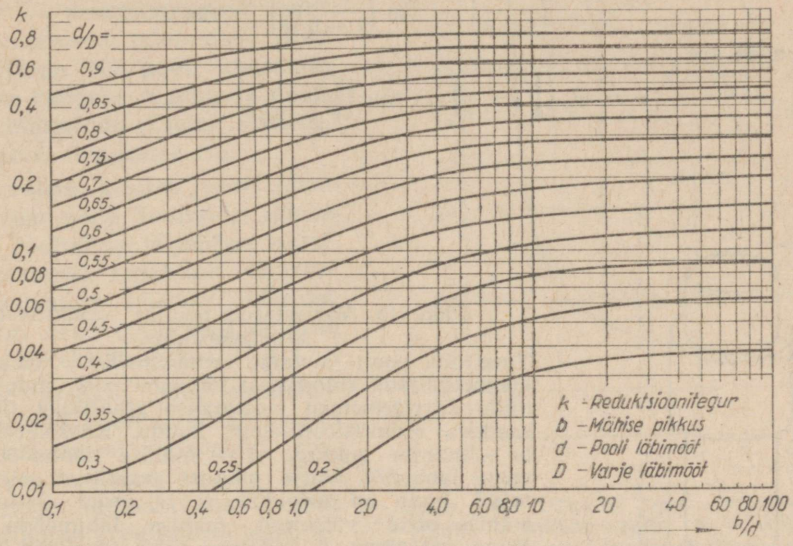
Joon. 13. Magnetimaterjalide rauaskao kõveraid. Rauaskadu arvutatakse vattides materjali kg kohta.

tatakse poolid hea juhtivusega metallist[1] (vask, alumiinium) varjestustopsidesse. Pooli läbivate voolude toimel indutseeruvad varje seintes voolud, mis oma väljadega vähendavad pooli induktiivsust, kusjuures induktiivsuse vähenemine suureneb varje lähendamisega poolile. Pooli varjes indutseeruvad voolud kujutavad endist võimsuse kadusid, mis võetakse poolist. Et hoida kadude suurus mõistlikes piirides ja et pooli induktiivsus ei väheneks üle 15%, ei tohi varje läbimõõt olla väiksem kui kahekordne pooli läbimõõt ning varje peab asuma pooli otstest vähemalt pooli läbimõõdu kaugusel.

Kuna varjestatult pooli induktiivsus erineb induktiivsusest varjestamata olekus, s. o. väärtusest, mida käsitellakse arvutustes, siis on tarvilik teada, millise protsendi võrra teatava varjestuse juures tuleb induktiivsus arvutustes võtta suuremana.

[1] Madalsageduslike seadmete, näit. paispoolide ja trafode varjestamine elektromagnetiliste väljade neutraliseerimiseks pole praktiliselt teostatav hea juhtivusega metallist varjestustopsidega, kuna varjestustopside seinte paksus kujuneks tohutult suureks. Seepärast kasutatakse neil puhkudel varjematerjaliks raudplekki, mis ei tarvitse olla tavaliselt kuigi paks, kuna juba 2—3 mm paksune raudpleki kiht, omades suurt permeaablust, väldib praktiliselt puisteväljade hajumise.

Varjestusest tingitud induktiivsuse vähenemise suhe, mis väljendatakse mähise pikkuse ja mähise läbimõõdu $\left(\frac{b}{d}\right)$ ning mähise läbimõõdu ja varje läbimõõdu $\left(\frac{d}{D}\right)$ suhtena, on toodud graafiliselt joonisel 14 üldise reduktsioonitegurina k.



Joon. 14. Graafik induktiivsuse reduktsiooniteguri k leidmiseks varjestatud poolide juures.

Kui L on pooli induktiivsus varjestamatult, L_v — induktiivsus varjestatult ja w — pooli keerdude arv varjestamatult, w_v — keerdude arv varjestatult, siis

$$L_v = L\,(1 - k)$$

ja juurdearvatav induktiivsuse % (L%), et saavutada õiget L väärtust varjestatult:

$$L\% = \left(\frac{1}{1-k} - 1\right)100 \quad \text{ning} \quad L = L_v\left(\frac{1}{1-k}\right).$$

Juurdearvatav keerdude % õige L väärtuse saavutamiseks varjestatult

$$w\% = \left(\sqrt{\frac{1}{1-k}}\right)100 \quad \text{ning} \quad w = w_v\left(\sqrt{\frac{1}{1-k}}\right).$$

Kui varjestustops on ruudukujuline, siis ekvivalentse ümmarguse topsi läbimõõt (D) = 1,2 ruudukujulise topsi küljest A:

$$D = 1{,}2\ A \text{ ja } A = \frac{D}{1{,}2}.$$

TRÜ Raamatukogu

Näide: Pool, mille mõõted: b = 4 cm, d = 2 cm, L = 200 μH, w = 220, on paigutatud varjestustopsi, mille D = 4 cm. Kui palju väheneb pooli L varjes-

tatult ja millised L ja w suurused valida poolile, et säilitada varjestatult 200 μH?

$\frac{b}{d} = \frac{4}{2} = 2$; $\frac{d}{D} = \frac{2}{4} = 0{,}5$; millele graafikust vastav $k = 0{,}18$.

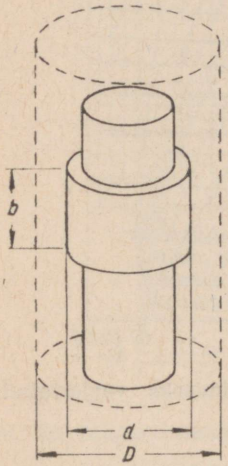
Seega pooli L vähenes $L_v = L\,(1 - k) = 200\,(1 - 0{,}18) = 164\ \mu$H.

Et säilitada pooli L varjestatult 200 μH, peab varjestamatult

$$L = L_v \left(\frac{1}{1-k}\right) = 200 \left(\frac{1}{1-0{,}18}\right) = 244\ \mu\text{H}$$

ja keerdude arv

$$w = w_v \left(\sqrt{\frac{1}{1-k}}\right) = 220 \left(\sqrt{\frac{1}{1-0{,}18}}\right) = 243.$$



Joon. 15. Varjestatud poolide induktiivsuse korrigeerimine.
Tingituna pooli ja varje omavahelisest elektri- ja magnetväljade sidestusest väheneb pooli induktiivsus, mille korrigeerimist teostatakse graafikust (joon. 14) saadava reduktsioonitegur i kaudu. Käesoleval juhul b — mähise pikkus, d — mähise läbimõõt, D — varje läbimõõt. Varje pikkust graafikus pole arvestatud, kuna on mõeldud, et ta otsad ulatuvad üle mähise otste vähemalt mähise läbimõõdu võrra. Kuna graafikus ei kasutata pooli tegelikke mõõteid, vaid nende suhteid, siis pole oluline, kas nad on väljendatud mm või cm, on vaid tähtis, et nad oleksid väljendatud ühistes mõõtühikutes.

i) Ühekihiliste silinderpoolide omamahtuvus. Kõikjal, kus asetseb kaks metalleset, omavad need esemed omavahel elektrilist mahtuvust. See on kehtiv ka üksikute poolikeerdude kohta, vaatamata sellele, et nad poolitraadi kaudu on üksteisega kaudselt ühendatud. Kõrvuti asetsevate poolikeerdude vaheline mahtuvus on suurem kui eemalasetsevate keerdude vaheline mahtuvus. Kui säärase mahtuvuse juures, mida käesoleval juhul nimetatakse p o o l i o m a - ehk s i s e m a h t u v u s e k s, dielektrikuks oleks vaakum või õhk, siis ta ei avaldaks energeetiliselt mingit mõju pooli toimele. Tegelikult aga pooli sisemahtuvuses esinevad dielektrikuna peamiselt poolitraadi isolatsioonikiht ja poolialuse materjal, mis põhjustavad õige tunduvaid üldisi kadusid (keskmiselt 15—30% kõigist pooli kõrgsageduslikest kadudest) kõrgsageduslike voolude läbimisel poolist. Seepärast tuleb väga hoolikalt valida traadi liik, s. o. tema isolatsiooni ning poolialuse materjal, mis peab olema võimalikult väikeste dielektriliste kadudega (tg δ). Võrdlemisi väikesi kadusid omab emailkate ja siidisolatsioon, poolialustes — keraamilised ained nagu frekventiit, kalaan, steatiit jne. (lisa nr. 17). Kuid igal juhul on tarvilik, et pooli sisemahtuvus hoitaks väiksena. Ükski selles suunas tarvitusele võetud abinõu ei osutu liigseks, eriti kõrgemate sageduste puhul.

Pooli sisemahtuvus sõltub, arvestamata dielektrikut, poolitraadi läbimõõ-

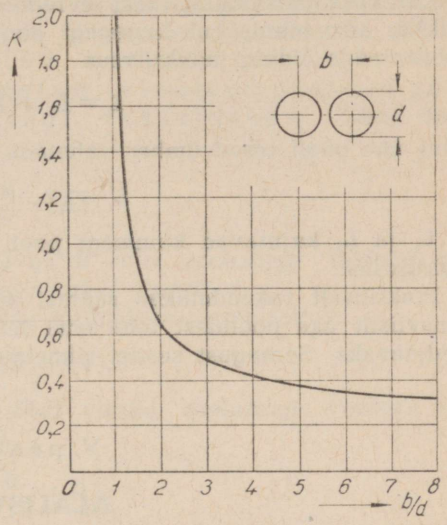
dust ja naabruses asetsevate keerdude vahekaugusest, kuid ei olene (silinderpooli juures) keerdude arvust ja pooli pikkusest. Silinderpoolide juures saab sisemahtuvust kindlaks määrata järgmise valemi järgi:

$$C_0 = kD \quad (\text{pF}),$$

milles C_0 = pooli omamahtuvus pF, k — omamahtuvuse tegur, mille väärtused tuletatakse graafikust (joon. 16) pooli keerdudevahelise kauguse b (cm) ja poolitraadi läbimõõdu d (cm) suhtena, D — pooli diameeter cm.

See valem käsitab pooli omamahtuvust pooli keerdude asudes õhus. Poolialuse ja juhtme isolatsioonimaterjal tegelikult suurendab valemiga saadud väärtust, eriti kui need materjalid omavad kõrget dielektriku-konstanti (ε).

Peale kadude, mis paratamatult tekivad pooli omamahtuvuses pooli lülitamisel võnkeringi, suureneb pooli omamahtuvuse võrra võnkeringi üldmahtuvus, mida võnkeringide arvutamisel tuleb arvestada.



Joon. 16. Graafik pooli omamahtuvusteguri k määramiseks, b — kõrvutiasuvate juhtmete telgedevaheline kaugus cm, d — isolatsioonikihita juhtme läbimõõt cm.

22. Ühisinduktiivsus.

Kui asetada kaks pooli sääraselt, et ühte neist läbiva voolu toimel tekkiv magnetväli mõjutab ka teist pooli, siis magnetvälja muutumise tõttu indutseerub teises poolis, samuti kui esimeseski poolis, EMJ.

Säärane indutseeritud EMJ sarnaneb induktiivsusliku EMJ-ga ja võrdub

$$E = -M\frac{\Delta I}{\Delta t} \quad (\text{V}),$$

kusjuures M nimetatakse *ühisinduktiivsusteguriks* ehk lihtsalt *ühisinduktiivsuseks* ning mõõdetakse samuti kui induktiivsustki henrides.

Ühisinduktiivsus sõltub poolide induktiivsuste suurustest ja kummalegi poolile mõjuva ühise magnetvälja tugevusest, mis omakorda oleneb poolide vahekaugusest, nende suhtelisest asetusest ja magnetringis (poolisüdamikus) kasutatava aine permeaablusest.

Kahte ühisinduktiivsust evivat pooli nimetatakse *sidestatud poolideks*, kusjuures sidestuse suurus näitab ühisinduktiivsuse tegeliku väärtuse suhet ühisinduktiivsuse võimaliku maksimaalse väärtusega. See sidestuse suurus võrdub ühega, kui poolid asetsevad ühises ruumalas, mis praktiliselt on teostatav sel teel, et üks pool valmistatakse metalltorust, kuna teine pool

asetatakse isoleerituna esimesse pooli, s. o. torusse. Ainult sel juhul haarab kogu esimesest poolist tekitatud magnetväli terviklikult teist pooli, muudel juhtudel tekib suuremal või vähemal määral magnetvälja hajumine *puiste-väljadena*. Poolide eemaldamisel teineteisest nõrgeneb side ja vastavalt väheneb ka ühisinduktiivsus.

Kui kaks ühisinduktiivsust evivat pooli lülitada ühisesse vooluringi järjestikku, siis juhul, kui kummagi pooli magnetväljad evivad ühist suunda, võrdub nende üldine induktiivsus

$$L = L_1 + L_2 + 2M,$$

ja kui ühe pooli otsad ümber vahetada, võrdub üldine induktiivsus

$$L' = L_1 + L_2 - 2M,$$

kus L_1 ja L_2 kujutavad kummagi pooli induktiivsusi ja M — nende ühisinduktiivsust.

Praktiliselt rakendatakse säärast seadet muudetava induktiivsusena, kui ehitusviisilt üks poolidest teha oma telje ümber teise pooli suhtes pidevalt muudetavaks. Seesugust seadet nimetatakse *variomeetriks*.

V peatükk.

ALALISVOOL.

Alalisvooluks (a.-v.) nimetatakse säärast elektrivoolu, mis suletud vooluringis omab pidevalt ühesugust suunda. Seejuures on üldiselt tarvitusele võetud säärane voolusuuna määramisviis, et suletud vooluringi välisosas vool väljub vooluallika positiivsest (+ pluss) klemmist ja suubub vooluallika negatiivsesse (— miinus) klemmi. Eespool kuulsime, et see on vastupidine elektronide liikumise suunale.

23. Elektriline töö, energia ja võimsus.

Elektrilise töö ühikuks on *vattsekund* (1 džaul), mida sooritab juhet läbiv 1-kuloniline elektrilaeng 1-voldise potentsiaalide vahe puhul. Kuna 1 kulon vastab laengule, mis saadakse püsiva 1-amprilise voolu voolates 1 sekundi vältel, siis elektrilise töö algühik 1 vattsekund

$$W = UIt \quad \text{(Ws)},$$

kus U — voltides, I — amprites ja t — sekundites.

Energiat, mis kujutab võimet töö sooritamiseks, mõõdetakse samuti vattsekundites.

Elektrilist võimsust, mis näitab ajaühikul sooritatava töö hulka, mõõdetakse *vattides*:

$$P = UI \quad \text{(W)}.$$

Tavaliselt kasutatavaiks praktilisteks töö ühikuteks on ühe tunni vältel rakendatav ühe-vatine võimsus — *vatt-tund* (Wh) ja tuhat korda suurem ühik — *kilovatt-tund* (kWh).

Samuti kasutatakse võimsuse praktiliste tuletatud ühikutena tuhat korda suuremat ühikut — kilovatti (kW) ja tuhat korda väiksemat ühikut — millivatti (mW).

24. Ohmi seadus.

Ohmi seadus määrab kindlaks suletud vooluringi elektrilise olukorra, sidudes omavahel elektromotoorse jõu või pinge, voolu ja takistuse väärtused nende vastavais mõõtühikuis: suletud vooluringis vool on võrdeline vooluringile rakendatud elektromotoorse jõuga ja pöördvõrdeline vooluringi takistusega. Ohmi seadus väljendatakse järgmise võrrandina:

$$I = \frac{E}{R} \quad (\text{A}).$$

Kui vooluringis rakendatud EMJ on E volti, vooluringi takistus on R oomi, siis läbib vooluringi vool tugevusega I amprit.

Ohmi seaduse võrrandit võib ümber kujundada järgmiselt:

$$E = IR \quad (\text{V}),$$

mis näitab, et vooluringi rakendatud EMJ võrdub vooluringis voolava voolu ja vooluringi takistuse korrutisega, ja

$$R = \frac{E}{I} \quad (\Omega),$$

mis näitab, et vooluringi takistus võrdub EMJ-ga jagatuna voooluringi voolutugevusega.

Toodud sõltuvus on kehtiv samuti ka vooluringi üksiku osa kohta, milles pole rakendatud kogu vooluallikas arendatav elektromotoorne jõud *(E)*, vaid vooluringile või ta osale rakendatav pinge *(U)*. Sel puhul Ohmi seadus väljendub analoogiliselt

$$I = \frac{U}{R}, \quad U = IR, \quad R = \frac{U}{I}.$$

Ohmi seadus on rakendatav kaugelt suuremas osas suletud vooluringides, millest erandi moodustavad vaid säärased vooluringid, millesse on lülitatud gaaside keskkonnad ja vaakum, mille takistus alati ei allu toodud üldreeglile. Samuti Ohmi seadus ei määra küllaldaselt takistust vahelduvvooluringides, milles elektromagnetiliste ja elektrostaatiliste väljade muutumine ajas kutsub esile kadude ja seega vooluringide üldise takistuse tõusu[1].

25. Järjestikune vooluring.

Kui lülitada vastavalt joonisele 17 vooluringi takistused R_1, R_2 ja R_3 sääraselt, et vooluallika elektromotoorse jõu E toimel kogu tekkiv vool I läbib järjekorras kõik välistakistused R_1, R_2, R_3, nimetatakse seesugust vooluringi järjestikuliseks vooluringiks ning takistuste lülitamisviisi kohta öeldakse, et nad on lülitatud üksteisega järjestikku.

[1] Seesugust takistust kõrgsagedusel käsitellakse lähemalt vahelduvvoolu all.

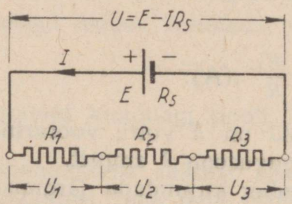
Säärase lülituse puhul vooluallika klemmidel EMJ tagajärjel tekkiv pinge U jaguneb osapingeteks või pingelangudeks U_1, U_2 ja U_3 välistakistuste R_1, R_2 ja R_3 klemmidel, s. o.

$$U = U_1 + U_2 + U_3,$$

kusjuures osapingete väärtused Ohmi seaduse järgi võrduvad:

$$U_1 = IR_1, \quad U_2 = IR_2, \quad U_3 = IR_3,$$

s. o. järjestikuses vooluringis osapinged võrduvad vastavalt voolutugevuse ja



Joon. 17. Järjestikune vooluring.

takistuse korrutisega. Liites osapingete väärtused $U_1 + U_2 + U_3 = U = IR_1 + IR_2 + IR_3 = I(R_1 + R_2 + R_3)$, millest Ohmi seaduse järgi

$$I = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3},$$

s. o. suletud järjestikuses vooluringis voolutugevus (mis on ühesugune kõigis vooluringi punktides) võrdub üldise vooluringis toimiva pingega ja vooluringi lülitatud välistakistuste summa jagatisega. Seda välistakistuste summat võib asendada ekvivalentse koondtakistusega R, mis antud pinge U juures jätab vooluringi elektrilise olukorra endiseks

$$I = \frac{U}{R}.$$

Järelikult

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = \Sigma R,$$

s. o. järjestikku lülitatud takistuste koondväärtus võrdub nende takistuste summaga.

Välistakistuste ja vastavate osapingete kohta käiv määratlus on kehtiv ka vooluringi sisetakistuse, s. o. vooluallika omatakistuse R_s ning sisepingelangu U_s kohta,

$$U_s = IR_s,$$

mille suuruse võrra vooluallika klemmipinge U on väiksem vooluallikalt arendatavast elektromotoorsest jõust E, s. o.

$$E = U + U_s = \Sigma U,$$

$$I = \frac{E}{R + R_s} = \frac{E}{\Sigma R}.$$

Järelikult võrdub suletud järjestikuses vooluringis vooluallikalt arendatav elektromotoorne jõud E vooluringis tekkivate osapingete või pingelangude

üldise summaga ning vooluringi koondtakistus võrdub kõigi takistuste summaga.

Kui järjestikusesse vooluringi on lülitatud järjestikku mitu vooluallikat, siis vooluringis mõjuv üldine EMJ võrdub kõigi vooluallikate EMJ-de algebralise summaga

$$E = \Sigma E.$$

Induktiivsused käituvad vooluringis analoogiliselt takistustega ja seetõttu järjestikku lülitamisel nende väärtused liituvad[1] ning koondväärtus võrdub nende summaga

$$L = L_1 + L_2 + L_3 = \Sigma L.$$

Mahtuvuste järjestikusel lülitamisel laadimispinge jaguneb pöördvõrdeliselt mahtuvuste väärtustega, seega mahtuvuste pöördväärtuste summa võrdub koondmahtuvuse pöördväärtusega

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \Sigma \frac{1}{C}.$$

26. Rööbitine vooluring.

Kui lülitada vooluringi vastavalt joonisele 18 takistused R_1, R_2 ja R_3 sääraselt, et neile kõigile mõjub ühine pinge U, nimetatakse seesugust vooluringi r ö ö b i t i s e k s v o o l u r i n g i k s ning takistuste lülitusviisi kohta öeldakse, et nad on lülitatud üksteisega r ö ö b i t i.

Säärases vooluringis võrduvad takistusi läbivad haruvoolud Ohmi seaduse alusel:

$$I_1 = \frac{U}{R_1};\ I_2 = \frac{U}{R_2};\ I_3 = \frac{U}{R_3},$$

s. o. ühise pinge U ja vastava takistuse jagatisega. Kuna vooluallikast väljuv voolutugevus I võrdub haruvoolude summaga

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = \Sigma I,$$

siis liites üksikud haruvoolud, võrdub üldvoolutugevus

$$I = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3} = U\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}\right),$$

s. o. ühise pinge ja üksikute takistuste pöördväärtuste summa korrutisega.

Asendades üksikute takistuste pöördväärtuste summa ühise koondtakistuse R pöördväärtusega $\frac{1}{R}$, mis antud pinge U juures jätab voolutugevuse I endiseks, kujuneb

$$I = U\frac{1}{R} = \frac{U}{R}$$

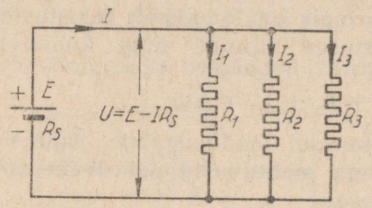
ning võrrutades käesoleva ja eelmise võrrandi vasakuid pooli ja jagades saadud võrrandi mõlemaid pooli U-ga, saame

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \Sigma \frac{1}{R},$$

[1] Eeldusel, et nad ei oma endi vahel ühisinduktiivsust; viimasel juhul koondinduktiivsusele lisandub ühisinduktiivsuse väärtus (B 22).

järelikult võrdub rööbiti lülitatud takistuste pöördväärtuste summa koondtakistuse pöördväärtusega.

Kui vooluringi on takistused lülitatud järjestikku ja rööbiti, arvutatakse vooluringi koondtakistus ja koos sellega ka teised elektrilised väärtused sel teel, et algul rööbitiste takistuste grupid asendatakse nende koondtakistustega ning saadud järjestikused koondtakistused asendatakse ühise takistusega.



Joon. 18. Rööbitine vooluring.

Näiteks, kui joonisel 18 toodud vooluringis vooluallika elektromotoorne jõud $E = 1{,}5$ V ja vooluallika sisetakistus $R_s = 0{,}25\ \Omega$ ning üksikute rööbitiste takistuste väärtused $R_1 = 2\ \Omega$, $R_2 = 5\ \Omega$, $R_3 = 10\ \Omega$, kujuneb vooluringis kaks järjestikku takistust, millest esimeseks on vooluallika sisetakistus R_s, teise moodustab rööbiti lülitatud välistakistuste R_1, R_2, R_3 grupp. Algul arvutame rööbiti lülitatud takistuste grupi koondtakistuse R_v

$$\frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{2} + \frac{1}{5} + \frac{1}{10} = \frac{8}{10} \text{ siit: } R_v = \frac{10}{8} = 1{,}25\ \Omega,$$

Vooluringi üldtakistus R võrdub

$$R = R_s + R_v = 0{,}25\ \Omega + 1{,}25\ \Omega = 1{,}5\ \Omega.$$

Seega üldine vooluallikast võetav voolutugevus

$$I = \frac{E}{R} = \frac{1{,}5}{1{,}5} = 1 \text{ A}.$$

Vooluallika sisetakistuses tekkiv pingelang

$$U_s = IR_s = 1 \cdot 0{,}25 = 0{,}25 \text{ volti}$$

ning välistakistustele rakendatav pinge (vooluallika klemmipinge)

$$U = E - U_s = 1{,}5 - 0{,}25 = 1{,}25 \text{ volti}.$$

Rööbitistes takistustes hargnevad voolud

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{1{,}25}{2} = 0{,}625 \text{ A},$$

$$I_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{1{,}25}{5} = 0{,}25 \text{ A},$$

$$I_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{1{,}25}{10} = 0{,}125 \text{ A}.$$

Loomulikult peab hargnevate voolude summa endiselt võrduma üldvooluga

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 0{,}625 + 0{,}25 + 0{,}125 = 1{,}0 \text{ A}.$$

Kui vooluringi on lülitatud rööbiti mitu vooluallikat, siis nende EMJ ei liitu, vaid vooluringi mõjutab nende ühtne, s. o. üksiku vooluallika EMJ[1]. Samal ajal rööbiti lülitatud vooluallikate üldine sisetakistus väheneb ja arvutatakse vastavalt rööbitiste takistuste arvutusvalemile.

Induktiivsusi arvutatakse rööbitisel lülitamisel analoogiliselt takistustega ja seega induktiivsuste pöördväärtuste summa võrdub koondinduktiivsuse pöördväärtusega

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} = \Sigma \frac{1}{L}.$$

Mahtuvuste rööbitisel lülitamisel mõjutab neid kõiki ühine laadimispinge, millest tingituna laengud kujunevad võrdeliseks mahtuvustega. Seepärast mahtuvuste rööbitisel lülitamisel koondväärtus võrdub kõigi lülitatud mahtuvuste summaga

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = \Sigma C.$$

27. Pingejagaja.

Raadioaparaatides leiavad laialdast kasutamist järjestikustest takistustest moodustatavad seadmed — p i n g e j a g a j a d, kuna nende abil on võimalik üldisest kõrgepinge toiteallikast saadavat pinget kohandada erinevate väärtustega pingetega lampide anoodide ja varivõrede toiteks ning eelpingeteks. Ühtlasi on pingejagajate abil võimalik saada suure täpsusega õige väikesi pingeid ka siis, kui sääraste pingete mõõtmiseks puuduvad abinõud.

Joonisel 19 on toodud näidis pingejagajast, mis koosneb järjestikku lülitatud püsivtakistustest R_1 ja R_2 ning potentsiomeetrist R_3. Pingejagaja on lülitatud kõrgepinge toiteseadmega, mille pinge $U = 250$ V, sisendklemmide A-B kaudu. Kui pingejagaja õlgade, s. o. järjestikku lülitatud takistuste väärtused on: $R_1 = 10\,000\ \Omega$, $R_2 = 20\,000\ \Omega$ ja $R_3 = 20\,000\ \Omega$, voolab neist läbi k o o r m u s v o o l

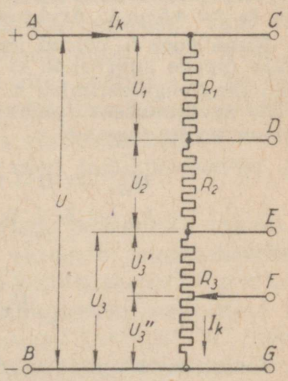
$$I_k = \frac{U}{R_1 + R_2 + R_3} =$$

$$= \frac{250}{10000 + 20000 + 20000} =$$

$$= \frac{250}{50000} = 0{,}005 \text{ A ehk } 5 \text{ mA},$$

mispuhul takistustes tekivad takistuste väärtustega võrdelised pingelangud.

$$U_1 = I_k R_1 = 0{,}005 \cdot 10\,000 = 50 \text{ V};$$
$$U_2 = I_k R_2 = 0{,}005 \cdot 20\,000 = 100 \text{ V};$$
$$U_3 = I_k R_3 = 0{,}005 \cdot 20\,000 = 100 \text{ V}.$$



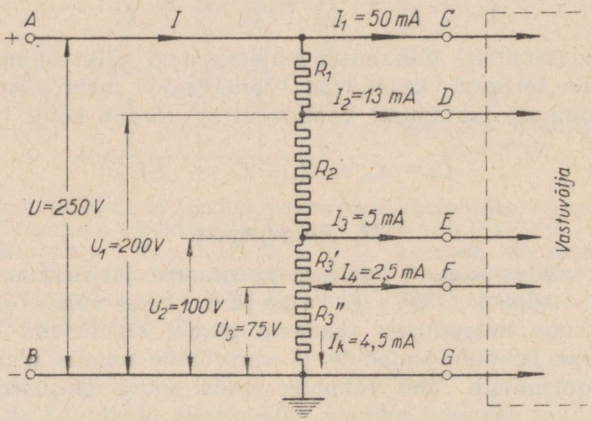
Joon. 19. Pingejagaja lülitus.

Väljundklemmidel tekivad järgmised pinged:
CG vahel $U = 250$ V, DG vahel $U - U_1 = 200$ V ja

[1] See on kehtiv juhul, kui vooluallikate EMJ on võrdsed; ebavõrdsete EMJ vooluallikate rööbitine lülitamine ei leia praktilist kasutamist.

EG vahel $U - (U_1 + U_2) = 100$ V;
kuna takistus R_3 kujutab endast potentsiomeetrit, siis väljundklemmide FG vahel pinge U_3'' on pidevalt muudetav 0 kuni 100 V.

Arvutatud pingete suurused püsivad pingejagajas seni, kuni väljundklemmidest voolu ei võeta. Voolu võtmisel senine pingete tasakaal kaob, kuna muutub ühtne koormusvool I_k pingejagaja kõigis õlgades, ning selle tagajärjel muutuvad ka pingelangud U_1, U_2, U_3 ja U''_3.



Joon. 20. Andmeid praktilise pingejagaja arvutamiseks.

Säärane olukord on kujutatud joonisel 20, kus sisendpinge on endine $U = 250$ V. Pingejagaja väljundklemmidele on lülitatud raadiovastuvõtja, mille voolutarvitus on järgmine: klemmide CG vahel — 250 V 50 mA, DG vahel — 200 V juures 13 mA, EG vahel — 100 V juures 5 mA, ja potentsiomeeter, mille üldtakistus $R_3 = 20\,000\ \Omega$ liikuvkontakti F ja G vahel 75 V juures 2,5 mA ning potentsiomeetri õlga FG läbiv vool $I_k = 4{,}5$ mA. Arvutada antud nõudeid rahuldav pingejagaja.

Kuna vool I_1 väljub vastuvõtjasse toiteseadme pingega $U = 250$ V, siis pingejagaja õlgade suurusi ta ei mõjuta, eeldusel, et toiteseadme pinge U evib eeskujulikku pingereguleerimist, s. o. ta pinge U on koormusest sõltumatu.

R_1 arvutamiseks tuleb teada tema klemmidel tekkiv pingelang ja temast läbimineva voolu tugevus

$$U_{R_1} = U - U_1 = 250 - 200 = 50 \text{ V};$$
$$I_{R_1} = I_2 + I_3 + I_4 + I_k = 13 + 5 + 2{,}5 + 4{,}5 = 25 \text{ mA},$$

millest

$$R_1 = \frac{U_{R_1}}{I_{R_1}} = \frac{50}{0{,}025} = 2000\ \Omega.$$

Samuti arvutatakse teiste pingejagaja õlgade takistusväärtused

$$U_{R_2} = U_1 - U_2 = 200 - 100 = 100 \text{ V};$$
$$I_{R_2} = I_3 + I_4 + I_k = 5 + 2{,}5 + 4{,}5 = 12 \text{ mA};$$

$$R_2 = \frac{100}{0{,}012} = 8330\ \Omega.$$

$$U'_{R_3} = U_2 - U_3 = 100 - 75 = 25 \text{ V};$$
$$I'_{R_3} = I_1 + I_k = 2{,}5 + 4{,}5 = 7 \text{ mA};$$
$$R'_3 = \frac{25}{0{,}007} = 3570\ \Omega.$$

Kuna potentsiomeetri üldtakistus on 20 000 Ω ja sellest oli tarvis lülitada ülemisse õlasse R'_3 3570 Ω, jääb alumisse õlasse järele $R''_3 = 20\,000 - 3570 = 16\,430\ \Omega$. On tarvilik kontrollida, kas arvutusel saadav koormusvool I_k vastab ülesandes toodud väärtusele (4,5 mA).

$$I_k = \frac{U_3}{R''_3} = \frac{75}{16430} = 0{,}00456 \text{ A ehk } 4{,}56 \text{ mA},$$

seega praktiliselt võrdub ülesantud väärtusega.

Jääb üle arvutada pingejagaja õlgades soojuseks muutuvate võimsuste suurused, s. o. takistuste võimsuskaod.

$$P_1 = I^2_{R_1} \cdot R_1 = 0{,}025^2 \cdot 2000 = 1{,}25 \text{ W}$$
$$P_2 = I^2_{R_2} \cdot R_2 = 0{,}012^2 \cdot 8330 = 1{,}2 \text{ W}$$
$$P'_3 = I^2_{R'_3} \cdot R'_3 = 0{,}007^2 \cdot 3570 = 0{,}175 \text{ W}$$
$$P''_3 = I^2_{R''_3} \cdot R''_3 = 0{,}0045^2 \cdot 16430 = 0{,}333 \text{ W}$$
$$P_3 = P'_3 + P''_3 = 0{,}175 + 0{,}333 = 0{,}508 \text{ W}$$

Seega pingejagaja õlgadeks tuleb võtta takistid

R_1 — 2000 Ω, 2 W;
R_2 — 8330 Ω, 2 W;
R_3R_4 — potentsiomeeter 20000 Ω, 0,5 W.

28. Ajakonstant.

Raadioseadmeis kasutatakse paljudel juhtudel erilisi alalisvoolu vooluringe, mis moodustatakse kas järjestikku lülitatud takistist ja kondensaatorist või takistist ja poolist. Teatavasti ei evi kondensaatori laadimis- ja tühjenemisvool kogu laadimis- või tühjenemisaja vältel ühtlast suurust, vaid väheneb logaritmilise kõverjoone järgi. Samuti ei omanda pooli läbiv vool normaalset tugevust vooluringi lülitamisel kohe, vaid alles teatud aja möödumisel, kusjuures voolutugevuse tõus areneb sama logaritmilise kõverjoone järgi. Mõlemal juhul on voolutugevuse muutumise kestus võrdeline elektriliste suurustega: kondensaatori puhul mahtuvusega, pooli puhul induktiivsusega (eeldusel, et rakenduspinge säilis püsivana).

Kui kondensaatorile või poolile lülitada vooluringi järjestikku takisti, on võimalik voolutugevuse muutumise kestust muude võrdsete tingimuste juures soovi kohaselt muuta. Takisti järjestikku lülitamine kondensaatoriga pikendab, takisti järjestikku lülitamine pooliga lühendab voolutugevuse muutumise kestust. Takisti-kondensaatori puhul takistuse ja mahtuvuse korrutist RC, takisti-pooli puhul induktiivsuse ja takistuse jagatist L/R nimetatakse vastavate vooluringide a j a k o n s t a n t i d e k s, kusjuures R, C ja L arvutatakse vastavalt oomides, faradites ja henrides. Takisti-kondensaatori puhul ajakonstant, s. o. RC korrutis näitab aega sekundites, mille kestel klemmipinge, mida kondensaator evis tühjenemise algul, langeb $1/e$, s. o. umbes 37% algväärtusest (e — loomulike logaritmide alus, võrdub 2,718 . . .).

Takisti-pooli puhul ajakonstant, s. o. L/R jagatis näitab aega sekundites, mis on tarvilik voolutugevuse arendamiseks $1 = \frac{1}{e}$ väärtuseni, s. o. umbes 63%, arvates ta lõpliku püsivväärtuseni jõudmiseni.

Ajakonstandi õigele valikule rajanevad paljud, eriti elektronlampidega seotud lülitused, nagu vastuvõtja automaatne tundlikkuse regulaator, filtrid, lainepulsside vormimine jne.

29. Alalisvoolu allikad.

Käesolev alajaotus käsitleb ainult elektrokeemilisi vooluallikaid, mis jagunevad primaarseiks ja sekundaarseiks elementideks.

a) Primaarsed elemendid. Kui asetada kaks erinevast metallist elektroodi mõnesse elektrolüüti, tekib nende elektroodide vahel elektripotentsiaalide vahe, ja kui elektroodid ühendada välise vooluringiga, läbib vooluringi elektrivool. Seda nähtust kasutatakse praktiliselt primaarsetes elementides ehk lihtsalt elektrielementides.

Primaarsete elementide toime põhjeneb erinevate ainete elektrokeemilisel omadusel astuda keemilisse ühendusse elektrolüüdiga, mille tagajärjel elektroodide juurde kogunevad erineva laenguga ioonid. Tekkiv potentsiaalide vahe oleneb peamiselt valitud metallipaarist, väiksemal määral kasutatavast hapete või soolade vesilahusest — elektrolüüdist, kuid ei olene elektroodide mõõteist. Erinevate elektroodide ja erinevate elektrolüütide kasutamisega kõiguvad praktikas saadavad potentsiaalide vahed 0,7 kuni 2,5 voldini.

Kasutatavaimas primaarses elemendis — leklanšee elemendis — kasutatakse positiivseks elektroodiks metalli asemel sütt, negatiivseks elektroodiks tsinki ja elektrolüüdiks salmiaagi vesilahust, kusjuures saadav potentsiaalide vahe võrdub keskmiselt 1,5 voldiga.

Välise vooluringi lülitamisega tekkiva voolu mõjul tsinkelektrood lahustub elektrolüüdis. Samal ajal koguneb positiivsele süsielektroodile vesiniku mullikeste kiht, mille tõttu väheneb söe aktiivne pind ning ühtlasi elemendilt saadav voolutugevus. Selle nn. polariseerimise nähtuse neutraliseerimiseks asetatakse süsielektrood mangaandioksüüdiga täidetud kotikesse, mis kujutab endast depolarisaatorit ja seob elektroodile kanduva vesiniku keemiliselt. Mangaandioksüüdist vesiniku molekulid läbi ei pääse, kuna nad ühinevad keemiliselt mangaandioksüüdi hapniku aatomitega, muutudes veeks.

Tavaliselt leklanšee elemendid valmistatakse nn. kuivelementidena, milles elektrolüüt ei ole vedelas olekus, vaid lisaainetega segamise teel on muudetud pastataoliseks. Seesugune ehitusviis teeb elemendid portatiivseteks ning võimaldab nende kasutamist igas asendis ja olukorras.

Kuivelementide elektrilise töö suurust määravaks teguriks on elemendi elektroodide, resp. tsinkelektroodi mõõted: suurema aktiivpinnaga tsinkelektrood võimaldab anda suuremat voolu, paksema elektroodi kasuliku töö iga on pikem. Peale selle sõltub antud materjalikoguse juures elemendi kasulik töö või mahutavus (Ah) õige tunduvalt kasutamistingimustest: pideva katkestamatu töö juures on mahutavus väiksem, korrapäraste vaheaegadega kasutamisel suurem, väiksema vooluga koormamisel suurem, suurema vooluga koormamisel väiksem. Iga tüüpi elemendil on oma optimaalne koormusvool,

millega saavutatakse maksimaalne kasuliku töö hulk, optimaalse koormusvoolu ületamisel langeb kasuliku töö hulk järsult.

Raadioseadmete jaoks kasutatakse kuivelemente peamiselt kaheks otstarbeks — suure mahutavusega elemente lampide kütteks (mahutavus 5,5...37 Ah), väikese mahutavusega elemente lampide anoodtoiteks (mahutavus 0,3...1,1 Ah). Viimasel juhul kõrgema pinge saamiseks elemendid ühendatakse järjestikku — patareisse. Meil valmistatakse kütteelemente mahutavuse järgi kolme liiki — tüüp 2 c, 3 c ja 4 c, anoodpatareisid põhiliselt kahte liiki: 60-voldiseid — tüüp БАС-60 ja 90—100-voldiseid — tüüp БАС-80. Üldiselt märgitakse elemendi või patarei etiketile tüübi nimetuse lõppu nominaalne mahutavus Ah.

Primaarsete elementide hulka tuleb arvata eriti viimasel ajal levinud nn. õhkdepolarisaator-elemente, mis oma põhimõttelt ei erine palju leklanšee elementidest, kuid milles kasutatakse täiendava depolarisaatorina õhuhapnikku, mis pidevalt imbub elementide kaantes olevate avade kaudu depolarisaatormassi. Suurema depolariseerimisvõime tõttu on seesuguste elementide mahutavus ja seega ka kasutegur ligi kaks korda suurem kui võrdsete leklanšee elementide juures.

b) Sekundaarsed elemendid. Erinevalt primaarsetest elementidest (milles elektrienergia saavutatakse keemilisest energiast muundumise teel, kusjuures element lakkab töötamast, kui elektroodi aktiivne koostis on keemiliselt muutunud) sekundaarsetes elementides pärast tühjenemist elektroodide materjali koostis viiakse laadimise teel (s. o. elektrivoolu läbilaskmise teel välisest vooluallikast) endisesse aktiivsesse keemilisse seisundisse, millele võib järgneda uus tühjenemine. Praktiliselt nimetatakse sekundaarseid elemente akumulaatoriteks ehk lihtsalt akudeks.

Sekundaarseid elemente ehk akusid jaotatakse kasutatava elektrolüüdi järgi kahte põhigruppi: hape-akud ja leelis-akud. Esimesed neist on üldisemalt tuntud plii-akude (rahvakeeles „tina-akude") nimetuse all.

1. Hape-akud.

Hape-akudes kasutatakse elektrolüüdina väävelhappe (H_2SO_4) vesilahust ja elektroodidena plii- (seatina-) plaate, mille keemiline koostis muutub tühjenemis-laadimisprotsessi vältel elektrolüüdis sisalduva väävelhappe arvel. Laetud seisukorras koosneb positiivne plaat pliidioksüüdist PbO_2 ning omab tumepruuni šokolaadi-värvust, negatiivne plaat koosneb puhtast urbsest pliist sinakashalli värvusega. Laadimise lõpuks tõuseb aku EMJ 2,7 voldini, langedes koormuse all peatselt 2,1 voldini ning püsides 2 voldi piirides praktiliselt kuni lubatud tühjenemise lõpuni. Samuti tõuseb laadimise lõpuks elektrolüüdi erikaal 1,275...1,285, langedes aku tühjenemisel 1,175...1,180. Elektrolüüdi erikaalu langemine aku tühjenemisel näitab, et temas sisalduv väävelhape ühineb keemiliselt akuplaatidega, kusjuures mõlemad, nii positiivne kui negatiivne plaat muutuvad pliisulfaadiks $PbSO_4$, omandades halli värvuse. Tühjenemise lõpul mõlema plaadi keemilise koostise ühesuguseks ($PbSO_4$) muutumisel langeb ühtlasi akult arendatav EMJ, mille piiriks praktilistel kaalutlustel on 1,8 volti (erikaal 1,18), kuna edasisel tühjenemisel pliisulfaat kaotab urbsuse ja plaadid kattuvad (eriti positiivne) kõva kihiga, mis muudab aku edaspidiseks kasutamiseks kõlbmatuks.

Aku kasuliku töö hulka, mida samuti kui primaarsetegi elementide juures nimetatakse mahutavuseks, arvutatakse ampertundidega. Seejuures aku mahutavus sõltub plaatide aktiivmassist ja pinnast (keskmise väärtusega 1 Ah 10 cm^2 aktiivpinna kohta), laadimis-tühjenemisvoolu suurusest ja elektrolüüdi temperatuurist. Üldiselt laadimis-tühjenemisvoolu vähenedes mahutavus tõuseb, temperatuuri vähenedes — langeb.

Plii-aku normaalne mahutavus arvutatakse kaheksatunnilise laadimis-tühjenemisaja järgi; normaalseks laadimis-tühjenemisvooluks omakorda on selline vool, mis laeb aku täis kaheksa tunni kestel. Seega 100 Ah plii-aku laadimis-tühjenemisvooluks on $\frac{100}{8} = 12{,}5$ A. Tegelikult kujuneb aku laadimisaeg veidi pikemaks, kuna aku säästmise eesmärgil on soovitav laadida akut normaalse vooluga seni, kuni aku hakkab „keema", s. o. elektrolüüdist hakkab eralduma vabalt gaasimullikesi (H ja O). Seejärel tuleb laadimisvool vähendada poolele normaalvoolu tugevusele ning jätkata laadimist kuni laadimise lõpuni, s. o. kuni aku klemmipinge (laadimise ajal) tõuseb 2,7 voldini ja elektrolüüdi erikaal tõuseb areomeetriga mõõtes 1,275—1,285.

Suurema kasutatava pinge saamiseks ühendatakse aku-elemendid järjestikku patareiks, mispuhul patarei mahutavus jääb endiseks; aku-elementide rööbitise ühendamise puhul jääb pinge endiseks, kuid ühendatavate elementide mahutavused patareis liituvad, järelikult suureneb vastavalt ka laadimis-tühjenemisvool.

Plii-akud evivad elemendi kohta suhteliselt kõrget pinget, mis on peaaegu püsiv kogu tühjenemisaja vältel, kuid nad nõuavad väga hoolikat käitlemist. Laadimis-tühjenemisvoolu suurendamine üle normaalvoolu, elektrolüüdi liiga kõrge või madal erikaal ning laadimata olekus seismine mõjuvad plii-akule hävitavalt.

2. Leelis-akud.

Leelis-akudest on rohkem levinud kadmiumnikkel-aku ehk Jungneri aku, milles elektrolüüdiks kasutatakse kaaliumhüdroksüüdi (KOH) või naatriumhüdroksüüdi (NaOH) vesilahust. Positiivse plaadi massiks on laetud seisukorras nikkel(III)hüdroksüüd [$Ni(OH)_3$], mis muutub tühjenemisel nikkel(II)hüdroksüüdiks [$Ni(OH)_2$]. Negatiivse plaadi massiks on urbne kadmium puhtal kujul (Cd) või vähese urbse raua (Fe) lisandiga, mis muutub tühjenemisel kadmiumhüdroksüüdi ja raudhüdroksüüdi seguks [$Cd(OH)_2$ + + $Fe(OH)_2$]. Elektrolüüdi kontsentratsioon laadimis-tühjenemistsükli vältel ei muutu, kuid ta sõltub elektrolüüdi temperatuurist: temperatuuri tõustes väheneb, temperatuuri langedes tõuseb. Üldse on leelis-aku väga tundlik temperatuuri muutuste suhtes, kuna ta kaotab mahutavuse +35 ... +45°C temperatuuri juures ning külmub temperatuuri langemisel alla —10°C. Seepärast kasutatakse neis eri aastaaegadel erineva koostise ja erineva erikaaluga elektrolüüte. Talviseks elektrolüüdiks temperatuuris —10°C kuni +10°C kasutatakse kaaliumhüdroksüüdi vesilahust (KOH) erikaaluga 1,2, töötamiseks temperatuuril alla —10°C tõstetakse erikaalu kuni 1,3. Suviseks töötamiseks asendatakse kaaliumhüdroksüüd naatriumhüdroksüüdiga (NaOH), erikaaluga 1,17 kuni 1,19, mis võimaldab kasutamist temperatuuridel +10° kuni +40°C.

Kadmiumnikkel-aku pinge muutub nii laadimisel kui ka tühjenemisel suurtes piirides: laadimisel alates 1,4 voldist kuni 1,8 voldini, tühjenemisel alates 1,35 kuni 1,0 voldini, keskmise pingega 1,25 volti, kuid seevastu võimaldavad need akud ohutult kiirendatud laadimist ja tühjendamist tugevamate vooludega, pole tundlikud laadimata olekus seismise suhtes, on kaalult kerged ja ehituselt tugevad.

Leelis-akudest leiab kasutamist peale kadmiumnikkel-aku veel raudnikkel- ehk Edisoni aku, mis oma ehituselt ja töötamiselt ei erine eelmisest, välja arvatud negatiivsed plaadid, milleks kasutatakse rauda ja mis aku tühjenemisel muutuvad raud(II)hüdroksüüdiks. Elektrilisest erinevusest tuleks mainida, et raudnikkel-aku laadimis-tühjenemispinged on veidi väiksemad, tühjenemispinge keskväärtuseks on 1,2 volti.

VI peatükk.

VAHELDUVVOOL.

30. Üldmõiste.

Elektrivoolu, mis oma suunda ja väärtust ajas perioodiliselt muudab, nimetatakse vahelduvvooluks. Teatavasti põhjustab elektronide voolu elektriväli ja kui elektriväli muutub nii suunas kui väärtuses, siis voolujuhtmes tekkiv elektronide vool ehk elektrivool kujunebki vahelduvaks. Suurima väärtuse vahelduvvoolule annab kaasnev, tsükliliselt muutuv magnetväli, mis võimaldab energiat üle kanda ühest vooluringist teise ning seejuures muuta ülekantava elektrienergia pinget ilma vooluringide vahetu kokkupuuteta.

Vahelduvvoolu saab toota mitmel viisil, millest praktiliselt kasutatavamad on kaks:

1) genereerimine vahelduvvoolu generaatoriga, milles mehaaniline energia muudetakse suhteliselt väikese vaheldussagedusega vahelduvvoolu energiaks (elektrijõujaam);

2) genereerimine lampgeneraatoriga, milles alalisvool muudetakse suure vaheldussagedusega vahelduvvooluks (raadiosaatja).

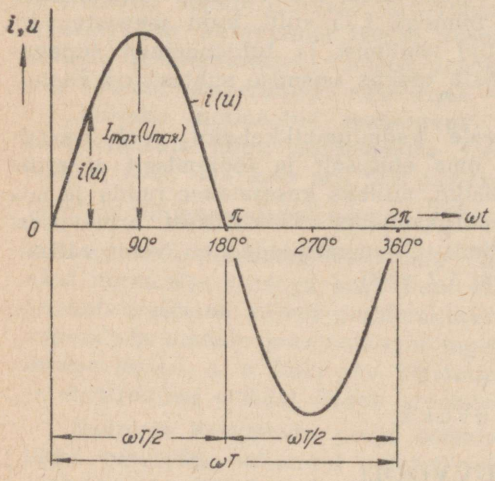
31. Sagedus.

Voolu muutumist ta nullväärtusest voolamise alguses kuni nullväärtuseni tagasijõudmisel pärast positiivse ning negatiivse tervikkäigu sooritamist (joon. 21) nimetatakse üheks tsükliks ning ühe tsükli väldet sekundites või sekundi murdosades nimetatakse perioodiks (T).

Sageduseks (f) nimetatakse ühe sekundi vältel sooritatud tsüklite arvu ja seetõttu mõõdetakse sagedust tsüklitega sekundis (ts/sek) või rahvusvaheliste ühikute hertsidega (Hz), kusjuures 1 herts võrdub

1 tsükliga sekundis. Seega sagedus ja periood on pöördsuurused ja on seotud teineteisega:

$$f = \frac{1}{T} \text{ (Hz)}.$$



Joon. 21. Siinusekujuline vahelduvvool või pinge.
I_{max} (U_{max}) — voolu või pinge maksimaalväärtus-amplituud, i (u) — voolu või pinge hetkväärtus; ühele terviktsüklile vastab nurk 360° või väljendatuna ringi kaare pikkusega — 2π.

Raadiotehnikas kasutatavad sagedused ulatuvad miljonitesse ja tuhandetesse miljonitesse tsüklitesse sekundis, seepärast kasutatakse tuhat korda suuremaid ühikuid — kilotsükleid sekundis (kts/sek) ehk kilohertse (kHz) ja miljon korda suuremaid ühikuid — megatsükleid sekundis (Mts/sek) ehk megahertse (MHz).

Kuna elektri- ja magnetväljad levivad valguse kiirusega (c), 300 000 km sekundis, siis kõrgete sageduste puhul mõnikord ei arvutata sagedust, vaid kaugust, mida läbib vool ühe tsükli vältel ja mida nimetatakse lainepikkuseks (λ)

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

kui λ — meetrites, c — km/sek, siis f — kts/sek ehk kHz; näiteks 300 m lainepikkusele vastab sagedus 1000 kts/sek ehk kHz või 1 Mts/sek ehk MHz.

Sageduse muutmisega muutuvad ka vahelduvvoolu rakendusalad, seepärast liigitatakse vahelduvvoolusid sagedusastmike järgi:

Sagedusastmikud	Lainepikkus	Sagedusastmike nimetused [1]
10—10 000 Hz	—	Madalsagedused
10— 30 kHz	30— 10 km	Madal-raadiosagedused
30— 300 kHz	10— 1 km	Madal-raadiosagedused
300— 3 000 kHz	1000—100 m	Kesksagedused
3— 30 MHz	100— 10 m	Kõrgsagedused
30— 300 MHz	10— 1 m	Ülikõrgsagedused
300— 3 000 MHz	1— 0,1 m	Ultrakõrgsagedused
3 000—30 000 MHz	10— 1 cm	Superkõrgsagedused

Peale selle eritellakse madalsagedusastmikus sagedusi 16⅔, 25, 50 ja 60 Hz tehniliste sagedustena, millistel sagedustel toodetakse elektrijõu-

[1] Uuemas eestikeelses terminoloogias kasutatakse rööbiti nimetusega madalsagedus ka väikesagedus ja rööbiti nimetusega kõrgsagedus — suursagedus.

jaamades elektrienergiat ülekandmiseks juhtmeid kaudu. Sagedusi 15—15 000 Hz, mis asuvad kuuldava heli sageduste piirides, nimetatakse **helisagedusteks.**

Vahelduvvool võib muutuda hetkest hetkeni reeglipäraselt või ilma kindla reeglita, kuid tavaliselt positiivse tsükli-osa ajavälde võrdub negatiivse tsükli-osa ajavältega. Neid osi kutsutakse vastavalt positiivseks ja negatiivseks pooltsükliks. Samad terminid on kehtivad ka vahelduvate elektromotoorsete jõudude ja pingete ning magnetvoogude suhtes.

32. Vahelduvvoolu kuju ja väärtused.

Voolu või EMJ muutuvaid väärtusi kujutatakse graafiliselt kõverjoonena aja suhtes. Sääraseid tsüklilisi voolumuutuse suhteid ajas võib olla lõpmata palju ning igaühele neist saab tuletada oma kindla muutuvuse reeglipärasuse. Kuid kõigi reeglipäraselt aja suhtes muutuvate voolude hulgast võib eraldada ühe lihtsaima vooluliigi, mis muutub siinuse muutumise reegli kohaselt. **Siinuseline** vool evib tsükliliselt muutuvat puhast lainelist kuju ning pole enam lahutatav teisteks veelgi lihtsamaiks vooluliikideks. Kõiki muukujulisi voole saab lahutada lineaarseks siinuseliste voolude kompleksiks. Iga seesugune kompleks sisaldab endas kas lõplikku või lõpmatut arvu siinusvoole, millede tsüklilise muutuste arvude omavahelised suhted kujutavad lihtsaid täisarve.

Seepärast on siinusvool võetud kõigi vahelduvvoolude põhitüübiks, millega sooritatakse kõik arvutused.

Siinusvoolu tsüklilist muutumist ajas kujutatakse graafiliselt siinuskõveraga, mis saadakse ühtlase kiirusega pöörleva voolu **maksimaalväärtust** ehk **amplituudi** kujutava joonlõigu projektsioonist vertikaalteljele. Sel puhul voolu **hetkväärtus**

$$i = I_{max} \sin \alpha,$$

milles i — voolu hetkväärtus, I_{max} — voolu maksimaalväärtus ehk amplituud ja α — pöörlemisnurk kraadides.

Kuid voolu hetkväärtuste kindlakstegemine sellisel kujul on raske nurga arvutamisega kraadides. Seepärast asendatakse nurga muutumine kraadides tema muutumisega radiaanides (radiaaniks nimetatakse ringi raadiusega võrdse pikkusega ringjoone lõiku). Seega 360° nurk, mis vastab ühele vahelduvvoolu terviktsüklile, võrdub 2π radiaaniga; 180° nurk, mis vastab pooltsüklile, võrdub vastavalt π radiaaniga jne. Kui terviktsüklite arv sekundis on f, siis ühe sekundi vältel kujuneb sooritatud nurk $2\pi f$ radiaani ning t sekundi vältel võrdub nurk $2\pi ft$ radiaaniga. Kuna väljend $2\pi f$ radiaanides näitab sooritatud teekonda sekundis, seega kiirust, siis nimetataksegi teda **nurkkiiruseks** ehk **nurksageduseks** ja märgitakse lühendatult ω.

Asendades eespooltoodud võrrandis nurga absoluutse väärtuse α vastava nurksagedusega, kujuneb siinusvoolu võrrand üldkujul

$$i = I_{max} \sin 2\pi ft \text{ ehk } = I_{max} \sin \omega t.$$

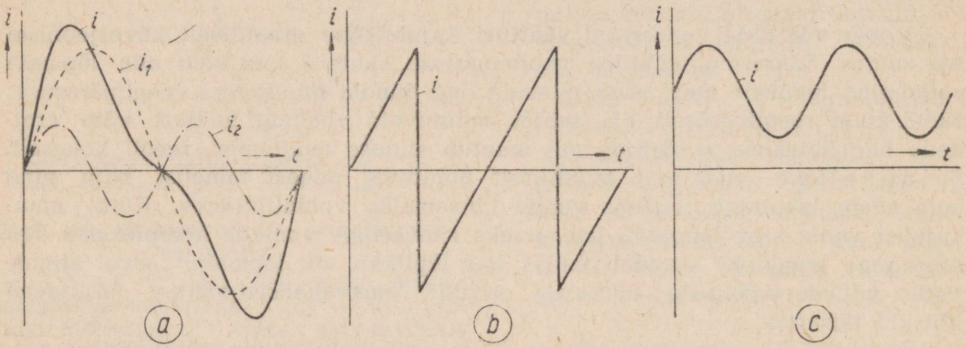
Samuti arvutatakse ka siinuselisi EMJ ja pingeid

$$e = E_{max} \sin 2\pi ft = E_{max} \sin \omega t$$

ning

$$u = U_{max} \sin 2\pi ft = U_{max} \sin \omega t.$$

Joonisel 22 *a* on toodud kompleksvool *i*, mis ei oma siinuselise voolu kuju, kuid mida võib lahutada kaheks erineva amplituudi ja sagedusega siinuseliseks vooluks i_1 ja i_2. Neid lihtvoolusid nimetatakse lahutamise puhul harmooniliste sagedustega vooludeks. Säärast harmoonilist, käesoleval juhul



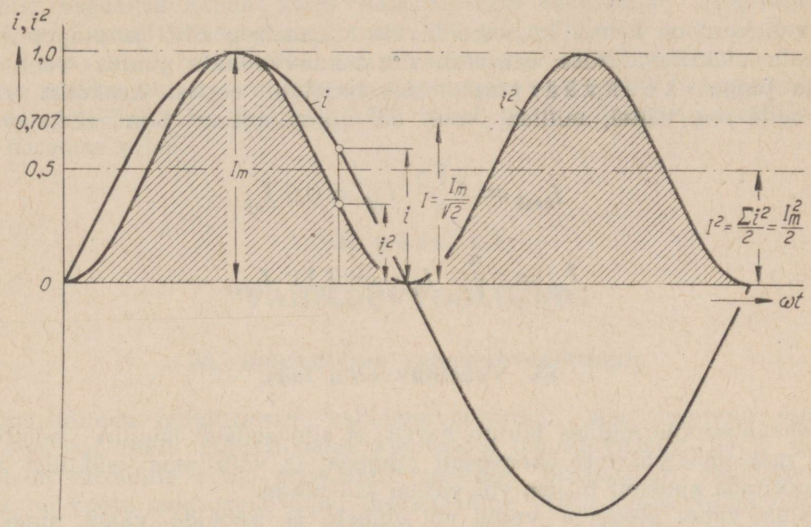
Joon. 22. *a* — kompleksvoolu hetkväärtuse *i* kõvera lahutamine harmooniliste sagedustega muutuvate voolude hetkväärtuste i_1 ja i_2 kõveraiks; esimene evib põhi- ehk esimest harmoonilist sagedust ja teine — teist harmoonilist sagedust; *b* — saehambakujuline kompleksvool; *c* — pulseerivvool.

i_1, mille sagedus võrdub kompleksvoolu sagedusega, nimetatakse esimese harmoonilise sagedusega vooluks ($I_{m_1} \sin \omega t$), teist harmoonilist i_2, mille sagedus on kaks korda suurem põhisagedusest, nimetatakse teise harmoonilise sagedusega vooluks ($I_{m_2} \sin 2\omega t$). Kui kompleksvool sisaldab veelgi kõrgemaid harmoonilisi sagedusi, siis nimetatakse neid vastavalt sageduse suurenemisele kolmandaks, neljandaks jne. harmooniliseks. Joonisel 22 *b* on kujutatud saehambataoline kompleksvool *i*, mis sisaldab lõpmata suure arvu lihtsiinuselisi voole. Raadiotehnikas tuleb õige sagedasti kokku puutuda sääraste kompleksvooludega, mis sisaldavad peale vahelduvvoolude veel alalisvoolu komponenti (joon. 22 *c*). Selliseid kompleksvoolusid nimetatakse pulseerivvooludeks.

Kuna vahelduvvool kogu aeg muutub suunalt ja väärtuselt, siis on arusaadav, et nii maksimaal- kui hetkväärtused pole kõlblikud sooritatava töö määratlemiseks. Seepärast kasutatakse vahelduvvoolu juures efektiivväärtust, mis kujutab ekvivalentset voolutugevust või pinget alalisvooluga, võrdse töö sooritamisel. Kui sooritatava töö aluseks võtta soojuse tekitamist voolu läbimisel juhtmetakistusest, siis vahelduvvoolu efektiivväärtust määratakse kui seesugust ühtlase tugevusega alalisvoolu väärtust, mis tekitab samas takistuses võrdse aja vältel vahelduvvooluga võrdse soojushulga.

Kui võrdse soojuse tekitamisel takistust R läbiva alalisvoolu väärtus $= \underline{I}$ ja ekvivalentse vahelduvvoolu maksimaalväärtus $= I_{max}$ ning hetkväärtused $= i$, siis alalisvoolult sooritatav töö võrdub

$$W = \underline{I}^2 R .$$



Joon. 23. Siinuselise voolu efektiivväärtuse graafiline kujutus. Siinuselise voolu hetkväärtuste ruudu kõvera ja ωt telgjoone vaheline joonitatud pindala, mis kujutab endast siinuselise voolu poolt sooritatud tööd ühe terviktsükli vältel, on võrdne terviktsükli pikkuse ja efektiivvoolu ruudu $I^2 = \frac{I_m^2}{2}$ kõrguse täisnurkse nelinurga pindalaga. Viimane kujutab efektiivvooluga võrdse alalisvoolu poolt sooritatud tööhulka terviktsükli vältel. Voolu efektiivväärtuse ruut võrdub kõikide voolu hetkväärtuste ruutude keskväärtustega, s. o. $I^2 = \frac{\Sigma i^2}{2}$, mis on ühtlasi võrdne voolu maksimaalväärtuse ruudu poole väärtusega $\frac{I_m^2}{2}$. Sellest siinuselise voolu efektiivväärtus $I = \sqrt{\frac{I_m^2}{2}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0{,}707\, I_m$.

Vahelduvvoolu puhul iga hetkväärtuse poolt igal hetkel sooritatav töö on

$$i^2 R$$

ning kogu tsükli vältel sooritatud tööhulk W võrdub kõigi hetkväärtuste ruutude keskmise väärtuse poolt sooritatud tööga

$$W = \frac{\Sigma i^2 R}{2}.$$

Seega $\underline{I}^2 R = \frac{\Sigma i^2 R}{2}$ ning jagades R-ga $\underline{I}^2 = \frac{\Sigma i^2}{2}$.

Kui siinuselise voolu juures kõigi hetkväärtuste ruutude keskmine väärtus $\frac{\Sigma i^2}{2}$ võrdub poolega maksimaalväärtuse ruudust $\frac{I^2_{max}}{2}$, siis $\underline{I}^2 = \frac{I^2_{max}}{2}$

ning alalisvooluga ekvivalentne vahelduvvoolu efektiivväärtus

$$I_{ef} = \frac{I_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{I_{max}}{1{,}414} = 0{,}707\ I_{max}$$

ja

$$I_{max} = \sqrt{2}\ I_{ef} = 1{,}414\ I_{ef}.$$

Sama vahekord on kehtiv ka vahelduvate siinuseliste EMJ ja pingete puhul.

Peale efektiivväärtuse eristatakse vahelduvvoolude juures veel voolu, EMJ ja pinge keskväärtust, mis kujutab endast keskmist väärtust tsükli selle osa vältel, millisel vool on ühesuunaline. Siinuseliste voolude juures

$$I_{kesk} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}\ I_{ef} = 0{,}9\ I_{ef}$$

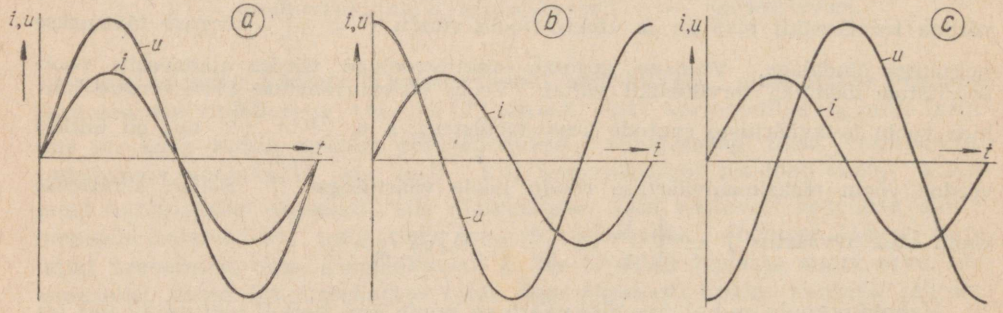
ning

$$I_{ef} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}\ I_{kesk} = 1{,}11\ I_{kesk}.$$

33. Vahelduvvoolu faas.

Vahelduvvooluringides juhtub harva, et siinuseliselt muutuv voolutugevus omaks maksimaalväärtust üheaegselt pingega, ta võib oma tsüklilist muutumist sooritada ajaliselt hiljem või varem kui pinge.

Ajalist vahet pinge ja voolu või pingete ja voolude vahel nimetatakse faaside vaheks ehk faaside nihkeks, mida väljendatakse nihkenurgaga kas kraadides või radiaanides.



Joon. 24. Vahelduvvoolu faasid:
a — vool *i* on pingega *u* faasis; *b* — vool *i* on pingest *u* 90° võrra faasis taga (hilineb faasis); *c* — vool *i* on pingest *u* 90° võrra faasis ees (jõuab ette faasis).

Ainult erandjuhtudel võivad kaks võrdse sagedusega siinuselist voolu või pinge ja vool olla faasis, s. o. kui nad sooritavad oma tsüklilised muutused üheaegselt. Joonisel 24 on näidatud kolm juhtu: *a* — pinge *u* ja vool *i* on faasis, b — vool *i* hilineb *u*-st veerandtsükli võrra, s. o. nihutatud 90° võrra faasis taha, c — vool *i* eelib *u* veerandtsükli võrra, s. o. nihutatud 90° võrra faasis ette. Faasis hilinemist või eelimist saab kindlaks teha, kui võrrelda, mil-

line vaadeldavaist kõveraist jõuab oma maksimaalväärtuseni varem, arvestades seda, et graafilisel märkimisviisil voolude ja pingete arenemissuunaks on võetud kellaosutile vastassuunaline liikumine.

Kui osutub tarvilikuks liita ühes ning samas vooluringis voolavaid võrdse sagedusega voolusid või pingeid, siis nende resulteeriv väärtus, mis evib sama sagedust, saadakse nende kõigi hetkväärtuste algebralise liitmisega. Kahe võrdse amplituudi ja sagedusega voolu või pinge liitmisel kujuneb resulteeriv väärtus kaks korda suuremaks, kui mõlemad voolud või pinged on faasis, või muutub nulliks, kui nad on nihutatud teineteise suhtes 180° võrra. Kõigil muil juhtudel, kui faasinihe on 0° ja 180° vahel, asub resulteeriv väärtus nende kahe äärmuse vahel.

VII peatükk.

VAHELDUVVOOLURING.

34. Induktiivsus vahelduvvooluringis.

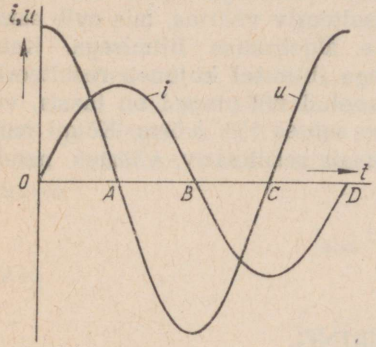
Kui lülitada induktiivsus vahelduvvooluringi, siis tingituna muutuvast magnetväljast tekib induktiivsuse klemmidel induktiivsuslik EMJ, mis igal hetkel on võrdeline voolu muutumise määraga. Siinuseliste vahelduvvoolude juures on voolu muutumise määr maksimaalne voolu suuna vaheldumise hetkel, s. o. nullväärtuse juures; voolu muutumise määr on minimaalne, kui voolutugevus on maksimaalne. Järelikult induktiivsuslik EMJ on maksimaalne, kui vool on null, ja minimaalne, kui vool on maksimum. See näitab, et indutseeritud induktiivsuslik EMJ ja vool on teineteise suhtes faasis nihutatud 90° võrra, ja kuna induktiivsuslik EMJ mõjub sääraselt, et säilitada olemasolevat elektrilist olukorda ja vastu mõjuda toiteallika EMJ-le, s. o. takistada voolu muutumist, siis indutseeritud EMJ asub faasis voolu järel.

Samal põhjusel indutseeritud EMJ, olles vastupidine toiteallikast vooluringi rakendatud pingele, mis põhjustas voolu tekkimist läbi induktiivsuse, on viimasega faasis nihutatud 180° võrra. Järelikult toitepinge suhtes vool hilineb 90° või veerandtsükli võrra (joon. 24 *b*) ning indutseeritud EMJ suhtes jõuab ette 90° või veerandtsükli võrra (joon. 24 *c*).

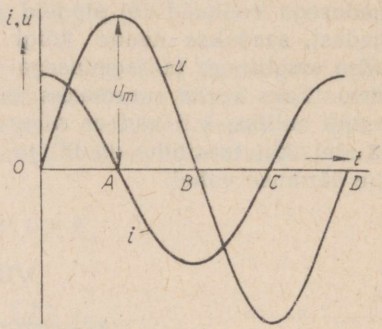
Alalisvooluringis muundub vooluenergia juhtmetakistuses soojuseks. Vahelduvvooluringi lülitatud induktiivsuse puhul kulub vooluenergia voolutugevuse tõusu kestel magnetvälja loomiseks, kust ta kandub tagasi vooluringi voolutugevuse langemise kestel.

See selgub näitlikult jooniselt 25, kus u kujutab toiteallika pinget ja i — induktiivsust läbivat voolu. Esimese veerandtsükli kestel, s. o. aja jooksul O-A, tõuseb vool positiivses suunas nullväärtusest maksimaalväärtuseni. Samal ajal nii vool kui ka pinge on positiivsed, mis näitab, et vooluenergia eraldub vooluringist magnetvälja loomiseks. Järgneval veerandtsüklil A-B vool langedes nullile on endiselt positiivne, kuid pinge on muutunud negatiivseks ja seega ka vooluenergia on negatiivne; see tähendab, et vooluring energiat ei eralda, vaid et magnetvälja varutud energia kandub tagasi vooluringi. Kolmanda veerandtsükli vältel B-C vool suureneb uuesti, kuid nega-

tiivses suunas, samal ajal on ka pinge negatiivne. Kuna negatiivsete suuruste korrutis on positiivne, siis kolmanda veerandtsükli vältel vooluenergia kulub samuti magnetvälja loomiseks. Viimase veerandtsükli vältel C-D kandub magnetvälja varutud energia uuesti tagasi vooluringi.



Joon. 25. Voolu ja pinge ajaline nihe vahelduvvooluringi lülitatud induktiivsuse puhul.



Joon. 26. Pinge ja voolu ajaline nihe vahelduvvooluringi lülitatud mahtuvuse puhul.

Kokku võttes võib öelda, et induktiivsuse puhul vahelduvvooluringis ühe terviktsükli kestel vooluenergia kaks korda muundub magnetvälja energiaks ja samuti kaks korda kandub tagasi vooluringi. Seega vahelduvvooluringi lülitatud ideaalsete omadustega induktiivsuses üldine võimsuskulu võrdub nulliga.

Vahelduvvooluringi lülitatud induktiivsuse võimsuskulu väljendamisel arvuliselt tuleb arvestada toitepinge ja voolu vahelist faasinihet. Kui U_{ef} ja I_{ef} väljendavad vastavalt pinget voltides ja voolu amprites efektiivväärtustena, siis võimsus P vattides

$$P = U_{ef}\, I_{ef} \cos \varphi \quad \text{(vatti)},$$

kusjuures φ on nihkenurk ning $\cos \varphi$ vooluringi võimsustegur[1].

Kõik praktilised induktiivsused evivad takistust, milles osa võimsusest vooluringi tagasi tulemata muundub soojuseks, kuid igal juhul on neis soojuseks muunduva võimsuse hulk suhteliselt väga väike, võrreldes magnetväljasse varutava ja tagasituleva võimsusega.

35. Induktiivtakistus.

Induktiivsuse käsitlemisel alalisvooluringis selgus, et induktiivsuses indutseeritav EMJ on võrdeline induktiivsuse suurusega ning voolutugevuse muutumise määraga, s. o. voolu muutumise suurusega ja muutumise kiirusega, mille matemaatiline kuju on:

$$e = -L \frac{\Delta i}{\Delta t}.$$

Vahelduvvooluringis toimub voolu muutumine tsükliliselt, kusjuures voolu

[1] Kui soojuskadusid juhtmetakistuses mitte arvestada, on nihkenurk $\varphi = 90°$, $\cos \varphi = 0$ ning $P = 0$, s. o. võimsust pole kasutatud.

muutumise kiirus määratakse kindlaks sagedusega. Järelikult vahelduvvooluringi lülitatud induktiivsuse klemmidel indutseeritav EMJ

$$E = -2\pi fLI \text{ (volti)},$$

milles E ja I on väljendatud efektiivväärtustena voltides ja amprites, voolu vaheldumissagedus — ringsagedusena $2\pi f$ ja L — induktiivsus henrides.

Kuna vooluringi rakendatud toitepinge U oma väärtuselt peab olema võrdne, kuid suunalt vastupidine indutseeritud EMJ-le E, siis

$$U = 2\pi fLI \text{ (volti)},$$

millest

$$I = \frac{U}{2\pi fL} \text{ (amprit)}.$$

Need võrrandid väljendavad pinge ja voolutugevuse sõltuvust ning kujutavad Ohmi seadust vahelduvvooluringis induktiivsuse puhul, milles R on asendatud $2\pi fL$. Suurust $2\pi fL$ nimetatakse vahelduvvooluringis **induktiivtakistuseks** ehk **induktiivsuslikuks reaktantsiks**[1] ning väljendatakse lühidalt X_L. Kui f on hertsides, L — henrides, siis induktiivtakistus X_L arvutatakse oomides:

$$X_L = 2\pi fL \text{ (oomi)}.$$

36. Mahtuvus vahelduvvooluringis.

Kui vahelduvvoolu allika klemmidele hetkel, mil ta pinge läbib ühte oma nullväärtust ning hakkab suurenema positiivse maksimumi suunas, lülitada kondensaator, siis pinge u tõusmisega (joon. 26) voolab kondensaatori plaatidele laadimisvool i, mille väärtus igal hetkel on võrdeline pinge muutumise määraga. On arusaadav, et pinge muutumine on kõige suurem just siis, kui ta läbib nullpunkti, s. o. kui siinuskõver evib suurimat tõusu. Seega laadimisvool evib maksimaalset väärtust siis, kui pinge võrdub nulliga.

Pinge suurenemisel väheneb ühtlasi ta muutumise suurus ja jõudmisel positiivse maksimaalväärtuseni U_{max} tekib muutumises seisak, mil laadimisvool langeb nullile. Järgnevalt hakkab pinge vähenema, millega koos tekib kondensaatori tühjenemisvool, mis on vastassuunaline laadimisvoolule, seega negatiivne. Tühjenemisvool kestab seni, kuni pinge on jõudnud uuesti nullväärtuseni. Edasi kordub pinge tõusmine ja laadimisvoolu tekkimine vastassuunas, millele järgneb uuesti kondensaatori tühjenemine.

Seega on laadimisvool toitepinge suhtes faasis nihutatud 90° ehk veerandtsükli võrra. Seejuures omab vool positiivset maksimaalväärtust siis, kui pinge võrdub nulliga ning suureneb positiivse maksimaalväärtuse suunas. Järelikult mahtuvuse puhul vahelduvvooluringis jõuab vool pingest ette 90° ehk veerandtsükli võrra.

Joonisel 26 pinge ja voolu tsüklilise arenemise jälgimisel selgub, et veerandtsüklite O-A ja B-C kestel, mil pinge tõuseb nullväärtusest maksimaalväärtuseni, evib vool pingega ühist suunda, mis näitab, et vooluenergia kon-

[1] Nimetatakse ka **induktiivseks ebatakistuseks**.

densaatoris on positiivne. See on ka arusaadav, sest neil veerandtsüklitel kulub võimsus kondensaatori laadimiseks. Veerandtsüklite A-B ja C-D kestel, mil pinge langeb maksimaalväärtuselt nullile, on voolu suund vastupidine ning vooluenergia negatiivne: kondensaatorisse elektriväljana varutud energia kandub tagasi vooluringi.

Järelikult vahelduvvooluringi lülitatud kondensaatori üldine võimsuskadu võrdub nulliga.

Vahelduvvooluringi lülitatud kondensaatori võimsuskao väljendamiseks arvuliselt tuleb arvestada faasinihet pinge U ja voolu I vahel; kui U ja I väljendavad vastavalt pinge ja voolu efektiivväärtusi, siis võimsus

$$P = UI\cos\varphi \quad \text{(vatti)},$$

kusjuures φ on nihkenurk kraadides ning $\cos\varphi$ vooluringi võimsustegur[1].

Praktilises kondensaatoris tekivad soojuskaod dielektrikus, mida peab katma vooluallikas, kuid kondensaatori juures on sääraste kadude suurus tegelikult väga väike.

37. Mahtuvustakistus.

Mahtuvuse käsitlemisel alalisvooluringis selgus, et kondensaatori laeng on võrdeline mahtuvusega ja kondensaatori klemmidele rakendatud pingega:

$$Q = CU.$$

Vahelduvvooluringi lülitatud kondensaatori laadimis-tühjenemisvoolude väärtused on sama mahtuvuse suuruse juures igal vaadeldaval hetkel võrdelised pinge muutumise määraga, s. o. pinge muutumise väärtusega ja muutumise kiirusega:

$$i = C\frac{\Delta U}{\Delta t}.$$

Kuna vahelduvvooluringis pinge muutumine toimub tsükliliselt, siis laadimis-tühjenemisvoolu suurus

$$I = 2\pi fCU \quad \text{(amprit)},$$

millest

$$\frac{U}{I} = \frac{1}{2\pi fC} \quad \text{(oomi)},$$

milles I ja U on väljendatud efektiivväärtustena voltides ja amprites, pinge vaheldumissagedus — ringsagedusena $2\pi f$ ja C — mahtuvus faradites.

Toodud võrrandid kujutavad Ohmi seaduse valemit vahelduvvooluringile, millesse on lülitatud mahtuvus ja milles R on asendatud $\frac{1}{2\pi fC}$. Suurust $\frac{1}{2\pi fC}$ nimetatakse vahelduvvooluringis mahtuvustakistuseks ehk mahtuvuslikuks reaktantsiks[2] ning väljendatakse X_C. Kui f on hertsides, C — faradites, siis mahtuvustakistus X_C arvutatakse oomides:

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} \quad \text{(oomi)}.$$

[1] Käesoleval juhul, kui kadusid dielektrikus mitte arvestada, võrdub nihkenurk 90°, millest $\cos\varphi = 0$ ning ka võimsus $P = 0$.

[2] Seda nimetatakse ka mahtuvuslikuks ebatakistuseks.

38. Takistus vahelduvvooluringis.

Vahelduvvooluringi lülitatud takistuses energiavarumise nähtusi ei esine. Seetõttu pinge ja vool jäävad alaliselt faasi (joon. 24 *a*) ning võimsus on kogu aeg positiivne: vooluenergia muundub takistuses soojuseks. Järelikult väljendatakse võimsuskadu vahelduvvooluringi lülitatud takistuses analoogiliselt alalisvoolu võimsusega:

$$P = UI = I^2R \quad \text{(vatti)},$$

milles U ja I on väljendatud pinge ja voolu efektiivväärtustes.

Kuna puhtakujuline takistus induktiivsust ja mahtuvust ei oma ning pinge on vooluga faasis, siis on vahelduvvooluringi lülitatud takistuse puhul Ohmi seadus rakendatav harilikul kujul:

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{(amprit)},$$

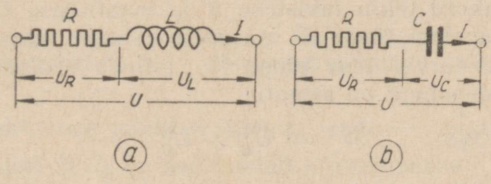
$$U = IR \quad \text{(volti)},$$

$$R = \frac{U}{I} \quad \text{(oomi)}.$$

Täpsemalt öeldes, puhtakujulist takistust praktiliselt ei eksisteeri: vool tekib takistuses elektrivälja toimel, voolu läbimisel takistusest tekib magnetväli, mis näitab, et vooluringi lülitatud takistusega kaasnevad alati mahtuvuslikud ja induktiivsuslikud nähtused. Alalisvoolu ja madalsageduslike vahelduvvoolude puhul on takistusega seotud mahtuvus ja induktiivsus niivõrd väikesed, et neid tavaliselt ei arvestata. Sageduse tõustes nende osatähtsus tõuseb õige tunduvalt.

39. Impedants[1].

Kui lülitada vahelduvvooluringi järjestikku takistus R ja induktiivsus L (joon. 27 *a*), siis vooluringi rakendatava pinge U mõjul areneb vooluringis



Joon. 27. *a* — takistus ja induktiivsus järjestikku, *b* — takistus ja mahtuvus järjestikku.

vool I, mis on ühetugevune kõigis vooluringi osades. Vooluringi läbides peab vool üheaegselt tekitama soojust takistuses ning looma magnetvälja induktiivsuses. Seega kindla rakenduspinge U juures voolutugevus sõltub takistuse R ja reaktantsi (induktiivtakistuse) X_L koondmõjutusest.

Takistuse ületamiseks kuluv pinge $U_R = IR$ asub faasis vooluga, reaktantsi ületamiseks tarvitatav pinge $U_L = IX_L$ on voolust 90° võrra ees. Seega

[1] Kannab ka nimetust näivtakistus.

on faasis 90° võrra nihutatud teineteise suhtes ka U_R ja U_L ning neid algebraliselt liita ei saa, vaid nende koondväärtus tuletatakse geomeetriliselt:

$$U^2 = U_R^2 + U_L^2,$$

millest

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_L^2}.$$

Asendades U_R ja U_L varemtuletatud väärtustega, saame

$$U = \sqrt{I^2 R^2 + I^2 X_L^2} = I\sqrt{R^2 + X_L^2} \text{ volti}$$

ning

$$\frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + X_L^2} \text{ oomi,}$$

milles U ja I on vastavad efektiivväärtused voltides ja amprites, R — takistus oomides ja reaktants $X_L = 2\pi fL$ samuti oomides.

Väljend $\sqrt{R^2 + X_L^2}$ kujutab takistuse ja reaktantsi koondväärtust, mida nimetatakse *näivtakistuseks* ehk *impedantsiks*, arvutustes märgitakse teda Z ning arvutatakse oomides. Seega vahelduvvooluringide kohta, millesse on lülitatud järjestikku takistus ja reaktants, kujuneb Ohmi seadus:

$$I = \frac{U}{Z} \text{ (amprit),}$$

$$Z = \frac{U}{I} \text{ (oomi),}$$

$$U = IZ \text{ (volti).}$$

Saadud võrranditest võib järeldada, et rakenduspinge U ja voolu I vaheline nihkenurk takistuse liitumise tõttu reaktantsiga peab olema väiksem kui 90° ja suurem kui 0°.

Analoogiline olukord tekib takistuse R ja mahtuvuse C järjestikusel lülitamisel vahelduvvooluringi (joon. 27 *b*), ainsa vahega, et mahtuvusliku reaktantsi X_C ületamiseks tarvisminev pinge U_C hilineb voolust 90° võrra. Sellise lülituse puhul rakenduspinge on samuti

$$U^2 = U_R^2 + U_C^2,$$

millest

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_C^2} \text{ volti.}$$

Asendades U_R ja U_C varemtuletatud väärtustega, saame:

$$U = \sqrt{I^2 R^2 + I^2 X_C^2} = I\sqrt{R^2 + X_C^2} \text{ volti}$$

ning

$$\frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + X_C^2} \text{ oomi,}$$

milles U ja I on pinge ja voolu efektiivväärtused voltides ja amprites, R — takistus oomides ja reaktants $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ samuti oomides.

Avaldis $\sqrt{R^2 + X_c^2}$ kujutab samuti impedantsi Z, millest

$$I = \frac{U}{Z} \text{ (amprit)},$$

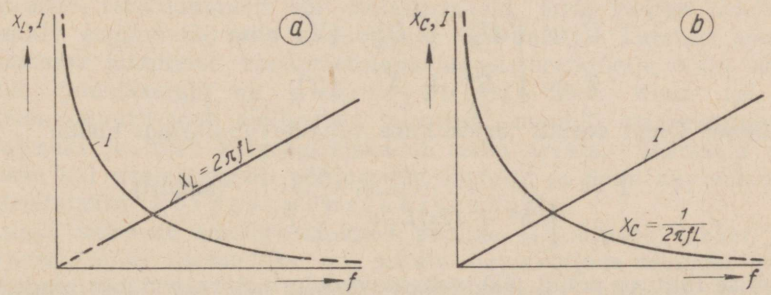
$$Z = \frac{U}{I} \text{ (oomi)},$$

$$U = IZ \text{ (volti)}.$$

Samuti U ja I vaheline nihkenurk asub 0° ja 90° vahel, kuid on negatiivne võrreldes nihkenurgaga, mis kujunes takistuse liitmisel induktiivse reaktantsiga.

Eelnevast selgub, et vahelduvvooluringis pinge ja voolu suhe väljendab alati vahelduvvoolu takistust, mis võib olla takistuse, reaktantsi või impedantsi kujul, sõltuvalt pinge ja voolu vahelisest nihkenurgast. Kui pinge ja vool asuvad faasis, kujutab suhe takistust, kui nad on nihutatud veerandtsükli, s. o. 90° võrra, kujutab suhe reaktantsi, ja kui nihkenurk on väiksem veerandtsüklist, s. o. 0° ja 90° vahel, kujutab suhe impedantsi.

Induktiivsuse puhul reaktants $X_L = 2\pi fL$ on võrdeline sagedusega, joonisel 28 *a* on see toodud sirgjoonena. Vool I, olles pöördvõrdeline reaktantsiga, muutub pöördvõrdeliselt sagedusega f ja on joonisel näidatud kõverjoonena.



Joon. 28. Voolu ja reaktantsi muutumine sagedusega: *a* — vooluringi lülitatud induktiivsuse puhul ja *b* — vooluringi lülitatud mahtuvuse puhul.

Samal ajal mahtuvuse puhul reaktants $X_C = \frac{1}{2\pi fC}$ on pöördvõrdeline sagedusega f, joonisel 28 *b* on see toodud kõverjoonena, vool I on võrdeline sagedusega f ja on näidatud sirgjoonena.

Kõveratest selgub peale X, I ja f suhte, et alalisvoolu puhul evib induktiivne reaktants nullväärtust, kuid mahtuvuslik reaktants lõpmata suurt väärtust, s. o. sulgeb läbipääsu alalisvoolule.

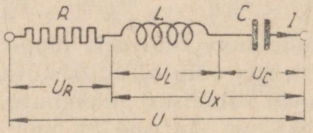
40. Takistus, induktiivsus ja mahtuvus vahelduvvooluringis.

Nii induktiivsus kui ka mahtuvus järjestikuses vahelduvvooluringis tekitavad reaktantse (ebatakistusi), mis põhjustavad pinge nihkumist faasis voolust 90° võrra, kuid nende mõjud on vastupidised, kuna nende ületamiseks vajatavad pinged on teineteise suhtes nihutatud faasis 180° võrra.

Sellest lähtudes liituvad järjestikku lülitatud induktiivsuse ja mahtuvuse pinged ja reaktantsid algebraliselt, kusjuures nende polaarsused on vastupidised (joon. 29):

$$U_X = U_L - U_C \quad \text{(V) ja}$$
$$X = X_L - X_C \quad (\Omega).$$

Kuna summaarne reaktiivpinge U on vooluga I faasis nihutatud 90° võrra, kusjuures nihkenurk võib olla positiivne (+) või negatiivne (—), sõltuvalt sel-



Joon. 29. Takistus, induktiivsus ja mahtuvus vahelduvvooluringis järjestikku.

lest, kumb pingetest — kas U_L või U_C osutus suuremaks, siis takistuse pingelangu U_R ja üldise reaktiivpinge U_X ning takistuse R ja üldise reaktantsi X liitmine toimub geomeetriliselt:

$$U = \sqrt{U_R^2 + U_X^2} \quad \text{(V) ning}$$
$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (\Omega),$$

millest tuleneb Ohmi seadus järjestikuse vahelduvvooluringi kohta:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC})^2}} \quad \text{(amprit)}.$$

Rööbitise lülituse puhul jääb vahelduvvooluringi rakendatav pinge ühiseks rööbitistele õlgadele, kuid voolud nihkuvad pingest 90° võrra, vastavalt reaktantsi liigile. Vooluringi arvutamiseks tuleb kõigepealt leida üksikud voolud ja seejärel nende liitväärtus. Rööbitisi induktiivsusi ja mahtuvusi läbivad voolud — reaktiivvoolud (ebavoolud) I_L ja I_C on 180° võrra teineteise suhtes faasis nihutatud ja liituvad seepärast algebraliselt ning üldine reaktiivvool

$$I_X = I_L - I_C \quad \text{(amprit)}.$$

Reaktiivvoolud aga asuvad takistust läbiva vooluga I_R 90° nurga all ja seepärast nende liitmine toimub geomeetriliselt; seesugust liitvoolu I_n nimetatakse näivvooluks

$$I_n = \sqrt{I_R^2 + I_X^2} \quad \text{(amprit)}.$$

Saadud üldvoolu järgi arvutatakse rööbitise vooluringi impedants Ohmi seaduse järgi:

$$Z = \frac{U}{\sqrt{I_R^2 + I_X^2}} \quad \text{(oomi)}.$$

Rööbitise induktiivsuse ja mahtuvuse impedants Z võrdub[1]:

$$Z = \frac{\omega L}{1 - \omega^2 LC} \text{ (oomi)}.$$

41. Kõrgsagedustakistus.

Reegel, millega arvutatakse takistust alalisvooluringis, pole küllaldane takistuse määramiseks vahelduvvooluringis. Katseliselt selgub, et vahelduvvoolude läbimisel juhtmest on soojuse eraldumine suurem, kui seda lihtsad arvutused näitavad. Soojuskadude suurenemine tuleneb efektiivtakistuse suurenemisest vahelduvvoolu puhul, tingituna muutlike elektromagnetiliste ja elektrostaatiliste väljade tekkimisest. Sageduse tõustes juhtme efektiivtakistus suureneb, omandades mitmekordse väärtuse, võrreldes alalisvoolu takistusega. Erinevalt takistusest alalisvoolu juures nimetatakse vahelduvvoolu juures suurenenud juhtmetakistust efektiivtakistuseks ehk kõrgsagedustakistuseks. On arusaadav, et kõrgsageduslikes vooluringides tuleb takistused viia võimalikult madalaks, et vältida liigseid kadusid.

Kõrgsageduslikke kadusid põhjustavad peamiselt järgmised tegurid:

a) Pöörisvoolud (Foucault' voolud). Kui vahelduvvoolu kandva juhtme läheduses asub teisi juhtmeid või metallesemeid, mida haarab voolujuhtme ümber tekkiv magnetväli, siis magnetvälja tekkimiseks kulunud energia ei kandu samasse juhtmesse vooluenergiana tagasi terviklikult, vaid osa läheb neisse üle (indutseerub) nn. p ö ö r i s v o o l u d e näol. Kuna iga metall normaaltemperatuuril evib alalisvoolu takistust[2], muutub osa energiast takistuses soojuseks ja tuleb kõrgsageduskaona maha arvata. Sääraseid kadusid arvestatakse kui lisatakistusest põhjustatud kadusid ja neile ekvivalentset takistust nimetatakse k õ r g s a g e d u s t a k i s t u s e k s.

Praktikas esinevad seesugused kaod poolide ja juhtmete ümber asuvais metallvarjetes, mille ülesandeks on piirata hajuvväljade levimist teistesse vooluringi osadesse. Sääraste kadude vähendamiseks tuleb varjematerjaliks valida madala alalisvoolu takistusega metallid, nagu vask, alumiinium, ja varjed paigutada võimalikult eemale varjestatavaist juhtmeist või poolidest.

b) Pinnaefekt (skin-efekt). Lisaks pöörisvooludele, mis tekivad väljaspool juhtme keskkonda, tekivad pöörisvoolud veel juhtme enda materjalis. Need pöörisvoolud ise omavad seesugust suunda, mis neutraliseerib algvoolu juhtme tsentrumis ja suurendab pinnal voolavat voolu. Tulemuseks on nähtus, et voolutihedus ei ole ühtlane kõigis juhtme ristlõike üksikpunktides, vaid kontsentreerub pinnale, millest tulebki nimetus p i n n a e f e k t.

[1] Puhtakujuliste reaktantside juures $Z = \frac{U}{I_L - I_C}$; kuid $I_L = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{\omega L}$ ja $I_C = \frac{U}{X_C} = U\omega C$, siit $Z = \frac{U}{\frac{U}{\omega L} - U\omega C} = \frac{U}{\frac{U(1-\omega^2 LC)}{\omega L}} = \frac{\omega L}{1 - \omega^2 LC}$.

Selles valemis pole arvestatud vooluringi takistusi.

[2] Kuna absoluutse nulltemperatuuri juures (—273° C) enamik metalle ei oma alalisvoolu takistust, siis ei tekiks sellise temperatuuri juures ka pöörisvoolukadusid.

Pinnaefektist tingitud kõrgsageduskadude vähendamiseks kasutatakse võimalikult peenikese läbimõõduga juhet, arvestades seejuures, et alalisvoolu takistus tunduvalt ei tõuseks, või kasutatakse üksikjuhtme asemel alalisvoolu takistuse vähendamiseks peenikeste isoleeritud juhtmete punutist, nn. „litset". Samuti vähendatakse pinnaefektist tingitud kadusid juhtme pealispinna suurendamisega, kasutades täisjuhtme asemel õhukese seinaga toru. Kuna ultrakõrgsageduste puhul kogu vool kontsentreerub paarisajandikulise mm paksusega pinnakihti, siis õhukeseseinalise torujuhtme kasutamisega mitte ainult suurendatakse kasulikku ristlõiget, vaid kõrvaldatakse ka kadude keskkond juhtme südamikus. Üldiselt osutub paremaks kasutada kesk- ja madal-raadiosagedustel juhtmematerjaliks (eeskätt poolides) litset, kõrgematel sagedustel — toru.

c) Dielektrilised kaod. Dielektrilised kaod tekivad juhtmete isolatsiooni ja dielektriku ebatäiuslikkusest. Kõrgsagedus-vooluringides tuleb vaadelda dielektrikuna mitte ainult tõelist, kondensaatorite plaatide vahel asuvat dielektrikut, vaid iga isolatsioonimaterjali, mis asub pinge all olevate juhtmete vahel või nende lähikonnas. Poolis moodustavad säärase dielektriku juhtmekate-isolatsioonikiht ja poolialuse materjal, vooluringides — häälestuskondensaatorite tugimaterjal, võnkeringide lülitid, lambisoklid, lambipesad jne. Dielektrilisi kadusid saab viia miinimumini, kui valida kõigi kõrgsagedusvoolu kandvate juhtmete isolatsioonimaterjaliks väikese kaoteguriga ($tg\delta$) aineid.

d) Hüstereeskaod. Hüstereeskaod on seotud materjalidega, mida kasutatakse poolide magnetringides väljatiheduse tõstmiseks ja mis tekivad nende materjalide ümbermagneetimisest. Hüstereeskaod olenevad materjali koostisest ja valmistamisviisist ning tõusevad sagedusega.

Ferrokartmaterjali kasutamine kõrgsageduspoolide südamikena on õigustatud ainult sagedusteni keskmiselt kuni 5 . . . 10 MHz. Praeguste ferrokartsüdamikega saavutatavad paremused ei kompenseeri kadusid üle selle sageduspiiri tõustes.

e) Kiirguskaod. Peale loetletud kadude levib osa magnetvälja energiast maailmaruumi, juhtmesse tagasi pöördumata. Seda liiki kadusid nimetatakse kiirguskadudeks ning arvutatakse kui ekvivalentset kiirgustakistust. Kiirguskaod suurenevad sageduse tõustes ja on sõltuvad vooluringi kujust ning asetusest ruumis.

Kõiki loetletud kadusid, mida ei teki alalisvooluringides ja mida nende väiksuse tõttu ei arvestata ka tehniliste vahelduvvoolude puhul, tuleb tõsiselt arvestada kõrgsagedusringides ekvivalentse kõrgsagedustakistusena.

42. Poolide ja kondensaatorite hindetegur Q.

Kõrgsagedusringides kasutatavaid poole ja kondensaatoreid hinnatakse nende kadude suhtelise vähesuse järgi. Kuna suurema induktiivsusega pooli valmistamiseks läheb rohkem juhet ja suurema mahtuvusega kondensaatoris dielektrilise materjali hulk on suurem, siis on arusaadav, et vastavalt induktiivsuse või mahtuvuse suurenemisele suurenevad ühtlasi ka nende kõrgsageduskaod või ekvivalentsed kõrgsagedustakistused. Teiselt poolt suurenevad kõrgsageduskaod üldiselt ka sagedusega. Seepärast on nii poolide kui ka

kondensaatorite headuse võrdlemise aluseks nende reaktantsi ja kõrgsagedustakistuse suhe, mida nimetatakse h i n d e t e g u r i k s ja väljendatakse Q-ga.

Poolide juures

$$Q = \frac{2\pi fL}{R},$$

kondensaatorite juures

$$Q = \frac{1}{2\pi fCR},$$

milles f — hertsides, L — henrides, C — faradites ja R — kõrgsagedustakistus oomides.

Pooli ja kondensaatori hindeteguri järgi hinnatakse ühtlasi ka selle vahelduvvooluringi headust, millesse nad on lülitatud. Kesk- ja kõrgsageduste puhul on kondensaatori kaod suhteliselt väikesed ja seepärast vooluringi headuse määrajaks on peamiselt pooli Q.

Q evib vooluringide omaduste määramisel suurt tähtsust. Ta näitab, kui suur on poolist ja kondensaatorist koosneva vooluringi (mida sel puhul nimetatakse võnkeringiks) pingevõimendus resonantsi korral, s. o. mitu korda on pooli otstel saadavad pinged kõrgemad võnkeringi toiteks ülekantud pingetest. Samuti on võnkeringi sageduste eraldusvõime ehk selektiivsus võrdeline võnkeringi Q-ga jne.

Tabelis V on toodud Q väärtusi tüüpiliste poolide ja kondensaatorite kohta.

TABEL V.

Kondensaatorite ja poolide Q väärtusi.

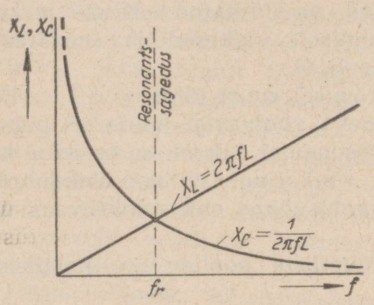
Nimetus	Q väärtus sagedustel				
	100 kHz	456 kHz	1 MHz	10 MHz	100 MHz
Paberdielektrikuga kondensaator	50...100				
Vilgukivi-dielektrikuga kondensaator	200...300		50...200		
Keraamilise dielektrikuga kondensaator			50...300		
Õhkdielektrikuga pöördkondensaator, pertinaksist staatoritugedega	2 000		700	200	
Sama keraamiliste staatoritugedega	8 000		3 000	1 000	
Õhksüdamikuga, tiheda mähisega varjestatud litsepoolid		80...100			
Samad ferrokartsüdamikuga		120...160			
Õhksüdamikuga ristmähispoolid			100...120		
Samad ferrokartsüdamikuga			175...200		
Väikesekaolised silinderpoolid, diam. 25—70 mm			180...500	150...400	
Väikesekaolised ferrokartsüdamikuga poolid			150...300		
Transmissioonliin-resonaator					10 000...15 000
Kvartskristall	100 000				

VIII peatükk.

VÕNKERING.

43. Üldmõiste.

Induktiivsusest, mahtuvusest ja takistusest koosneva järjestikuse vahelduvvooluringi käsitlusel selgus, et induktiivne ja mahtuvuslik reaktants muutuvad sageduse muutmisel teineteisele vastupidiselt. Joonisel 30 on näidatud nende reaktantside muutumine sõltuvalt sagedusest: induktiivne reaktants X_L muutub sirgjooneliselt, mahtuvuslik reaktants X_C — kõverjooneliselt. Joonisest selgub ühtlasi, et kindlate väärtustega L ja C reaktantsid on võrdsed ainsa



Joon. 30. Kõverjooned näitavad, kuidas järjestikuses vooluringis induktiivne ja mahtuvuslik reaktants muutuvad sõltuvalt sageduse muutmisest.

kindla sageduse f_r juures. Kuna X_L ja X_C on vastunimelised, siis nende väärtused f_r puhul vastastikku tasakaalustuvad, faasinihe vooluringile rakendatud pinge ja toiteallikast võetava voolu vahel muutub nulliseks ning vooluring hakkab käituma nii, nagu oleks sinna alale jäänud ainult takistus R. Seda näitab kujukalt valem, millega määrati järjestikuse vahelduvvooluringi elektrilised suurused:

$$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC})^2}} \text{ (amprit)},$$

milles $2\pi fL$ ja $\frac{1}{2\pi fC}$ võrdsuse puhul valem omandab kuju:

$$I = \frac{U}{R} \text{ (amprit)}.$$

Olukorda, mil vahelduvvooluringi lülitatud induktiivsuse ja mahtuvuse reaktantsid on võrdsed, nimetatakse resonantsiks, sagedust, millel see olukord tekib, nimetatakse resonantssageduseks, ja vooluringi, milles resonantsnähtused ilmnevad — võnkeringiks.

Füüsikaliselt tuleb resonantsnähtust vaadelda kui võnkeringi perioodilist võnkumist, mille juures poolis magnetvälja varutud energia muundub võnkeringis areneva voolu kaudu kondensaatori elektrivälja energiaks. Järgneval veerandtsüklil elektrivälja energia muundub uuesti magnetvälja energiaks. Sama nähtus kordub iga jätkuva pooltsükliga.

Kui magnetvälja energia $W = \frac{LI^2}{2}$ ja elektrivälja energia $W = \frac{CU^2}{2}$, siis

$$LI^2 = CU^2.$$

See varutud väljaenergia võnkumine jätkub võnkeringis ka siis, kui katkestada võnkeringi ühendus välise vooluallikaga (eeldusel, et võnkering moodustab omaette suletud vooluringi). Kuid tegelikult raugevad siis säärased vabad võnkumised peagi võnkeenergia muundumise tõttu võnkeringi takistuses soojuseks. Sellest järeldub, et võnkumiste säilitamiseks peab välis-vooluallikas katma võnkumisprotsessis tekkivad kaod, mis raadioseadmeis kasutatavais võnkeringides ei piirdu ainult võnkeringi enda kui kahjulike soojuskadudega, vaid sisaldavad ka võnkeringile lülitatavais koormustes arenevaid kasulikke kadusid.

Resonantsnähtuste ilmnemine elektrivooluringides pole ainus erandjuhtum, vaid analoogilisi nähtusi esineb sageli ka mehaanilistes süsteemides, kui neid süsteeme mõjutavad vastupidise kiirendusega jõud. Näiteks, taskukella balanssratta süsteemis tekib mehaaniline võnkumine ratta inertsjõu ja spiraalvedru elastsuse mõjul, kusjuures varutud energia ülekandumine toimub perioodiliselt balanssrattalt vedrule, ja ümberpöördult — vedrult balanssrattale. Kord võnkuma pandud balanssratta süsteem võnguks lõpmatuseni, kui ei tekiks energia muundumist soojuseks (hõõrdumisel) ja kasulikuks tööks (kellamehhanismi käivitamisel). Võnkumiste pidevaks säilitamiseks tasakaalustatakse kaod taskukellas välise jõuallika — käivitusvedru poolt.

Lülituslikult eritellakse kahesuguseid elektrilisi võnkeringe: järjestikuseid ja rööbitisi. Kuigi mõlemad võnkeringid koosnevad ühtedest ning samadest elektrilistest suurustest, käituvad nad elektriliste väärtuste poolest erinevalt.

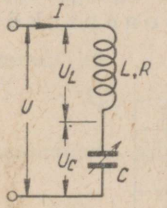
44. Järjestikune võnkering.

Järjestikune võnkering koosneb vahelduvvooluringi järjestikku lülitatud induktiivsusest (L) ja mahtuvusest (C) (joon. 31). Resonantsi korral järjestikuse võnkeringi induktiivne reaktants võrdub mahtuvusliku reaktantsiga

$$2\pi fL = \frac{1}{2\pi fC},$$

millest resonantssagedus

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \text{ (hertsi).}$$



Joon. 31. Järjestikune võnkering.

Viimane valem määrab ära võnkeringi resonantssageduse hertsides, sõltuvalt induktiivsuse ja mahtuvuse väärtustest henrides ja faradites. Kui valemis 2π asendada 6,28, henrid avaldada mikrohenrides ja faradid pikofaradites ning resonantssagedus väljendada megahertsides, siis omandab valem praktilisema kuju, mida kasutatakse harilikult võnkeringide arvutamisel:

$$f = \frac{159{,}15}{\sqrt{LC}} \text{ või } LC = \frac{25330}{f^2}.$$

Nagu nähtub, ei mõjuta võnkeringi takistus (R), mis alati esineb praktilises võnkeringis pooli juhtmetakistuse näol, resonantssageduse väärtust. Kuna järjestikuses võnkeringis resonantsi puhul induktiivne ja mahtuvuslik renktants tasakaalustuvad, osutub võnkeringi läbiva voolutugevuse (I) ainsaks määrajaks võnkeringi takistus (R), kusjuures nende seos rakenduspingega (U) väljendub lihtsa Ohmi seadusega:

$$I = \frac{U}{R} \text{ (amprit).}$$

Sellest selgub, et järjestikune võnkering moodustab välisele vooluallikale resonantsi korral, s. o. kui rakenduspinge sagedus võrdub võnkeringi resonantssagedusega, väga väikese takistuse. Kuna samal ajal nii võnkeringi induktiivsus kui ka mahtuvus esitavad neid läbivale voolule üksikult võetuna suuri reaktantse, siis arenevad nende klemmidel kõrged pinged U_L ja U_C, mis tavaliselt on tunduvalt kõrgemad rakenduspingest endast:

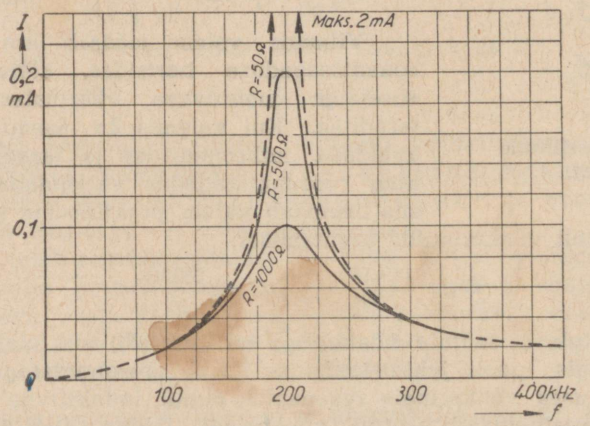
$$U_L = I\Omega\pi fL \text{ (volti) ja } U_C = \frac{I}{2\pi fC} \text{ (volti).}$$

Seepärast nimetatakse resonantsjuhtumit järjestikuse võnkeringi korral ka pingeresonantsiks.

Kuna resonantssageduse määrab LC korrutis, siis on võimalik $\frac{L}{C}$ suhet soovi kohaselt muuta. Eelnevast on selge, et $\frac{L}{C}$ suhte suurenedes pinged tõusevad, vähenedes — langevad. Praktikas otsene võrdelisus siiski ei pea paika, sest L suurenemisega suureneb ühtlasi takistus R, mis pinget vastavalt vähendab.

Kui toitepinge sagedust muuta, jättes L ja C väärtused endiseks, siis need uued sagedused pole enam käesoleva võnkeringi resonantssagedusteks ning voolutugevust ei saa määrata endiselt lihtsa Ohmi seaduse alusel, kuna vool ei asu enam faasis toitepingega, vaid nihkub faasis toitepingest ning võnkeringi läbiv vool väheneb. Sel puhul voolutugevus määratakse üldsustatud vahelduvvooluringi kohta kehtiva valemiga (B 40). Faasinihe on positiivne juhul, kui induktiivne reaktants X_L osutub mahtuvuslikust reaktantsist X_C suuremaks, ja negatiivne, kui X_C on suurem kui X_L.

Püsivate L ja C väärtustega võnkeringis areneva voolutugevuse sõltuvust sagedusest ja takistusest kujutatakse graafiliselt resonantskõveratena, mis on toodud näitena joonisel 32.



Joon. 32. Järjestikuse võnkeringi resonantskõveraid erinevate võnkeringi takistuste puhul.

Olgu järjestikuse võnkeringi $L = 2533\ \mu H$, $C = 250$ pF, toiteallika pinge $U = 0{,}1$ V. Säärase võnkeringi resonantssagedus

$$f = \frac{159{,}15}{\sqrt{LC}} = \frac{159{,}15}{\sqrt{2533.250}} = 0{,}2 \text{ MHz ehk } 200 \text{ kHz}.$$

Kui võnkeringi takistus R on 500 Ω, siis võnkeringi läbiv vool resonantssageduse puhul on:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{0{,}1}{500} = 0{,}0002 \text{ A ehk } 0{,}2 \text{ mA}.$$

Samuti takistuste korral $R = 1000\ \Omega$, vool $I = \frac{U}{R} = \frac{0{,}1}{1000} = 0{,}1$ mA ja kui $R = 50\ \Omega$, siis vool $I = \frac{U}{R} = \frac{0{,}1}{50} = 2$ mA.

Erinevate sageduste puhul voolutugevus langeb, kusjuures väikese takistusega vooluringis ($R = 50\ \Omega$) sageduse muutusega vool langeb väga järsult, suure takistusega vooluringis ($R = 1000\ \Omega$) voolutugevuse langus on lame. Võnkeringi resonantskõverate kuju ja teravuse järgi otsustatakse võnkeringi omaduste üle, millest olulisim on võnkeringi eraldamisvõime võnkeringile lülitatud sagedustele. Võnkeringi suhtelist eraldamisvõimet nimetatakse võnkeringi s e l e k t i i v s u s e k s, mis näitab pooli klemmidel tekkivate pingete suhet resonantssagedusel ning resonantsist teatud kilohertsi võrra väljaviidud sagedusel. Tavaliselt voolu resonantskõverate asemel koostatakse pinge resonantskõverad, mis oma kujult on sarnased joonisel 32 toodud kõveraile. Pinge resonantskõverate järgi on võimalik arvuliselt kindlaks määrata võnkeringi selektiivsust.

Eeltoodud näite kohaselt resonantssagedusel tekkivad pinged U_L (U_C) võrduvad IX_L (IX_C), seega juhul, kui $R = 500\ \Omega$:

$$X_L = 2\pi fL = 6{,}28\ 200.10^3.2533.10^{-6} = 3183\ \Omega \text{ ning}$$

$$U_L = IX_L = 0{,}0002.3183 = 0{,}6366 \text{ V}.$$

Samuti ka

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = 3183\ \Omega \text{ ning } U_C = IX_C = 0{,}6366 \text{ V}.$$

Resonantsist välja viies

$$I = \frac{U}{Z},$$

kusjuures

$$Z = \sqrt{R^2 + (X'_L - X'_C)^2}.$$

40 kHz võrra resonantssagedust vähendades, s. o. 160 kHz puhul:

$$X'_L = 2\pi fL = 2550\ \Omega \text{ ja}$$

$$X'_C = \frac{1}{2\pi fC} = 3978\ \Omega,$$

$$X' = X'_L - X'_C = 2550 - 3978 = -1428\ \Omega \text{ ning}$$

$$Z = \sqrt{500^2 + (-1428)^2} = 1512\ \Omega \text{ ja}$$

$$I' = \frac{U}{Z} = \frac{0{,}1}{1512} = 0{,}0000662 \text{ A, ehk } 0{,}0662 \text{ mA}.$$

Pooli klemmidel arenev pinge

$$U'_L = I'X'_L = 0{,}00^{\circ}0662.2550 = 0{,}1688 \text{ V}.$$

Seega selektiivsus 40 kHz võrra sageduse resonantsist väljaviiduna võrdub

$$S_{40\text{kHz}} = \frac{U_L}{U'_L} = \frac{0{,}6366}{0{,}1688} = 3{,}78.$$

Arvutades võnkeringi selektiivsust, mille $R = 50\ \Omega$, muude suuruste muutmata jätmisel, leiame, et

$$U_L = 6{,}366 \text{ V ja } U'_L = 0{,}1785 \text{ V},$$

millest

$$S'_{40\text{kHz}} = \frac{6{,}366}{0{,}1785} = 35{,}7.$$

Näitest selgub, et võnkeringi takistuse vähendamisega 10 korda suureneb selektiivsus samuti ligikaudu 10 korda, millest tuleb järeldada, et võnkeringi selektiivsus on ligikaudu pöördvõrdeline võnkeringi takistusega.

Resonantskõverate analüüsil selgub veelgi üks iseloomustavamaid võnkeringi omadusi resonantsi korral ja nimelt: võnkeringi elementide, s. o. pooli ja kondensaatori klemmidel tekkivad pinged U_L ja U_C on suuremad toitepingest U. Kuna need pinged on võrdelised voolutugevusega I korrutatud reaktantsiga

$$U_L = I2\pi fL \text{ (volti)}$$

ja I on pöördvõrdeline vooluringi takistusega

$$I = \frac{U}{R} \text{ (amprit), millest } U = IR \text{ (volti)},$$

siis kujuneb klemmi- ja toitepinge suhe

$$\frac{U_L}{U} = \frac{I2\pi fL}{IR} = \frac{2\pi fL}{R} = Q.$$

Viimane valem määrab seega võnkeringi võimenduse, mis võrdub varemkäsiteldud võnkeringi hindeteguriga Q.

Käesoleva näite kohaselt, kui võnkeringi $R = 500\ \Omega$, on

$$Q = \frac{2\pi fL}{500} = \frac{3183}{500} = 6{,}366.$$

Kui $R = 50\ \Omega$, siis pingevõimendus ja seega $Q = 63{,}66$ ja kui $R = 15{,}92\ \Omega$, siis nii pingevõimendus kui $Q = 200$.

Et ka selektiivsus on pöördvõrdeline takistusega, siis võnkeringi Q on ühtlasi ka võnkeringi selektiivsuse näitajaks.

Kuna võnkering koosneb nii L kui C, siis on otstarbekam võnkeringi Q väljendada üldkujul, kui f asendada võnkeringi üldvõrrandiga

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}},$$

$$Q = \frac{2\pi fL}{R} = \frac{2\pi L}{R2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{R}\sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Kokku võttes — suure pingevõimenduse ja selektiivsuse saamiseks peab võnkering evima suurt Q, s. o. võimalikult väikest kõrgsagedustakistust R ja suurt $\frac{L}{C}$ vahekorda.

45. Rööbitine võnkering.

Rööbitine võnkering, kujutatuna joonisel 33, koosneb samuti induktiivsusest L, mahtuvusest C ja võnkeringi takistusest R, kuid toitepinge U lülitatakse võnkeringi rööbitiselt. Seesmiselt võib rööbitist võnkeringi vaadelda kui järjestikust võnkeringi, kuna temas toimuvad füüsikalised protsessid on identsed järjestikuse võnkeringiga. Rööbitise võnkeringi käitumine välise toitepinge suhtes on põhiliselt vastupidine järjestikusele võnkeringile.

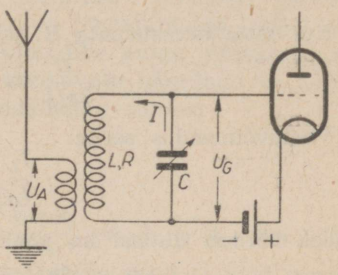
Resonantsi korral, s. o. kui võnkeringi $X_L = X_C$ ja kui võnkeringis tsirkuleerivad voolud I_L ja I_C on teineteisest nihutatud 180° võrra faasis, moodustab võnkering välisele toiteallikale väga suurt impedantsi, mis juhul, kui võnkeringil takistust ei oleks, võrduks lõpmatusega.

Kui rööbitise võnkeringi Q on suurem kui 10, väljendatakse ta impedants resonantsi puhul

$$Z_r \approx \frac{(2\pi fL)^2}{R} \approx X_L Q \approx Q^2 R \approx \frac{L}{CR}.$$

Tegelikult impedants langeb takistuse suurenemisel ja seega suureneb ka võnkeringi toiteks minev vool I_0. Võnkeringis tsirkuleeriv seesmine vool aga vastupidi, väheneb:

$$I_L \approx \frac{U}{2\pi fL} = I_C \approx U 2\pi fC \text{ (amprit).}$$



Joon. 33. Rööbitine võnkering, kujutatud vastuvõtja sisendlülitusena.

Seepärast nimetatakse rööbitise võnkeringi puhul resonantsnähtust ka vooluresonantsiks.

Tsirkuleeriva ja toitevoolu suhte määrab võnkeringi hindetegur Q.

$$\frac{I_L}{I_0} = \frac{2\pi fL}{R} = Q \text{ või}$$

$$\frac{I_C}{I_0} = \frac{1}{R 2\pi fC} = Q.$$

Asendades f võnkeringi üldvõrrandiga $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$, saame

$$I_L = I_C \approx \frac{U 2\pi\sqrt{LC}}{2\pi L} \approx U\sqrt{\frac{C}{L}} \text{ amprit,}$$

mis näitab, et võnkeringis tsirkuleeriv voolutugevus on võrdeline U ja $\sqrt{\frac{C}{L}}$.

Seega rööbitises võnkeringis on Q vooluvõimenduse näitajaks.

Resonantssagedusest erinevail sagedusil võnkeringi impedants väheneb. Samuti langeb võnkeringis ka tsirkuleeriv vool, kuid ühtlasi tõuseb toitevool. Seetõttu järjestikuste võnkeringide voolu resonantskõverad on väga sarnased rööbitiste võnkeringide impedantsi kõveratega. Praktiliselt ilmneb see kuju-

kalt võnkeringide häälestamisel, kui rööbitise võnkeringi, näiteks saatja võimendusastme toitejuhtmesse lülitada voolumõõtja. Häälestuskondensaatori pööramisel voolutugevus resonantssagedusele lähenemisel väheneb, resonantssagedusele jõudmisel tekib järsk voolutugevuse langus, millest üleminekul vool uuesti tõuseb.

Näide: Olgu saatja anoodringi lülitatud rööbitise võnkeringi

$R = 2{,}26\ \Omega$, $L = 10\mu H$, $C = 48{,}8$ pF, $f = 7{,}2$ MHz, $U = 1000$ V.

Siis võnkeringi impedants

$$Z = \frac{(2\pi fL)^2}{R} = \frac{(6{,}28.7{,}2.10^6\ 10^{-5})^2}{2{,}26} = 91000\ \Omega$$

ja toitevool

$$I_O = \frac{U}{Z} = \frac{1000}{91000} = 0{,}011\ \text{A}.$$

Kui jätta arvestamata R, tsirkuleerib võnkeringis vool

$$I_L = \frac{U}{2\pi fL} = \frac{1000}{6{,}28.7{,}2.10^6.10^{-5}} = 2{,}21\ \text{A}.$$

Vooluvõimendus seega

$$\frac{I_L}{I_O} = \frac{2{,}21}{0{,}011} = 200,$$

millega võrdub ühtlasi ka võnkeringi Q:

$$Q = \frac{2\pi fL}{R} = \frac{6{,}28.7{,}2.10^6.10^{-5}}{2{,}26} = 200.$$

Seega resonantsi korral muutub anoodvool suhteliselt väikeseks, käesoleval juhul ainult 0,011 ampriks ehk 11 milliampriks.

Kui võnkering sidestada järgneva võimendusastmega või antenniga, kandub sellest võnkeringile tagasi nn. koormustakistus, mis avaldub võnkeringile lülitatud rööbitise takistusena, vähendades vastavalt võnkeringi Z. Kui sidestatud koormus on puhttakistuslik, siis ta võnkeringi reaktiivsuurusi (X_L ja X_C) ei moonuta. Kui aga võnkeringile sidestatav koormus on reaktiivne, näiteks liiga lühike või liiga pikk antenn või sobitamata toiteliin, vajab võnkering järelhäälestamist.

Võnkeringiga rööbiti liituvat koormustakistust võib alati ümber muuta ekvivalentseks järjestikuseks takistuseks. Kui R_k on rööbitine koormustakistus, siis ekvivalentne järjestikune takistus

$$R'_k = \frac{X_L^2}{R_k} = \frac{(2\pi fL)^2}{R_k} \text{ ehk } \frac{X_C^2}{R_k} \text{ oomi}$$

ning võnkeringi järjestikune koondtakistus

$$R = R_O + R'_k \text{ oomi}.$$

Oletame, et eeltoodud näites oli võnkeringiga sidestatud antenn, mis kujutas endast rööbitist koormustakistust $R = 10\,000\ \Omega$, mis vastab ekvivalentsele järjestikusele takistusele

$$R'_k = \frac{(2\pi fL)^2}{R_k} = \frac{(6{,}28.7{,}2.10^6.10^{-5})^2}{10000} = 20{,}5\ \Omega.$$

Siis võnkeringi koondtakistus võrdub

$$R = 2{,}26 + 20{,}5 = 22{,}76\ \Omega,$$

võnkeringi impedants $Z' = \frac{(2\pi fL)^2}{R} = 9000\ \Omega$,

toitevool $I'_0 = \frac{U}{Z} = \frac{1000}{9000} = 0{,}111$ A

ja võnkeringi Q langeb vastavalt

$$Q' = \frac{I_L}{I_0} = \frac{2{,}21}{0{,}111} = 20.$$

Koormuse mõju võnkeringi Q-le saab tunduvalt vähendada, kui koormustakistus sobitada õigesti võnkeringi impedantsiga, sest võimsuse ülekandmine vooluallikalt tarbijale on maksimaalne mõlema takistuse võrdsuse puhul. Tavalisemaks sobitusviisiks ebavõrdsete takistuste — impedantside puhul on lülitada koormus transformaatoriliselt pooli haruühendite külge sääraselt, et kogu pooli keerdude w_1 ja haruühenduste vahel asetsevate keerdude w_2 suhe võrduks ruutjuurele võnkeringi ja koormuse impedantside suhtest

$$\frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}.$$

Käesoleval juhul oleks keerdude suhe $\frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{91000}{1000}} \approx 3$, s. o. kui pool omaks 12 keerdu, tuleks koormus lülitada mitte terve pooli, vaid ainult 4 keeru vahele.

Käesolevast näitest selgub veel üks iseloomustavaid võnkeringi omadusi seoses võnkeringi koormuse ja võnkeringi Q muutumisega. Koormamata võnkering, mille impedants $Z = 91\,000\ \Omega$, tarvitas võnkumisrežiimi säilitamiseks võnkeringis pidevalt toitevoolu $I_0 = 0{,}011$ A, mis kulus takistuses soojuskadude katteks $P_0 = I_0^2 \cdot Z = 0{,}011^2 \cdot 91\,000 = 11$ vatti, see on identne võnkeringi seesmise soojuskaoga $I_L^2 \cdot R_0 = 2{,}21^2 \cdot 2{,}26 = 11$ vatti[1]. Koormatult rööbitise koormustakistusega $R_k = 10\,000\ \Omega$, tõusis toitevool $I_0 = 0{,}111$ A, mis kulus samuti võnkumisrežiimi säilitamiseks uues olukorras

$$P' = I'^2_0 Z' = 0{,}111^2 \cdot 9000 = 111 \text{ vatti}$$

ja millest võnkeringi enda takistuses muutus soojuseks endiselt $I_L^2 \cdot R_0 = 11$ vatti, kuna ülejäänud $I_L^2 R'_k = 2{,}21^2 \cdot 20{,}5 = 100$ vatti kandus üle koormusesse.

Ideaalse, s. o. takistuseta, lõpmata suure Q võnkeringi puhul jätkuks kord alanud võnkumisprotsess lõpmatuseni, lisavõimsust toiteallikast võtmata. Kõigis praktilistes võnkeringides aga kord alanud võnkumisprotsess ilma täienduseta välisest energiaallikast kustuks lühema või pikema aja kestel, sõltuvalt kadude suurusest, s. o. võnkeringi Q-st, kusjuures võnkumiste amplituudi kustumine toimub logaritmilise kõverjoone järgi aja suhtes.

Teisel äärmisel juhul, kui võnkeringi ekvivalentne järjestikune takistus muutub liiga suureks,

$$\frac{R^2}{4L^2} > \frac{1}{LC'}$$

[1] Käesolevates arvutustes pole arvestatud takistuse mõju sagedusele, mis aga tulemusi muudaks ainult väga vähesel määral, kui Q väärtused ületavad 10.

s. o. kui võnkeringi $Q < ½$, lakkavad võnkumised üldse ning võnkering muutub aperioodiliseks.

Seega iga võnkeringi võnkumisprotsess on seotud kindla energiabilansiga — kord võnkuma hakanud võnkering tarvitab püsiva võnkumisrežiimi säilitamiseks lisaenergiat kadudeks kuluva energiahulga suuruses.

IX peatükk.

SIDESTATUD VÕNKERINGID.

46. Üldmõiste.

Kahte võnkeringi, mis omavad ühiseid impedantse, nimetatakse sidestatud võnkeringideks. Seejuures seda vooluringi, mis energiat üle annab, nimetatakse primaarseks võnkeringiks, energiat vastuvõtvat vooluringi — sekundaarseks võnkeringiks. Uhine impedants, mis võib olla kas takistuslik, induktiivne või mahtuvuslik, on asetatud sidestatud võnkeringides nii, et tema toimel ühe võnkeringi vool mõjutab teise võnkeringi voolu.

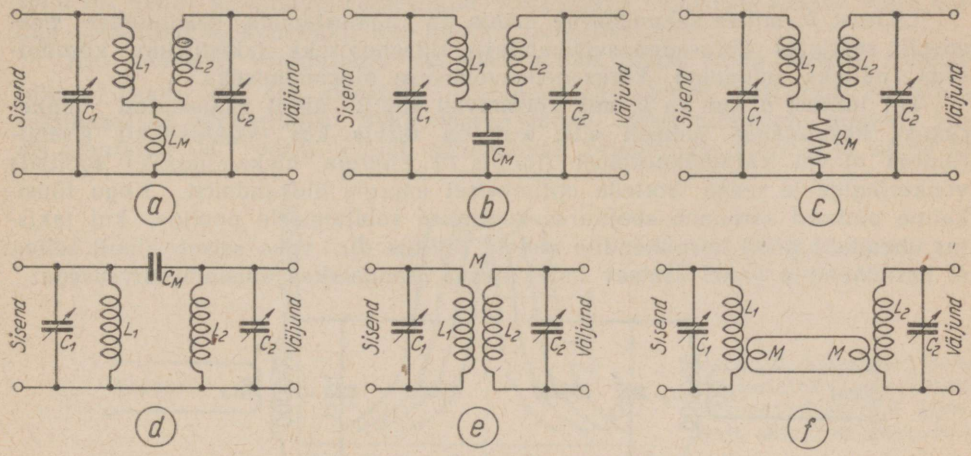
Sidestuse suurust võnkeringide vahel määratakse sidestusteguriga k, mis sõltub nende ühisest impedantsist Z_M ning kummagi võnkeringi samanimelistest üldistest impedantsidest Z_1, Z_2 (takistuslik, induktiivne või mahtuvuslik), millede kaudu sidestus on teostatud:

$$k = \frac{Z_M}{\sqrt{Z_1 Z_2}}.$$

Seega takistussidestuse puhul Z asendatakse R-ga, induktiivse sidestuse puhul Z_M vastab ühisinduktiivsusele M (B 22) ja Z_1 Z_2 vastab L_1 L_2; mahtuvusliku sidestuse puhul on need vastavalt C_M, C_1 ja C_2. Sidestustegur k võib muutuda 0 kuni 1 ja väljendatakse tavaliselt %-des. Kui sidestustegur k on väike, evivad võnkeringid nõrka sidestust, sidestusteguri k lähenedes 1-le muutub sidestus tugevaks.

Lülituselt jaotatakse sidestusi otsesteks ja kaudseteks sidestusteks. Esimesel juhul ühine impedants ühendab sidestatud võnkeringe otseselt (joon. 34 *a*, *b*, *c*), teisel juhul võnkeringid sidestatakse ühiste magnet- või elektriväljadega, s. o. ühisinduktiivsuste (joon. 34 *e*, *f*) või vastavalt mahtuvuste (joon. 34 *d*) kaudu.

a) Otsesidestus. Kolm tüüpilisemat otsesidestuse juhtu on näidatud joonisel 34 *a*, *b* ja *c*. Kõigis neis sidestus tekib impedantside kaudu, mis on ühised nii primaarsetele kui ka sekundaarsetele võnkeringidele: primaarses vooluringis tsirkuleeriv vool läbib ühtlasi ka ühised impedantsid, mille otstel tekkivad pingelangud kanduvad üle sekundaarsesse võnkeringi. Seetõttu suureneb sidestus ühise impedantsi suurenemisega. Takistussidestuse ja induktiivse sidestuse puhul sidestus tõuseb R või L suurendamisega, mahtuvusliku sidestuse puhul C vähendamisega. Kui mõlemad võnkeringid on häälestatud ühisele sagedusele ja võnkeringide Q-d on suured, siis maksimaalse võimsuse ülekandeks jätkub suhteliselt nõrgast sidest.



Joon. 34. Võnkeringide sidestusviise.

b) Kaudne sidestus. Kaudse mahtuvusliku sidestuse puhul (joon. 34 *d*) suureneb sidestus ühise mahtuvuse C_M suurendamisega. Maksimaalse võimsuse ülekandmiseks kujuneb C suurus õige väikeseks, piirdudes kõrgemate sageduste puhul 2—10 pF.

Kaudse induktiivse sidestuse puhul (joon. 34 *e*) sidestus suureneb ühisinduktiivsuse M suurendamisega, s. o. poolide L_1 ja L_2 magnetväljade vastastikuse mõjutuse suurendamisega.

Joonisel 34 *f* toodud nn. lülisidestus kujutab endast samuti induktiivset sidestust, kus kahe pooli L_1 ja L_2 vahel vahetalitajaks on ühendusliin, mis ise on ühisinduktiivsustega sidestatud nii L_1 kui L_2-ga. Lülisidestustes ühendusliini poolid tavaliselt valmistatakse õige väikese induktiivsusega ja koosnevad 1—3 keerust, kuid nad vajavad seejuures õige tugevat magnetilist sidet sidestatavate poolidega L_1 ja L_2.

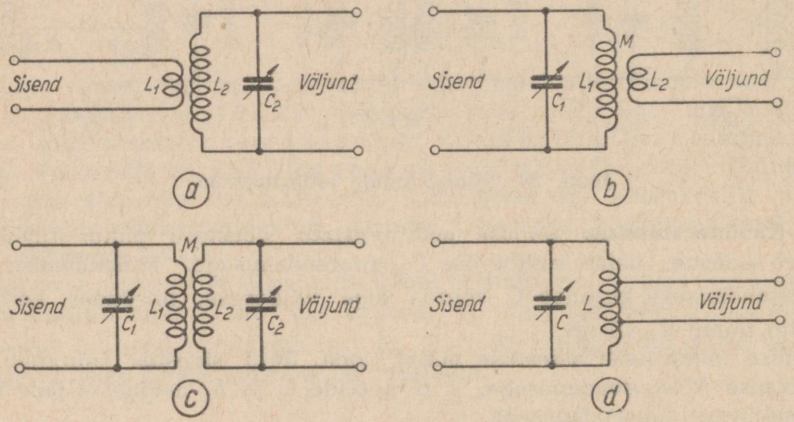
Lülisidestust kasutatakse neil kordadel, kui ehituslikel põhjustel pole otstarbekas tavalist induktiivset sidestust rakendada, näiteks kui sidestatavad võnkeringid asuvad üksteisest eemal, antenni sidestamiseks jne.

Joonisel 35 on toodud üksikasjalisemalt kaudse induktiivse sidestuse puhul kasutatavaid lülitusi. Lülitust *a*, milles primaarmähis L_1 on häälestamata, kasutatakse peamiselt vastuvõtjate juures antenni sidestamiseks vastuvõtja sisendastmega. Sellise lülitusega saavutatakse järgmist: häälestatult, s. o. resonantssagedusel toimub antennist sekundaarsesse võnkeringi indutseeritud pingete võimendamine, mille tulemusena sekundaarne võnkering eraldab välja ainult häälestatud resonantssageduse, juhtides ta vastuvõtjasse edasiseks võimendamiseks või detekteerimiseks, kuna kõik teised antennis indutseeritud sagedused jäävad võimendamata ja eraldamata. On oluline, et sekundaarse võnkeringi Q oleks kõrge, kuna Q väärtus näitab pingevõimenduse suurust ja ühtlasi vastuvõetavate sageduste eraldusvõimet — selektiivsust.

Kui näiteks resonantssagedusel antenni kaudu häälestatud võnkeringi indutseeritud pinge oli $U = 0{,}05$ V ja võnkeringi $Q = 200$, siis võnkeringi väljundis saadav pinge $U_{L(C)} = UQ = 0{,}05 \cdot 200 = 10$ volti.

Lülitust *b*, milles sekundaarne mähis on häälestamata, kasutatakse peamiselt saatjates kõrgsagedusvõimendaja sidestamiseks takistusliku koormusega, näiteks antenniga, kõrgsagedusvõimsuse ülekandmiseks.

Nii lülitust *a* kui ka *b*, mis koosnevad ainult ühest häälestatud võnkeringist, kasutatakse üldiselt siis, kui on tarvis kas takistuslikku sisend- (lülitus *a*) või väljundkoormust (lülitus *b*) energia ülekandmiseks sobitada võnkeringiga ja seega taotleda optimaalset energia ülekandmist. Kogu füüsikaline olukord sarnaneb seejuures koormuse sobitamisele pooliga, kui takistus ühendada pooli haruühendite vahele (lülitus *d*); vahe seisab ainult selles, et haruühendite vahel asetsev induktiivsus asendatakse ühisinduktiivsusega.



Joon. 35. Induktiivselt sidestatud võnkeringid.

On arusaadav, et sidestatud koormus kandub tagasi võnkeringi, vähendades tema impedantsi ja *Q*-d; kui koormus sisaldab reaktiivset komponenti, peegeldub ka see võnkeringi ja võnkering vajab endise olukorra säilitamiseks vastavat järelhäälestamist.

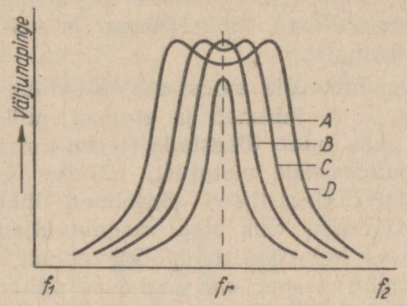
47. Kõrgsagedustransformaator.

Joonisel 35 *c* on toodud kaudse induktiivse sidestusega lülitus, milles nii primaarne kui ka sekundaarne võnkering on häälestatud ja mida nimetatakse harilikult kõrgsagedustransformaatoriks ehk lihtsalt kõrgsagedustrafoks [1]. Kõrgsagedustrafosid kasutatakse vastuvõtjates selektiivsuse tõstmiseks ja seejuures kitsama või laiema sagedusriba ühtlaseks läbilaskmiseks, saatjates — võimsuste ülekandmiseks neil juhtudel, kui koormus peale takistuse evib veel reaktiivset komponenti, näiteks antenni toitel häälestatud toiteliini kaudu. Samuti kui eespoolvaadeldud häälestatud ja häälestamata võnkeringide komplekti puhul, kandub ka kahe häälestatud võnkeringi sidestamisel (sõltuvalt sidestuse suurusest) sekundaarse võnkeringi takistus primaarsesse võnkeringi, mille tagajärjel võnkeringi *Q* väheneb. Kuid peale

[1] Põhimõtteliselt võiks kõikide induktiivselt sidestatud vooluringide komplekte nimetada trafodeks, kuna neis kõigis toimub elektrivoolu pingete ja voolude muundumine.

selle on kahes sidestatud häälestatud võnkeringis sidestuse suurus väga oluline võnkeringide komplekti kui terviku selektiivsusele.

Kui mõlemad võnkeringid on häälestatud ühele ning samale sagedusele f_r (joon. 36), siis sidestuse suurenemisega tõuseb vastavalt ka pinge sekundaarses võnkeringis. Sekundaarne pinge, olles primaarse pingega faasis nihutatud 180° võrra, mõjub vähendavalt primaarsele pingele ja seega ka



Joon. 36. Sidestatud kahe häälestatud võnkeringi resonantskõveraid sõltuvalt sidestuse suurusest.

primaarsele voolule, mis vastab ekvivalentse lisatakistuse sissetoomisele primaarsesse võnkeringi ja mille tagajärjel vastavalt primaarse võnkeringi Q väheneb.

Sidestuse jõudes k r i i t i l i s e väärtuseni paneb primaarse võnkeringi Q pidev langemine piiri sekundaarse võnkeringi pinge tõusule (kõver B) ning sellise kriitilise väärtuse ületamisel hakkab sekundaarne pinge uuesti langema (kõverad C ja D). Samal ajal muutub sidestatud võnkeringide komplekti käitumine resonantssagedusest erinevate sageduste suhtes: primaarse võnkeringi Q ja seega ka pinge ja vool neil sagedusil kujunevad isegi suuremaks kui resonantssagedusel ning sekundaarsesse võnkeringi kandub üle terve sageduste riba. Kui toita primaarset võnkeringi muutuva sagedusega, kuid võrdsete väärtustega pingetega, siis sekundaarse vooluringi väljundis saadavate võimendatud pingete sõltuvus sagedusest omab graafiliselt ligikaudu püstküliku kuju, väiksema või suurema langusega resonantssagedusel vastavalt sidestuse suurusele.

Seega sidestuse suuruse muutmisega muutub põhiliselt sidestatud võnkeringide üldine selektiivsus: nõrga sidestuse puhul kantakse üle ainult resonantssagedus, sidestuse suurenedes üle kriitilise väärtuse kantakse üle terve sageduste riba, kusjuures ülekantava riba laiuse määrab sidestuse tegur. Kriitilise sidestuse juures on pinge võimendus ja ühtlasi võimsuse ülekanne resonantssagedusel maksimaalne.

Ülekriitiliselt sidestatud häälestatud võnkeringide komplekte, mis üldiselt on tuntud r i b a f i l t r i t e n a (varemalt nimetati neid ka „paelfiltriteks"), kasutatakse väga laialdaselt vastuvõtjates, millega saavutatakse ühtlast pingevõimendust kogu moduleeritud sageduste riba ulatuses.

48. Kahjulikud sidestused.

Raadioseadmete voolu- ja võnkeringide vahel tekib alati sääraseid sidestusi, mis pole ette nähtud lülituskavades ning mis tekitavad kahjulikke nähtusi kogu seadme toimes. Nende tekkimist põhjustavad voolu- ja võnke-

ringidest hajuvad elektri- ja magnetväljad ning ühised vooluringide takistused. Seepärast raadioseadmetes nähakse ette rida konstruktiivseid abinõusid, mis kas hävitavad täielikult või vähendavad vajalikul määral nende kahjulike sidestuste mõju.

Hajuvate elektriväljade mõju suureneb sidestatavate esemete pindalade ja pingetega, väheneb mõjutavate esemete vahekauguse suurendamisega. Hajuvate magnetväljade mõju on võrdeline vooluringi voolu tugevusega, keerdude arvuga ning voolujuhtme läbimõõduga ja pöördvõrdeline kauguse ruuduga mõjutavast vooluringist.

Nii elektri- kui ka magnetvälja sidestuste tõkestamiseks kasutatakse metallilist *varjestamist*, s. o. juhtmed ja esemed, milles hajuvväljad tekivad või millesse nende pääs tuleb tõkestada (tarbe korral mõlemad), ümbritsetakse hea elektrilise juhtivusega metallist, näiteks vasest või alumiiniumist katetega. Neis varjetes elektrilised jõujooned lühistuvad, magnetilised jõujooned tekitavad pöörisvoole, mis oma magnetväljadega neutraliseerivad algmagnetvälja mõju. Kuna indutseeritud pöörisvoolud on võrdelised sagedusega ja varje elektrilise juhtivusega, siis sageduse vähenemisega varje seinapaksus peab suurenema võrdse neutraliseeriva mõju saavutamiseks. Hajuvmagnetväljade neutraliseerimiseks madalatel ja tehnilistel sagedustel kasutatakse seepärast hea magnetilise juhtivusega, s. o. kõrge permeaablusega ferromagnetilisi materjale.

Praktiliselt kasutatavaid varjestusi võib liigitada kolme põhigruppi: 1) varjestustopsid keskendatud elektri- või magnetvälja allikate, nagu kondensaatorite ja poolide ümber või vaheseintena nende vahel, 2) varjestustorud või -sukad vahelduvpingete ja -voolude all asuvate juhtmete ümber, 3) varjestus-ekraanid või nn. *Faraday-ekraanid*, mis valmistatakse tiheda, üksteisest isoleeritud peenikestest vaskjuhtmetest valmistatud võrguna. Seesuguste ekraanide ülesandeks on neutraliseerida elektrivälju, kuid läbi lasta magnetvälju; neid kasutatakse kõrg- ja madalsagedustrafode mähiste vahel kahjulike mahtuvuslike sidestuste kõrvaldamiseks.

Varjed evivad täielikku mõju ainult siis, kui nad on hästi maandatud, s. o. ühendatud neutraalse pingega. Isoleerituna evivad varjed potentsiaale ja muutuvad seega ise sidestuse vahendajaiks.

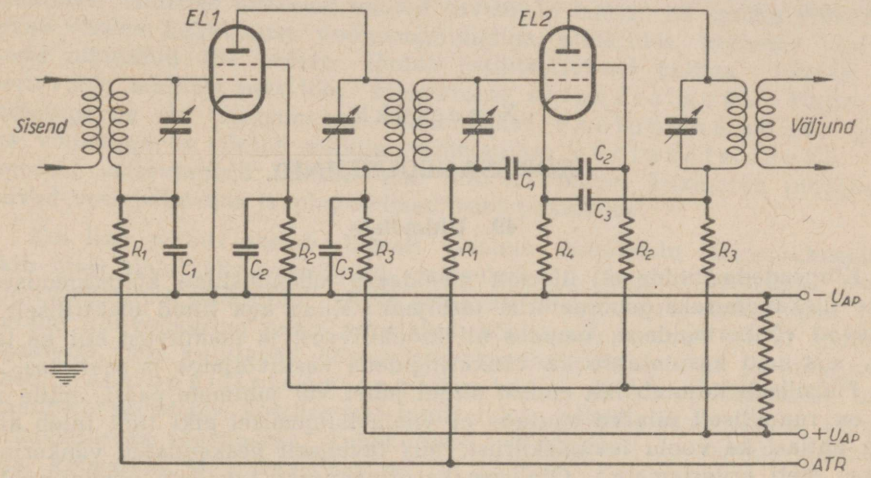
Kuna varjestamine põhineb varjestusmaterjalis hajuvväljadest tekitatavate voolude vastumõjule, mis kujutavad soojuseks muutuvaid elektrilisi kadusid algallika arvel, siis on arusaadav, et varjestatavate poolide ja kondensaatorite Q varjestamise tagajärjel langeb (B 21h). Seda peab tõsiselt arvestama raadioseadmete ehitamisel, et varje asuks kadude piiramise eesmärgil varjestatavaist esemeist mõistlikul kaugusel.

Väga tülikaiks osutuvad sidestused, mis tekivad ühiste takistustega vooluringide vahel. Tavaliselt põhjustab säärast sidestust ühise vooluallika sisetakistus, mille klemmidel tekivad vahelduvpinged välisvooluringide enda voolutarvituse muutumise tagajärjel. Seesugused vahelduvpinged kanduvad üle kõigile ühisest vooluallikast toituvaile vooluringidele, mis mõjub häirivalt nende toimele, eriti siis, kui vooluringid kujutavad erineva tasemega võimendusastmeid. Häired võivad avalduda moonutustena, võimenduse nõrgenemisena või võimendusastmete-vahelise võnkumisena.

Seesuguseid kahjulikke sidestusi välditakse eriliste, nn. *lahti-*

sidestusfiltrite lülitamisega iga vooluringi toitejuhtmesse, mille ülesandeks on neutraliseerida toiteallika sisetakistuse näpitsail tekkivaid vahelduvvoolu komponente. Lahtisidestusfiltrid koosnevad järjestikustest takistustest ja vooluringile rööbitistest kondensaatoritest. Mõnikord asendatakse takistus paispooliga, kui alalisvoolu pingelang takistuses pole lubatav.

Joonisel 37 on toodud kaks vahesageduse võimendusastet, mis toituvad ühisest anoodpinge allikast ja saavad automaatse eelpinge samuti ühisest allikast ATR. Lülituses takisti-kondensaatori komplektid R_3 C_3 kujutavad anoodringide lahtisidestusfiltreid, R_2 C_2 — varivõreringide ja R_1 C_1 — automaatse eelpinge (ATR) lahtisidestusfiltreid.



Joon. 37. Lahtisidestusfiltrite lülitamine.

Lülitus kujutab kaheastmelist vahesagedusvõimendajat, mille mõlemad astmed toituvad ühisest anoodpinge allikast ja saavad automaatse eelpinge samuti ühisest allikast ATR. Säärases lülituses normaalselt kasutatavad lahtisidestusfiltrid on joonisel näidatud jämedate joontega: R_1C_1 — eelpinge filtrid, R_2C_2 — varivõre filtrid, R_3C_3 — anoodi filtrid. Lülituses tuleb tähelepanu juhtida sellele, et võimenduslambi EL2 filterkondensaatorid C_1, C_2, C_3 on ühendatud maanduse asemel vahetult katoodile. See on teostatud selleks, et lahti sidestada EL2 võre-, varivõre- ja anoodringe, mis omavad ühist takistust — katoodtakistit R_1. Katoodtakisti ülesandeks on anda lambile automaatset võre-eelpinget, millega liitub ATR eelpinge. Sel puhul lambi EL2 lülitusse kuuluvad R_1C_1, R_2C_2 ja R_3C_3, toimivad ühtlasi lahtisidestusfiltritena lambi enda vooluringides katoodtakisti R_4 suhtes.

Lahtisidestusfiltrites dimensioneeritakse takistuste ja paispoolide suurused neid läbivate voolutugevuste ning neis lubatavate alalisvoolu pingelangude järgi. Kondensaatorid valitakse nii, et nende reaktantsid ei ületaks 10% takistuse või paispooli impedantsist kõige madalama võimendatava sageduse juures. Peale selle on filter seda mõjuvam, mida suurem on RC korrutis, kuid samal ajal ei tule kondensaatorit valida liiga suurena, mis omakorda kondensaatori aeglustatud tühjenemisperioodi tagajärjel võib põhjustada lülituse tegevuse perioodilist blokeerimist või nn. „podisemist".

Näide: Joonisel 37 vahesageduse võimenduslampide anoodvoolud $I_A = 5$ mA normaalse anoodpinge $U_A = 250$ V juures; anoodi toiteallika pinge $U_{AP} = 260$ V; vahesagedus $f_i = 475$ kHz. Arvutada anoodi lahtisidestusfilter.

Lubatav pingelang filtertakistuses R_3 võrdub $U_{AP} - U_A = 260 - 250 = 10$ V; takistus $R_3 = \frac{U_{AP} - U_A}{0{,}005} = 2000\ \Omega$. Kondensaatori C_3 maksimaalne reaktants X_C sagedusel $f_i = 475$ kHz võib olla $Xc = 2000 \cdot 10\% = 200\ \Omega$; $Xc = \frac{1}{2\pi fC}$, millest $C_3 = \frac{10^6}{2\pi f X_C} = \frac{10^6}{6{,}28 . 475 . 10^3 . 200} = 0{,}00168\ \mu F$ ehk 1680 pF. Kuna 1680 pF kujutab minimaalset väärtust, siis praktiliselt tuleks lülitada kondensaator 2000—5000 pF.

X peatükk.

KÕRGSAGEDUSLIINID.

49. Uldmõiste.

Kõrgsagedusliinide all üldiselt mõeldakse ühendusliine kõrgsagedusvõimsuste ülekandmiseks generaatorist tarbijani. Kuna aga liinid elektriliselt sarnanevad võnkeringidega, omades nii induktiivsust ja mahtuvust kui ka takistust, siis neid kasutatakse ka võnkeringidena vastuvõtjates ja saatjates.

Füüsiliselt kujutab liin endast sirget juhet või juhtmete paari, mille mõõted on ruumiliselt niivõrd suured, et voolu kulgemisel piki liini tuleb arvestada ühtlasi ka voolu levimiskiirust, mis tavaliselt keskendatud võnkeringide juures jäeti arvestamata.[1] Olulisemaks erinevuseks tavaliste võnkeringide ja liinide vahel on nende L, C ja R jaotus. Tavalises võnkeringis on nii induktiivsus kui ka mahtuvus keskendatud eraldi võrdlemisi puhtal kujul ja ainult takistus, mis võnkumisprotsessis evib kaudset osatähtsust, on jaotatud pooli juhtmes ja kondensaatori dielektrikus ekvivalentse kõrgsagedustakistusena. Pooli sisemahtuvus võrreldes pooli induktiivsusega ja kondensaatori induktiivsus võrreldes kondensaatori mahtuvusega on suhteliselt väga väikesed, mida sagedustel kuni 30 MHz praktiliselt ei arvestata. Liinides on kõik kolm elektrilist suurust L, C ja R jaotatud liini pikkusele ühtlaselt: liini väikseim osa sisaldab võrdeliselt kõik kolm suurust ning evib seega kõik liini omadused. L, C ja R suhtelised väärtused sõltuvad liini konstruktsioonist.

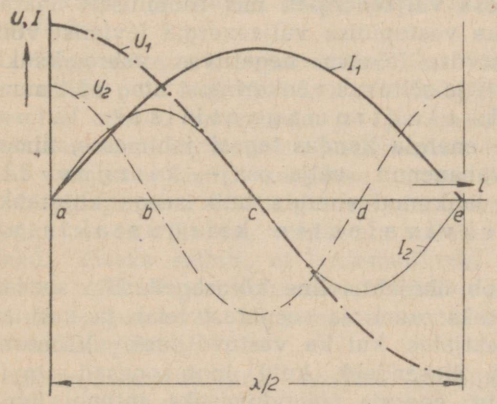
Kui rakendada elektrivoolu pulss liini algusesse, siis hakkab ta liikuma piki liini ligikaudu valguse kiirusega. Kui liin on lõpmata pikk, siis voolupulsi amplituud väheneb liikumise kestel pidevalt liini takistuse ületamise tagajärjel, kustudes täielikult lõpmatuses. Kui aga liini pikkus on piiratud ja liini juhtmepaari otsad pole lühiühendatud, siis voolupulss, jõudes liini lõppu, peegeldub seal ja kulgeb tagasi piki liini. Tekib veelainetusega

[1] Täpsemalt, keskendatud võnkeringide juures arvestatakse voolu levimiskiirust lõpmata suurena.

analoogiline protsess: avara veekogu pinnal tekitatud laine nõrgeneb levides ja kustub, piiratud pinnal peegeldub laine kaldalt tagasi.

Kui voolupulsi asemel rakendada liini algusesse vahelduvpinge, kulgeb vool liini lõppu, kust ta pidevalt tagasi peegeldub. Kui liin on küllaldaselt pikk, võrreldes voolu kulgemisteega ühe tsükli kestel, s. o. lainepikkusega (B 31), kuid küllalt lühike selleks, et ei ole märgata peegelduva energia vähenemist, siis väljuva ja peegelduva voolu faaside vahe muutub liini pikkusega — igas vaadeldavas eri punktis on faaside vahe erinev, kuid ühes ning samas vaadeldavas punktis konstantne. Seega piki liini leiduvad punktid, kus mõlemad voolud on faasis või kus voolud on teineteise suhtes nihutatud 180° võrra, kõigis muudes punktides aga on faasinihe vahepealne. Punktides, milledes mõlemad voolud asetsevad faasis, on resulteerivvoolu tugevus võrdne kahekordse vooluamplituudiga; punktides, milledes voolud on faasis nihutatud 180° võrra, võrdub resulteerivvool nulliga. Säärast resulteerivvoolu muutust piki liini nimetatakse **seisevlaineks**. Punkte, kus voolutugevus on maksimaalne, nimetatakse **voolupuhmadeks**, punkte, kus voolutugevus võrdub nulliga, nimetatakse **voolusõlmedeks**. Samasuguseid seisevlaineid tekitab piki liini ka pinge, kusjuures pingepuhmad asuvad voolusõlmedes ja pingesõlmed voolupuhmades.

Kui liini pikkus vastab täpselt poolele toitevoolu lainepikkusele, siis tekib liinis ainult üks seisevlaine, mispuhul liin kujutab toitevoolu sagedusele häälestatud võnkeringi. Kuid erinevalt keskendatud võnkeringist võngub säärane liin-võnkering peale nimetatud põhisageduse veel teistel suurematel sagedustel, mis kujutavad lihtsat mitmekordset põhisagedust ja mida nimetatakse **harmooniliseks sagedusteks** (B 32). Meenutame, et harmooniliste sageduste käsitlemisel nimetatakse põhisagedust ennast esimeseks harmooniliseks sageduseks, kahekordset põhisagedust — teiseks harmooniliseks, kolmandat — kolmandaks jne.



Joon. 38. Seisevlaine kujutus häälestatud k.-s. liini lõigus, mille pikkus võrdub põhisageduse poole lainepikkusega $\lambda/2$. U_1 ja I_1 kujutavad pinge ja voolu paiknemist põhisagedusel, U_2 ja I_2 — sama teisel harmoonilisel. Liini alguses ja lõpus asuvad nii põhi- kui ka harmoonilise sageduse pingepaisud U_1, U_2 ja voolusõlmed I_1, I_2. Seejuures põhisagedusel on poole lainepikkusega liinis ainult üks voolupais, teisel harmoonilisel samas liinis kaks voolupaisu jne.

Joonisel 38 on kujutatud põhi- ja teise harmoonilise sageduse pingete ja voolude jaotus piki häälestatud kõrgsagedusliini lõiku, mille pikkus võrdub põhisageduse poole lainepikkusega. Liini otstes asuvad nii põhi- kui ka harmooniliste sageduste voolusõlmed ja pingepuhmad.

50. Ühejuhtmeline kõrgsagedusliin.

Eelmises punktis käsiteldi kõrgsagedusliinis toimuvaid nähtusi ideaalsel kujul, ilma kõrgsagedustakistuseta, kusjuures tagasipeegelduv vool oli täiesti võrdne, kuid 180° võrra algvooluga faasis nihutatud. Tegelikult evib aga liin takistust, mille tulemusel tagasipeegelduva voolu amplituud väheneb. Kuid üldiselt sääraste häälestatud liinilõikude takistus, võrreldes samaväärsete keskendatud L ja C võnkeringidega, on suhteliselt väike ning hindetegur Q seega suur.

Ühejuhtmelises häälestatud liinilõigus tõuseb kõrgsagedustakistus peale selle veel tunduvalt kiirgustakistuse arvel, mida ei esinenud keskendatud võnkeringis. Nimelt tekib *ühejuhtmelises* häälestatud *liinis* võnkumisprotsessi kestel magnet- ja elektrivälja varutud energia hajumine ja vastavalt sellele täiendav vooluamplituudi langus, mis avaldubki ekvivalentse kiirgustakistusena (B 41 e). Keskendatud võnkeringis pooli ümber tekkiv magnetväli, tingituna pooli väikestest ruumilistest mõõdetest, oli koondatud pooli lähemasse ümbruskonda. Samuti asus keskendatud võnkeringi elektriväli praktiliselt tervikuna kondensaatori plaatide vahel. Selle tulemusel voolu ja pinge võnkumisprotsessi kestel tsükliliselt langedes kogu magnet- ja elektrivälja varutud energia kandus tagasi terviklikult samasse võnkeringi vooluenergiana.

Ühejuhtmeline häälestatud liin aga kujutab endast ruumi lahtiharutatud *homogeenset* võnkeringi, milles L, C ja R kogu ulatuses on jaotatud ühtlaselt ning milles voolu ja pinge tsüklilise tõusu kestel võnkeringi energia kandub ruumiliselt ulatuslikesse magnet- ja elektriväljadesse. Kuna magnet- ja elektrivälja levimiskiirus ruumis on piiratud valguse kiirusega ($c = 300\,000$ km/sek), siis tsüklilise protsessi arenemine väljades jääb ajaliselt maha tsüklilise protsessi käigust võnkeringis endas. Osa väljaenergiat, mis lahkus juhtmest tõusva veerandtsükli lõpul, jõuab tagasi juhtmesse juba järgneva kahaneva veerandtsükli kestel. Suurem osa väljaenergiat, mis ruumiliselt haaras suuremaid ulatusi, ei jõua tagasi enne vastupidise väljaenergia levimist võnkeringi juhtmest, mis areneb järjekordse tõusva negatiivse veerandtsükli kestel. Sellises olukorras lakkab algvälja sõltuvus võnkeringist ning väli muutub iseseisvaks, ruumis vabalt levivaks *elektromagnetiliseks laineenergiaks*. Seda välja osa, mille energia kandus tagasi juhtmesse, nimetatakse *induktsioonväljaks*, vabanenud välja osa — *kiirgusväljaks*. Kiirgumise teel võnkeringist lahkunud energia hulk seega kujutabki kadu, mida käsitellakse võnkeringi *ekvivalentse kiirgustakistusena*.

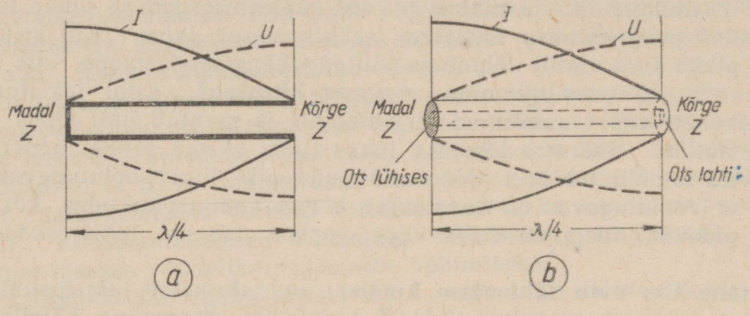
Oma väljasirutatud kuju tõttu loob ühejuhtmeline kõrgsagedusliin soodsa olukorra võnkeringi energia kiirgamiseks ruumi ja seepärast leiab ta kasutamist peamiselt *antennina* nii saatjates kui ka vastuvõtjates. Viimasel juhul ei täida antenn küll kiirgamise ülesandeid, kuid loob soodsad tingimused ruumis leviva elektromagnetilise energia muundumiseks antenni juhtmes vooluenergiaks.

51. Kahejuhtmeline kõrgsagedusliin.

Energia avarate kiirgumisomaduste tõttu pole ühejuhtmeline liin otstarbekas kasutamiseks vooluenergia juhtliinina, millelt nõutakse võimalikult

kaovaba energia ülekandmist. Seepärast niisugustel juhtudel ühejuhtmeline liin asendatakse kahejuhtmelise liiniga, mille juhtmetes voolud kulgevad vastupidises suunas ning nende väljad on vastupidised liini igas vaadeldavas punktis.

Kahejuhtmelist liini võib vaadelda kui seesugust ühejuhtmelist liini, mis on jaotatud keskelt pooleks ja mille mõlemad pooled on keskelt pööratud üksteisele rööbiti (joon. 39 *a*). Sel puhul jääb juhtme pikkus endiseks, kuid



Joon. 39. Seisevlained veerandlaine-lühisliinilõikudes: *a* — lahtine liin, *b* — koaksiaalliin.

liini pikkus väheneb kahekordselt: häälestatud poole lainepikkusega liin muutub veerandi lainepikkusega liiniks. Häälestamisel resonantssagedusele säärane liin käitub endiselt, kuid piki liini vaadates asub voolupuhm nüüd lühises olevas liiniotsas, voolusõlm lahtises liiniotsas, pingepuhm ja -sõlm — vastupidiselt. Vastavalt sellele evib lahtine ots kõrget, lühisots — madalat impedantsi.

Kuigi säärase kahejuhtmelise liini väljadel ei ole endist ruumilist hajuvust, siiski pole nad täielikult piiratud juhtmete vahekaugusega — osa väljaenergiast ulatub kaugemale ja paratamatult kiirgub ruumi. Seepärast on praktikas enam levinud nn. koaksiaalliin (joon. 39 *b*), milles üks juhtmeist kujutab varjestussilindrit keskmise juhtme ümber. Säärase koaksiaalliini puhul on väljad piiratud täielikult silindri seesmise ruumalaga, mistõttu energia kiirgumine on võimatu, vaatamata sellele, et liinis kujunevad endiselt seisevlained. Lisaks sellele, et koaksiaalliinis ei teki kiirguskadusid, väheneb ta takistus veel silindri suurenenud juhtiva pinna tagajärjel, mistõttu koaksiaalliini Q on tunduvalt kõrgem kui teistel liinidel, rääkimata keskendatud L ja C võnkeringidest.

Kahejuhtmelisi liine, eeskätt kaablikujulisi koaksiaalliine, kasutatakse nende kõrge Q tõttu väga paljudel juhtudel, nagu vooluenergia juhtliinina ehk transmissioonliinina, häälestatud võnkeringidena saatjates ja vastuvõtjates, transformaatoritena vooluallika ja tarbija impedantside sobitamiseks vooluenergia ülekandmisel, kõrgsagedusfiltritena jne. Eriti laialdane on kahejuhtmeliste liinide kasutamine üli- ja ultrakõrgsagedustehnikas, kus tavalised keskendatud LC võnkeringid lakkavad toimimast.

52. Transmissioonliin.

a) Häälestamata transmissioonliin. Mitte alati pole võimalik saatja või vastuvõtja vahetus läheduses leida sobivat asukohta antenni püstitamiseks, mis eviks ruumis vaba ulatust. Neil juhtudel kasutatakse raadioseadme ja antenni vaheliseks energia ülekandmiseks transmissioonliine, mille pikkus tavaliselt ületab kasutatava lainepikkuse mitmekordselt. Seesugustelt transmissioonliinidelt nõutakse, et nad oleksid kiirgusvabad ja eviksid võimalikult väikesi kadusid.

Seni käsiteldud liinide pikkus piirdus häälestussageduse poole lainepikkusega, milles peegeldumise tagajärjel tekkis seisev laine. Kui kujutada ette lõpmata pikka liini, mille lähteotsa lülitada kõrgsageduspinge, siis tekib piki liini pidev voolu edasiliikumine valguse kiirusega. Liini takistuse ületamisel väheneb voolu amplituud järjekindlalt ja muutub liini lõpus — lõpmatuses — nulliks. Säärases lõpmata pikas liinis ei saa peegeldumist ja seega ka seisvaid laineid tekkida. Voolumõõtjaga piki liini voolutugevust jälgides selguks, et voolutugevus on konstantne kõigis vaatluspunktides, kui mitte arvestada pidevat, reeglipärast ja väga aeglast langust takistuskadude tagajärjel.

Säärane liin evib lähteotsas kindlat puhtakujulist takistuslikku impedantsi, nn. l a i n e i m p e d a n t s i (Z_O), mis on ühesugune kõigile sagedustele. Järelikult lõpmata pikk liin ei häälestu, tal puudub iseloomustav resonantssagedus.

Seda laineimpedantsi võib teisiti vaadelda kui igale liinile omapärast, iseloomustavat suurust, mis sõltub ta füüsikalistest ja elektrilistest mõõdetest iga lõpmata väikese liini pikkuse ühiku kohta ja mis tuletub arenevate pingete ja voolude suhetena selles vaadeldavas liinilõigus. Peale selle laineimpedants oleneb veel liini keskkonda moodustava aine elektrilistest ja magnetilistest omadustest (ε, μ), s. o. juhtme- ja isolatsioonimaterjalist, kuid ta ei olene liini pikkusest.

Kui seesugune lõpmata pikk liin lõigata katki vajalikus kauguses ning lõikekohas eraldatud liiniotsa lülitada jätkuva liiniga, s. o. liini laineimpedantsiga võrdne takistus, siis jäävad eraldatud liinilõigule kõik endise lõpmata pika liini elektrilised omadused. Seesugusel lõpmata pikast liinist tuletatud reaalse pikkusega h ä ä l e s t a m a t a t r a n s m i s s i o o n l i i n i l on rida paremusi, võrreldes teiste, nn. h ä ä l e s t a t u d t r a n s m i s s i o o n l i i n i d e g a, mida käsiteldi eespool. Häälestamata liini iseloomustavaimaks omaduseks on seisevlainete puudumine kogu liini pikkuses, kuna kõigis teistes liinides tekib seisevlaineid suuremal või vähemal määral. Seisevlaine tekib liinis kõigil juhtudel, kui liini väljundots ei lõpe liini laineimpedantsiga võrdse-takistusliku väljundimpedantsiga. Sama liini laineimpedantsiga võrdsustamise vajadus on nõutav ka sisendimpedantsi suhtes.

Ebavõrdsete laine- ja väljundimpedantside korral liinis tekkiva seisevlaine h a r i s u h e, s. o. voolutugevuste (või pingete) suhe liini puhma- ja sõlmpunktides määratakse

$$\frac{I_P}{I_S} = \frac{Z_O}{Z_S} \text{ või } \frac{Z_V}{Z_O},$$

milles I_P, I_S on voolutugevused puhma- ja sõlmpunktides, Z_O — liini

laineimpedants ja Z_V — liini väljundimpedants. Kui näiteks 600-oomine liin lõpeb 71-oomise takistusega või 71-oomine liin 600-oomise takistusega, siis seisevlaine harisuhe võrdub $\frac{600}{71} = 8{,}45$, s. o. kui sõlmpunktis vool võrduks 0,1 A, oleks puhmapunktis voolutugevus $0{,}1 \cdot 8{,}45 = 0{,}845$ A. Kui aga 71-oomine liin toidaks antenni, mis häälestatult omab 71-oomist takistuslikku impedantsi, siis resonantssagedusel seisevlaine harisuhe võrduks $\frac{71}{71} = 1$, mis tähendab, et liin toimib häälestamata liinina, mille kõikides punktides vool on konstantne.

Seisevlaine puudumise tõttu pole häälestamata transmissioonliini pikkus seotud kasutatava sagedusega ja seega on liini pikkuse ja sageduse valik täiesti vaba. Kuna kõrgsageduslikud kaod liinis tõusevad kasutatava pinge suurendamisega ja võivad tõusta pingepuhmades õige suurteks, siis on häälestamata transmissioonliin teistest liinitüüpidest tunduvalt kaovaesem.

Kõik loeteldud paremused asetavad häälestamata liini eelistatud seisukorda, mistõttu ta leiab standardset kasutamist peamiselt koaksiaalkaabli kujul nii raadiojaamades antenni toiteliinina kui ka raadioseadmetes ühendusliinina. Koaksiaalkaablina võimaldab kaabli kate maandamist ja seega paigutamist maasse võimalike vigastuste vältimiseks.

Transmissioonliini valmistamisel või valikul on tarvis teada ta laineimpedantsi Z_o, mis võrdub üldkujul:

$$Z_o = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (\Omega),$$

milles L ja C on μH ja μF, arvestatud liini pikkuse ühiku kohta (m, km). Õhkisolatsiooniga kahejuhtmelise transmissioonliini laineimpedants

$$Z_o = 277 \log \frac{b}{r} \quad (\Omega),$$

milles b — juhtmete tsentrumite vahekaugus, r — juhtmete raadius (b ja r arvutatud ühistes mõõtühikutes — cm, mm).

Koaksiaalkaabli laineimpedants

$$Z_o = \frac{138{,}5}{\sqrt{\varepsilon}} \log \frac{D}{d} \quad (\Omega),$$

milles ε — kaabli seesmine õhu ja isolatsioonimaterjali resulteeriv dielektriku-konstant, D — kaablimantli seesmine diameeter, d — kaablisoone väline diameeter (D ja d arvutatud ühistes mõõtühikutes — cm, mm).

Kui koaksiaalkaabli mantli ja soone vaheliseks dielektrikuks on peamiselt õhk ja hõredalt paigutatud kõrgeväärtuslikust keraamilisest materjalist nagu frekventast, steatiidist või stürofleksist isolaatorid — toed, siis $\varepsilon \approx 1{,}18$, mispuhul

$$Z_o = 127{,}6 \log \frac{D}{d} \quad (\Omega).$$

Kui mantli ja soone materjaliks on vask, siis kaabel omab minimaalseid kadusid, kui kaabli $\frac{D}{d}$ suhe võrdub 3,6, mispuhul

$$Z_o = 127{,}6 \log \frac{D}{d} = 127{,}6 \cdot 0{,}5563 = 71\ \Omega.$$

Häälestamata transmissioonliinina võib kasutada ka ühejuhtmelist liini, kui ta sisend- ja väljundimpedantsid on sobitatud liini laineimpedantsiga. Kuigi ühejuhtmeline liin pole kiirgusvaba, pole otste sobitamisel vool liinis suur ning seega ei kujune ka kiirguskaod liiga suureks. Ühejuhtmelise liini laineimpedants sõltub paljudest teguritest, nagu juhtme läbimõõdust, kõrgusest maapinnast, ümbritsevaist ehitistest jne., kuid ta keskmise väärtusena võib arvestada umbes 500 oomi. Üldiselt aga on ühejuhtmelist liini väga raske sobitada õigesti sisend- ja väljundimpedantsidega ja seetõttu tekivad temas alati suuremal või vähemal määral seisevlained ja seega ühtlasi kiirguskaod.

b) Häälestatud transmissioonliin. Kui transmissioonliini otsad ei lõpe liini laineimpedantsiga võrdsete impedantsidega ja need impedantsid resonantssagedusel ei kujuta puhtakujulist takistust, siis paratamatult tekivad liinis seisevlained. Seejuures võimsuse ülekande protsessis tuleb seisevlainete puhul eraldada kolme erinevat juhtu, kusjuures on eeldatud, et liini väljundimpedants alati jääb puhttakistuslikuks:

1) kui liini pikkus vastab täpselt veerandlaine pikkusele $\left(\frac{\lambda}{4}\right)$ või veerandlaine paaritule kordsele $\left[\frac{\lambda}{4}(2n-1)\right]$,

2) kui liini pikkus vastab täpselt poollaine pikkusele $\left(\frac{\lambda}{2}\right)$ või poollaine kordsele $\left(\frac{\lambda}{2}n\right)$,

3) kui liini pikkus ei vasta täpselt ei veerandlainele ega poollainele ega nende kordsetele, vaid omab vahepealset väärtust.

Üldine määratlus, et raadiolained kui elektromagnetilised lained levivad valguse kiirusega (300 000 km/sek), on sellisel üldkujul kehtiv ainult vaakumi ja ioniseerimata õhu keskkonna kohta. Kui aga elektromagnetiline laine levib muus keskkonnas, siis ta levimiskiirus muutub sõltuvalt keskkonna dielektriku-konstandist ja permeaablusest:

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}} = \frac{3.10^5}{\sqrt{\varepsilon\mu}} \text{ (km/sek)}.$$

Kuna transmissioonliinides laine levimiskeskkonnaks on mitte ainult õhk, vaid erimaterjalidest valmistatud isolaatorid, liinihoidjad ja lõpuks voolukandvad liinijuhtmed ise, mis evivad ühest suuremat dielektriku-konstanti või permeaablust, siis sellistes liinides, eriti koaksiaalkaablis, laine levimiskiirus vältimatult väheneb.

Kooskõlas sellega tuleb teha vahet liini elektrilise ja füüsikalise pikkuse vahel, kusjuures liini füüsikaline pikkus kujuneb alati lühemaks liini elektrilisest pikkusest.

Vabas ruumis lainepikkus

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ või meetrites } \lambda = \frac{300}{f}, \text{ kus } f \text{ on MHz.}$$

Veerandlaine füüsikalist, s. o. liini tegelikku pikkust arvutatakse

$$l = \frac{75\,k}{f} \text{ (m)},$$

milles l — liini tegelik pikkus, f — sagedus MHz, k — redutseerimistegur, mis kujuneb eri liinitüüpide juures vastavalt:

kahejuhtmelisel õhuliinil	$k = 0{,}975$
kahejuhtmelisel toruliinil	$k = 0{,}95$
koaksiaalkaablil (õhkisolatsiooniga)	$k = 0{,}85$
koaksiaalkaablil (kummi-isolatsiooniga) punutud juhtmepaaril (kummi-isolatsiooniga)	$k = 0{,}56 \ldots 0{,}65$

Näiteks veerandlaine pikkusega õhkisolatsiooniga koaksiaalkaabli tegelik pikkus sageduse juures 14,2 MHz kujuneks $\frac{75 \cdot 0.85}{14{,}2} = 4{,}49$ m.

Täpse veerandlaine pikkusega või veerandlaine paaritu-kordse pikkusega liin $\left[\frac{\lambda}{4}(2n-1)\right]$, mille väljundimpedants resonantssagedusel on takistuslik, omab sisendotsas alati takistuslikku impedantsi, vaatamata sellele, et väljundimpedants pole võrdne liini laineimpedantsiga. Seda sisendotsas avalduvat takistuslikku impedantsi arvutatakse

$$Z_s = \frac{Z_o^2}{Z_v} \ (\Omega),$$

milles Z_s — sisendimpedants, Z_v — väljundimpedants, Z_o — laineimpedants. Seega veerandlaine pikkusega liin käitub kui impedantside transformaator, võimaldades sobitada sisendis ja väljundis olevaid eri suurusega impedantse, millise ülesande täitmiseks teda sageli praktiliselt rakendataksegi.

Näide. Millist takistuslikku impedantsi avaldab antenn saatjale, kui saatja ja antenni vaheliseks sidestuseks kasutatakse $Z_o = 600\ \Omega$ laineimpedantsiga veerandlaine-pikkust transmissioonliini ja kui antenni impedants toitepunktis on $Z_v = 70\ \Omega$?

$$Z_s = \frac{Z_o^2}{Z_v} = \frac{600^2}{70} \approx 5140\ \Omega.$$

Kui veerandlaine-pikkune liin ühest otsast lühiühendada, siis on võimalik teda kasutada kui pidevalt muudetavate impedantside sobitamistransformaatorit. Kuna lühistatud liiniotsa impedants võrdub nulliga ja lahtise otsa impedants võrdub lõpmatusega, siis liini juhtmetelt võetud haruühenduspunktide vahekaugused annavad igasuguseid võimalikke impedantse.

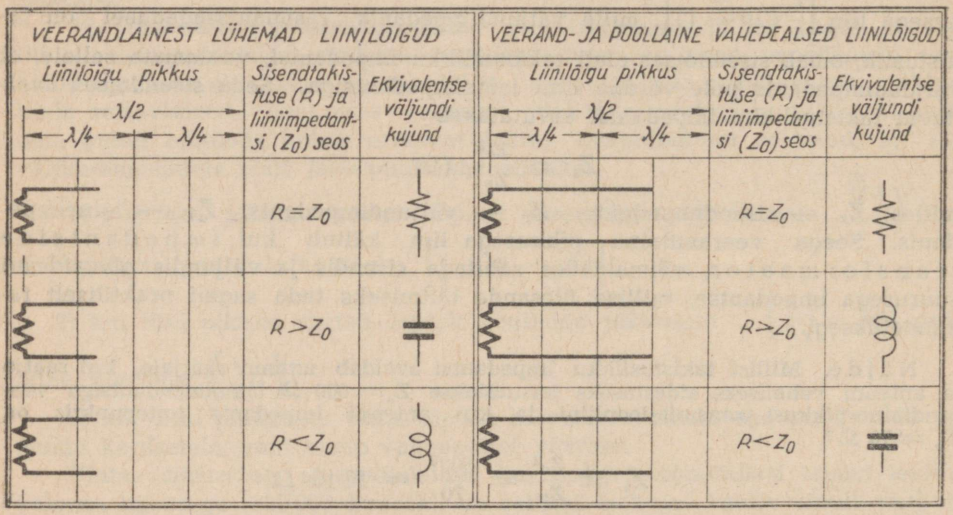
Lõpuks, kui lühiühendatud otsaga veerandlaine-pikkune liin lülitada lahtise otsaga võnkeringi või teise liini külge ja lühiühendatud ots maandada, siis säärane liinilõik moodustab eeskujuliku isolaatori resonantssagedusel, kuna lahtise otsa impedants on lõpmata suur. Samal ajal teistele sagedustele ja alalisvoolu toitevoolule säärane isolaator moodustab lühise.

Tarbe korral võib impedantside transformaatorina või isolaatorina võtta tarvitusele ühe veerandlaineliise lüli asemel ükskõik millise mittepaaris arvu lülisid. Sel puhul liini pikkus vastavalt suureneb, kuid ta omadused säilivad.

Täpse poollaine või poollaine kordse pikkusega liin $\left(\frac{\lambda}{2} \cdot n\right)$ omab sisendotsas alati väljundimpedantsiga võrdset takistuslikku impedantsi ja kujutab seega impedantside transformaatorit ülekandesuhtega 1 : 1. Kui seesuguse liini väljund- ja sisendimpedantsid võrduvad laineimpedantsiga, siis muutub ta häälestamata transmissioonliiniks.

Poollaine-liine kasutatakse kas puhtal kujul või kombineeritult veerandlaine-lülidega transmissioonliinina.

Veerand- või poollaine pikkusega ebavõrdne liin omab sisendotsas alati reaktiivset impedantsi, vaatamata sellele, et väljundotsa on lülitatud takistuslik impedants. Seejuures veerandlainest lühema liini sisend on induktiivne, kui väljundimpedants on väiksem laineimpedantsist, ja mahtuvuslik, kui väljundimpedants on suurem laineimpedantsist. Kui liin on veerandlainest pikem, kuid poollainest lühem, on nähtused vastupidised. Samade nähtuste kordumine jätkub iga järgmise veerandlaine juurdelülitamisega.



Joon. 40. Takistusega lõppevate transmissioonliinilõikude reaktiivsus sõltuvalt liini- ja sisendimpedantsist.

Veerandlaine pikkusega ebavõrdseid liinilõike kasutatakse nende reaktiivse tagasimõju tõttu sisendile praktiliselt kui tavalise võnkeringi elemente — induktiivsusi ja mahtuvusi — kõrgsageduspaispoolidena ja filterkondensaatoritena. Kõrgsagedusliinilõiku, mille väljundimpedants koosneb laineimpedantsile võrdsest takistusest, võib kasutada reaktiivsusvaba takistina. Eri liiki liinilõikude omadused on toodud joonistel 40 ja 41.

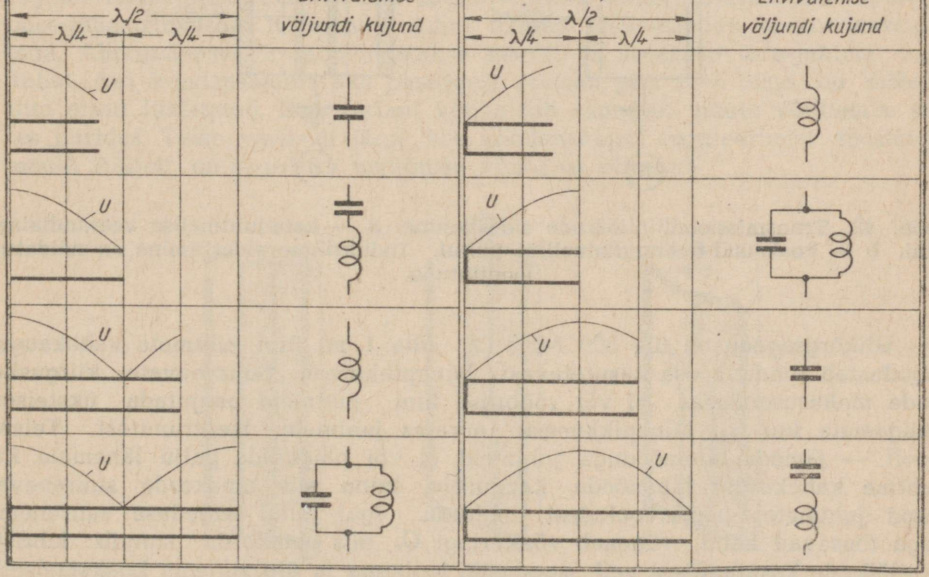
Nagu eeltoodust selgub, käituvad transmissioonliinilõigud erinevais töötingimustes erinevalt ja neist võib tuletada ning asendada praktiliselt kõiki võnkeringi üksik-elemente ning nende kombinatsioone. Eriti suur tähtsus on sellisel asendamisel ultra- ja superkõrgsagedustehnikas, kus tavalised keskendatud L ja C võnkeringid lakkavad olemast võnkeringideks ja nende asendamine sobivate liinilõikudega on ainsaks väljapääsuks.

c) Transmissioonliin võnkeringina. Klassikaline keskendatud L ja C võnkering on rakendatav raadioseadmeis senikaua, kui pooli mähiseks kasutatud juhtme pikkus veel pole võrreldav kasutatava lainepikkusega, kui pooli omamahtuvus ja kondensaatori omainduktiivsus ei mõju häirivalt võnkeringi toimele ning kui pooli ja kondensaatori vahelised ühendusjuhtmed vajaduse

korral koos lainelülititega ei moodusta nimetamisväärset osa pooli juhtmepikkusest.

Ettenägeliku ja hoolika raadioseadme ehitusviisi juures saab neid nõudeid täita keskmiselt sagedusteni kuni 30 MHz ($\lambda = 10$ m). Sagedustega üle selle piiri minnes muutub sellise võnkeringi normaalne toime küsitavaks. Pooli omamahtuvus ja ühendusjuhtmete vaheline mahtuvus, millele tuleb juurde arvata veel lambi mahtuvus, võivad kujuneda summaarselt niivõrd suureks, et ettenähtud sagedusele häälestamiseks isegi ühekeeruline pool osutub paljuks. Sel juhul pooli ja kondensaatori vahelised ühendusjuhtmed evivad tõenäoliselt suuremat induktiivsust kui pool ise ning häälestuskondensaatori lülitamine võnkeringi arusaadavalt langeb üldse ära. Võnkeringi ühekeerulise pooli lahtiharutatud juhtme pikkus koos ühendusjuhtmetega kujunevad võrreldavaiks kasutatava lainepikkusega, mille tulemusena suurem osa võnkeringi energiast kiirgub vahetult võnkeringist välja. Ja kui oletadagi, et käsiteldav võnkering kujutas saatja väljundringi, mis oli mõeldud antenni toitmiseks, siis väljakiirgunud võimsus muundub soojuseks juba saatja enda metallosades, raamistikus ja muudes esemetes, pääsemata üldse välja saatja ruumist.

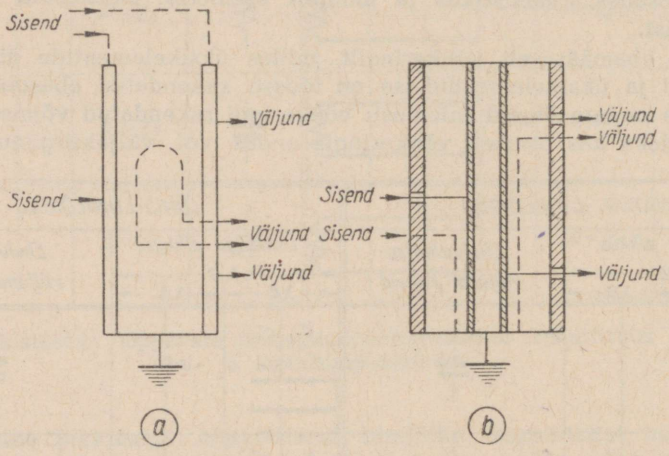
Selliselt ebamääraselt võnkeringilt, milles üksikelementide ülesanded on segi paisatud ja üksikelemendid ise on töösse rakendatud ebasoodsais tingimustes, pole oodata õigeid tulemusi: võnkeringi rakendatud võimsused muunduvad kadudeks kas otseselt võnkeringis endas või väljakiirgunult. Võnke-



Joon. 41. Avatud ja lühisliinilõigud võnkeringi elementidena. Joonisel on kujutatud liinilõikude elektrilised omadused sõltuvalt liinilõigu pikkusest.

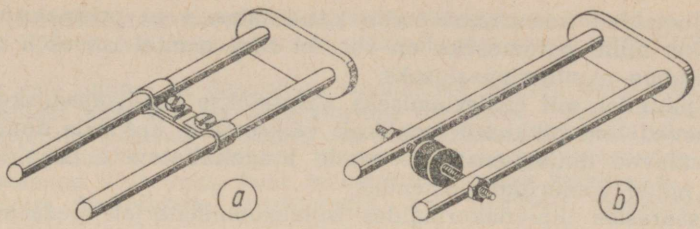
ringi Q muutub väga madalaks, võnkeringis toimuvate füüsikaliste protsesside suunamine kujuneb võimatuks, mistõttu seesuguste võnkeringide kasutamisest sagedustel üle 100 MHz tuleb täielikult loobuda.

Loeteldud põhjustel on sagedustel üle 100 MHz (λ alla 3 m) üldiselt võnkeringidena kasutamisele võetud transmissioonliinilõigud, milles ei esine keskendatud võnkeringi puudusi. Veerandlainelises liinis või veerandlaine paaritu-kordse pikkusega liinis, mille üks ots on lühiühendatud ja teine lahtine, tekib tavalise rööbitise võnkeringiga väga sarnane võnkumisprotsess. Seesugune liin evib oma lahtises otsas kõrget impedantsi resonantssagedusel. Kui lahtisele otsale lülitada liini resonantssagedusega pinge, siis lühiühendatud otsas arenevad suure Q tõttu suhteliselt suured voolud. Resonantssagedustest erinevail sagedusil transmissioonliinilõik käitub samuti väga sarnaselt tavalisele võnkeringile, kuigi füüsikaline protsess ise on veidi erinev. Üldiselt selliste liinilõikude töösse rakendamine ei erine kuigi palju tavaliste võnkeringide omast.



Joon. 42. Transmissioonliinilõikude sidestamine: *a* — kahejuhtmelise veerandlaineliini, *b* — koaksiaal-veerandlaineliini puhul. Induktiivne sidestamine on näidatud joonitatuna.

Ülikõrgsagedustel üle 300 MHz (λ alla 1 m) liini juhtmete vahekaugus moodustab tunduva osa kasutatavast lainepikkusest. Suurenevate kiirguskadude mahasurumiseks ei või rööbitise liini juhtmeid paigutada üksteisest kaugemale kui $^1/_{10}$ lainepikkusest, arvates juhtmete tsentrumitest. Teiselt poolt — jämeda läbimõõduga juhtmeid ei või paigutada palju lähemale kui juhtme kahekordse läbimõõdu kaugusele, kuna siis omakorda suurenevad kaod juhtmetes pöörisvooludest tingituna. Igal juhul sageduse suurenemisega tõusevad kaod, väheneb võnkeringi Q, mis omakorda sunnib lahtiste liinilõikude kasutamisest neil sagedustel loobuma ja üle minema koaksiaalseile liinilõikudele, kus kiirguskaod puuduvad täielikult. Koaksiaalliine võiks edukalt kasutada ka madalamatel sagedustel, kuid kuna nende ehitus on kee-

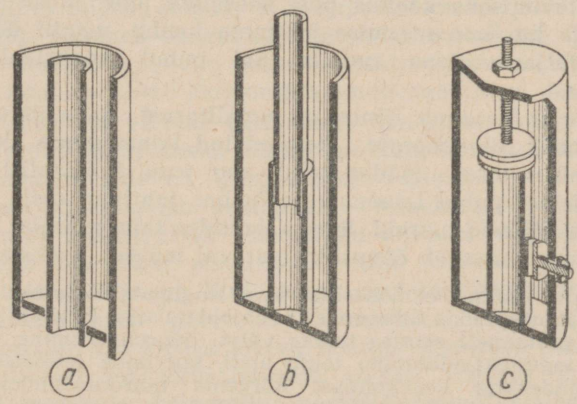


Joon. 43. Transmissioonliinilõikude häälestamisviise.

rukam ja reguleerimine raskendatud, siis eelistatakse neid eriti sagedustel üle 300 MHz.

Liin-võnkeringide praktilisi ehitusviise on näidatud joonistel 43 ja 44. Joonisel 43 teostatakse liini häälestamist kahel viisil. Ühel juhul haarab liini juhtmeid-torusid vasest lühis-aas, mis hea elektrilise ühenduse kindlustamiseks kinnitatakse poltidega. Lühis-aasa edasi-tagasi liigutamisega saab resonantssagedust muuta suurtes piirides. Teisel juhul toimub resonantssageduse reguleerimine reguleeritava vahekaugusega kaheplaadilise kondensaatori abil. Kondensaatorit võib paigutada kas lähemale või kaugemale liini lühistatud otsast. Kaugemale asetamise puhul on häälestussageduse piirid suuremad.

Joonisel 44 on toodud kolm koaksiaalliini häälestamise juhtu. Esimesel juhul toimub häälestamine lühiseketta liigutamisega piki liini telge. Säärane häälestusmeetod võimaldab katta võrdlemisi suuri sagedusalasid. Teisel juhul reguleeritakse häälestussagedust seesmise toru-juhtme teleskoobilise pikendamise-lühendamisega. Kolmandal juhul toimub häälestamine abikondensaatoritega. Abikondensaator moodustatakse mantli ja seesmise toru-juhtme vahel. Juhul, kui kondensaatori üks plaatidest asetseb piki liini telge, on mõlemad liini otsad lühistatud. See variant võimaldab sagedust muuta võrdlemisi suurtes piirides. Teise variandi järgi, kus kondensaatori reguleerimist teostatakse mantli küljelt, on sageduse muutmise võimalus piiratum.



Joon. 44. Koaksiaalliinilõikude häälestamisviise.

Peale loeteldud konstruktsioonide kasutatakse veel prismakujulisi koaksiaalliinilõike, mille paremuseks on see, et liini mantel ise võib olla ühtlasi ka kogu seadme monteerimisaluseks.

Kõigil juhtudel, mil häälestamiseks kasutatakse lisa-häälestuskondensaatoreid, kujunevad liini pikkused tegelikult väiksemaks, kui seda annab arvutus. Samuti muudavad liinidimensioone liinile külgelülitatavate lampide sisemahtuvused ja muud vooluringi elemendid.

Kuna säärastes liin-võnkeringides isolatsioonimaterjale peaaegu ei kasutata (koaksiaalliin kujutab isegi puhtmetallilist konstruktsiooni), siis dielektrikus ja isolatsioonimaterjalis tekkivaid kadusid neis ei esine. Koaksiaalliinis pole võimalikud isegi kiirguskaod, kuna mantel piirab täielikult võnkeringi väljasid.

53. Õõnesliin.

Raadiotehnika areng on kogu aeg kulgenud sageduste suurenemise suunas, et kaotada lünka, mis veel tänapäevalgi on jäänud elektromagnetiliste lainete spektris lühemate raadiolainete ja valguslainete vahele. Sageduse suurenemisega on sunnitud järjekindlalt muutuma ka tehnika: keskendatud võnkeringide asemele astuvad avatud liinid, liinide asemele koaksiaalkaablid. Seesugust evolutsiooni tingib kadude tõusmine sageduse suurenemisel, kusjuures ülemineku vajadus ühelt süsteemilt teisele kujuneb paratamatuks, kui lainepikkus kujuneb lähedaseks võnkuva süsteemi enda dimensioonidele.

Samal põhjusel on ka koaksiaalliini kasutamine õigustatud senikaua, kuni kaabli läbimõõt pole võrreldav kasutatava lainepikkusega. Tõsi, kaabli mõõteid võib vähendada, kuid siiski ainult teatavate piirideni, kuna peab arvestama, et liini juhtmete paaris, s. o. keskmises juhtmes ja mantlis, on vastassuunalised voolud ning juhtme ja mantli vahele on rakendatud pinge. Järelikult peavad kaabli dimensioonide vähendamisega vähenema ka käsitsetavad võimsused, et hoida tõusvaid soojuskadusid lubatavais piirides ja samuti vältida dielektriku läbilöömist.

Elektromagnetiliste lainete levimise teoreetiline uurimine ja katsed näitavad, et laine levimiseks kaablis pole seesmine juhe üldse oluline ning et laine võib levida ka ilma seesmise juhtmeta kaabli mantli õõnsuses, samuti kui ta levib väljaenergiana ruumis. Sel puhul koaksiaalkaabel muutub **õõnesliiniks.**

Lihtsamal kujul koosneb õõnesliin metalltorust, mille ühte otsa rakendatakse kõrgsageduslik laineenergia. Rakendatud laineenergia kulgeb piki toru tarbijani toru teises otsas, jäädes kogu aeg toru füüsikalistesse piiridesse. Toru ise kujutab sel puhul laineenergia ümber juhtivat kesta, mille varjestus väldib ühtlasi ka väliseid häireid. Seega, juhtides laineenergiat kindlas dielektrilises keskkonnas, sarnaneb õõnesliin teataval määral koaksiaalliiniga.

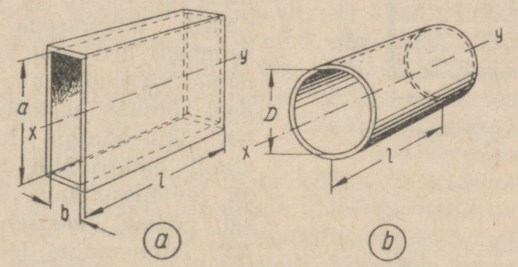
Peale selle pole oluline, et õõnesliini kest tingimata kujutaks endast metallilist elektrivoolu juhtivpinda. Laineenergia ohjeldamiseks kindlapiirilises juhtkanalis on tähtis, et juhtkanali seintes tekiks välja deformeerumine — peegeldumine. Seesugune laine tagasipeegeldumine tekib alati, kui laine levimisel siirdub madalama murdumisindeksiga keskkonnast kõrgema murdumisindeksiga keskkonda (näiteks valguslaine peegeldub veepinnalt, raadiolaine peegeldub ioniseeritud õhkkonna kihtidest jne.). Järelikult on võimalik raadiolainet juhtiva õõnesliini kesta

valmistada dielektrilistest materjalidest, mille dielektriku-konstant ε teatavasti on suurem kui 1. Seejuures tuleb eelistada väikesekaolisi aineid nagu trolituul, polüetüleen jt.

Lõpuks pole oluline, et õõnesliinis raadiolainet juhtiva keskkonna moodustaks õhk, vaid selleks võib olla iga väikesekaoline dielektrik. Kuna elektromagnetilise laine levimiskiirus väheneb ε tõustes, siis rakendatakse sääraseid liine neil juhtudel, mil aeglustatud, s. o. faasiliselt hilineva laineenergia kasutamine on tarvilik. Teades keskkonna ε ja seega laine levimiskiirust selles keskkonnas, on võimalik toota igasuguse faasinihkega laineenergiat, kui vastavalt dimensioneerida liini pikkus.

Elektromagnetilise laineenergia levimise protsess piki õõnesliini erineb koaksiaalliinist peamiselt sellega, et koaksiaalliini juhe ja mantel esinevad kogu liini pikkuses vastassuunaliste voolude kandevjuhtmetena. Õõnesliinides kulgeb vool ühes suunas ainult kesta ühes osas ning vastassuunaliselt kesta teises osas. Vaatamata sellele, et kest kui tervik evib kõikjal ühtlast elektrijuhtivust, ei teki nende voolude kui kohalike vahel siiski lühist.

Õõnesliinis levivat energiat tuleb vaadelda kui puhtakujulist väljaenergiat, mis levimisel tugineb õõnesliini pikiteljele xy (joon. 45). Energia levimisprotsessi tuleb käsitella kui väljaenergia lainelist liikumist, mille juures nii risti kui ka piki liini avalduvad vastavad väljade tihenemised ja hõrenemised.

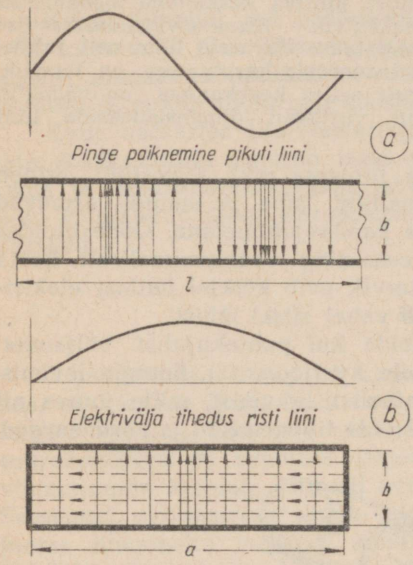


Joon. 45. Praktilisi õõnesliine.

Joonisel 46 *a* on kujutatud pinge paiknemine piki liini ja koos sellega elektrivälja suund ja tihedus. Joonisel 46 *b* on kujutatud elektrivälja tiheduse paiknemine risti liini, millest selgub, et teljejoonel on väljatihedus maksimaalne, mis järjekindlalt väheneb õõnesliini seintele lähenemisega (püstkülikulise liini kitsa seina suunas). Magnetväli paikneb elektriväljale risti (joon. 46 *b*) ja kulgeb piki liini kontsentriliste jõujoonte koondistena (joon. 46 *c*).

Säärast kummalist väljade paiknemist õõnesliinis käsitellakse kui väljaenergia kahe eraldi komponendi siksakilise kulgemise tulemust piki õõnesliini, mis edasiliikumisel pidevalt peegelduvad edasi-tagasi liini vastaspoolsetel seintel. Mõlema komponendi vastupidiste laineharjade kokkupuutepunktides õõnesliini seintel elektriväljad vastastikku hävivad. Nende kokkupuutepunktide tihedus piki õõnesliini seinu sõltub liini laiusest (a) ja lainepikkusest: mida lühem teatud laiusega liini juures on lainepikkus, seda sagedamad on kokkupuutepunktid, mida pikem on lainepikkus, seda hõredamalt asuvad kokkupuutepunktid. Kui lõpuks leviva energia poollaine pikkus ligikaudu võrdub või on suurem õõnesliini laiusest, areneb energia komponentide vahel liini laiuti seinte piirides kohapealne vastastikune põrkamine ning energia ülekandmine liini kaudu lakkab. Sellega seletub nähtus, et energia ülekandmi-

seks õõnesliini kaudu peab energia võnkesagedusele vastav lainepikkus olema lühem teatavast kriitilisest lainepikkusest — l õ i k e l a i n e p i k k u s e s t.



Joon. 46. Pinge ja väljade paiknemine ning väljade tihedus õõnesliinilõigus.

Eeltoodust selgub oluline vahe õõnesliini ja koaksiaalliini vahel. Õõnesliini kaudu saab laineenergiat juhtida ainult väga lühikestel, sentimeetrilistel lainetel, kusjuures kasutatav lainepikkus kindlamõõtelise liini juures ei või ületada teatavat kriitilist piiri. Kuid samal ajal iga õõnesliin võib laineenergiat juhtida lõpmata arvu elektri- ja magnetvälja paiknemistega. Eelnev käsitlus käis ainult ühe lihtsama väljade paiknemisviisi kohta. Iga säärast välja paiknemisviisi nimetatakse laine l e v i t ü ü b i k s. Kõiki laine levitüüpe jaotatakse kahte põhirühma — r i s t i m a g n e t i l i s e k s, tähistusega *TM* (harvem ka *E*), ja r i s t i e l e k t r i l i s e k s, tähistusega *TE* (harvem *H*). Kumbagi levitüübi rühma iseloomustab nende väljade suunamine: ristimagnetilisel rühmal asetseb kogu magnetväli risti laineenergia levimissuunale ning ainult elektrivälja komponendi suund on levimissuunaga ühine; ristielektrilisel rühmal asetseb kogu elektriväli risti laineenergia levimissuunale ja ainult magnetvälja komponent on levimissuunaga ühine.

Kindlamõõtelise õõnesliini juures kõigist laineenergia levitüüpidest, mida eritellakse üksteisest numbriliste indeksitega (näiteks $TE_{0,1}$, $TE_{1,0}$, $TE_{2,0}$, $TM_{0,1}$, jne.), omab erilist tähtsust p õ h i l e v i t ü ü p $TE_{1,0}$, mis kujutab endast võimaliku madalaima sagedusega levitüüpi, millega veel on võimalik teostada laineenergia ülekandmist õõnesliini kaudu.

Kaugelt suuremal osal juhtudel on praktilist rakendamist leidnud p ü s t k ü l i k u l i n e õ õ n e s l i i n, milles laineenergia saatmiseks kasutatakse peaaegu eranditult põhi-levitüüpi. Põhilevitüübi ($TE_{1,0}$) väljade paiknemine püstkülikulise õõnesliini juures on lähemalt kujutatud joonisel 46.

Laineenergia ülekandmiseks põhi-levitüübiga peavad püstkülikulise õõnesliini mõõted ületama teatud minimaalväärtusi, kuid samal ajal ei tohi nad ületada teatud maksimaalväärtusi, et vältida kõrgemaastmeliste levitüüpide tekkimist. Sellistele tingimustele vastab õõnesliin, kui ta laiema külje (*a*) seesmine mõõt võrdub 0,6 kuni 1,0 ülekantava signaali lainepikkusega ning kitsama külje (*b*) seesmine mõõt võrdub ligemale (kuid ei ületa) 0,5 lainepikkusega. Tavaliselt valitakse ristkülikulise õõnesliini külgede suhe $a : b = 2$. Need mõõted on optimaalsed, mille juures veel ei arene kõrgemaastmelisi levitüüpe ning energia ülekande kasutegur ja ülekantav võimsus on maksimaalsed. Ümar-õõnesliine (joon. 44 *b*) harilikult välditakse, kuna nende mõõted on väga kriitilised iga ülekantava laineenergia levitüübi suhtes. Peale selle võib iga väiksemgi deformatsioon liini ümaruses esile kutsuda väljade ebasoovitavat polariseerumist, mis raskendab ülekantava energia käsitsemist väljundis.

Võrreldes koaksiaalkaabliga[1] on energia ülekandmisel õõnesliiniga kaod mitmekordselt väiksemad. Samuti on märgatavalt suuremad ülekantavad võimsused tingituna dielektriku läbilöögipingest. Peale selle on õõnesliini paremuseks mehaanilise väljatöötamise lihtsus ja odavus, kuna langeb ära seesmise voolujuhtme kinnitamise ja tsentreerimise probleem. Õõnesliini seinte paksuse määrab ära vaid nõutav mehaaniline tugevus ja kaal. Praktiliselt valmistatakse õõnesliinid punasest messingist 1 kuni 2 mm seinapaksusega. Nii näiteks võimaldab 50 × 25 mm õõnesliin 6 cm lainel üle kanda maksimaalselt kuni 1200 kW võimsust, kusjuures võimsuse nõrgenemine liini 1 m pikkuse kohta on kõigest 0,036 dB, mis võrreldes koaksiaalkaabliga on väga väike, rääkimata tavalistest avatud liinidest.

Õõnesliini kasutamist piiravad ainult ta mõõted ja kaal ning kindlamõõtelise õõnesliini juures kasutatavate sageduste ulatused, nagu on käsiteldud eespool. Kuid sagedustel üle 10 000 MHz (lainepikkustel alla 3 cm) kujuneb õõnesliin koaksiaalliiniga võrreldes igal juhul palju kompaktsemaks ning on tänapäeval ainsaks energia ratsionaalseks ülekande seadiseks neil sagedustel.

Põhiliselt erineb õõnesliinide juures energia sisendus- ja väljundusviis teistest liinidest, milleks kasutatakse erilist sidestustehnikat (käsitellakse allpool õõsresonaatorite juures). Kuid ühtlasi lihtsustub laineenergia väljakiirgamise teostamine ruumi, mis toimub alati, kui õõnesliini ots on avatud. Samuti lihtsustub õõnesliinist väljakiirgava energia keskendamine kas laia ning õhukesse või punktitaoliselt suunatud vihku eksponentselt avaneva vastavakujulise toru kaudu. Energia keskendumist suurendavad märgatavalt paraboolsed metallreflektorid, kui õõnesliini avatud kiirgav ots paigutada reflektori tulipunkti.

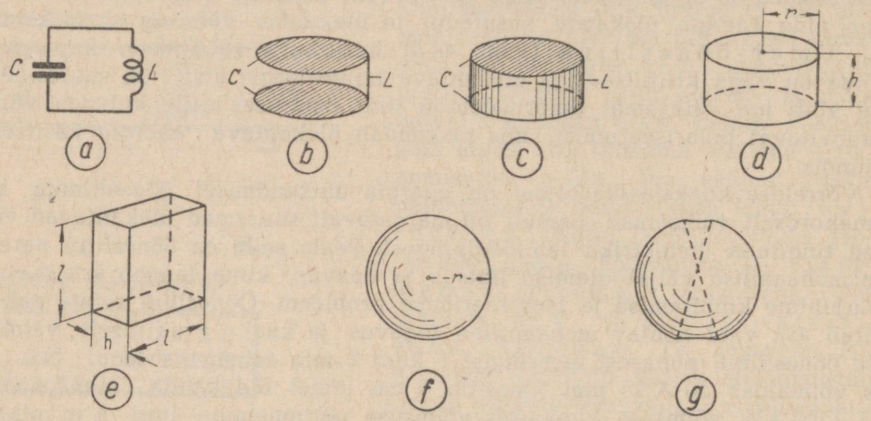
Sääraseid õõnesliine kasutatakse ainult superkõrgsagedusil, s. o. sentimeetrilistel lainepikkustel. Nende kasutamise otstarve ei piirdu elektromagne-

---

[1] Koaksiaalkaablis vaadeldakse energia levi alg-levitüübina (*TEM*) koos esimese kõrgemaastmelise levitüübiga ($TE_{1,1}$). Lainepikkuse lühenedes muutub energia levi üha enam viimatimainitud tüübiliseks, mille maksimaalne levi võimaldav lainepikkus arvutatakse $\lambda_{max} = \frac{2\pi\sqrt{\varepsilon}\,(a+b)}{2}$, kus a — seesmise juhtme välisdiameeter, b — välismantli seesmine diameeter, ε — liini dielektrikukonstant. Normaalselt koaksiaalliin töötab alla sellise levitüübi lainepikkuse.

tilise laineenergia ülekandmisega saatjast tarbijani, vaid analoogiliselt teiste liinidega võidakse neid kasutada samahästi „võnkeringidena" — õõsresonaatoritena ja impedantside transformaatoritena õõnesliini sidestamisel koaksiaalliini või antenniga jne. Nad evivad seejuures kõrgeid hindetegureid Q.

Õõsresonaatorit lihtsaimal kujul võib vaadelda kui miniatuursest võnkeringist tuletatud õõnesliinilõiku. Joonisel 47 on kujutatud säärase õõsreso-



Joon. 47. Õõsresonaatorite tuletamine ja resonaatorite kujusid.

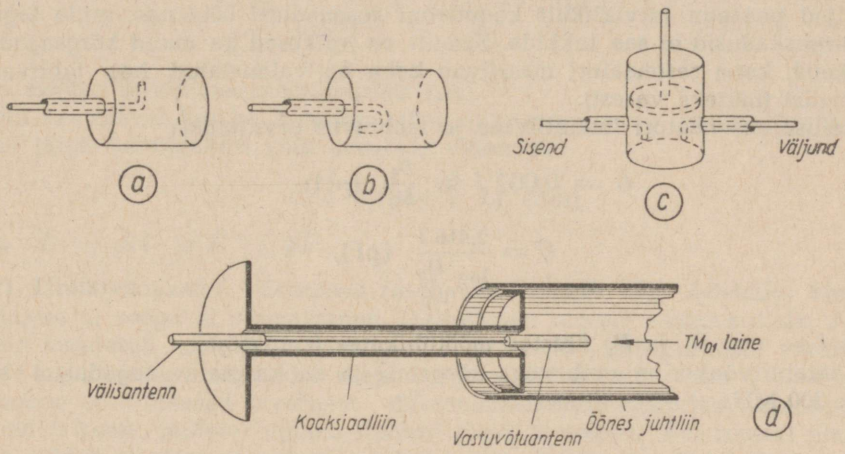
naatori saamine: *a* — on näidatud võnkering keskendatud L ja C, *b* — kondensaatori plaadid on asendatud kahe rööbitise kettaga ja pool on asendatud ketastevahelise ühendusjuhtmega. Seda ühendusjuhet võib omakorda asendada rea rööbitiste juhtmetega perifeerselt ketaste servadel ning lõpuks kõik rööbitised juhtmed asendada metallsilindri lõiguga (*c*). Sellise ümbermoodustamisega üksiku ühendusjuhtme induktiivsus väheneb tunduvalt, sest silindri külje pinda võib vaadelda kui lõpmatu arvuga võrdse induktiivsusega rööbiti ühendatud juhtmeid. Resulteeriv induktiivsuse väärtus võrdub sel puhul üksiku juhtme induktiivsusega, jagatult juhtmete arvuga. Induktiivsuse vähenemisega vastavalt tõuseb resonantssagedus. Sel teel saavutatud õõnesliinilõik kujutab teatud sagedustele häälestuvat kompaktset veerandlainesresonaatorit, millel on kõik veerandlainelise liini omadused.

Peale silindrikujulise õõnesliinilõigu (*d*) kasutatakse veel, nagu eespool oli märgitud, kandilist (*e*), sfäärilist (*f*) ja kooniliste avadega sfäärilist lõiku (*g*). Nende resonantssagedused sõltuvad õõnsuse mõõdetest ja kasutatava laine tüübist. Pikematel lainetüüpidel resonants-lainepikkused võrduvad:

silindrilisel lõigul	2,61 r
kandilisel lõigul	1,41 l
sfääril	2,28 r
kooniliste avadega sfääril	4 r

Silindrilise ja kandilise lõigu lainepikkus pikemail lainetüüpidel ei olene kõrgusest h, kui kõrgus on väiksem poolest lainepikkusest. Teistel lainetüüpidel kõrgus peab vastama lainepikkuse kordsele.

Õõsresonaatoreid häälestatakse mitmel viisil. Levinenumaid neist on kolvitaoline häälestusviis (joon. 48 *c* ja *d*). Kolvi edasi-tagasi liigutamisega muudetakse õõsresonaatori seesmisi mõõteid ja vastavalt sellele resonantssagedust. Säärased õõsresonaatorid evivad väga suurt hindetegurit $Q = 1000$ ja enam ning lampgeneraatoriga õieti sidestatuina arendavad küllalt kõrgeid ja seejuures stabiilseid sagedusi. Samuti kasutatakse neid vastuvõtja juures häälestusresonaatoritena.



Joon. 48. Õõsresonaatorite sidestamise ja häälestamise viise.

Õõsresonaatorite ja õõnesliinide sidestamist koaksiaalliinidega laineenergia üleandmiseks sooritatakse harilikult sidestusvardaga (*a* ja *c*) või sidestusaasaga (*b*), mis kujutavad endist koaksiaalliini seesmise juhtme pikendust õõnsuses. Esimesel juhul (*a*, *c*), s. o. sidestusvarda kasutamisel, toimub sidestus elektrivälja kaudu, kusjuures sidestus on maksimaalne, kui varras asub piki elektrivälja. Teisel juhul (*b*) on tegemist sidestamisega magnetvälja kaudu, mispuhul maksimaalse sidestuse saamiseks sidestus-aas oma pinnaga peab asuma risti magnetväljale. Sidestusvarda või -aasa pööramisega saab sidestust muuta suurtes piirides. Säärast sidestusviisi kasutatakse laineenergia sissetoomiseks kui ka väljaviimiseks õõsresonaatorist. Joonisel 48 *c* on kujutatud silindriline häälestatav õõsresonaator reguleeritava sisendiga ja väljundiga. Joonisel 48 *d* on kujutatud õõnesliini sidestamine koaksiaalkaabliga $TM_{1,1}$ tüüpi laineenergia üleandmiseks koaksiaalkaablile ning sealt edasi antenni. Peale üldtüüpi antenni kasutatakse laineenergia kiirgamiseks ruumi erilisi ruuporseadmeid.

Toodud näidetest selgub, et õõnesliinid ja -resonaatorid võimaldavad sooritada suure efektiivsusega kõiki neid ülesandeid väga lühikestel sentimeetrilistel lainetel, mida pikemail laineil teostatakse keskendatud *LC*-võnkeringidega või tavaliste liinilõikude-resonaatoritega.

54. Eriliiki võnkeringid.

Kõrge Q saamiseks, mis on tarvilik eeskätt resonantssageduse stabiliseerimiseks, kasutatakse eri ehitusviisiga võnkeringe või nendega sarnaselt käituvaid seadiseid.

a) Keskendatud *LC*-resonaator. Keskendatud *LC*-resonaator kujutab endast poolekeerulist toroidi, mille moodustab massiivne (või torutaoline) metallsüdamik ja sellele otstesse asetatud metallkettad (joon. 49 *a*). Ketaste välisservad on pikendatud silindertorudena, mis asetsevad vaheldumisi ja moodustavad kondensaatori. Kinnise ehitusviisi tõttu on nii elektri- kui magnetväljad peaaegu terviklikult koondatud resonaatori õõnsusse, mille tagajärjel kiirguskadusid ei saa tekkida. Samuti on väikesed ka muud kõrgsagedusliikud kaod, kuna resonaatori massiivne keha on valmistatud hea juhtivusega materjalist (näiteks vasest).

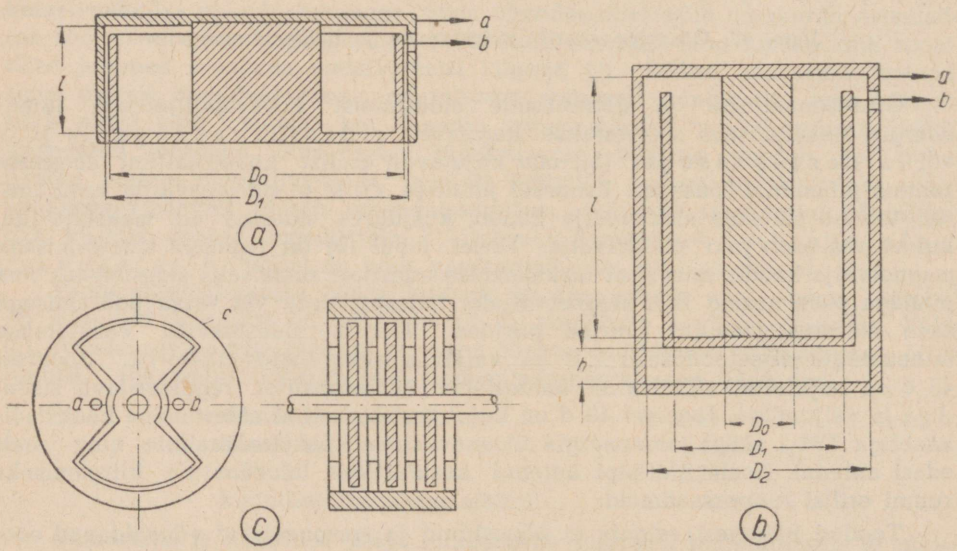
Sellise resonaatori induktiivsus ja mahtuvus arvutatakse

$$L = 0{,}002\, l \ln \frac{D_1}{D_0} \quad (\mu\text{H}),$$

$$C = \frac{2{,}416\, l}{\log \frac{D_1}{D_0}} \quad (\text{pF}),$$

milles l — cm. D_1 ja D_0 ühistes mõõtühikutes (cm, mm).

Säärane võnkering evib väga kõrget Q ja on kasutatav sagedustel keskmiselt 300 MHz.



Joon. 49. *a* — keskendatud *LC*-resonaator, *b* — pottresonaator, *c* — liblikresonaator. Resonaatorite lülituskohad on *a* ja *b*; *c* on mõeldud haruühendi võtmiseks.

b) Pottresonaator. Pottresonaator (joon. 49 *b*) on ehituslikult väga sarnane eelkirjeldatud resonaatoriga. Keskmine massiivne (või toru-) südamik moodustab induktiivsuse, mahtuvus on koondatud silindrite ja põhjade vahelisse keskkonda. Kuna väljad on täielikult suletud välise potiga, siis kiirguskaod puuduvad täielikult, mistõttu resonaator evib väga kõrget Q.

Pott-tüüpi resonaatori induktiivsus ja mahtuvus arvutatakse

$$L = 0{,}0117 \log \frac{D_1}{D_0} \quad (\mu\text{H}),$$

$$C = \frac{0{,}6225\, l}{\log \frac{D_2}{D_1}} + \frac{0{,}1775\, D_1^2}{h} \quad (\text{pF}),$$

milles mõõted on ühistes mõõtühikutes (cm).

Nii käesoleval kui ka eelmisel juhul resonantssagedus arvutatakse üldise valemi järgi; lainepikkust võib arvutada valemiga

$$\lambda = 0{,}1884 \sqrt{LC} \text{ (cm)},$$

milles L — μH ja C — pF.

c) Liblikresonaator. Eelmised resonaatori tüübid olid mõeldud kindlale sagedusele ja seega ei võimaldanud häälestamist tervele sagedusribale. Joonisel 49 *c* kujutatud nn. „liblikresonaator" võimaldab häälestamist võrdlemisi suurele sagedusribale, säilitades seejuures veel küllaldaselt suure Q. Seesugune resonaator on tuletatud tavalisest diferentsiaalkondensaatorist. Induktiivsus keskendub kesta, millele tugineb staatori plaatide pakett. Kui rootori plaatide pakett täidab staatori ava (joonisel kujutatud asend), on induktiivsus minimaalne, rootoripaketi sissepööramisel on induktiivsus maksimaalne. Resonaatorit kasutatakse peamiselt ülikõrgsagedustel.

d) Piesoelektrilised kristallid. Mõne kristallilise materjali, näit. kvartsi, turmaliini, Seignette-soola (Rochelle-soola) kristallidest täpselt väljalihvitud plaadid või pulgad evivad erilisi piesoelektrilisi omadusi, mis avalduvad selles, et elektriliselt laetuna ilmnevad neis mehaanilised pinged ja, ümberpöördult, mehaanilise surve alla asetatuna tekivad plaadi vastaskülgedel elektrilaengud. Säärast omadust kasutatakse raadiotehnikas mehaanilise energia muundamisel elektriliseks energiaks, näiteks kristallmikrofon, grammofoni elektrimembraan, stetoskoop, või elektrilise energia muundamiseks mehaaniliseks energiaks, näiteks kristall-valjuhääldaja, kristallheliplaadilõikaja. Õige lõikega kristall kujutab endast mehaanilist vibraatorit, mida võib käsitleda kui elektrilist väga kõrge Q järjestikust võnkeringi, mispuhul ta resonantssagedus oleneb kristalli lõiketüübist, lõigu paksusest ja pikkusest.

Kvartskristalli leidub looduses kuuetahulise prisma kujul, mille otsad lõpevad tavaliselt kuuetahuliste püramiididega. Säärases kristallis eritellakse kolme liiki telgi (joon. 50): püramiidide tippe ja seega prismat läbivat Z- ehk optilist telge, Z-teljele risti asuvat, prisma vastasseisvaid nurki läbivat X- ehk elektrilist telge, ja Z-teljele risti asuvat, prisma vastasseisvaid tahke läbivat Y- ehk mehaanilist telge. Looduslikust kristallist tehtavad erilõigud, mis geomeetriliselt on seotud XYZ-telgedega, määravad ära rakendatava võimsuse

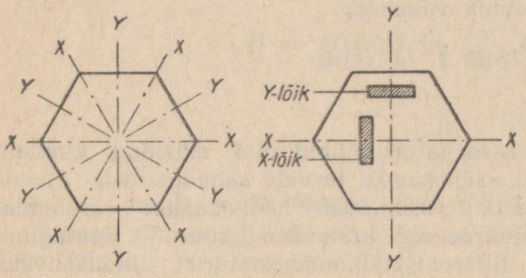
suuruse ja sageduse kõrguse olenevalt lõigu mõõdetest. Samuti määravad kristalli lõigu teljed sageduse konstantsuse sõltuvalt temperatuurist. Tüüpilisemaid lõike on *X*- ja *Y*- ning eri *AT*-lõigud.

Sagedustel üle 500 kHz, millistel sagedustel resonantssageduse määrajaks on peamiselt kristallplaadi paksus, kujuneb sageduse ja kristallplaadi paksuse suhe

$$f = \frac{k}{b'}$$

milles f — sagedus MHz, b — plaadi paksus mm ja k — ühtsustegur. Kvartskristalli juures k võrdub vastavalt kristalli lõikele:

X-lõik — 2,86	*AT*-lõik — 1,68
Y-lõik — 1,96	*BT*-lõik — 2,47



Joon. 50. Kvartskristalli elektriliste X-telgede ja mehaaniliste Y-telgede asetus ning vastavad lõigud. Kristalli optiline Z-telg kujutab pikutist prisma telgjoont, kulgeb läbi prisma tsentri ja on perpendikulaarne XY-telgedele (joonisel pole näidatud).

Sagedustel üle 10 MHz kujuneb kristall väga õhukeseks ja seega kasutamisel õrnaks, mistõttu neid kõrgemaile sagedustele tavaliselt ei lihvita, vaid neil sagedustel kasutatakse töötamiseks kristalli harmoonilisi sagedusi, harilikult kolmandat harmoonilist.

Kristalli kasutamist raadioseadmeis tingib sageduse stabiliseerimise vajadus. Kristalli enda resonantssagedus on väiksemal või suuremal määral sõltuv temperatuurist, mis omakorda oleneb lõike tüübist. Sageduse muutumist sõltuvalt temperatuurist väljendatakse erieguriga, mis näitab hertside arvu muutumist põhisagedusest iga megahertsi ja iga °C kohta. X-lõigu juures tegur on negatiivne, s. o. temperatuuri tõustes sagedus langeb; sageduse langus võrdub ühe °C ja ühe MHz kohta 15 kuni 25 Hz. Seega 7 MHz lihvitud X-lõikega kristalli sagedus väheneks temperatuuri tõustes 1° C võrra keskmiselt 7 . 20 = = 140 Hz ja temperatuuri tõustes 40°C võrra 140 · 40 = 5600 Hz. Kui kristalli oleks kasutatud saatjas sageduse kolmekordistamisel, siis sageduse triivimine sellel sagedusel, s. o. 7 MHz · 3 = 21 MHz, oleks ulatunud 5,6 kHz · 3 = = 16,8 kHz, mida tuleb pidada lubamatult suureks.

Y-lõikega kristallide sageduse muutus on veelgi suurem ja kõigub —20 Hz (MHz) °C kuni +100 Hz (MHz) °C vahel.

Suurte sageduse muutuste tõttu sõltuvalt temperatuurist asendatakse X- ja Y-lõigud moodsamate lõikudega, mis toodetakse XY-telgede suhtes erinurkade all. Sääraste lõikudega saavutatakse suurt sageduse konstantsust. Eriti kõrgeväärtuslik on *GT*-lõik, mille sagedus muutub vähem kui 1 Hz temperatuuri tõustes 100°C võrra. Selliseid *GT*-lõike kristalle kasutatakse peamiselt

sagedusstandardidena. Erilõikeliste kvartskristallide omaduste kokkuvõte tuuakse allpool tabelis VI.

Sageduse stabiilsuse kindlustamiseks asetatakse kristallid termostaatidesse, milles temperatuur säilitatakse automaatselt püsivana. Kuna kristalli temperatuur tõuseb temale rakendatud võimsusega, siis koormatakse neid võimalikult väikeste võimsustega.

TABEL VI.

Kvartskristallide erilõikude omadusi.

Lõiketüüp	Sageduse muutumine Hz / MHz / °C	Kasutatavad sageduste piirid ja muud omadused
X	—15... —25	2000... 10000 kHz
Y	—20... +100	10 0... 6000 kHz
AT	0... +20	300... 5000 kHz
BT	0... —20	4500... 10000 kHz
CT	0... —40	Alla 500 kHz, pikivõnkumine
DT	0... —30	Alla 500 kHz, pikivõnkumine
ET	0... —40	Harmooniliselt võnkuv *CT*
FT	0... —40	Harmooniliselt võnkuv *DT*
GT	< 1	
MT	—20... +5	50... 100 kHz, pikivõnkumine
NT	—15... 0	4... 50 kHz, pikivõnkumine

Teistest piesoelektrilistest kristallidest evib turmaliin kvartsiga võrdseid elektrilisi omadusi, eriti kõrgemail sagedusil, mis ulatuvad kuni 30 MHz, kuid turmaliin kui poolvääriskivi leiab oma kalliduse tõttu vähest kasutamist. Seignette-soola kristalle sageduse stabiliseerimiseks üldiselt ei kasutata.

55. Kunstlikud liinid.

Kunstlikuks liiniks laiemas mõttes nimetatakse säärast väikesemõõtelist kompaktset seadet, mis oma elektrilistelt suurustelt vastab tegelikule liinile ja mida vajaduse korral kasutatakse tegeliku liini asendamiseks. Järelikult peab kunstlik liin evima kõiki tegeliku liiniga võrdseid elektrilisi suurusi ning asendatuna tegeliku liini asemele ei tohi ta nii voolualllikas (sisendpoolel) kui ka tarbijas (väljundpoolel) esile kutsuda uusi moonutusnähtusi.

Raadioseadmeis leiavad praktilist rakendamist peamiselt kahte liiki kunstlikud liinid: esiteks juhul, kui on tarvis tekitada lülituselementide vahel võimsuse või pinge ja voolu nõrgendamist kindlates vahekordades või annustes, ja teiseks juhul, kui on tarvis lülituselementide vahel kadudevabalt üle kanda võimsust ainult soovitavas sagedusribas, samal ajal maha surudes suuremal või väiksemal määral kõik teised väljaspool soovitavat sagedusriba asuvad sagedused. Esimest liiki kunstlikke liine nimetatakse sumblülideks ehk ate-

nuaatoriteks, teist liiki kunstlikke liine sagedusfiltriteks. Nii ühed kui ka teised koosnevad üksikutest π- või T-kujulistest rakkudest ja leiavad kasutamist nii kõrg- kui madalsageduslikes seadmeis.

a) Sumblülid ehk atenuaatorid. Atenuaatori ülesandeks on vähendada vooluallikalt saadavat võimsust soovitavas kindlalt muudetavas vahekorras üleandmiseks voolutarbijale. Seejuures võimsuse vähendamisel ei tohi atenuaator ei vooluallikas ega tarbijas esile kutsuda mingisuguseid moonutusi ega mõjutusi, mis võivad tekkida siis, kui atenuaator pole sobitatud koormustega või kui ta evib reaktiivset (L, C) iseloomu. Atenuaatorit tuleb vaadelda kui liinilõiku, milles on rakendatavad liinidega ühised töötamise üldpõhimõtted.

Atenuaator kujutab endast eri liiki potentsiomeetrite süsteemi, milles takistuse säilivus vooluallika ja tarbija suhtes teostatakse sellega, et ülekantava võimsuse nõrgendamisel, mil potentsiomeetri kontaktliist liigub kõrgemalt pingeastmelt madalamale, lülitatakse väljundringiga järjestikku lisatakistid, nn. järjestikused õlatakistid. Ülekantava võimsuse tugevdamisel lülitatakse järjestikused õlatakistid vastavalt välja. Järjestikuste õlatakistite takistus dimensioneeritakse selliselt, et igal lülitusastmel, nii vooluallikalt tarbija poole vaadatuna kui ka tarbija poolt vooluallika poole vaadatuna, takistuse üldväärtus jääks konstantseks.

Kui atenuaatorile esitatavad nõuded pole väga rangelt ette kirjutatud ning teatavad kõrvalekaldumised takistuse säilivuses on lubatavad, rakendatakse atenuaatorina töösse eri liiki süsipotentsiomeetrite komplekte, milles nii järjestikuste kui ka rööbitiste õlgade takistuse muutumine toimub eelnimetatud reegli kohaselt. Neil juhtudel, mil takistuse säilivuse nõue on rangelt määratud, või kui on tegemist suuremate võimsuste ülekandmisega, valmistatakse atenuaatorite õlad traattakistitena, kusjuures õlgade ümberlülitamine teostatakse eri liiki astmelülitite abil.

Konstruktiivselt erinevad tavalistest atenuaatoritest kõrgsagedusvõimsuste ülekandmisel kasutatavad atenuaatorid, nagu näiteks mõõteriistade juures, kus takistusõlad valmistatakse erilisel induktiivsusvabal kerimisviisil peenikesest takistustraadist.

Et atenuaator toimiks moonutusvabalt, peavad tema järjestikused ja rööbitised õlad (π, T) koosnema reaktiivsusvabadest takistustest ning võimsuse nõrgendamisel peab ta avaldama sisendpoolele väljundpoolega võrdset ning samuti väljundpoolele sisendpoolega võrdset impedantsi. Kui atenuaator sisendi- või väljundi-poolel avaldaks vooluallikale või tarbijale muutuvat impedantsi, oleksid moonutused vältimatud. Säärased moonutusvõimalused tekiksid näiteks juhul, kui atenuaator on lülitatud helisageduse võimendaja lõppastmesse, valjuhääldajasse üleantava võimsuse reguleerimiseks. Teatavasti lõpplamp töötab minimaalsete moonutustega siis, kui ta koormuse impedants on optimaalne (D4); väljundimpedantsi suurendamisel või vähendamisel sellest optimaalkoormusest suureneb väljundisse ülekantavate harmooniliste suhteline sisaldus, mis avaldub otseselt moonutuses — helirikkes. Kui valjuhääldaja oli õigesti sobitatud lõpplambi optimaalse koormusimpedantsiga, siis atenuaatori vahelelülitamisel säilib sobitamine senikaua, kui atenuaator ei kutsu esile lõpplambi väljundis impedantsi muutust. Analoogiline on olukord alati, kui on tegemist võimsuste ülekandmisega vooluallikast tarbijani, hoolimata sellest, kas üle-

kandmine toimub vahetult või liini kaudu[1] ja kas on tegemist väikeste, mikrovatiste (näit. mikrofon) või suurte, kilovatiste võimsustega (näit. saatja modulaator). Teiselt poolt, reaktiivsusega atenuaator toimiks muutuva impedantsi tõttu diskrimineerivalt ülekantavaile sagedustele ja kutsuks seega omakorda esile moonutusi ülekantava sageduse spektris. Seepärast on tarvilik, et atenuaator eriti kõrgematel sagedustel oleks võimalikult reaktiivsusvaba.

Kui vooluallikas töötab lõpmata suurde koormustakistusse (näit. A-klassi pingevõimendaja võrering), millele rakendatakse ainult vahelduvpinge ning võimsust ei kulutata, siis pinge nõrgendamine lihtsustub ja rahuldavaid tulemusi saavutatakse lihtsa kõrgetakistusliku potentsiomeetriga. Kõigil muudel juhtudel on atenuaatori lülitamine vältimatu.

Sõltuvalt vooluallika ja tarbija ehitusviisist jagunevad atenuaatorid kahte põhiliiki: tasakaalustatud ja tasakaalustamata. Juhul, kui vooluallikas ei oma maapotentsiaali, vaid mõlemad väljundklemmid asuvad maanduse suhtes vahelduvpinge all, kasutatakse tasakaalustatud atenuaatoreid (joon. 51 — 5, 6, 7, 8); kui vooluallika üks väljundklemm on maandatud, kasutatakse tasakaalustamata atenuaatoreid (joon. 50 — 1, 2, 3, 4). Viimane liik atenuaatoreid on konstruktiivselt lihtsam, omades väiksemat arvu järjestikuseid õlatakisteid.

Atenuaatoreid saab koostada kas T- või π-rakkudest. Nii üks kui ka teine käituvad elektriliselt sarnaselt, vahe seisab ainult selles, et võrdsete võimsuse nõrgendamiste ja võrdsete impedantside puhul kasutatavad takistid võivad osutuda ühel või teisel puhul praktiliselt sobivamateks. Peale selle tuleb teha vahet, kas sisend- ja väljundimpedantsid on võrdsed või erinevate väärtustega.

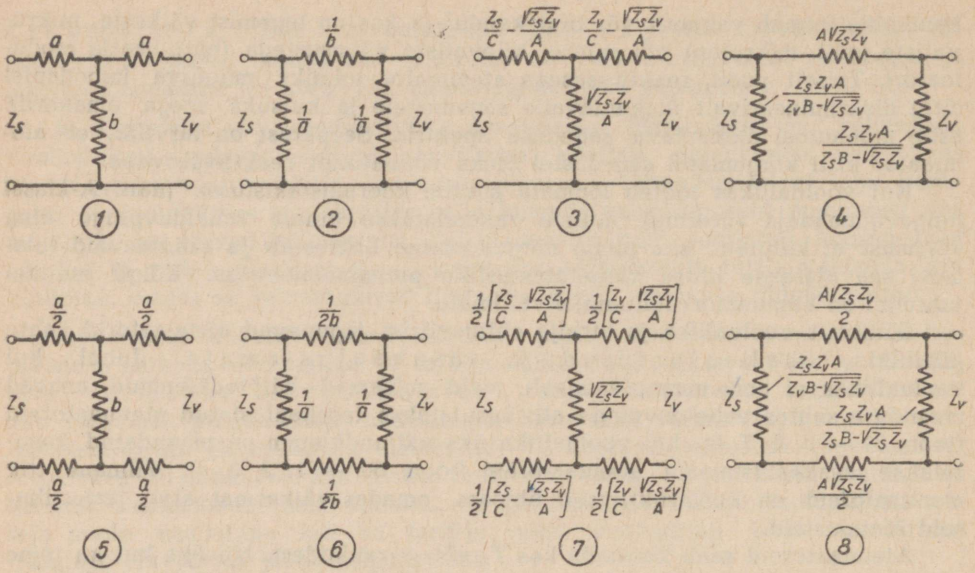
Atenuaatori arvutamiseks on tarvis teada järgmised suurused: sisend- ja väljundimpedants ja võimsuse vähendamine ehk nõrgendamine detsibellides (B 57). Atenuaatori tüübile koostamiseks vajalikud suurused tuletatakse vastavalt joonistele 51 ja 52.

Näited: 1) Arvutada raadio translatsioonvõrgule T-tüüpi tasakaalustamata võrdsete sisend- ja väljundimpedantsidega $Z_s = Z_v = 600\ \Omega$ atenuaator moonutusvaba helitugevuse reguleerimiseks, milles teostatakse nõrgendamine 2 dB kaupa 0 kuni 10 dB (joon. 53).

Takistusraku järjestikuste õlgade a' ja rööbitise õla b' konstandid a ja b leitakse graafikust (joon. 52) igale nõrgenemisastmele, s. o. 2, 4, 6, 8 ja 10 dB vastavalt (0 dB puhul loomulikult $a' = 0$ ja $b' = \infty$). Leitud a ja b järgi tuletuvad õlgade tegelikud väärtused $a' = aZ_s = aZ_v$ ja $b' = bZ_s = bZ_v$, mis kujunevad järgmisteks:

Nõrgendamine dB	a	b	a' Ω	b' Ω	Kontaktidevahelised üksiktakistid Ω	
					Õlas a	Õlas b
0	0	∞	0	∞	—	∞
2	0,115	4,31	69	2580	69	1320
4	0,226	2,10	136	1260	67	457
6	0,332	1,34	199	803	63	235
8	0,431	0,946	258	568	59	146
10	0,520	0,703	312	422	54	422
				Kokku	312	2580

[1] Liini vahetalitusel kujuneb ülekandeprotsess veelgi keerukamaks, sest liin toob juurde lisaks omatakistusele veel reaktiivsusi (L, C).



Joon. 51. Sumbrakkude tüüpe ja nende arvutuslikke andmeid: 1, 2, 5, 6 — võrdsete sisend- ja väljundimpedantside (Z_s , Z_v) vahele lülitamiseks, 3, 4, 7, 8 — ebavõrdsete sisend- ja väljundimpedantside vahele lülitamiseks. Ülemisel real 1, 2, 3, 4 — tasakaalustamata sumbrakud, alumisel real 5, 6, 7, 8 — tasakaalustatud sumbrakud. Tüüpide järgi: *T*-tüüpi rakud — 1, 5 (nimetatakse ka *H*-rakuks), 3, 7 (ka *H*), π-tüüpi rakud — 2, 6, 4, 8.

Seega on arvutatava atenuaatori *a*-õlgade väärtused alates 0 dB — 0 Ω (takistus on lühises) kuni 10 dB — 312 Ω ja *b*-õla väärtused alates 10 dB — 422 Ω kuni 0 dB — ∞ (*b*-õla on katkestatud). Lüliti kontaktidevahelised takistite väärtused on toodud viimases kahes tulbas. Atenuaator vajab kolmekordset 6-kontaktilist astmelülitit.

Arvutatud atenuaator ei kutsu moonutusi esile ei sisendis ega väljundis, kuna igal nõrgendusastmel Z_s ja Z_v jäävad konstantseks, s. o. võrduvad 600 Ω. Kontrollides näiteks 6 dB astet, selgub, et sisendilt vaadatuna

$$Z_s = \frac{(a' v + Z_s)\, b'}{a' + Z_s} + a = \frac{(199 + 600)\, 803}{199 + 600 + 803} + 199 = 600\ \Omega .$$

2) Arvutada π-tüüpi tasakaalustamata ebavõrdsete sisend- ja väljundimpedantsidega $Z_s = 500\ \Omega$, $Z_v = 200\ \Omega$ atenuaator, nõrgendamisega 20 dB.

Graafikust (joon. 52) $A = 4{,}95$ ja $B = 5{,}05$, millest raku rööbitine sisendõla (joon. 50 — 4) võrdub

$$\frac{Z_s\, Z_v\, A}{Z_v\, B - \sqrt{Z_s\, Z_v}} = 713\ \Omega \quad \text{ja}$$

rööbitine väljundõla

$$\frac{Z_s\, Z_v\, A}{Z_s\, B - \sqrt{Z_s\, Z_v}} = 430\ \Omega \quad \text{ning}$$

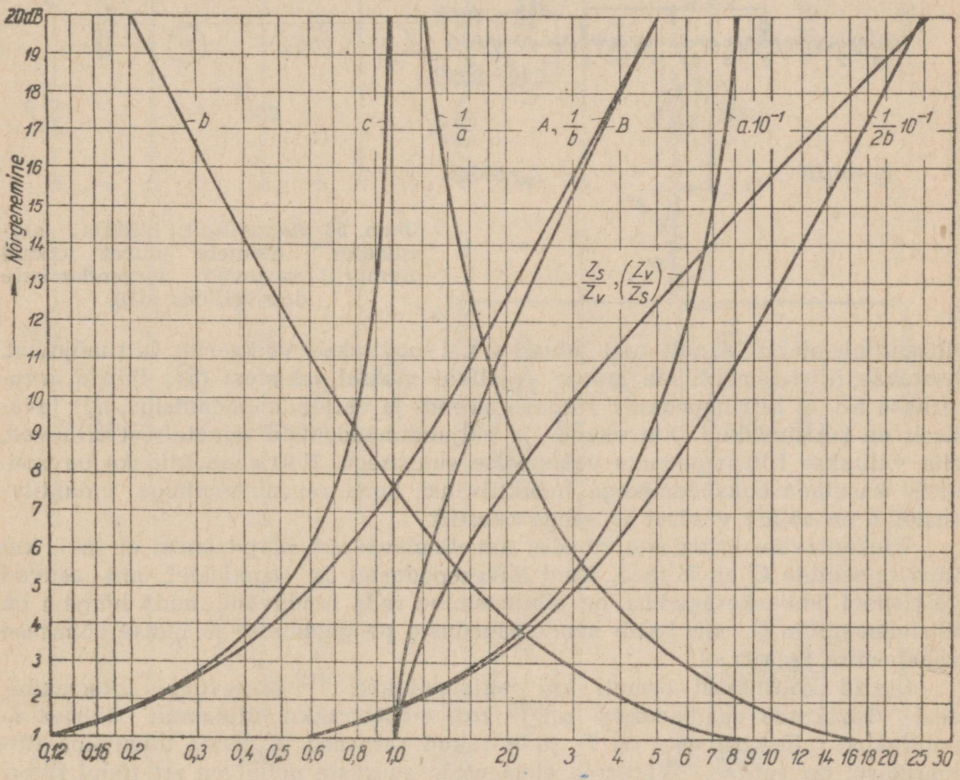
järjestikune õla

$$A \sqrt{Z_s\, Z_v} = 1567\ \Omega .$$

Ebavõrdsete sisend- ja väljundimpedantside suhe piirab ära minimaalse nõrgendamise dB, ehk teiste sõnadega — kindla suurusega nõrgendamise puhul on impedantside maksimaalne suhe piiratud. Näiteks graafiku (joon. 52) järgi võib 10 dB nõrgendamisel impedantside maksimaalne suhe ulatuda kuni 3,02.

b) Sagedusfiltrid. Sagedusfiltrid (ehk lihtsalt filtrid) kujutavad endast kunstlikke liinilõike, mis on määratud voolu tõkestamata ülekandmiseks soovitavas sagedusribas, samal ajal suuremal või vähemal määral maha surudes kõik muud sagedused. Ülekantavate ja tõkestatavate sagedusribade vahelist piirsagedust nimetatakse lõikesageduseks. Toimimise iseloomu järgi eraldatakse: madalläbivusfiltreid (joon. 54 — 1, 2, 3, 4), kõrgläbivusfiltreid (joon. 54 — 5, 6, 7, 8), ribaläbivusfiltreid (joon. 54 — 9, 10, 11, 12) ja ribatõkestusfiltreid (joon. 54 — 13, 14, 15, 16).

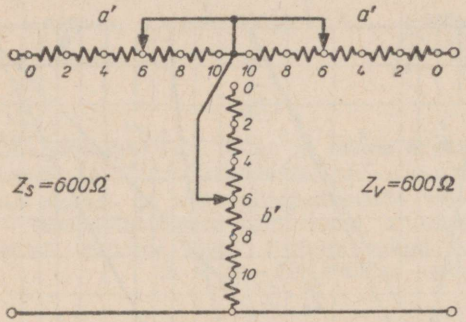
Praktiliselt leiavad filtrid õige laialdast kasutamist raadioseadmetes. Madalläbivusfiltreid kujutavad näiteks võrgualaldaja filter ja lahtisidestusfiltrid (B 48, H 4), milles lastakse läbi ainult alalisvool, kuna vahelduvooludele läbi-



Joon. 52. Sumbrakkude konstandid (A, B, C, a, b, $\frac{1}{a}$, $\frac{1}{b}$, $\frac{1}{2b}$) ja maksimaalsed $\frac{Z_s}{Z_v}\left(\frac{Z_v}{Z_s}\right)$ suhted.

pääs väljundisse tõkestatakse, või detektorfiltrid, milles tõkestatakse läbipääs ainult kõrgsagedusvooludele, kuna samal ajal helisageduslikud voolud lastakse läbi väljundisse. Kõrgläbivusfiltreid kasutatakse näiteks siis, kui vastuvõtja lõppastme väljundisse on lülitatud kaks erinevate sagedusomadustega valjuhääldajat. Sel puhul filtreeritakse kõrgemad helisagedused tavaliselt üle 2000 Hz ja juhitakse kõrgehelilise ülekandega valjuhääldajasse, kuna madalamad, alla 2000 Hz sagedused juhitakse madalsageduslikku valjuhääldajasse. Tarbe korral täiendatakse filtrit sel puhul veel madalläbivusfiltriga. Ribaläbivusfiltrid (üldisemalt tuntud ribafiltrite nimetuse all) on kasutusel kõigis supervastuvõtjate vahesagedusvõimendajais. Ribatõkestusfiltreid kasutatakse mõnikord raadiovastuvõtja heli korrigeerimiseks, et üles paisutada madalamaid ja kõrgemaid helisagedusi, samal ajal osaliselt tõkestades keskmisi sagedusi 1000 ja 2500 Hz vahel.

Tavaliselt koosnevad filtrid puhtakujulistest ja kaovaestest (kõrge Q) induktiivsustest ja mahtuvustest (L, C), et saavutada võimalikult täiuslikku



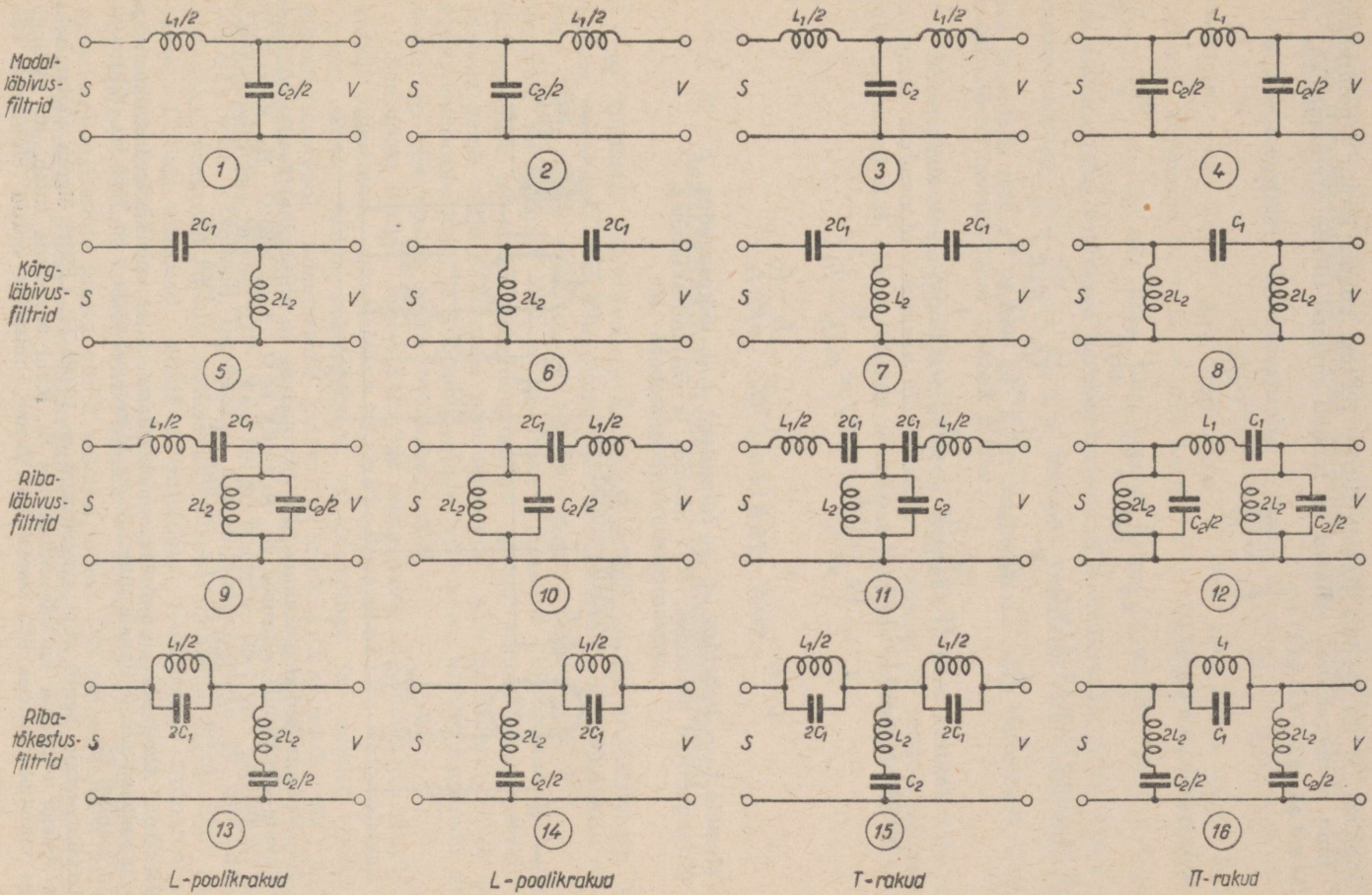
Joon. 53. Astmeliselt lülitatav atenuaator. Astmete juures toodud numbrid vastavad nõrgendamisele detsibellides (dB).

filtreerimis-efekti. Ainult neil juhtudel, kui soovitakse väiksemat filtrimõjutust, lisatakse filtrielementidele juurde vajalikul määral takistust (R). Filtrid arvutatakse nii, et filtriimpedants võrduks sisend- ja väljundimpedantsiga, mis tavaliselt on takistuslikud. Kui sisend- ja väljundimpedantsid teineteisest erinevad, siis valitakse filtriimpedants vahepealse suurusega. Filtrielementideks on soovitav kasutada õhksüdamikega induktiivsusi, kuna raudsüdamikega induktiivsustel L on sõltuv voolust ja seega muutlik.

Ülekantavate sageduste ribades nimetamisväärset nõrgenemist ei teki, kui filtrielementide Q on kõrged. Kuid lõikesagedustel ja sagedustel, mis asuvad väljaspool läbilaskesagedusi, on nõrgenemine seda tunduvam, mida kõrgem on filtrielementide Q, mis tekib nende sageduste peegeldumise ja üldise võimsuse vähenemise tagajärjel.

Filtrid koosnevad samuti kui takistuslülidki T- ja π-tüüpi filterrakkudest. Omakorda vaadeldakse nii T- kui π-filterrakku tuletatuna lihtsast L-poolrakust. Elektriliselt on T- ja π-rakud sarnased ja nende toimimine filtreerimisel on võrdne. Võrdsete elementide suuruste puhul on eri tüüpi filterrakkudel erinevad impedantsid, seepärast tuleb tüübi valikul otsustada, kumb neist on antud juhul otstarbekam kasutamiseks.

Filtrite koostamisel tuleb arvestada seda, et filter töötab õigesti siis, kui sisend- ja väljundimpedantsid on võrdsed, ja et kahte poolrakku (L) võib liita ainult siis, kui nad moodustavad kokku tervikliku T- või π-raku.



Joon. 54. Filtrite põhitüüpe.

Joonisel 54 on toodud lihtsate filtrite lülitusi kolmel kujul: *L*-poolrakuna ja *T*- ning π-täisrakuna. Allpool on toodud andmed filtrite arvutamiseks.

Madalläbivusfilter:

$$L_1 = \frac{R}{\pi f}; \quad C_2 = \frac{1}{\pi f R}.$$

Kõrgläbivusfilter:

$$L_2 = \frac{R}{4\pi f}; \quad C_1 = \frac{1}{4\pi f R}.$$

Ribaläbivusfilter:

$$L_1 = \frac{R}{\pi (f_2 - f_1)}; \quad L_2 = \frac{(f_2 - f_1) R}{4\pi f_1 f_2};$$

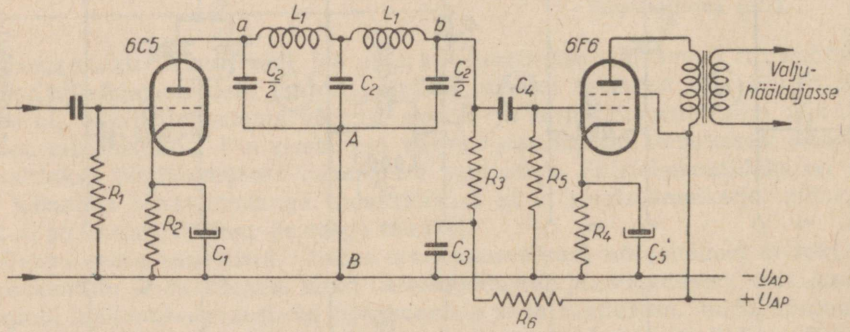
$$C_1 = \frac{f_2 - f_1}{4\pi f_1 f_2 R}; \quad C_2 = \frac{1}{\pi (f_2 - f_1) R}.$$

Ribatõkestusfilter:

$$L_1 = \frac{(f_2 - f_1) R}{\pi f_1 f_2}; \quad L_2 = \frac{R}{4\pi (f_2 - f_1)};$$

$$C_1 = \frac{1}{4\pi (f_2 - f_1) R}; \quad C_2 = \frac{f_2 - f_1}{\pi R f_1 f_2}.$$

Valemeis L — henrides, C — faradites, f — lõikesagedus, f_1 ja f_2 — riba piirsagedused hertsides, R — sisend- ja väljundtakistused.



Joon. 55. Grammofoni nõelakahina filtri arvutamine ja lülitamine. Toodud lülituses kasutatavate üksikosade suurused: R_1, R_3, $= 0{,}5$ M Ω, $R_2 = 1000\ \Omega$, R_3, $R_6 = 15\,000\ \Omega$, $R_4 = 400\ \Omega$; C_1, $C_5 = 25\ \mu$F, $C_3 = 2\ \mu$F, $C_4 = 0{,}05\ \mu$F; filtri andmed:

$$L_1 = 0{,}68 \text{ H}, \quad C_2 = 3040 \text{ pF}, \quad \frac{C_2}{2} = 1520 \text{ pF}.$$

Näide: Arvutada grammofoni nõelakahina filter madalsagedusvõimendaja lõpp- ja eelneva astme vahele lülitamiseks lõikesagedusega $f = 7000$ Hz, lülitus on toodud joonisel 55.

Eelvõimendaja lambi 6C5 sisetakistus on 10 000 Ω. Filtri õigeks töötamiseks peaks sellega võrduma ka väljundtakistus R_3. Kuid arvestada tuleb, et töötingimustes takistussidestuses 6C5 sisetakitus tõuseb, mistõttu antud olukorras väl-

jundtakistuseks sobib $R_3 = 15\,000\ \Omega$, millele baseerub edaspidine arvutuskäik. Suurema filtreerimismõju saamiseks koostame filtri kahest π-rakust joonise 54 (4) kohaselt.

Madalläbivusfiltri arvutusvalemite järgi $L_1 = \frac{R}{\pi f} = \frac{15000}{3{,}14 \cdot 7000} = 0{,}68$ henrit ja $C_2 = \frac{1}{\pi f R} = \frac{1}{3{,}14 \,.\, 7000 \,.\, 15000} = 3040$ pF. Seega filtri lõplikud andmed kujunevad $L_1 = L_1 = 0{,}68$ henrit, filtri otsmised harukondensaatorid $\frac{C_2}{2} = \frac{3040}{8} = 1520$ pF; kuna filter koosneb kahest järjestikku lülitatud π-rakust, siis mõlema raku keskmised harukondensaatorid summeeruvad, andes üldise mahtuvuse väärtuse $\frac{C_2}{2} + \frac{C_2}{2} = C_2$, s. o. 3040 pF. Tegelikult võib mahtuvuse suurused ümardada 1500 pF ja 3000 pF. Filtri paispoolid L_1 tuleb valmistada õhksüdamikpoolidena (arvutuslikud andmed B 21 e).

Filtreerimis-efekti reguleerimist saab teostada filtrites kasutatavate induktiivsuste alalisvoolu takistuse muutmisega. Joonisel 55 toodud lülituses tuleks sel puhul A-B vahele lülitada muudetav takistus umbes 10 000 Ω.

XI peatükk.

MADALSAGEDUSLIKUD ÜLEKANDESEADMED.

56. Madalsagedustransformaator.

a) Üldiselt. Induktiivsuste käsitlusel selgus, et kui induktiivsuse klemmidele rakendada vahelduvpinge, siis indutseerub poolis induktiivsust läbiva voolu toimel elektromotoorne jõud, mis on vastupidine, s. t. on rakendatavast toitepingest 180° võrra faasis nihutatud. Elektromotoorse jõu indutseerumist põhjustas vahelduvvooluga seotud vahelduv magnetväli. Kui asetada sama välja keskkonda veel teine pool, siis indutseerub selles samuti elektromotoorne jõud, ja kui moodustada teise pooli klemmide kaudu suletud vooluring, siis voolab selles vooluringis vool.

Seesugust seadet, milles kaks või enam pooli on omavahel magnetvälja kaudu sidestatud, nimetatakse *transformaatoriks* ehk lihtsalt *trafoks*. Pooli, millele rakendatakse vahelduvpinge ja millest voolab läbi alg-vahelduvvool, nimetatakse *primaarmähiseks*, pooli või poolisid, mis magnetvälja kaudu on seotud primaarmähisega ja milles indutseerub vahelduvpinge, nimetatakse *sekundaarmähiseks* või *sekundaarmähisteks*. Trafosid liigitatakse kõrgsagedustrafodeks ja madalsagedustrafodeks, vastavalt sellele, millise sagedusega pingete juures neid kasutatakse. Ühtlasi erinevad mainitud trafoliigid teineteisest konstruktiivselt: kõrgsagedustrafode juures kasutatakse magnetringis peamiselt õhksüdamikke või teatud juhtudel tolmustatud rauast — ferrokardist — südamikke (B21f), madalsagedustrafode juures ainult suletud rauast või rauasulamitest valmistatud südamikke. Käesolevas käsitellakse madalsagedustrafo töötamispõhimõtteid ja ehitust.

Ideaalse trafo juures, milles magnetväli ei oma hajuvust ja milles pole soojuslikke kadusid, on mähistes indutseeruvad pinged võrdelised mähiste keerdude arvuga

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2} = \ddot{u},$$

milles U_1, U_2 on primaar- ja sekundaarmähise pinged voltides ja w_1, w_2 — vastavad mähiste keerdude arvud ning $\ddot{u}$ — **trafo ülekandesuhe**.

Kui trafot ei koormata, siis läbib primaarmähist suhteliselt väike, pingest 90° võrra faasis nihutatud vool, mis läheb vahelduva magnetvälja tekitamiseks ja mida seepärast nimetatakse **magneetimisvooluks**. Kui sekundaarmähisele lülitada koormus, siis läbib indutseeritud pinge toimel ka sekundaarmähist vool, mis tekitab samas magnetringis algvooga vastassuunalise teise magnetvoo ja mis seega vähendab algvoo suurust. Üldise magnetvoo vähenemine omakorda kutsub esile primaarvoolu suurenemise, mille tagajärjel alg-magnetvoog uuesti suureneb, säilitades seega üldise magnetvoo taseme. Siit on arusaadav energia bilanss võimsuste ülekandmisel primaarmähisest sekundaarmähisesse.

$$P_1 = P_2 \text{ või } U_1 I_1 = U_2 I_2 \text{ ehk } \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}.$$

Kuid et

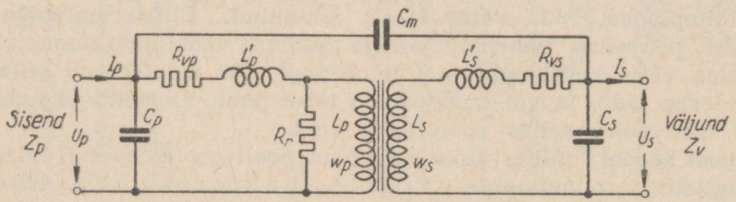
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2}, \quad \text{siis asendades} \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{w_1}{w_2},$$

s. o. voolud trafo mähistes on pöördvõrdelised keerdude arvuga.

Optimaalseks töötamiseks võimaldavad trafod vooluallika ja koormuse impedantse omavahel sobitada, kusjuures

$$\frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}},$$

s. o. primaar- ja sekundaarmähiste suhe võrdub ruutjuurega vooluallika ja koormuse impedantsidest[1].



Joon. 56. Trafo asendusskeem, milles L_p ja L_s — primaar- ja sekundaarmähiste induktiivsused, L'_p ja L'_s — vastavad puisteinduktiivsused, R_r — ekvivalentne rauaskao takistus, R_{vp} ja R_{vs} — mähiste takistused, C_p, C_s, C_m — mähiste ja mähistevaheline mahtuvus. Jõutrafode juures ei ole mahtuvustel olulist tähtsust ja nad jäetakse arvestamata.

[1] Teatavasti primaar- ja sekundaar-vooluringi impedantsid võrduvad $Z_1 = \frac{U_1}{I_1}$ ja $Z_2 = \frac{U_2}{I_2}$; jagades neid omavahel $\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{U_1 I_2}{U_2 I_1}$, milles asendades pingete ja voolude suhted keerdude suhetega saame:

$$\frac{w_1^2}{w_2^2} = \frac{Z_1}{Z_2} \quad \text{ehk} \quad \frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}.$$

Tegelikus trafos on sekundaarmähisest saadav võimsus primaarmähisesse juhitud võimsusest väiksem trafos tekkivate võimsuskadude võrra, mis koosnevad kadudest magnetikehas magnetilise hüstereesi ja pöörisvoolude tagajärjel ning mida nimetatakse rauaskadudeks, ja kadudest voolu läbimise tagajärjel primaar- ja sekundaarmähistes, mida nimetatakse vaseskadudeks. Trafo võimsuse ülekannet hinnatakse trafo kasuteguriga, mida väljendatakse

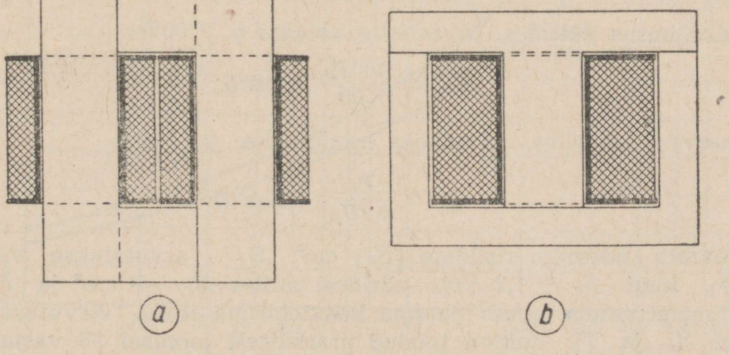
$$\eta = \frac{P_s}{P_p} = \frac{P_s}{P_s + P_{Fe} + P_{Cu}},$$

milles P_s ja P_p on vastavalt sekundaar- ja primaarvõimsus, P_{Fe} — rauaskaod ja P_{Cu} — vaseskaod ja mida arvutatakse vattides. Optimaalse kasuteguri annab trafo siis, kui P_{Fe} ja P_{Cu} on võrdsed.

Tegelikus trafos kogu magnetvoog ei haara terviklikult mõlemaid mähiseid, vaid on seotud täielikult ainult ühe või teise mähisega, kuid mitte mõlemaga korraga. Osa magnetvoost hajub ümbruskonda puistevoona, põhjustades kummaski mähises puisteinduktiivsuse tekkimist, mis avaldub selliselt, nagu oleks mõlemasse mähisesse lülitatud järjestikku ekvivalentne lisainduktiivsus (joon. 56). Puisteinduktiivsuse tõttu väheneb rakenduspinge primaarmähises ja ühtlasi sekundaarpinge. Puisteinduktiivsuse tagajärjel sekundaarmähises väheneb sekundaarmähise pinge omakorda veelgi. Kuigi puisteinduktiivsused tehnilistel sagedustel ($f = 50$ Hz) on suhteliselt väga väikesed, tekib ometi nende tagajärjel koormuse all olevas sekundaarmähises mõneprotsendiline pingelang. Kuna puisteinduktiivsuste reaktantsid tõusevad võrdeliselt sagedusega ($X_L = 2\pi fL$), siis kõrgematel helisagedustel tuleb puisteinduktiivsust tõsiselt arvestada. Puistevoo vähendamiseks on tarvis, et trafo magnetringi pikkus oleks võimalikult lühike. Trafo raudkeha koostatakse legeeritud raudpleki lõikudest, millele antakse kas südamiktüüpi või manteltüüpi kuju (joon. 57).

Oma ülesande ja ehitusviisi järgi liigitatakse madalsagedustrafosid kahte põhirühma:

1) jõutrafod, mida kasutatakse raadioseadmete toitmiseks vahelduvvooluvõrgust,



Joon. 57. Trafode tüüpe: *a* — südamiktrafo, *b* — manteltrafo.

2) sidestustrafod, s. o. helisageduslikud pingevõimendus- ja võimsustrafod, mida kasutatakse raadioseadmeis võimendusastmete-vaheliseks sidestamiseks ning helisageduslike võimsuste ülekandmiseks.

b) Jõutrafod. Väikesed jõutrafod võimsusega kuni 500 vatti, mida kasutatakse raadiovastuvõtjates, võimendajates ja amatöörsaatjates, töötavad võrdlemisi püsiva koormusega, kusjuures koormus ise on peamiselt takistuslik, välja arvatud anoodtoide, milles silumisfiltri tagajärjel koormus kujuneb osaliselt induktiivseks. Siiski ei lange neis trafodes võimsustegur $\cos\varphi$ (B34) alla 0,9 kuni 0,8, see tähendab, et seesuguste trafode arvutusel tuleb anoodpinge ja samuti primaarmähise juhtme läbimõõtu suurendada suurenevate voolude tagajärjel. Kasuteguri suurus sõltub trafo õigest dimensioneerimisest ja raudkeha materjali valikust ning kõigub keskmiselt 85—95% vahel. Muude võrdsete tingimuste juures kasutegur tõuseb, kui mähis haarab maksimaalselt südamiku ristlõiget minimaalse juhtme pikkusega, kusjuures magnetring olgu võimalikult lühike. Neis tingimustes annab parima kasuteguri südamiktüüpi trafo, kui temas nii primaar- kui ka sekundaarmähised on ühtlaselt jaotatud trafo õlgadele. 10 000-gausilise magnetvälja tiheduse juures annab südamiktüüpi trafo manteltüüpi trafoga võrreldes võrdse kasuteguri, kui ta südamiku ristlõiget vähendada 20...25% võrra (vastavalt suurendades mähise keerdude arvu). Lisaks sellele kujuneb südamiktüüpi trafode juures soodsamaks soojuse ärajuhtimine — suurenenud mähise välispinna tagajärjel. Kuid võrreldes manteltüüpi trafodega evivad südamiktüüpi trafod suuremaid puistevälju, mis paneb piiri nende kasutamisel helisagedustel. Trafode südamike materjali valikul või valmistamisel on eriti oluline, et plekilõigud sobiksid hästi kokku, et nende liitmisel pakki ei tekiks isegi minimaalseid nähtavaid õhupilusid, mis põhjustavad puistevooge ja vähendavad trafo headust.

Järgnevalt antakse väikese võimsusega jõutrafode lihtsustatud arvutuskäik ja tuuakse üks tüüpiline arvutusnäide.

c) Väikese võimsusega jõutrafo arvutus. Trafo arvutuskäik on järgmine:

1) Määrata kindlaks trafo sekundaar- (P_s) ja primaarvõimsus (P_p) vattides, milleks leida:

sekundaarvõimsuste summa vattides:

$$P_s = U_1 I_1 + U_2 I_2 + \dots \text{ (vatti)},$$

primaarvõimsus vattides, arvestades esialgu $\eta = 90\%$;

$$P_p = \frac{100 P_s}{90} \text{ (vatti)},$$

primaarvool amprites, arvestades esialgu $\cos\varphi = 0{,}9$;

$$I_p = \frac{P_p}{0{,}9 U_p} \text{ (amprit)}.$$

2) Määrata südamiku ristlõige (S_r) cm². S_r arvutatakse valemi järgi $S_r = \sqrt{P_p}$ kuni $S_r = 1{,}2\sqrt{P_p}$ piirides, milles S_r — cm² ja P_p — vattides. Viimane valem annab parema kasuteguriga trafo. Arvutuse lihtsustamiseks on S_r ja P_p suhted toodud graafiliselt joonisel 58 vastavalt mõlemale valemile.

Südamiktüüpi trafode juures võib ristlõiget S_r vähendada 20—25%. Südamiku tegelik ristlõige Q_r kujuneb arvutatud pinnast keskmiselt 10% suuremaks pleki isolatsiooni ja plekilõikude servade ebatasasuse tõttu, seega

$$Q_r = \frac{S_r}{0{,}9} \text{ (cm}^2\text{)}.$$

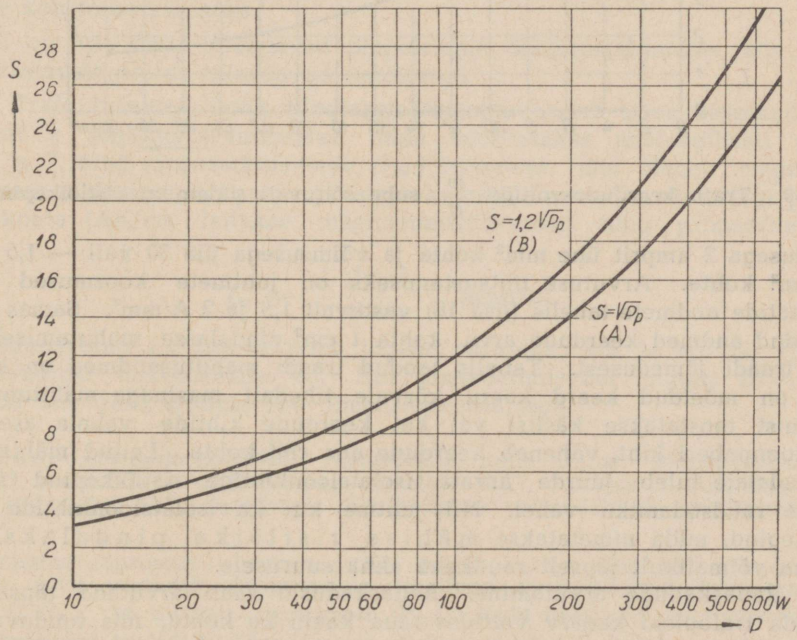
3) Määrata mähiste keerdude arvud. Mähiste keerdude arv tuletatakse indutseeritud pingete põhivalemist $E = 4{,}44\ BSfw.10^{-8}$ (volti) (B18), milles E — indutseeritud pinge voltides, B — väljatihedus gaussides, S — südamiku ristlõige cm², f — sagedus hertsides ja w — mähise keerdude arv. Otstarbekam on anda sellele valemile praktilisem kuju keerdude arvu suhtena ühe voldi kohta, mis antud trafo juures on konstantne suurus kõigile mähistele:

$$\frac{w}{E} = \frac{10^8}{4{,}44\,BSf} \quad \text{(keerdu voldi kohta)}$$

ja kui võtta tavaliselt kasutatavaks B keskmiseks väärtuseks 10 000 gaussi ning võrguvoolu sagedusena $f = 50$ hertsi, lihtsustub valem veelgi

$$\frac{w}{E} = \frac{45}{S_r} \quad \text{(keerdu voldi kohta)}.$$

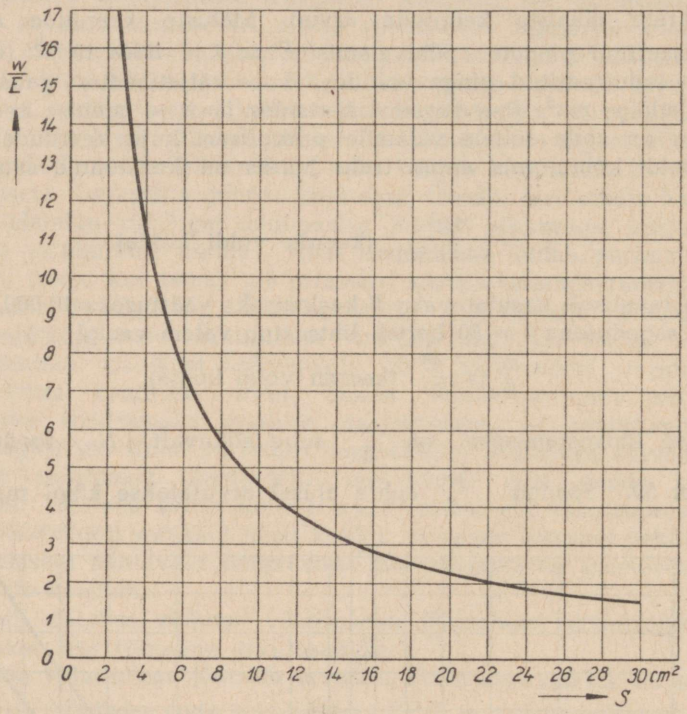
Arvutuse lihtsustamiseks on $\frac{w}{E}$ suhe sõltuvalt S_r toodud graafiliselt joonisel 59. Saadud $\frac{w}{E}$ suhte alusel arvutatakse kõigi mähiste keer-



Joon. 58. Trafo südamiku ristlõike sõltuvus primaarvõimsusest.

dude esialgsed arvud. Tegelikult tuleb saadud keerdude arvusid suurendada, kuna indutseeritavad pinged trafos on kadude võrra väiksemad, mis selgub pärast seda, kui kaod on kindlaks määratud.

4) Määrata mähiste juhtmete läbimõõt ja mähiste ristlõige. Mähiste juhtmete ristlõige (mm²) arvutatakse trafodele võimsusega kuni 50 vatti — voo-



Joon. 59. Trafo keerdude-voltide $\frac{w}{E}$ suhe sõltuvalt südamiku ristlõikepinnast S.

lutihedusega 2 amprit ühe mm² kohta ja võimsusega üle 50 vati — 1,5 amprit ühe mm² kohta. Arvutuse lihtsustamiseks on juhtmete koormused toodud vasktraatide andmete tabelis (lisa 18) vastavalt 1,5 ja 2 A/mm². Samas tabelis on toodud andmed keerdude arvu kohta 1 cm² pindalasse mahutamiseks sõltuvalt traadi jämedusest. Tabelis toodud traadi mahutusandmed on keskmised ja on mõeldud keerd keeru kõrvale tihedalt masinaga mähituna. Kui mähkimist teostatakse käsitsi või kui keerdude kihtide vahele asetatakse isolatsioonpaberi kiht, väheneb keerdude arv cm² kohta. Leitud mähiste ristlõikepindalale tuleb juurde arvata isolatsioonkihtide ristlõikepind mähiste endi ja raudsüdamiku vahel. Nii juhtme kui ka isolatsioonkihtide üldine ristlõikepind, mida nimetatakse m ä h i s e r i s t l õ i k e p i n d a l a k s, peab vastama võimalikult täpselt raudkeha akna suurusele.

5) Rauaskadude arvutamine. Rauaskadusid saab arvutada täpselt, kui on teada trafopleki kaoarv vattides raua kaalu kg kohta, mis tunduvalt tõuseb väljatiheduse B ja sageduse f tõustes. Võttes aluseks kogu käesolevas

arvutuskäigus $B = 10\,000$ gaussi, kujunevad tavaliste trafopleki sortide rauaskaod 1,45—4,0 W/kg, mis on toodud graafiliselt joonisel 13. Arvutades ruumala järgi raua tegeliku kaalu (legeeritud pleki erikaal $\gamma = 7{,}5 - 7{,}8$) ja korrutades kaoarvuga, saadakse üldine rauaskao suurus (P_{Fe}) vattides.

$$P_{Fe} = kG \text{ (vatti)},$$

milles k — kaoarv W/kg ja G — raua kaal kg.

6) Vaseskao arvutamine. Leida mähiste keskmine keeru pikkus meetrites ja korrutades keskmist keeru pikkust iga mähise keerdude arvuga, leida iga mähise pikkus meetrites.

Traatide tabeli (lisa 18) järgi määrata iga mähise takistus oomides, mille alusel leida iga mähise vaseskadu (P_{Cu}) juhtme takistuse korrutades täiskoormuse voolu ruuduga $P_{Cu} = I^2R$ (vatti) ning summeerida kõikide mähiste vaseskaod kokku, mis annab üldise vaseskao (P_{Cu}) vattides.

7) Trafo ligikaudse kasuteguri (η) määramine protsentides

$$\eta = \frac{100\ P_S}{P_S + P_{Cu} + P_{Fe}} \quad (\%).$$

Kui P_{Cu} ja P_{Fe} erinesid tunduvalt, siis tõenäoliselt η kujunes alla 85 — 90%. η tõstmiseks tuleb P_{Cu} või P_{Fe} vastavalt muuta, kas tõsta mähiste traadi läbimõõtu või suurendada südamiku ristlõiget.

8) Mähiste keerdude arvude korrigeerimine. Sekundaarmähiste takistust ja täie koormuse voolutugevust teades arvutatakse pingelangud iga mähise kohta ning vastavalt pingelangudele arvutatakse juurde lisakeerud pingelangude kompenseerimiseks [1].

Kui on ette näha täiendavad pingelangud ühendusjuhtmetes, siis arvutatakse vastavalt juurde täiendavad lisakeerud.

9) Trafo headuse lõplik kindlaksmääramine seisab uues vaseskadude ja vastavalt η lõplikus arvutamises, mida sooritatakse analoogiliselt punktidele 6 ja 7, ning magneetimisvoolu (I_m) leidmises, mis oleneb magnetringi keskmisest pikkusest (l_r) rauas ja amperkeerdude arvust magnetringi pikkuse 1 cm kohta (AK/cm leitakse magneetimiskõverast) ning primaarkeerdude arvust:

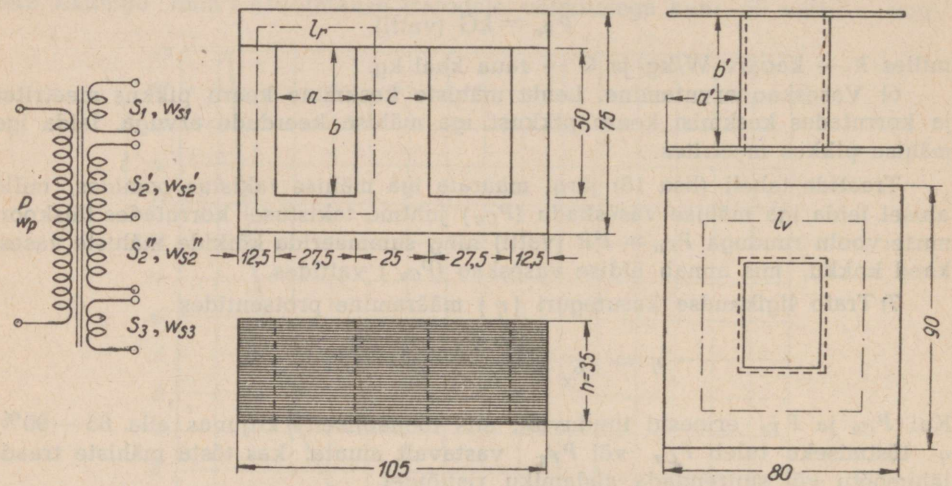
$$I_m = \frac{l_r\,(Iw_p/l_r)}{1{,}41\ w_p} \quad \text{(amprit)}.$$

Magneetimisvoolu I_m suurus tuleb lugeda parajaks, kui ta võrdub 10—15% primaarvoolust täiskoormuse all. Kui magneetimisvool ulatub 20%, tuleb sooritada uus trafo arvutus uue dimensioneerimisega.

Näide: Arvutada jõutrafo vastuvõtjale, mille lülitus: kõrgsagedusaste — lamp 6K7, muundaja — 6A8, vahesagedusaste — 6K7, detektor — 6Q7, lõppaste — 6F6 ja indikaator 6E5; anoodvool filtreeritakse valjuhääldaja ergutusmähisega,

[1] Suurema täpsusega arvutuse puhul tuleks korrigeerida ka primaarmähise keerdude arvu vastavalt pingelangule tingituna vaseskadudest primaarmähises ($P_{Cu} = I_P^2\ R_P$) ja üldisest rauaskaost (P_{Fe}). Kuid tavaliselt seesugustelt väikese võimsusega trafodelt säärast suurt täpsust ei nõuta. Sageli on kindlam viis katsetamine.

mille takistus $R_{VH} = 800\ \Omega$ ja normaalne ergutusvõimsus 6,5 vatti; alaldajas kasutatakse lampi 5Z4; võrgupinge $U_P = 220$ V, $f = 50$ hertsi. Kasutada olevate plekilõikude andmed on toodud joonisel 60.



Joon. 60. Jõutrafo arvutusandmeid. Keeru keskmine pikkus $l_v = 23$ cm, magnetringi pikkus $l_r = 20{,}5$ cm.

1) Sekundaar- ja primaarvõimsuse määramine.

Sekundaarvõimsused[1] kanname tabelisse ja summeerime. Arvutatavas vastuvõtjas anoodvool kujuneb 90 mA, mis jaguneb võrdselt kummagi anoodtoite mähise S_2' ja S_2'' vahel à 45 mA.

Mähise nimetus	U volti	I amprit	Võimsus P_S vatti
Anoodtoide S_2'	300	0,045	13,5
Anoodtoide S_2''	300	0,045	13,5
Lampide küte	6,3	3	19,0
Alaldaja küte	5	2	10,0
		Kokku $P_S = 56{,}0$ vatti	

Primaarvõimsus $P_P = \frac{P_S}{0{,}9} = \frac{56}{0{,}9} = 62{,}25$ vatti,

primaarvool $I_P = \frac{P_P}{0{,}9\ U_P} = \frac{62{,}25}{0{,}9 \cdot 220} = 0{,}315$ amprit.

[1] Sekundaarvõimsused arvutatakse lampide andmete järgi; summaarne küttevool kujuneb 3 amprit koos skaala valgustusega, anoodpingeks on tarvis 250 V vooluga 90 mA, millele tuleb juurde arvata pingelang valjuhääldaja ergutusmähises $U_{VH} = IR_{VH} = 0{,}09 \cdot 800 = 72$ V, seega üldine anoodpinge kujuneb $250 + 72 \approx \approx 320$ V, milleks vahelduvvoolu pinge peab olema umbes 300 V. (Pinge määramise kohta lähemalt H5.)

2) Raudsüdamiku ristlõike määramine. Trafos kasutatakse keskmiselt legeeritud raudplekki, ehitusviisilt manteltüüpi. Valime valemi $S_r = \sqrt{P_P} = \sqrt{62{,}25} = 7{,}9$ cm². Kui arvestada raua täitetegurit (0,9), kujuneb tegelik ristlõige $Q_r = \frac{7{,}9}{0{,}9} = 8{,}75$ cm². Kasutada olevate plekilõikude südamiku laius $p = 2{,}5$ cm, seega plekipaki paksus h kujuneb $\frac{8{,}75}{2{,}5} = 3{,}5$ cm ja 0,35 mm plekke on vaja $\frac{3{,}5}{0{,}35} \approx 100$ komplekti.

3) Mähiste keerdude arvu määramine. Võrguvoolu sageduse $f = 50$ Hz juures, valides $B = 10\,000$ G, kujuneb keerdude arv voldile $\frac{w}{E} = \frac{45}{S_r} = \frac{45}{7{,}9} = 5{,}7$ (sama ka graafikust joon. 59). Kanname arvutatavad keerdude arvud tabelisse.

Mähise nimetus	U volti	Keerde w	Vool I amprit	Traadi läbimõõt d mm
Primaar P	220	1255	0,315	0,6
Anoodtoide S_2'	300	1710	0,045	0,2
Anoodtoide S_2''	300	1710	0,045	0,2
Lampide küte S_3	6,3	36	3	1,6
Alaldaja küte S_1	5,0	28,5	2	1,3

4) Mähiste juhtme läbimõõdu ja mähiste ristlõike pindala määramine. Kuna trafo võimsus on üle 50 vati, siis juhtmed tuleb arvutada voolutihedusega 1,5 A/mm². Tabelist lisa 18 leiame vastavalt voolutugevustele juhtmete läbimõõdud, mis kanname täiendavalt eelmisesse tabelisse.

Mähiste materjaliks valime ruumi kokkuhoiu mõttes emailtraadi ja arvutame tabeli (lisa 18) järgi mähistele vajalikud pindalad, mille ülesmärkimiseks koostame uue tabeli.

Mähise nimetus	w	Traadi d mm	Keerde 1 cm² kohta	Tegelik ruum cm²
P	1255	0,6	217	5,78
S_2'	1710	0,2	1720	1,00
S_2''	1710	0,2	1720	1,00
S_3	36	1,6	35	1,03
S_1	28,5	1,3	50,5	0,57

Üldine mähise ristlõike pindala = 9,38 cm².

Plekilõikude järgi kasutada olev akna ruumala võrdub 2,75 cm × 5 cm = = 13,75 cm², seega poolialuse ja isolatsioonkihtide jaoks jääb paras jagu ruumi üle, s. o. 13,75 cm² — 9,38 cm² = 4,37 cm², mis moodustab ligi 32% aknapinnast.

5) Rauaskadude arvutamine. Kasutada oleva rauamaterjali rauaskao arv (k) (joon. 13) on $B = 10\,000$ gaussi juures 2 vatti/kg, sama materjali erikaal $\gamma = 7{,}6$. Arvutame joonise 60 järgi raua ruumala:

$A_r = 10{,}5 \cdot 7{,}5 - 2 \cdot 5 \cdot 2{,}75 = 51{,}25$ cm²;
$V_r = 0{,}9\ A_r\ h = 0{,}9 \cdot 51{,}25 \cdot 3{,}5 = 162$ cm³ ehk 0,162 dm³;
$G_r = \gamma V_r = 7{,}6 \cdot 0{,}162 = 1{,}23$ kg ja
rauaskadu $P_{Fe} = kG = 2 \cdot 1.23 = 2{,}46$ vatti.

6) Vaseskao arvutamine. Kanname sisse arvutusandmed, mis tuletame tabeli (lisa 18) järgi. Esiteks leiame mähise keeru keskmise pikkuse $l_k = 2\ (2{,}5+2{,}75+3{,}5+2{,}75) = 23$ cm ehk 0,23 m.

Mähise nimetus	Keerdude arv w	Traadi läbimõõt d mm	Traadi pikkus m	Takistus 100 m kohta	Tegelik takistus Ω	Vool I A	Vaseskadu I^2R vattides	Pingelang IR mähises volti
P	1255	0,6	289	6,21	18,0	0,315	1,78	—
S_2'	1710	0,2	394	55,9	220,0	0,045	0,45	9,9
S_2''	1710	0,2	394	55,9	220,0	0,045	0,45	9,9
S_3	36	1,6	8,3	0,874	0,0725	3	0,65	0,22
S_1	28,5	1,3	6,6	1,32	0,087	2	0,35	0,17

Kokku vaseskaod $P_{Cu} = 3{,}68$ vatti.

7) Trafo ligikaudse kasuteguri määramine:

$$\eta = \frac{100\ P_S}{P_S + P_{Cu} + P_{Fe}} = \frac{100 \cdot 56}{56 + 3{,}68 + 2{,}46} = 90\%,$$

seega võrdne oletatule (90%), mida tuleb pidada heaks.

8) Mähiste keerdude arvu korrigeerimine. Mähiste takistuste ja koormusvoolude järgi arvutame pingelangud ($U = IR$) ja kanname eelmise tabeli viimasesse lahtrisse. Arvutame juurde pingelangude kompenseerimiseks lisakeerud, mille järgi lõplike andmete jaoks koostame uue tabeli.

Mähise nimetus	Lisakeerdude arv	Lõplik keerdude arv	Takistus Ω	Vaseskadu I^2R vattides
P	—	1255	18,0	1,78
S_2'	56	1766	227,0	0,46
S_2''	56	1766	227,0	0,46
S_3	1,25	38	0,080	0,72
S_1	0,97	30	0,097	0,39

Vaseskaod kokku $P_{Fe} = 3{,}81$ vatti

Magneetimisvool $I_m = \frac{l_r\,(Iw_p/l_r)}{1{,}41\ w_p} = \frac{20{,}5 \cdot 3{,}6}{1{,}41 \cdot 1255} = 0{,}0417$ A, moodustades 13% primaarvoolust, mis asub lubatavais piirides. (Amperkeerdude arvu ühe cm kohta leiame legeeritud plekile graafikust joon. 7.)

d) Pingevõimendustrafod. Pingevõimendustrafosid kasutatakse madalsagedusvõimendajates helisageduslike pingete võimendamise otstarbel koos võimenduslampidega. Selliste trafode erinevuseks on see, et nad töötavad tavaliselt väga suurtesse väljundimpedantsidesse, mida moodustab järgneva astme lambi võrering, ja seega nad võimsust üle ei kanna, võimendades väljundis vaid pingeid. Seesuguste trafode töötingimused, võrreldes jõutrafodega, muutuvad väga raskepärasteks, kuna nad peavad moonutusvabalt üle kandma kogu helisagedusliku spektri, alates sagedusest 16 Hz kuni sagedusteni 10 000 — 16 000 Hz. Moonutusvaba ülekande all mõeldakse seda, et kõik

trafo sisendisse juhitud erinevate sagedustega vahelduvpingete väärtuste omavahelised suhted säilitataks väljundis ja et trafo ei tekitaks väljundisse uusi sagedusi, mis puudusid sisendis, s. o. originaalis. Ühtlasi on soovitav, kuigi mitte alati nõutav, et säilitataks väljundis ka sisendsageduste ajaline suhe, s. o. nende faasid.

Seesuguste ülesannete täitmist kogu helisageduste spektri ulatuses raskendab asjaolu, et trafo ei kujuta endast puhttakistuslikku ülekandelüli, vaid pigem impedantsi, mis koosneb lisaks mähiste takistustele nii induktiivsetest kui ka mahtuvuslikest reaktantsidest ja mille suurused muutuvad vastavalt sagedusega: induktiivne reaktants suureneb, mahtuvuslik reaktants väheneb sageduse tõusmisega.

Nagu varem käsiteldud (B 56 a), ei seo trafo raudsüdamik primaar-magnetvälja terviklikult sekundaarmähisega, samuti kogu sekundaarmähise magnetvälja primaarmähisega, mille tagajärjel tekivad puisteväljad. Primaarse puistevälja tagajärjel (joon. 56) langevad nii primaarmähisele rakendatud pinge U_P pingelangu tõttu primaarvoolu I_P läbimisel puisteinduktiivsusest L'_P kui ka sekundaarmähises indutseeritud pinge U_S. Kui sekundaarmähis on lülitatud koormusele, siis sekundaarvoolu I_S läbimise tõttu puisteinduktiivsusest L'_S tekib sekundaarmähises täiendav pingelang. Puisteinduktiivsustest sõltuv pingelang sekundaarmähises on võrdeline sekundaarvoolu (ja seega ka primaarvoolu) tugevuse ning sagedusega.

Mahtuvusliku reaktantsi moodustavad primaarmähise ja sekundaarmähise keerdudevahelised mahtuvused (C_P, C_S) ning primaar- ja sekundaarmähise vaheline mahtuvus (C_M).

Säärastes komplitseeritud töötamistingimustes toimimiseks peab trafo vastama järgmistele nõuetele:

1) Primaarmähise induktiivsus L_P peab olema suur. Primaarmähise induktiivne reaktants X_{L_P} praktiliselt peab võrduma kõige madalamal ülekantaval sagedusel vähemalt kahekordse sisendimpedantsiga Z_S. Teiste sõnadega, kui trafo oli lülitatud näiteks võimenduslambi 6C5 anoodringi, mille sisetakistus võrdub 10 000 Ω, peab trafo primaarmähise reaktants X_{L_P} võrduma vähemalt 63,5 henriga[1], kui madalaimaks ülekantavaks sageduseks on 50 Hz.

Konstruktiivselt tähendab suure primaarmähise impedantsiga trafo suure ristlõikepinnaga raudsüdamikku, mis peab töötama rauaskadude allasurumiseks ja puisteinduktiivsuste vähendamiseks väikestel väljatihedustel B = 2000 . . . 4500 gaussi.

Primaarmähise induktiivsus L_P arvutatakse üldvalemi järgi (B 21 g):

$$L_P = \frac{1{,}256\ w_P^2\ S_r}{l_m}\ \mu . 10^{-8}\ \text{(henrit)},$$

milles w_P — primaarmähise keerdude arv, S_r — raudsüdamiku ristlõikepind cm², l_m — magnetringi keskmine pikkus cm ja μ — magnetimaterjali permeaablus; kui primaarmähist läbib alalisvool, siis μ kujutab ringpermeaablust

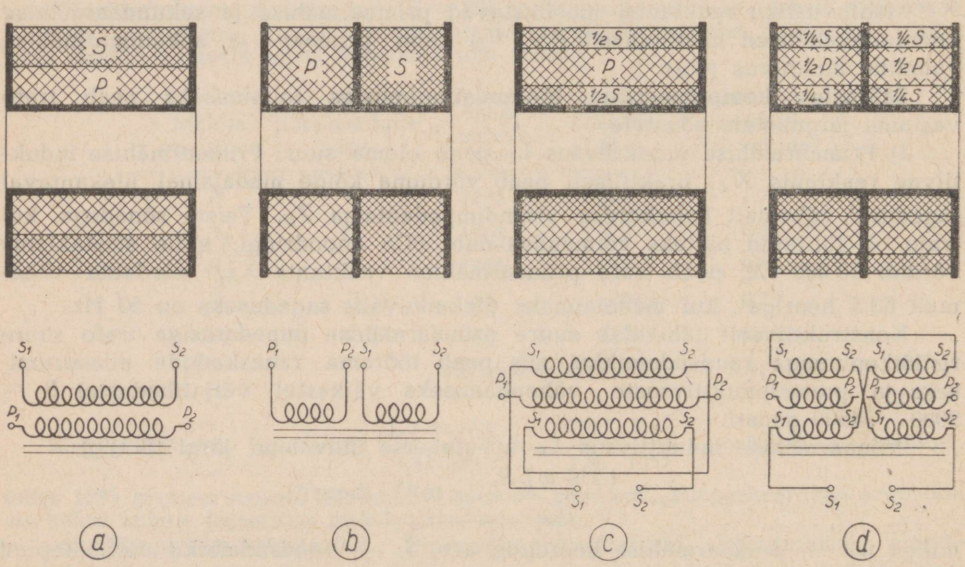
[1] Kuna 6C5 sisetakistus R_i = 10 000 Ω, siis trafo primaarmähise induktiivne reaktants X_{Lp} peaks võrduma vähemalt 2 R_i, s. o. $X_{L_P} = 2\pi fL \geq 2R_i$, millest

$$L_P \geq \frac{2R_i}{2\pi f} = \frac{2.10000}{2.3{,}14.50} \approx 63{,}5 \text{ henrit}.$$

$\mu \Delta$ (joon. 12). Mõlemal juhul μ saadakse magnetimaterjali vastavaist magneetimiskõveraist.

2) Puisteinduktiivsused L'_P ja L'_S peavad olema väikesed. Puisteinduktiivsuste reaktantsid on võrdelised puisteinduktiivsuste väärtuste, s. o. mähiste keerdude arvu ruuduga, samuti sageduse ja rauaskadudega, ning pöördvõrdelised sisend- ja väljundimpedantsidega.

Puisteinduktiivsuste vähendamiseks kasutatakse südamikus võimalikult väikesekaolisi rauasorte, mis rakendatakse töösse väikeste väljatihedustega (eelmine p. 1), ning võetakse ette rida konstruktiivseid viimistlusi mähiste kujundamisel. Joonisel 61 on näidatud neli säärast mähiste kujundamist: *a* — kõige tavalisem mähkimisviis, milles kogu primaarmähis asetseb pooli põhjas, sekundaarmähis peal; *b* — primaar- ja sekundaarmähis on kõrvuti, *c* — primaarmähis on jaotatud pooleks ning on paigutatud vaheldumisi primaarmähisega, selline mähkimisviis vähendab puisteinduktiivsusi neljakordselt; *d* — primaarmähis on jaotatud pooleks, sekundaarmähis neljaks ning primaarmähiste pooled on asetatud vaheldumisi sekundaarmähiste veeranditega. Säärase mähkimisviisiga on võimalik viia puisteinduktiivsused väga väikesteks. Kõik mähised on keritud ühesuunaliselt, jaotatud mähiste-osade omavahelisel ühendamisel peab hoolikalt jälgima õiget ühendusviisi, s. o. et mähise ühe osa lõpp (2) ühendataks mähise teise osa algusega (1) jne. Mähiste osade omavaheline ühendus on samuti näidatud joonisel 61.



Joon. 61. Madalsagedustrafo mähkimisviise: *a* — primaarmähis all, sekundaarmähis peal, *b* — primaar- ja sekundaarmähis kõrvuti, *c* — primaarmähis on asetatud vaheldumisi sekundaarmähise pooltega, *d* — primaarmähise pooled on asetatud vaheldumisi sekundaarmähise veeranditega.

Kuna rauaskaod väikeste väljatiheduste puhul kujunevad tavaliselt väga väikesteks, siis saab puistevälju vähendada raudsüdamiku ristlõike suurendamise ja vastavalt keerdude arvu vähendamise teel.

3) Mähiste omamahtuvused (C_P, C_S) ja mähistevaheline mahtuvus (C_M) peavad olema väikesed.

Kuna mähiste omamahtuvused koos mähiste puisteinduktiivsustega häälestuvad resonantssagedusele, mis võib langeda helisageduste spektrisse, siis on tarvilik, et omamahtuvuste väärtused oleksid võimalikult väikesed, et säärane resonantssagedus asetseks võimalikult väljaspool helisageduste spektrit. Kui aga resonantssagedus asetseb ülekantavate sageduste ribas, siis väljundpinged omamahtuvuste tõttu kuni resonantssageduseni tegelikult tõusevadki, evides resonantssagedusel maksimaalseid väärtusi; kuid sageduste tõustes resonantssagedusest kõrgemale väljundpinged mahtuvusliku reaktantsi vähenemise tagajärjel nõrgenevad järsult. Mõnikord kasutatakse trafo resonantsi üldiste lineaarmoonutuste vähendamiseks või mõne kitsama sagedusriba esiletoomiseks võimendajas.

Pingevõimendustrafode sekundaarmähis valmistatakse väga väikese läbimõõduga traadist (0,04 — 0,05 mm), millega ühelt poolt vähendatakse keerdudevahelist mahtuvust ja teiselt poolt suurendatakse mähise takistust. Mähise suure takistuse tagajärjel puisteinduktiivsusest ja omamahtuvusest tingitud resonants kujuneb lamedaks ning ülekanne säilib ühtlasena. Üldiseks tingimuseks pingevõimendustrafode juures on, et resonantssagedus võrduks vähemalt kahekordse kõrgeima ülekantava sagedusega, või kui see on teostamatu, siis kõrgeima ülekantava sagedusega. Viimasel juhul sellise võnkeringi Q_r tuleb hoida madalana, võimalikult 1 piirides[1].

Mähistevahelise mahtuvuse vähendamiseks jäetakse primaar- ja sekundaarmähiste või nende sektsioonide vahele tavaliselt õhuvahed. Tarbe korral võib seesugust mahtuvust hävitada täielikult mähiste vahele varjestuse asetamisega.

e) Sobitustrafod. Sobitustrafosid kasutatakse neil juhtudel, kui vooluallikale lülitatava koormuse impedants Z_v ei vasta vooluallika enda koormusimpedantsile Z_s, mis on tarvilik maksimaalse moonutusvaba võimsuse ülekandmiseks. Seepärast nimetatakse sääraseid trafosid s o b i t u s t r a f o d e k s. Seesuguste trafode kohta on üldiselt kehtivad samad nõuded, mis esitati pingevõimendustrafodele, kuigi tööprotsess neis erineb sellega, et nad kannavad üle võimsust kindla impedantsiga vooluringi.

Võimsuste ülekande vajadus koos impedantside sobitamisega tekib raadioseadmete juures peamiselt järgmistel juhtudel:

- madalsagedusvõimendaja lõppastme sidestamisel valjuhääldajaga;
- madalsagedusvõimendaja ergutusastme sidestamisel lõppastmega (B-klassi võimendajas);
- modulaatori sidestamisel moduleeritava kõrgsagedusvõimenduse astmega saatjas;
- mikrofonide ja grammofoni helipeade sidestamisel eelvõimendajatega;
- võimendajate sidestamisel liinidega, võimsuste ülekande puhul liinide kaudu.

[1] Sellise võnkeringi $Q_r = \frac{2\pi f_r L'_{ps}}{R_k}$, milles f_r — resonantssagedus, L'_{ps} — koondpuisteinduktiivsus ja R_k — koondtakistus, mis koosneb sisendtakistuse, primaar- ja sekundaarmähiste takistuste summast.

Kokku võttes peavad sobitustrafod vastama järgmistele nõuetele:

1) primaarmähise induktiivsus peab olema suur;
2) puisteinduktiivsused peavad olema väikesed;
3) mähiste omamahtuvused peavad olema väikesed;
4) mähiste takistused peavad olema väikesed;
5) vooluallika ja koormuse impedantsid peavad olema sobitatud.

Loeteldud nõudeist vaadeldi kolme esimest pingevõimendustrafode käsitlemisel üksikasjalisemalt. Seepärast vajavad täiendavat käsitlemist ainult kaks viimast nõuet.

Mähiste takistuste vähendamise vajadus on sobitustrafode juures väga oluline. Takistuse vähendamisega tõuseb trafo kasutegur, sest vähenevad vaseskaod, mida peab katma vooluallikas ja mille võrra väheneb väljundvõimsus. Peale selle võimsuskaod juhtmetakistuses ($P_v = I^2R$) võivad esile kutsuda tõsiseid moonutusi ülekandes, kui vooluallika võimsus on piiratud (näit. B-klassi ergutustrafo). Seepärast arvutatakse võimsustrafode mähiste traat keskmise voolutihedusega 1 — 1,5 amprit 1 mm² ristlõikepinna kohta.

Vooluallika ja koormuse impedantside sobitamisel on kehtiv üldvõrrand

$$\frac{w_P}{w_S} = \sqrt{\frac{Z_s}{Z_v}} = \ddot{u},$$

milles w_P, w_S — primaar- ja sekundaarmähiste keerdude arvud, Z_s ja Z_v — vastavad sisend- ja väljundimpedantsid. Trafo mähiste takistus moodustab tavaliselt küllaltki suure protsendi väljundimpedantsist, mistõttu seda tuleb ülekandesuhte määramisel arvestada.

Näiteks, kui võimendaja lõpplambi optimaalne sobitusimpedants $Z_s = 3500\ \Omega$ ja sobitatava valjuhääldaja impedants $Z_v = 7\ \Omega$ ning trafo primaarmähise takistus $R_P = 100\ \Omega$, siis sekundaarmähise ekvivalentseks takistuseks $R'_S = \ddot{u}^2 R_S$, samuti $R'_S = 100\ \Omega$[1], võtmisel võrduks üldtakistus $R_P + R'_S = 200\ \Omega$. Trafo ülekandesuhe kujuneks

$$\ddot{u} = \sqrt{\frac{Z_s - 200}{Z_v}} = \sqrt{\frac{3\,500 - 200}{7}} = 21{,}7$$

ning sekundaarmähise tegelik takistus $R_S = \frac{R'_S}{\ddot{u}^2} = \frac{100}{21{,}7^2} = 0{,}211\ \Omega$.

Trafo primaar- või sekundaarmähistest suuremate alalisvoolude läbimisel tööpunkt magneetimiskõveral nihkub (B 21 g). Ringpermeaabluse väärtuse säilitamiseks osutub neil juhtudel tarvilikuks magnetringi sisse tuua õhupilu.

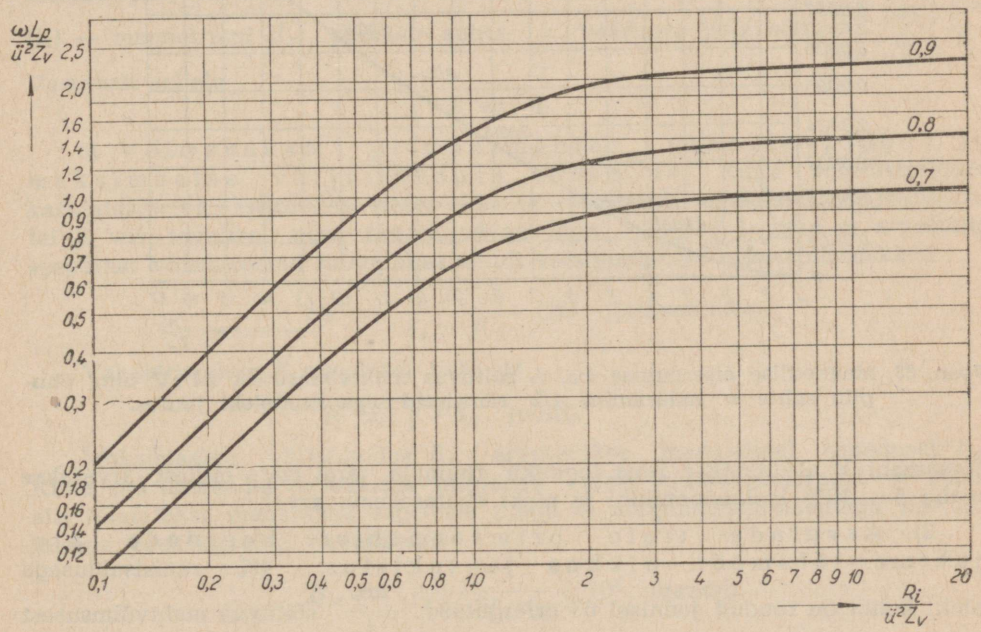
f) Sobitustrafode arvutamine. Tavaliselt sobitustrafode arvutamine kujuneb ebamääraseks seetõttu, et amatöörpraktikas valmistatakse trafod enamasti juhuslikust magnetimaterjalist, mille kohta puuduvad täpsed elektrilis-magnetilised andmed. Teiselt poolt, „rusikvalemite" abil valmistatud sobitustrafod põhjustavad võimendajates sageli tõsiseid moonutusi ja liigseid kadu-

[1] Kõige väiksemate vaseskadudega trafo saadakse siis, kui primaarmähise ja sekundaarmähise takistuskaod on võrdsed.

sid. Käesolevaga on suurem osa muutlikke tegureid redutseeritud praktikas enam esinevaile keskväärtustele, kusjuures südamiku magnetimaterjaliks on võetud 4% ränisisaldusega trafo lehtteras (OCT margid EC4), 0,35 mm paks[1].

Sobitustrafo lihtsustatud arvutuskäik on järgmine:

1) Arvutada trafo primaarmähise induktiivsus. Primaarmähise induktiivsus sõltub madalaimast ülekantavast sagedusest. Seepärast tuleb määrata madalaim ülekantav sagedus f_m ning lubatav nõrgenemine võrreldes 1000 Hz sagedusega f_{1000}. Joonisel 62 on toodud graafiliselt trafo primaarmähise reaktantsi ja koormustakistuse suhte $\left(\frac{\omega L_P}{\ddot{u}^2 Z_v}\right)$ sõltuvus vooluallika-generaatori sisetakistuse suhtest koormustakistusse $\left(\frac{R_i}{\ddot{u}^2 Z_v}\right)$ sageduste f_m ülekandmisel 70, 80 ja 90% võrreldes f_{1000}. Graafikust saadud väärtusega tuletatakse L_P. Graafikust selgub kujukalt, kuivõrd lihtsustub ja muutub odavamaks primaarmähise keerdude arvu vähenemise tagajärjel väikese sisetakistusega generaatorile valmistatav trafo.



Joon. 62. Primaarmähiste reaktantsi ja koormustakistuse suhte $\left(\frac{\omega L_P}{\ddot{u}^2 Z_v}\right)$ sõltuvus vooluallika-generaatori sisetakistuse suhtest koormustakistusse $\left(\frac{R_i}{\ddot{u}^2 Z_v}\right)$ madalaima sageduse f_m ülekandmisel 70%, 80% ja 90%, võrreldes keskmise sagedusega $f_{kesk} = 1000$ Hz.

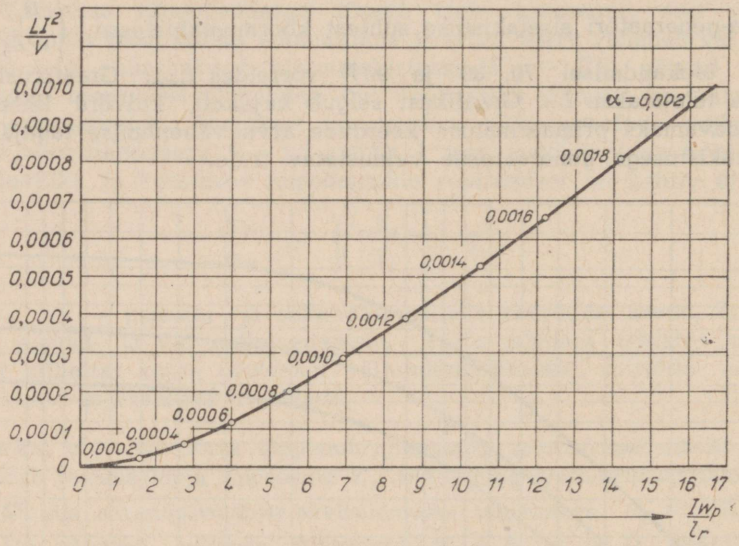
[1] Teiste legeeritud plekisortide kasutamisel ei kujune praktilised lahkuminekud häirivateks.

2) Määrata trafo südamiku ristlõige, magnetringi keskpikkus ja rauamaht. 4% ränisisaldusega 0,35 mm paksusest trafoplekist valmistatud südamiku ristlõiget S_r võib arvutada umbkaudu:

$$S_r = 1{,}2 \ldots 1{,}6 \sqrt{P},$$

milles S — cm², P — üldine trafo võimsus, mis koosneb primaarmähisele rakendatavaist alalis- ja vahelduvvoolu võimsustest.

Magnetringi keskpikkus l_r arvutatakse cm, nagu jõutrafodegi juures.



Joon. 63. Magnetilise eriergutuse Iw_p/l_r sõltuvus mahtvõimsusest LI^2/V ning õhupilu suhte α määramine 4% ränisisaldusega raudpleki juures.

Rauamaht V arvutatakse raua tegeliku ruumala järgi cm³, millest arvatakse maha 5 ... 10% isolatsioonikihi ja pleki ebatasasuste arvel.

3) Arvutada trafo primaarmähise keerdude arv, juhtme läbimõõt, pikkus ja takistus. 4% ränisisaldusega pleki kohta on toodud joonisel 63 eriergutuse $\frac{Iw_P}{l_r}$ sõltuvus mahtvõimsusest $\frac{L_{P_i} I^2}{V}$, milles I — primaarmähist läbiv alalisvool amprites, w_P — primaarmähise keerdude arv, L_P — primaarmähise induktiivsus henrides. Graafikust saadud $\frac{Iw_P}{l_r}$ väärtuse järgi tuletatakse primaarmähise keerdude arv. Keskmise keeru pikkuse järgi arvutatakse traadi üldpikkus, läbimõõt võetakse voolutihedusega 1 ... 1,5 A/mm², millest saadakse mähise takistus R_P.

4) Primaar- ja sekundaarmähise ülekandesuhte, se-

kundaarmähise keerdude arvu, pikkuse ja takistuse leidmine.

Ülekandesuhe ü tuletatakse valemiga

$$ü = \sqrt{\frac{Z_s}{Z_v}} = \sqrt{\frac{Z_s - R}{Z_v}},$$

milles Z_s — generaatori optimaalne koormusimpedants, Z_s' — koormusimpedants, vähendatuna primaarmähise ja sekundaarmähise ekvivalentse takistuste summa võrra (kuna $R_P \approx R_S$, siis $R \approx 2R_P$).

Sekundaarmähise keerdude arv $w_S = \frac{w_P}{ü}$.

Sekundaarmähise juhtme läbimõõt, pikkus ja takistus arvutatakse nagu primaarmähisegi juures (või $d_S = \sqrt{ü}\, d_P$).

5) Magnetringi optimaalse õhupilu määramine. Optimaalne õhupilu määratakse samuti graafiliselt joonisel 63 toodud õhupilu ($l_õ$) — magnetringi (l_r) pikkuste suhte α väärtuste järgi sõltuvalt $\frac{Iw_p}{l_r} \Big/ \frac{LI^2}{V}$. Vastavalt sellele

$$l_õ = \alpha l_r .$$

6) Võimsuskao, primaarmähise vahelduvpinge ja maksimaalse väljatiheduse leidmine. Kuna sobitustrafodes kasutatakse väikesekaolist trafoplekki ja töötatakse madalatel väljatihedustel B, siis tavaliselt need rauaskaod on väga väikesed ja neid ei arvestata; seepärast võimsuskaod tuletatakse ainult vaseskadudest ning võimsuskadu

$$P_k = \frac{R}{Z_s - R} \cdot 100 \text{ (protsentides)}.$$

Vahelduvpinge E sagedusel 1000 Hz

$$E = \sqrt{PZ_s} \text{ (volti)}.$$

Maksimaalne väljatihedus B_m arvutatakse madalaimal sagedusel f_m. Kuna aga ülekandel ta väärtus nõrgeneb varem kindlaksmääratud % võrra, siis tuletatakse madalaima sageduse pinge E' nõrgenemisprotsendiga korrutamisega. Maksimaalne väljatihedus

$$B_m = \frac{E'}{4{,}44\, S f_m w_P} \cdot 10^8 \text{ (gaussi)}.$$

Kui maksimaalne väljatihedus osutub liiga kõrgeks, tunduvalt üle 5000 gaussi, tuleb trafo südamik suurendada ja sooritada uus arvutus.

Käesolevas tüüpilises lihtsustatud arvutuskäigus jäid arvestamata puisteinduktiivsused ja mähistega seotud mahtuvused. Kui trafo töötab madalasse väljundimpedantsi, võib puisteinduktiivsuste ja mahtuvuste mõjud jätta arvestamata. Kui aga trafo töötab kõrgema impedantsiga koormusesse Z_v, mis on võrdne või suurem sisendimpedantsist, tuleb puisteinduktiivsuste mõju vähendamiseks mähised sektsioonida või suurem südamik valida, millega vastavalt vähenevad mähiste keerdude arvud; mahtuvuste mõju vähendamiseks suu-

rendada mähiste vahekaugust näiteks mähistevahelise isolatsioonikihi paksuse tõstmisega.

Toodud arvutuskäik on kehtiv iga liiki sobitustrafo kohta, mida täiendatakse vastavate erinevustega rakenduslikus osas allpool.

Näide: Arvutada väljumistrafo võimendaja lõpplambi 6F6 sidestamiseks valjuhääldajaga, mille $Z = 7\ \Omega$, kasutada on 4% Si plekilõigud tüüp Š-19, mille mõõted on toodud joonisel 64.

Lampide tabelist leiame, et 6F6 normaal-töötamisandmeiks on: anoodpinge $U_A = 285$ V, anoodvool $I_A = 0{,}04$ A, optimaalne koormusimpedants $Z_s = 7000\ \Omega$, maksimaalne väljundvõimsus $P_v = 4{,}8$ W, sisetakistus $R_i = 78\,000\ \Omega$.

Kõrgekvaliteediliseks ülekandeks on oluline madal heliregister, seepärast valime madalaimaks ülekandesageduseks $f_m = 50$ Hz, mille nõrgenemise piirame 80%.

1. Trafo primaarinduktiivsuse arvutamine. Leiame lambi sisetakistuse — optimaalse koormustakistuse suhte

$$\frac{R_i}{\ddot{u}^2 Z_v} = \frac{78000}{7000} = 11{,}1,$$ millele graafikust (joon. 62)

$$\frac{\omega L_p}{\ddot{u}^2 Z_v} = 1{,}35;$$

siit $$L_p = \frac{1{,}35\,\ddot{u}^2 Z_v}{\omega} = \frac{1{,}35 \cdot 7000}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50} = 30$$ henrit.

2. Määrata trafo raudkeha mõõted.

Lambi suure sisetakistuse tõttu valime $S_r = 1{,}6 \sqrt{P_A}$, mille kohaselt

$$S_r = 1{,}6 \sqrt{285 \cdot 0{,}04} = 5{,}4\ \text{cm}^2.$$

Südamiku mõõted (joon. 64): laius — 1,9 cm, paksus — $\frac{5{,}4}{1{,}9} = 2{,}84$ cm, praktiline paksus $= \frac{2{,}84}{0{,}95} = 3{,}0$ cm; magnetringi keskpikkus $l_r = 2\,(5{,}7+2{,}7) = 16{,}8$ cm; $V_r = 6{,}8 \cdot 7{,}5 \cdot 2{,}84 - 2 \cdot 4{,}6 \cdot 1{,}7 \cdot 2{,}84 = 100\ \text{cm}^3$.

3. Arvutada primaarmähis.

Mahtvõimsus $\frac{L_p I^2}{V_r} = \frac{30 \cdot 0{,}04^2}{100} = 0{,}00048$, millele graafikust (joon. 63) vastav $\frac{I w_p}{l_r} = 9{,}7$ ja millest $w_p = \frac{9{,}7 l_r}{I} = \frac{9{,}7 \cdot 16{,}8}{0{,}04} = 4075$. Mähise keskmine keeru pikkus $l_k = 2\,(3{,}0+1{,}7+1{,}9+1{,}7) = 16{,}6$ cm; mähise juhtme üldpikkus $l_p = \frac{16{,}6 \cdot 4075}{100} = 676$ m; juhtme diameeter d_p arvestades voolutihedust 1 A/mm²

$$d_p = \sqrt{\frac{4I}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}04}{3{,}14}} \approx 0{,}25\ \text{mm};$$

primaarmähise takistus $R_p = \frac{35{,}6 \cdot 676}{100} = 240\ \Omega$.

4. Arvutada sekundaarmähis.

Ülekandesuhe $\ddot{u} = \sqrt{\frac{Z_s - R}{Z_v}} = \sqrt{\frac{7000 - 2R_p}{7}} = \sqrt{\frac{7000 - 450}{7}} = 30{,}6;$

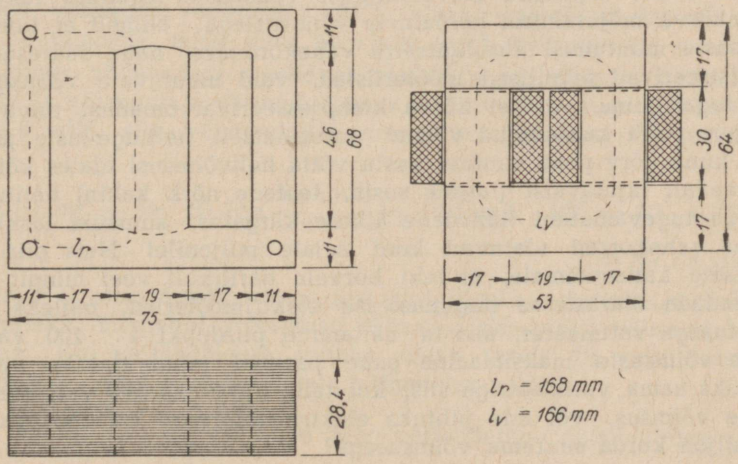
sekundaarmähise keerdude arv $w_s = \frac{w_p}{\ddot{u}} = \frac{4075}{30{,}6} = 133$; juhtme diameeter $d_s = \sqrt{\ddot{u}}\, d_p = \sqrt{30{,}6} \cdot 0{,}25 = 1{,}4$ mm; juhtme pikkus $l_s = \frac{16{,}6 \cdot 133}{100} = 22$ m; sekundaarmähise takistus $R_s = \frac{1{,}14 \cdot 22}{100} = 0{,}25\ \Omega$ ja ekvivalentne primaarmähisele ülekantud takistus $R'_s = \ddot{u}^2 R = 30{,}6^2 \cdot 0{,}25 = 234\ \Omega$.

5. Arvutada magnetringi õhupilu.

Graafikust (joon. 63) leiame α väärtuse, mis $\left(\frac{lw_p}{l_r} = 9{,}7\right)$ võrdub 0,00133, millest $l_\delta = \alpha l_r = 0{,}00133 \cdot 16{,}8 = 0{,}022$ cm ehk 0,22 mm, seega umbes kahekordse kirjutuspaberi paksune (plekilõikude Š-19 puhul õhupilu saavutatakse keskmise keele pikkuse lühendamisega 0,22 mm võrra).

6. Leida võimsuskadu P_k, vahelduvpinge E_p ja maksimaalne väljatihedus B_m.

Võimsuskadu $P_k = \frac{R}{Z_s - R} \cdot 100 = \frac{240 + 234}{7000 - (240 + 234)} \cdot 100 = 7{,}2\%$.



Joon. 64. Sobitustrafo kujundamine. Kasutatakse plekilõikusid Š-19.

Vahelduvpinge $E_p = \sqrt{P_v Z_s} = \sqrt{4{,}8 \cdot 7000} = 183$ V ja sagedusel $f_m = 50$ Hz võrdub $E' = 0{,}8 \cdot 183 = 146$ V; maksimaalne väljatihedus

$$B_m = \frac{E' \cdot 10^8}{4{,}44\, S_r f_m w_p} = \frac{183.10^8}{4.44.5.4.50.4075} = 3740 \text{ gaussi},$$

mida tuleb lugeda heaks.

Lõpuks tuleb kontrollida, kas mähised mahuvad ettenähtud mähise ristlõike pindalasse, arvestades 20—30% lisapinda isolatsioonikihtidele.

Primaarmähise ristlõike pindala $S_{vp} = \frac{4075}{1140} = 3{,}6$ cm², sekundaarmähise pindala $S_{vs} = \frac{133}{44{,}5} = 3{,}0$ cm²; üldine mähiste pindala $S_v = 3{,}6 + 3{,}0 = 6{,}6$ cm². Mähiste akna pindala $Q_v = 4{,}6 \cdot 1{,}7 = 7{,}8$ cm²; seega mähis mahub parajasti aknasse täiteteguriga 84,5%, mähis tuleb aga tihedalt ja hoolikalt mähkida.

57. Detsibell.

Elektro-raadiotehnikas mõõdetakse toitevõimsusi ja genereeritavaid võimsusi praktilistes mõõtühikutes — vattides, millega saadakse täpne ettekujutus võimsuste suurusest energeetika seisukohalt. Kui näiteks üks valgustuslamp vajab toiteks 50 vatti võimsust, siis kümne samasuguse lambi toiteks kulub kümme korda rohkem võimsust, s. o. 500 vatti. Samuti, kui 1 kW võimsusega elektrimootoriga käivitatakse töökojas ühte tööpinki, siis kümne säärase mootoriga käivitatava tööpingi töösse rakendamisel suureneb võimsuse tarvitus kümnekordselt, kuid ühtlasi suureneb kümnekordselt ka tootlus.

Akustiliste ja elektroakustiliste võimsuste juures ei anna säärane lihtne arvutusviis siiski vajalikku ülevaatlikkust võimsuste tegelikul rakendamisel, s. o. inimkõrva mõjutamisel helilainete võimsustega. Nimelt ei tunneta kõrv helivõimsuste muutumisi absoluutsetes vahekordades, nagu sääraseid muutumisi registreerivad tehnilised mõõteriistad, vaid muutuvate võimsuste vahekordade logaritmina. Sellist kõrva kompresseerivat omadust tuleb vaadelda kui looduse poolt kaasaantud võimet automaatselt helitugevuste järgi reguleeruda, kuna kõrv peab suutma vastu võtta helivõimsusi alates kõige nõrgemaist, vaevalt tajutavaist (tasane sosin, lehtede nõrk kahin) helitugevustest kuni kõige tugevamateni (lähedane äikese kärgatus, suurtüki lask), millede võimsuste vahekorrad ulatuvad kuni sajale miljonile! Neis piirides, tänu automaatsele kaitsevõimele, ei teki kõrvale harilikult veel mingit vigastust. Kui rakendada säärastesse tingimustesse elektrimõõteriist, näiteks 100-vatise mõõteulatusega vattmeeter, siis ta näitamine piirdubki 1...100 vatiga ning kaetavate võimsuste maksimaalne suhe parimal juhul ulatuks vaid 1 : 100. Mis juhtuks sama vattmeetriga siis, kui talle lülitataks 100 vati asemel 1000-kilovatine võimsus, või mis juhtuks elektrimootoriga, kui teda rakendataks töösse miljon korda suurema võimsusega?

Seega ei oma helivõimsuste absoluutsed väärtused praktilist tähtsust kõrva tajuvuse seisukohalt, kuna kõrv tunnetab helitugevuste muutumisi vaid muutuste suhte logaritmina. Seepärast ongi helitugevuste praktiline mõõtmine üle viidud absoluutselt mõõtmisviisilt helitugevuste suhete logaritmide arvutamisele. Loomulikult ei saa seesugune mõõtmisviis baseeruda võimsuste lugemisele alates võimsuste nullväärtustest, nagu seda rakendatakse harilike elektrimõõteriistade juures.

Suhtelistel mõõtmistel tuleb mõõtmiste võrdluse aluseks võtta ühik, mida nimetatakse sel puhul nulliseks tasemeks. Praktiliselt on välja kujunenud mitu säärast elektroakustilise võimsuse nullist taset, 6 mW, 1 mW, 12,5 mW jt., milledest sagedamini tarvitatavam on esimene, s. o. 6 mW. Kuid alati polegi tarvilik mõõtmiste aluseks võtta üldtuntud nullist taset, vaid ta-

seme aluseks võib valida soovi kohaselt igasugust võimsust, kui mõõtmine piirdub ainult üldise võrdlusega, näiteks võimendajalt arendatava võimenduse määramisega. Üldtuntud taseme rakendamine on vajalik siis, kui tahetakse määrata võimsusi nende tasemete suhtelisel alusel.

Sellistel mõõtmistel leitakse algul elektroakustilise seadme, näiteks võimendaja väljundvõimsuse P_v ja sisendvõimsuse P_s väärtused, millede suhtest võetakse kümnendlogaritm. Tuletatud logaritm näitab võimendust bellides (B).

$$V_B = \log_{10} \frac{P_v}{P_s} \text{ (belli).}$$

Bell kujutab siiski liiga suurt võimsuste muutust, seepärast võetakse praktiliselt rakendatavaks ühikuks kümme korda väiksem ühik — üks kümnendik belli, detsibell (dB),

$$V_{dB} = 10 \log_{10} \frac{P_v}{P_s} \text{ (detsibelli).}$$

Säärane võrdlusühik, detsibell, võrdub võimsuste vahekorraga 1,26 ja näidates võimenduse korral võimsuse suurenemist, nõrgenemise korral (näiteks atenuaatoris) võimsuse vähenemist 26% võrra, vastab keskmiselt sellisele võimsuse muutumisele, mida kõrv parajasti tajub helitugevuse muutumisena.

Kui näiteks võimendaja sisendvõimsus, mis saadakse kristallmikrofonilt, on $10^{-3}\mu$W ja võimendaja väljundvõimsus võrdub standardse nullise tasemega väljundiga 6 mW, siis võimendajalt arendatav võimsuse võimendus detsibellides

$$V'_{dB} = 10 \log \frac{P_v}{P_s} = 10 \log \frac{6 \cdot 10^{-3}}{10^{-9}} = 10 \log 6 \cdot 10^6 = 10 \cdot 6{,}778 =$$
$$= 67{,}78 \text{ dB.}$$

Tavaliselt ei piisa 6 mW võimsusest praktiliseks otstarbeks, näiteks valjuhääldaja toiteks, mispuhul jätkatakse võimsuse edaspidist võimendamist lisavõimendajas. Kui valjuhääldaja toiteks oleks tarvis 10 vatti, siis säärast väljundvõimsust arendava võimendaja võimendus võrduks

$$V'' = \frac{P_v}{P_s} = \frac{10}{0{,}006} = 1666 \text{ ning väljendatuna detsibellides}$$

$$V''_{dB} = 10 \log 1666 = 10 \cdot 3{,}222 = 32{,}22 \text{ dB.}$$

Mõlema võimendaja üldine võimendus detsibellides saadakse võimendajate võimenduse tasemete lihtsa liitmisega detsibellides:

$$V_{dB} = V'_{dB} + V''_{dB} = 67{,}78 + 32{,}22 = 100 \text{ dB.}$$

Saadud tulemus annab võimendajast säärase praktilise käsitluse, et kõrvaga tajutavalt on mikrofoni võimsus võimendajas tõusnud valjuhääldajani jõudes keskmiselt 100-kordselt.

Seesugune võimenduste arvutamise viis annab mitte ainult praktilisema ettekujutuse võimsuse suurenemisest (võimsuste otsesel arvutamisel vastaks vaadeldaval juhul üldvõimendus 10^{10}), vaid lihtsustab ka võimsuste arvuta-

mist. Kui võtta võimsuse nullise taseme (0 dB) aluseks standardne 6 mW, siis vastavad nii võimendajate kui ka mikrofoni võimsustele täiesti kindla suurusega väärtused. Kuna eelvõimendaja võimendus võrdus 67,78 dB, mis oli tarvilik mikrofoni võimsuse tõstmiseks nullisele tasemele (0 dB — 6 mW), siis mikrofoni võimsus on ilmselt —67,78 dB; miinus-märk näitab seda, et mikrofoni võimsus on nullise tasemega võimsusest väiksem (murdarvu logaritm on negatiivne). Samal ajal arendab lisavõimendaja, tõstes võimsust nullisest tasemest kõrgemale, väljundvõimsust +32,22 dB; pluss-märk näitab seda, et lisavõimendaja väljundvõimsus on nullise tasemega võimsusest suurem. Sel teel määratakse elektroakustilise võimenduskanali iga lüli võimsus võimsuse tasemena detsibellides, alates elektroakustilistest võimsuse allikatest, näiteks kristallmikrofonil P_v = —60 ... —90 dB, süsimikrofonil P_v = —11 ... —34 dB, helipeal P_v = —15 ... —25 dB jne., ning lõpetades võimendaja väljundvõimsusega, mis on tarvilik ruumi või saali täitmiseks helivõimsusega. Elektroakustilise võimsuse algallika (mikrofoni) ja heliülekandeks rakendatava võimsuse allika (valjuhääldajat toitva võimendaja väljundi) vahelist üldvõimendust saab soovi kohaselt jaotada üksikute võimendajate vahel.

Kui näiteks saali katmiseks helivõimsusega on tarvis valjuhääldajaid toita 60-vatise võimsusega, mis vastab $P_{dB} = 10 \log \frac{60}{0{,}006} = +40$ dB, ja kasutades lintmikrofoni, mille väljundvõimsus võrdub —97 dB, siis vajalik võimsuse üldine võimendus kujuneb 40 dB + 97 dB = 137 dB. Vajalik võimendus tuleb ära jaotada mitme võimendaja, mikrofoni eelvõimendaja, lisavõimendaja ja lõppvõimendaja vahel. Mikrofoni eelvõimendajas võimendatakse mikrofoni väljundvõimsus kuni nullise tasemeni (—97...0 dB, s. o. võimendusega +97 dB), lisavõimendajas nullisest tasemest mingi vahepealse võimsuseni, näiteks +30 dB (0...+30 dB, s. o. võimendusega +30 dB), ja lõppvõimendajas vahepealsest väärtusest lõppväärtuseni (+30...+40 dB, s. o. võimendusega +10 dB).

Määranud kindlaks võimenduse jaotuse võimendajate vahel[1], leitakse võimsuste tegelikud väärtused logaritmide taandamise teel:

$$P = 0{,}006 \text{ antilog } \frac{V_{dB}}{10} \text{ (vatti).}$$

Käesoleval juhul lõppvõimendaja väljundvõimsus $P_v = 0{,}006$ antilog $\frac{40}{10} = 60$W ja ta sisendvõimsus $P_s = 0{,}006$ antilog $\frac{30}{10} = 6$W, mis on ühtlasi lisavõimendaja väljundvõimsuseks; lisavõimendaja sisendvõimsus võrdub 0 dB, s. o. 0,006 W, mis on ühtlasi eelvõimendaja väljundvõimsuseks, ning eelvõimendaja sisendvõimsus $P_s = 0{,}006$ antilog $\frac{-97}{10} = 1{,}2 \cdot 10^{-12}$ W, mis on ühtlasi mikrofoni väljundvõimsuseks.

[1] Tegelikult arvutatakse võimendajale juurde veel lisavõimsuse tagavara, et saavutada nõutavat väljundvõimsust ka siis, kui mikrofon ei arenda normaalset ettenähtud võimsust või kui üksikud võimendajad asuvad hajali ning on ühendatud üksteisega liinide kaudu, milles tekib võimsuse nõrgenemine. Kui arvestada mikrofoni sisendvõimsuse langust —10 dB ja liinis tekkivat võimsuse nõrgenemist —5 dB, tuleks üldine võimendus suurendada +15 dB võrra, s. o. 137+15=152 dB.

Analoogiliselt võimendusega toimub arvutamine detsibellides ka nõrgenemisel, mis leiab käsitamist peamiselt liinide ja atenuaatorite rakendamisel. Kuna nõrgenemine kujutab endast negatiivset võimendust ja avaldub murrulise suhtena, mille logaritm on negatiivne, siis nõrgenemine väljendataksegi miinus-detsibellidena —dB. Detsibellidega arvutamisviisil lihtsustub atenuaatorite koostamine, milles nõrgenemine peab toimuma astmete kaupa võrdsete annustena, kõrvaga ühtlaselt tajutavana, sujuvalt, näiteks 1 või 2 dB kaupa astmelt.

Nõrgenemisena detsibellides näidatakse tavaliselt ka võimendaja lineaarseid moonutusi, mis arusaadavalt annab palju selgema ettekujutuse võimendaja käitumisest kui selliste moonutuste näitamine protsentides.

Samuti kui võimsuse võimendamist (või nõrgenemist), arvutatakse detsibellides ka pinge või voolu võimendamist. Kuid seejuures tuleb arvestada, et pinge või voolu võimendust (või nõrgenemist) ei saa asendada lihtsal teel võimsuse võimendamisega (või nõrgenemisega). Peab meenutama, et pinge ega vool üksinda ei kujuta veel võimsust, vaid võimsus saadakse kas pinge ja voolu korrutisena või pinge või voolu ruuduna; viimasel juhul on oluline, millisele koormustakistusele on rakendatud pinge või millist koormustakistust läbib vool.

Kui näiteks vastuvõtja lõppastme ergutamiseks A-klassi režiimis rakendatakse 15 mW ergutusvõimsust (20-voldise pingega), 26 700-oomise sisendtakistuse klemmidel ning 5-oomise võnkepooliga valjuhääldajasse kantakse üle 3-vatine väljundvõimsus, siis valjuhääldaja võnkepooli näpitsail arenev pinge võrdub $U = \sqrt{PR} = \sqrt{3 \cdot 5} = 3{,}87$ V. Seega võimendaja ja valjuhääldaja vahel asetseva sobitustrafo toimena areneb tegelikult pinge nõrgenemine ($V_U = \frac{3{,}87}{20} = 0{,}194$), sellele vaatamata võimsuse võimendus on suur ($V_P = \frac{3}{0.015} = 200$). Säärane näiliselt mõttetu tulemus on tingitud sellest, et kummalgi juhul arenes pinge erinevate väärtustega koormustakistuste ($R^a = 26700$ oomi, $R^a = 5$ oomi) klemmidel. Järelikult võib pinge võimendust (või nõrgenemist) arvutada ainult siis, kui võrreldavad pinged arenevad võrdsete koormustakistuste klemmidel. Sama on kehtiv ka voolu võimenduse (või nõrgenemise) kohta. Võimsuste võimendamise arvutamine on koormustakistuste väärtustest sõltumatu.

Kuna võimsus pole võrdeline pingega ega vooluga, vaid nende ruutväärtustega, siis pinge ja voolu võimendus (või nõrgenemine) väljendatakse detsibellides, eeldusel, et sisend- ja väljundtakistused on võrdsed ($R_s = R_v = R$):

$$V_{dB} = 10 \log \frac{P_v}{P_s} = 10 \log \frac{U_v^2}{R} : \frac{U_s^2}{R} = 10 \log \left(\frac{U_v^2}{U_s^2}\right) =$$

$$= 10 \log \left(\frac{U_v}{U_s}\right)^2 = 20 \log \frac{U_v}{U_s} \text{ ja}$$

$$V_{dB} = 10 \log \frac{P_v}{P_s} = 10 \log \frac{I_v^2}{I_s^2} \frac{R}{R} = 10 \log \left(\frac{I_v}{I_s}\right)^2 = 20 \log \frac{I_v}{I_s}.$$

Sellest järeldub, et pinge ja voolu võimenduse (või nõrgenemise) arvutamisel detsibellides tuleb algul nii sisend- kui ka väljundväärtused üle kanda

võrdsetele takistustele, eeldusel, et pingete ja voolude faasilised vahekorrad säilitatakse; võrdsete võimenduste juures kujunevad pingete või voolude detsibellide arvud kaks korda suuremaks vastavatest võimsuste detsibellide arvudest, sest võimsuste suhe kujutab pingete või voolude ruutude suhet.

Kokku võttes, detsibellide süsteemi rakendamine võimenduste ja nõrgenemiste arvestamisel elektroakustilises ülekandekanalis lihtsustab märgatavalt kogu arvutuskäiku, täpsustab kanali iga üksiklüli praktilisi elektrilisi väärtusi ja annab parema ettekujutuse nende toimimisest.

Rööbiti detsibellide süsteemiga on levinud, eriti telefonitehnikas, veel teine, nn. neprite süsteem, mis põhimõtteliselt sarnaneb detsibellide süsteemiga, kuid erineb sellega, et võimsuste suhted arvutatakse naturaallogaritmide alusel,

$$V = \ln_e \frac{P_v}{P_s} \text{ (neprit).}$$

Võimenduste ülekandmist ühelt süsteemilt teisele saab teostada järgmiste ülekandeteguritega:

1 nepper = 8,7 dB; 1 dB = 0,115 neprit.

Arvutamistel detsibellide süsteemis tuleb kasutada kas logaritmide tabelit või arvutuslükatit. Arvutamise hõlbustamiseks tuuakse alljärgnevalt ülevaatlik detsibellide tabel pingete, voolude ja võimsuste suhete kohaselt.

TABEL VII.

Detsibellide tabel.

dB	Pingete (voolude) suhted	Võimsuste suhted	dB	Pingete (voolude) suhted	Võimsuste suhted	dB	Pingete (voolude) suhted	Võimsuste suhted
−10	0,316	0,100	9	2,82	7,94	36	63,1	3981
−9	0,355	0,126	10	3,16	10,0	38	79,4	6310
−8	0,398	0,159	11	3,55	12,6	40	100	10000
−7	0,447	0,200	12	3,98	15,9	42	126	15849
−6	0,501	0,251	13	4,47	20,0	44	159	25119
−5	0,562	0,316	14	5,01	25,1	46	200	39811
−4	0,631	0,398	15	5,62	31,6	48	251	63096
−3	0,708	0,501	16	6,31	39,8	50	316	100000
−2	0,794	0,631	17	7,08	50,1	55	562	316200
−1	0,891	0,794	18	7,94	63,1	60	1000	10^6
0	1,00	1,00	19	8,91	79,4	65	1778	$3{,}162\ 10^6$
+1	1,12	1,26	20	10,0	100	70	3162	10^7
+2	1,26	1,59	22	12,6	159	75	5623	$3{,}162.10^7$
+3	1,41	2,00	24	15,9	251	80	10000	10^8
+4	1,59	2,51	26	20,0	398	85	17780	$3{,}162.10^8$
+5	1,78	3,16	28	25,1	631	90	31620	10^9
+6	2,00	3,98	30	31,6	1000	95	56230	$3{,}162.10^9$
+7	2,24	5,01	32	39,8	1585	100	100000	10^{10}
+8	2,51	6,31	34	50,1	2512	200	10^{10}	10^{20}

Käesoleva tabeli järgi saab tuletada igasugusele ümardatud detsibellide arvule vastavat võimendust või, ümberpöördult, võimendusele vastavat detsibellide arvu.

Näited: 1) Leida 137 dB võimsuse võimendusele tegelik võimenduse väärtus.

Lahutades 137 dB = 100 dB + 30 dB + 7 dB, leiame tabelist vastavad võimendused $V = 10^{10} \cdot 10^{3} \cdot 5{,}01 = 5{,}01 \cdot 10^{13}$.

2) Leida võimsuse nõrgenemisele $-V = 0{,}25$ vastav väärtus detsibellides.

Tabelist võimsuse nõrgenemisele 0,251 vastab —6 dB.

3) Leida võimendusastme pingevõimendus detsibellides, kui võimendusastme sisend- ja väljundtakistused on võrdsed ja saadav pingevõimendus arvuliselt võrdub 50.

Tabelist võimendusele 50,1 vastab +34 dB.

TEINE OSA

RAKENDUSLIKKE PÕHIALUSEID

C. ELEKTRONLAMBID.

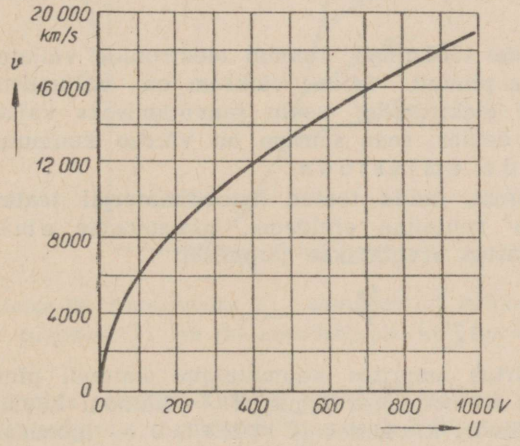
I peatükk.

ELEKTRONLAMPIDE TEOREETILISI ALUSEID.

1. Termiline emissioon.

Nagu on käsiteldud eespool (B 5 *a*), tekib ühesuunaline elektronide liikumine siis, kui elektrone mõjutab väline elektriväli. Elektronide liikumise algpõhjuseks on elektrivälja ja elektronide laengute vahel tekkivad vastastikused jõud. Seejuures elektronide liikumine toimub piki välja negatiivselt potentsiaalilt positiivsele potentsiaalile, s. o. välja kahe punkti vahel, millele on rakendatud potentsiaalide vahe ehk pinge.

Kuna elektronide laeng on püsiv suurus, siis elektronide liikumiseks vajalik lisaenergia peab järelikult tulema väljaenergiast ning liikumiskiirus kujuneb sõltuvaks välja potentsiaalide vahest. Väikestel potentsiaalide vahedel on elektronide liikumiskiirus suhteliselt väike, kuid potentsiaalide vahe suurenedes tõuseb liikumiskiirus, lähenedes valguse kiirusele. Elektronide liikumiskiiruse sõltuvus pingest U on toodud graafiliselt joonisel 65.



Joon. 65. Elektronide liikumiskiiruse v sõltuvus pingest U vaakumis: 1-voldise pinge puhul $v = 595$ km/sek, kui $U = 200$ V, siis $v = 8410$ km/sek, kui $U = 1000$ V, siis $v = 18800$ km/sek.

Mõjutamisel välise magnetväljaga omandab liikuv elektron magnetväljalt lisa-liikumisenergiat. Kui magnetvälja suund on risti elektriväljale ja seega ka elektroni liikumissuunale, siis magnetväljalt saadud kiirenduse tagajärjel elektroni liikumistee kaldub algliikumissuunast kõrvale. Olenevalt elektrivälja ja magnetvälja püsivatest väärtustest või nende suhtelistest muutustest võib elektron omandada väga erinevaid liikumissuundi. Nii näiteks omandab elektron teatud väljatugevuste suhte juures ringleva liikumissuuna, millist nähtust kasutatakse magnetronlampide juures.

Vaakumis saab elektrone metallide või metallioksüüdide pinnast eraldada kolmel viisil: termilise, sekundaarse ja fotoelektrilise emissiooniga. Termilise emissiooni puhul omandavad elektronid kuumutuse tagajärjel niivõrd suure kiiruse, et lahkuvad kuumutatava elektroodi — katoodi pinnalt, samuti kui kuumutatava vedeliku pinnalt auravad gaasi molekulid. Elektronide eraldumise määr sõltub aine emiteerimisomadusest, kuumutustemperatuurist ja emiteerimispinnast. Elektronide eraldamiseks aine pinnalt on tarvis kulutada energiat, mida rakendatakse elektronide liikumisteede kaudu emiteerivale pinnale elektripingena. Eri aineid iseloomustavat pinge väärtust voltides, mis on vajalik töö sooritamiseks elektronide väljatoomisel aine pinnast, nimetatakse aine emiteerimis-ekvivalendiks. Allpool tabelis on toodud võrdluseks tüüpilisemate katoodimaterjaliks kasutatavate ainete emiteerimis-ekvivalente.

TABEL VIII.

Katoodimaterjalide emiteerimis-ekvivalente.

Aine	Emiteerimis-ekvivalent	Aine	Emiteerimis-ekvivalent
Tseesium	1,38	Tseerium	3,07
Baarium	1,5	Uraan	3,28
Strontsium	1,8	Tantaal	4,12
Kaltsium	2,24	Volfram	4,5...4,62
Torieeritud volfram	2,6	Plaatina	5,4
Puhas toorium	2,94...3,3		

Tabelist selgub, et eriti väikese töökuluga toimub elektronide väljatoomine leelis- ja leelismuldmetallide pinnalt. Mida väiksem on väljumistöö väärtus, seda väiksem on võrdse elektronide voolu saavutamiseks vajalik kuumutustemperatuur, või teisiti öeldes, seda suurem on võrdse kuumutustemperatuuri juures elektronide emissioon.

Üldist elektronide voolu suurust, mida teatud katoodimaterjal teatava kuumutustemperatuuri juures on suuteline eraldama, nimetatakse emissioonvooluks (I_e) ning ta väärtus arvutatakse järgmiselt[1]:

$$I_e = AT^2 e^{-\frac{b_o}{T}},$$

milles I_e — emissioonvoolu väärtus amprites kuumutatava katoodi pinna ruutsentimeetri kohta, A — ainet iseloomustav tegur, T — katoodi kuumutustemperatuur absoluutse temperatuuri kraadides (C° + 273°), e — loomulike logaritmide alus, b — aine emiteerimis-ekvivalendiga võrdeline ainet iseloomustav püsivsuurus.

Eeltoodust selgub, et tseesium, baarium, strontsium ja toorium on suutelised eraldama juba suhteliselt madalate temperatuuride ja seega väikeste küttevõimsuste juures[2] küllaldast emissioonvoolu, mistõttu neid ja nende ok-

[1] Toodud emissioonvoolu võrrandit (Dushmani võrrand) rakendatakse käesoleval ajal rohkem kui endisi võrrandeid (Richardsoni võrrand).

[2] Praktiliselt kuumutatakse katoode eranditult elektrilisel teel.

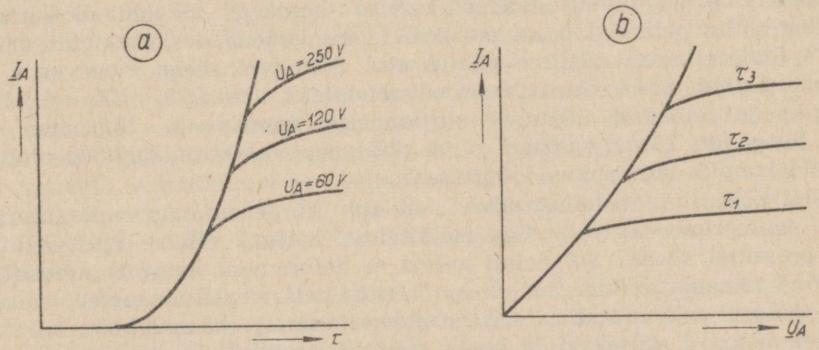
süüde kasutatakse katoodimaterjalina eriti praeguse aja vastuvõtulampides, kus küttevõimsuse säästmine on esmajärgulise tähtsusega.

Kui asetada emiteerunud elektronide keskkonda teine, katoodi suhtes positiivset pinget ($\underline{U}_A$) omav elektrood — anood, siis tekkinud elektrivälja tulemusena arenev anoodvool ($\underline{I}_A$) ei omanda maksimaalset ehk küllastusvoolu ($\underline{I}_s$) väärtust[1] enne, kui on tasakaalustatud katoodi lähemas ümbruses emiteerunud elektronidest tekitatud ruumlaengu pinge. Järelikult ei jagune üldine summaarne pinge katoodi ja anoodi vahel ühtlaselt, vaid evib katoodi läheduses negatiivset väärtust, muutudes kord-korralt positiivsemaks anoodile lähenedes.

2. Katood ja anood.

Peale sõltuvuse katoodi temperatuurist ja anoodpingest, mis on näidatud joonisel 66, on küllastusvool võrdeline katoodi kuumutatava pinnaga. Saatelampides, milles suurte võimsuste tõttu anoodvoolud on suured, kujunevad vastavalt suuremaks ka katoodide pinnad ning ühtlasi ka küttevõimsused, mis on tarvilikud katoodi kuumutustemperatuuri säilitamiseks.

Kuid nii katoodi temperatuuri kui ka anoodpinge suurus on igas elektron-



Joon. 66. Anoodvoolu $\underline{I}_A$ sõltuvus (*a*) katoodi temperatuurist τ erinevatel anoodpingetel $\underline{U}_A$ ja (*b*) anoodpingest $\underline{U}_A$ erinevatel katoodi temperatuuridel τ.

lambis piiratud katoodi kasuliku elueaga. Nii katoodi temperatuuri kui ka anoodpinge tõstmisega suureneb küllastusvool ja kuna lampides, eriti väikese võimsusega vastuvõtulampides kasutatavad katoodid tavaliselt pole valmistatud terviklikult emiteerivast ainest, vaid ainult on kaetud kõrge emiteerimisvõimega aine õhukese kihiga, siis katoodi temperatuuri või anoodpinge tõstmisega üle ettenähtud piiride võib lambi emiteerimisvõime kaduda kas osaliselt või täielikult võrdlemisi lühikese aja kestel.

[1] Küllastusvoolu I_s väärtust väljendatakse valemiga $I_s = kU_T^{3/2}$, milles k — elektronlambi ehitusest sõltuv ruumlaengu konstant, U_T — anood- ja võrepingetest tuletatud koondpinge — tüürpinge.

Kõrgendatud anoodpingega kaasneb elektronlambis peale küllastusvoolu suurenemise veel teine nähtus: nimelt suureneb kõrgendatud anoodpinge tagajärjel katoodist väljalendavate elektronide kiirus. Suurendatud kiirusega elektronide põrkamisel vastu anoodi tekib liigne anoodi kuumenemine. Säärane forsseeritud põrkamine kutsub algul esile anoodi värvumise, mis hiljem, kui soojuse ärajuhtimine anoodilt on piiratud, võib areneda anoodi metalli sulamiseks ja seega lambi täielikuks hävimiseks.

Kuna lambi elektroodid asuvad vaakumis, siis anoodilt saab soojus eralduda ainult kiirgumise teel. Seepärast on väiksemates lampides anoodid musta värvi, mis suurendab soojuse kiirgumisomadusi. Saatelampide juures kasutatakse mõnikord kunstlikku ventilatsiooni või kinnitatakse lambi kesta ümber eriline jahutusribidega metallkate. Suure võimsusega saatelampides teostatakse anoodis tekkiva soojuse ärajuhtimist eranditult vesijahutusega. Anoodi kuumenemisel kandub osa soojust kiirgusena üle katoodile, mis suurendatud kuumenemise korral tekitab täiendavat anoodvoolu suurenemist ning omakorda kutsub esile anoodis uue temperatuuri tõusu.

Temperatuuri tõusuga suureneb anoodi pinnal vabade elektronide arv, mis katoodilt tulevate elektronide põrkamisel lüüakse anoodist välja sekundaarelektronidena. Sõltuvalt temperatuurist võib selliste sekundaarelektronide arv primaarelektronidega võrreldes tõusta mitmekordseks ja võib tunduvalt mõjutada elektronlambi normaalset toimet.

Lõpuks, primaarelektronide põrkamise tagajärjel eralduvad kuumutatud anoodist selles peituvad gaasi molekulid, mis vähendades vaakumit, tekitavad lambis ioniseerumist. Selline nähtus on äärmiselt ebasoovitav eriti nende lampide juures, mida kasutatakse võimendajaks, ostsillaatoriks või demodulaatoriks ja milledelt nõutakse sirgjoonelist anoodvoolu tüürimise võimalust. Seega on kõrge vaakum ja ta säilitamine elektronlampides olulisemaid nõudeid lampide korralikus tööprotsessis.

Neil põhjustel valmistatakse anoodid kõrge sulamistemperatuuriga ja suure emiteerimis-ekvivalendiga metallidest, näiteks niklist, tantaalist jt. või isegi pressitud söest. Sel puhul anood ei deformeeru kergesti juhuslike kõrgendatud temperatuuride mõjul ega tekita suurt sekundaarset emissiooni. Peale selle ei tohi anoodimaterjal sisaldada vabu gaasi molekule, mis kuumenemisel anoodist väljuksid ja lambi vaakumit vähendaksid. Nii anoodist kui ka teistest lambi elektroodidest gaasi molekulide väljaeraldamiseks ja samal ajal vaakumi säilitamiseks vastuvõtulampide valmistamisel rakendatakse erimenetlust. See seisab selles, et lampi asetatakse erilisel metallpannil baariumi ja teisi metalle, mis kõrgetemperatuurilise kuumutamise järel absorbeerivad endasse lambi elektroodidest ja klaaskestast eralduvad gaasi molekulid ja seega säilitavad lambis kõrge vaakumi. Kuumutamise ajal, mida sooritatakse kõrgsageduslikult, aurub metall, sadestub lambi kolvile ja jääb gaasi molekulide absorbeerimise suhtes aktiivseks kogu lambi eluea kestel. Saatelampide juures säärast menetlust üldiselt ei rakendata, sest kestale sadestunud kiht tõkestaks suhteliselt suurte soojushulkade lambist väljakiirgumist. Seepärast on saatelampides eelistatavaimaks anoodimaterjaliks tantaal, mis lisaks muudele anoodimaterjalidele esitatavaile nõudeile kõrgemail temperatuuridel (900°—1000°C) evib omadust absorbeerida gaasi molekule. Peale tantaali kasutatakse anoodimaterjalina saatelampides molübdeeni (töötamistemperatuur

700°—800°C), grafiiti (500°—600°C), vastuvõtulampides peamiselt söekihiga kaetud niklit.

Vastavalt kuumutusviisile eritellakse kahte liiki katoode: otsese küttega ja kaudse küttega katoode. Esimesel juhul katood kujutab endast kütteniiti, mis tavaliselt valmistatakse volframtraadist ja kaetakse kõrge emiteerimisvõimega aine kihiga, näit. tooriumiga (töötemperatuur 1700° C) või baariumi ja strontsiumi oksüüdiga (töötemperatuur 600°—800° C). Küttevoolu läbimisel kütteniit kuumeneb ja hakkab emiteerima elektrone. Seega on katood ühtlasi kütteniidiks.

Kaudse küttega katoodis on kütmise ja emiteerimise funktsioonid teineteisest lahutatud. Kütteniit kaetakse õhukese keraamilisest ainest isolatsioonikattega ja asetatakse bifilaarselt, tavaliselt punutuna, nikkeltorusse, mis kujutab endast katoodi aluspinda ja millele on kinnitatud kõrge emiteerimisvõimega kattekiht (baariumi ja strontsiumi oksüüdid). Sellise ehitusviisiga muutub katood sõltumatuks küttevooluallika potentsiaalist ning neutraalseks kütteniidist läbiva voolu magnetväljade suhtes.

Otsese küttega katoode kasutatakse patareilampides, kus küttevool saadakse a.-v. allikaist, nagu akudest, kuivelementidest jne., s. o. neil juhtudel, mil küttevõimsuse äärmine säästmine on oluline, ja võimsus- ning saatelampides, mida köetakse kas a.-v. või v.-v. küttevooluallikast, s. o. siis, kui küttevõimsuse säästmine ei oma esmajärgulist tähtsust. Esimesel juhul on a.-v. küte tingimata tarvilik, kuna v.-v. kasutamisel v.-v. tugevuse muutumisega kütteniidi väikese soojusinertsi tõttu tekiks kütteniidis tsükliline kuumutustemperatuuri muutumine, mis kutsuks esile samasuguse tsüklilise muutuse anoodvoolus (50-hertsilise tehnilise voolu puhul on kuumutustemperatuuri muutumine kahekordse sagedusega, s. o. 100 hertsi). Teisel juhul omab kütteniit küllaldast soojusinertsi, mille tagajärjel v.-v. tugevuse muutumine katoodi temperatuuri ja seega anoodvoolu praktiliselt ei moonuta. Tõsisemaks puuduseks otsese küttega katoodidel jääb nende sõltuvus küttevooluallika potentsiaalist, mida lülituse koostamisel, eriti v.-v. kütte puhul, peab tõsiselt arvestama.

Kaudse küttega katoode kasutatakse vastuvõtulampides ja väikese võimsusega saate-, modulaator- ja võimenduslampides, mida köetakse tavaliselt vahelduvvooluga. Kaudse küttega katoodi puhul kütteniidi ja katoodi vaheline isolatsioonikiht mitte ainult isoleerib katoodi elektriliselt kütteniidist, vaid omades suurt soojusinertsi, muudab anoodvoolu täielikult sõltumatuks v.-v. tsüklilisest muutusest. V.-v. küttest tekkivad vahelduvad magnetväljad neutraliseeruvad kütteniidi bifilaarse paigutusega.

II peatükk.

ELEKTRONLAMPIDE PÕHITÜÜPE.

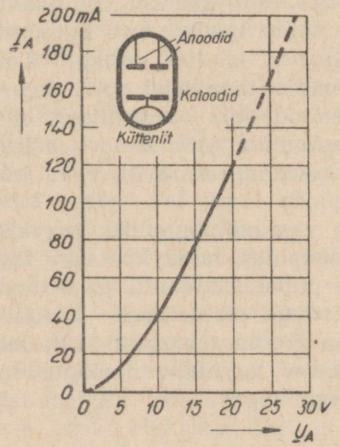
3. Kahe elektroodiga lamp — diood.

a) Kahe elektroodiga vaakumlamp — diood — kujutab endast lihtsaimat elektronlampi, mis koosneb kas otsese või kaudse küttega katoodist ja ühest või kahest anoodist. Viimasel juhul kumbki anood kujutab koos ühise katoodiga omaette dioodsüsteemi.

Sõltuvalt termilise emissiooni omadusest juhib elektronlamp elektronide voolu ainult ühes suunas, s. o. katoodilt anoodile. (Konventsionaalse käsitlusviisi järgi vaadelduna juhib elektronlamp elektrivoolu anoodilt katoodile.) Kui lülitada anoodidele vahelduvpinge, siis tekib elektronide vool ainult positiivse pooltsükli kestel, kuna negatiivsel pooltsüklil, mil anoodile on rakendatud negatiivne pinge, on elektronide vool suletud. Seega diood (samuti ka iga teine elektronlamp) kujutab endast elektronilist seadist, mis muundab vahelduvvoolu ühesuunaliseks pulseerivaks vooluks. Vahelduvvoolu ühesuunaliseks muundamise protsessi nimetatakse õgvendamiseks ja muundamisseadist õgvendajaks.

Praktiliselt tekib õgvendamise järele raadioseadmeis vajadus kahel juhul: tehnilise vahelduvvoolu muundamisel püsivaks alalisvooluks, mis on tarvilik elektronlampide anoodtoiteks ja kõrgsagedusvoolude muutmisel pulseerivaks alalisvooluks, mida kasutatakse moduleeritud kõrgsagedusvoolude detekteerimisel ehk demoduleerimisel. Esimesel juhul muundab diood suhteliselt suuri võimsusi kõrgete pingete all, teisel juhul on tegemist vaid mõnevoldiste pingetega ja väiksemate kui 1-mA vooludega.[1]

Katoodi küllastusvoolu piirides on dioodi läbiv anoodvool I_A võrdeline anoodpingega U_A kaks-kolmandikus astmes. Dioodi toime iseloomustamiseks koostatakse iga toodetava tüübi kohta valmistaja poolt staatiline tunnusjoon, mis näitab anoodi ja katoodi näpitsaile rakendatava anoodpinge U_A ja anoodvoolu I_A suhet. Joonisel 67 on toodud tüüpiline staa-

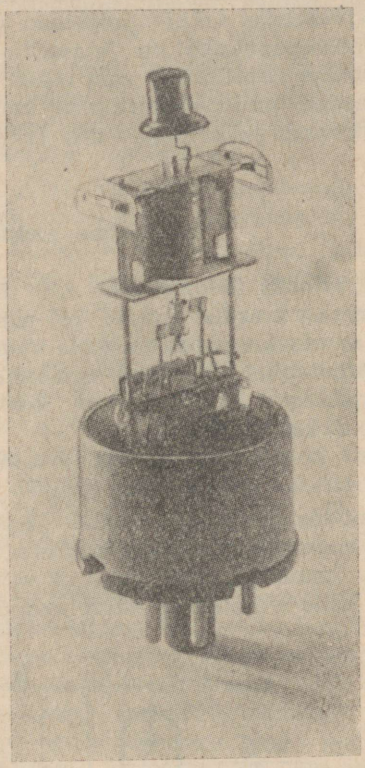


Joon. 67. Kahe dioodiga kaudse küttega õgvenduslambi 5Ц4 staatiline tunnusjoon. 5Ц4 küttevoolu andmed on $U_F = 5$ V, $I_F = 2$ A; maksimaalne vahelduv anoodpinge $U_A = 400$ V, maksimaalne alalis-anoodvool $I_A = 125$ mA, keskmine pingelang lambis 125 mA anoodvoolu juures — 20 volti.

[1] Täpsemalt, õgvendatud vahelduvvool kujutab endast kompleksvoolu, mis sisaldab domineeriva komponendina alalisvoolu ja lisaks vahelduvvoolu harmoonilisi. Tehnilise vahelduvvoolu muundamisel alalisvooluks filtreeritakse väljundis vahelduvvoolu harmoonilised välja, kasutades ära vaid alalisvoolu komponenti. Kõrgsagedusvoolude demoduleerimisel kasutatakse ära moduleeritud vahelduvvoolu komponent, kusjuures kõrgsageduse harmoonilised välja filtreeritakse; õgvendamisprotsessis tulenev alalisvoolu komponent osutub demoduleerimisel ligiseks, kuigi teda võidakse rakendada eriotstarbeks, näiteks võimenduslampide tundlikkuse automaatseks reguleerimiseks.

tiline tunnusjoon tavalisemale kahe dioodiga õgvenduslambile 5Ц4, joonisel 78 kahekordse dioodi sisemine ehitus.

b) Elavhõbeda auruga täidetud õgvenduslambid. Kui vaakumdiood täita hõrendatud elavhõbeda auruga, siis muutuvad seesuguse *elavhõbeda auruga õgvenduslambi* tööprotsess ja omadused. Elavhõbeda aurust eralduvad positiivsed ioonid neutraliseerivad katoodi ruumlaengu, mistõttu pingelang lambis muutub madalaks ja püsivaks, keskmiselt 15 volti. Seejuures lambis tekkiv pingelang ei sõltu milgi määral õgvendatava voolu tugevusest. Lambi kasutamispiirid nii pingete kui ka voolude suhtes määratakse kindlaks katoodi võimsusega ning katoodi ja anoodi vahelise kaugusega.



Joon. 68. Kaksikdiood-trioodi 6Г7 sisemine ehitus; dioodide ümbert on metallist varjestuskate eemaldatud.

Olulisemaks suuruseks elavhõbeda auruga õgvenduslambi juures on, samuti kui vaakum-õgvenduslambigi juures, lambi *maksimaalne vastupinge tippväärtus*, mis kujutab endast seda kõrgeimat pinge tippväärtust, mida lamp suudab taluda vastupidises suunas töövoolu pingega. Sellise kriitilise pinge ületamine põhjustab lambis elavhõbeda kaare tekkimist, mis viib lambi hävimisele. Ühefaasise terviktsükli lülituses siinuselise rakenduspinge juures on vastupinge tippväärtus keskmiselt 1,4 korda suurem vahelduvpinge efektiivväärtusest, ilma filterkondensaatorit lülitamata. Pooltsükli lülituses võib sisendkondensaatoriga filtri puhul vastupinge tippväärtus tõusta 2,8 korda suuremaks rakenduspinge efektiivväärtusest.

Elavhõbeda auruga lampe kasutatakse õgvendusseadmeis, milledelt nõutakse suurt sõltumatust koormusest, s. o. suurt pinge stabiilsust ja suurt kasutegurit. Tüüpilisemaid esindajaid on ВГ-161, ВГ-129, 83 ja 866.

c) Gaastriood — tiratron. Gaastriood kujutab endast eespoolkirjeldatud elavhõbeda auruga õgvenduslampi, mille katoodi ja anoodi vahele on asetatud kolmas elektrood — võre. Sellele võrele antakse negatiivne eelpinge, millega kontrollitakse gaasi ioniseerumist ja anoodvoolu tekkimist. Võre negatiivse eelpinge vähendamisega tekib anoodvool, misjärel võre kaotab edaspidise anoodvoolu kontrollimise võime seni, kuni ei katkestata anoodpinge. Kui gaastrioodi võrele anda vahelduvpinge, mis anoodpinge suhtes on faasis nihutatud sääraselt, et võrepinge võimaldab anoodvoolu tekkimist ainult tsükli

teatava osa kestel, siis voolab anoodvoool ainult selle tsükli osa kestel. Valides vajaliku faasinihke, on võimalik reguleerida anoodvoolu kestust alates väga väikesest tsükli osast kuni pooltsükli kestuseni. Sel teel reguleeritakse õgvendatud voolu tugevust suurtes piirides. Tüüpilisemaid väikese võimsusega gaastrioode on tüübid ТГ-212, ТГ-160, 884 ja 885.

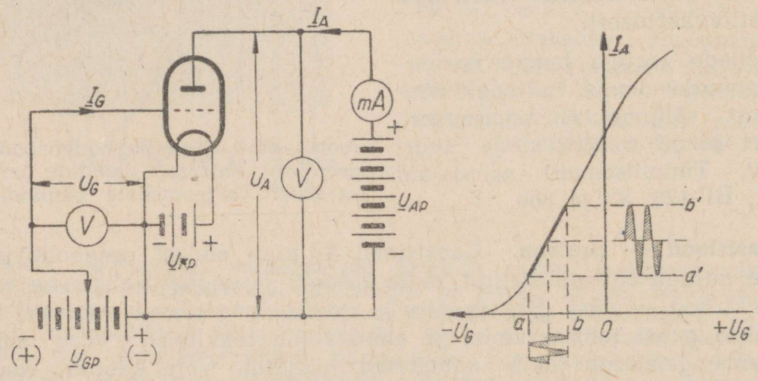
d) Elavhõbe-kaarõgvendaja. Elavhõbe-kaarõgvendajas puudub köetav katood, õgvendamine toimub elektrikaare abil kuumana hoitava elavhõbedast katoodi ja anoodi vahel. Elektrikaare mõjul katoodile langev elavhõbe pidevalt aurab ning hoiab alal lambi kestas ioniseeritud aurude keskkonna. Kaarõgvendajas tekkiv pingelang samuti võrdub keskmiselt 15 voldiga.

Töössepanekuks on elavhõbe-kaarõgvendajal abielektrood, mille abil tekitatakse startimisel elektrikaar. Uhtlasi vajab kaarõgvendaja mehaanilist seadet, millega startimisel kallutatakse lambikesta sellise nurga alla, et abielektroodi ja katoodi vahel tekiks elektrikaar.

4. Kolme elektroodiga lamp — triood.

a) Trioodi üldomadusi. Kui dioodi katoodi ja anoodi vahele paigutada peenikesest traadist spiraal või metallvõrk, siis avaneb võimalus suurtes piirides muuta katoodilt anoodile suunduvat elektronide voolu. Sellist spiraali- või võrgutaolist elektroodi nimetatakse *tüürvõreks* ehk lihtsalt *võreks* ning võrega lampi ennast *kolme elektroodiga lambiks* ehk *trioodiks*.

Kui kolme elektroodiga lambile lülitada vastavalt joonisele 69 küttepinge (U_{FP}), anoodpinge (U_{AP}) ja astendatav võre eelpinge (U_{GP}), s. o. kui moodustada kütte-, anood- ja võreringid, ning anoodvoolu mõõtmiseks lülitada anoodringi milliampermeeter ja pingete mõõtmiseks anood- ja võreringi voltmeetrid, siis selgub, et suhteliselt väikesed võrepinge muutused kutsuvad esile võrdlemisi suuri anoodvoolu muutusi. Seejuures võrepinge ne-



Joon. 69. Kolme elektroodiga lambi anoodvoolu-võrepinge $I_A - U_G$ sõltuvust iseloomustav tunnusjoon, mille sirgjoonelist osa a-b, a'-b' kasutatakse võimenduse otstarbel. Vasakul lülitus tunnusjoonte ülesvõtmiseks.

gatiivsemaks muutmisel nõrgeneb anoodvool, võrepinge negatiivse väärtuse vähendamisel anoodvool tugevneb. Negatiivse võrepinge üha suurendamisel selgub punkt, kus anoodvool muutub nulliks ning võrepinge edasine suurendamine ei avalda enam mingit mõju anoodvoolule ja seega ka anoodringile. Negatiivse võrepinge vähendamisega tugevneb pidevalt anoodvool ja kui vahetada võrepatarei klemmid pärast võrepinge vähendamist nullini, s. o. katoodi potentsiaalini, ning jätkata positiivse pinge andmist võrele, siis selgub uus punkt võrepinge väärtuses, mille ületamisel anoodvool enam ei tõuse. Seesugune punkt tekib siis, kui elektronide emissioonvool on jõudnud küllastuseni.

Tegelikult toimivad peaaegu kõik elektronlambid küllastusvoolust tunduvalt nõrgemate anoodvooludega, välja arvatud volframkatoodiga saatelambid, sest kõrge emiteerimisvõimega katoodimaterjalid võivad küllastusvoolu piirides töötades emiteerimisvõime kaotada õige kiiresti.

Sellisel teel saadud võrepinge muudatustest olenevad anoodvoolu muutused annavad graafikusse kantuna trioodi anoodvoolu-võrepinge ($\underline{I}_A$—$\underline{U}_G$) staatilise tunnusjoone. Trioodi omaduste uurimiseks koostatakse säärased kõverad erinevail anoodpingetel ($\underline{U}_A$). Sellise tunnusjoonte sarja lähemal käsitlusel selgub, et võrdset anoodvoolu muutust võib tekitada kas anoodpinge muutmisega, jättes võrepinge püsivaks, või võrepinge muutmisega, jättes anoodpinge püsivaks, kuid selleks vajalik anoodpinge muutus on tunduvalt suurem vastavast võrepinge muutusest. See nähtus evibki kõigi võrega elektronlampide juures erilist tähtsust, kuna ta annab võimaluse võreringis — sisendringis — suhteliselt väikeste pingemuudatustega esile kutsuda suuri anoodvoolu muutusi anoodringis — väljundringis. Kui lülitada lambi anoodringi voolutarbijana k o o r m u s i m p e d a n t s, siis selle klemmidel saavutatakse koormuse iseloomule vastavalt kas pinge või võimsuse võimendamist.

Võre suur mõju anoodvoolu tugevuse tüürimisel seisab selles, et võre asub katoodi vahetus läheduses, s. o. elektronidest tekitatud ruumlaengu keskkonnas. Võrepinge muutmisel negatiivseks suurenenud ruumlaengu tagajärjel surutakse katoodi pinnalt kiirgunud negatiivselt laetud elektronide pilv koomale katoodi lähedusse, mille tulemusena anoodvool väheneb; negatiivse võrepinge vähendamisel ruumlaengu mõju väheneb ning positiivse anoodpinge toimel liiguvad elektronid suurendatud kiirusega läbi võre avauste anoodile, mille tulemusel anoodvool vastavalt tõuseb.

Seni kui võre jääb katoodi suhtes negatiivseks, võrele elektrone ei kogune ning võreringis voolu ei teki. Kui aga võrele rakendada katoodi potentsiaal, siis osa elektrone koondub katoodist kiirgumisel saadud kiirenduse tagajärjel võrele ning võreringis tekib võrevool, mis vastavalt suureneb võrepinge muutmisel positiivsemaks. Vastavalt võre kaugusele katoodist tekib nõrk võrevool juba siis, kui võre on veel 1—1,5 voldi võrra katoodist negatiivsem. Harilikes tingimustes on võrevoolud anoodvooludest siiski tunduvalt väiksemad ja võrduvad keskmiselt 1% anoodvoolust. Saatelampides võivad positiivsed võrepinged sageli ulatuda võrreldavaisse väärtustesse anoodpingetega, millele vastavalt suurenevad ka võrevoolud. Elektronlambi omaduste lähemaks uurimiseks, mis on vajalik eriti saatja lülituste projekteerimisel, koos-

tatakse analoogiliselt anoodvoolu-võrepinge tunnusjoontele võrevoolu-võrepinge tunnusjooned, mis on kujult sarnased anoodvoolu-võrepinge tunnusjoontele.

Kui jälgida lähemalt trioodi $I_A - U_G$ tunnusjooni, siis selgub, et nende kõverus pole ühtlane kogu ulatuses, vaid väiksemate eelpingete juures osutuvad nad võrdlemisi sirgjoonelisteks. Tunnusjoontes tekivad põlvikud suurte negatiivsete võrepingete juures, s. o. punktides, kus anoodvoolude väärtused lähenevad nullile, ja positiivsete võrepingete juures, kui anoodvoolud lähenevad küllastusväärtustele. Seepärast harilikes võimendajates töötatakse lampide tunnusjoonte sirgjoonelises osas, mis asub negatiivsete võrepingete rajoonis (joonisel 69 lõigud a-b, a'-b') ja milles võrevoolud veel ei teki. Sellega vähendatakse moonutusi, mis tekivad ($I_A - U_G$) ebavõrdelisuse tagajärjel põlvikuis. Sellistes töötingimustes toimub anoodringi võimsuse tüürimine ilma et võimsust võreringis üldse kuluks, sest võrele on rakendatud ainult pinge ilma vooluta[1].

Kuna võimenduslampe kasutatakse peaaegu eranditult vahelduvpingete ja vahelduvvoolu võimsuste võimendamiseks, siis õige töörežiimi säilitamiseks kindla anoodpinge juures rakendatakse sisendringi, s. o. võimenduslambi võrele kindel negatiivne alalispinge, nn. e e l p i n g e (U_G), millele liidetakse võimendatav vahelduvpinge (U_G) ja mis kõigub selle eelpinge kui tugipunkti ümber negatiivses ja positiivses suunas. Ühtlasi on oluline, et eelpinge valitaks tunnusjoone sirgjoonelise osa keskpaigas (eranditega, millest hiljem on juttu) ja et võimendamiseks võreringi rakendatava vahelduvpinge amplituud ei ulatuks ühelt poolt negatiivse põlviku ja teiselt poolt võrevoolude tekkimise piirkonda, kuna vastasel korral tekib ebalineaarsus võrepingete ja anoodvoolu vahel ning seetõttu on võimendamisel moonutused vältimatud. Kui aga võimendatavate vahelduvpingete amplituud ületab kasutatava lambi tunnusjoone sirgjoonelise osa nimetatud piirid, tuleb valida võimendajaks teine lambi tüüp, mille tunnusjooned vastavad ülesseatavaile tingimustele.

Samuti püsiva anoodpinge (U_A) ja püsiva eelpinge (U_G) puhul kujuneb anoodringis kindla väärtusega alalisvooluline anoodvool (I_A), milles tekib ja millele tugineb vastav vahelduvvooluline muutumine (I_A) vahelduvpinge (U_G) rakendamisel võrele.

Lisaks $I_A - U_G$ tunnusjoontele, mis koostatakse püsivate anoodpingete juures, omavad erilist tähtsust veel anoodvoolu-anoodpinge $I_A - U_A$ tunnusjooned, mis koostatakse püsivate eelpingete juures või tuletatakse $I_A - U_G$ tunnusjoontest (joon. 70 *b*).

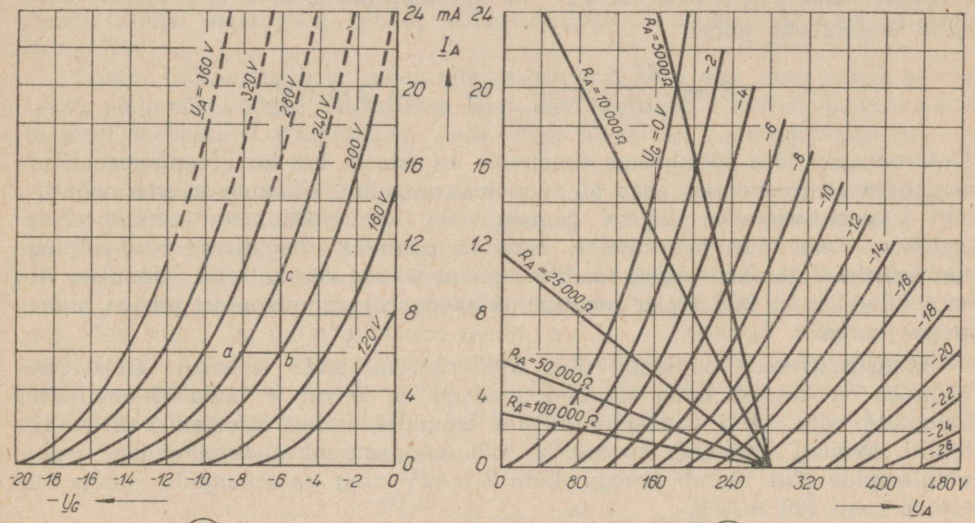
b) Trioodi iseloomustussuurusi. Elektronlambi olulisemaiks iseloomustussuurusteks on t õ u s (*S*), v õ i m e n d u s t e g u r (μ) ja s i s e t a k i s t u s (R_i) mis määravad ära lambi headuse ja lambi kasutamiskõlblikkuse eri otstarveteks.

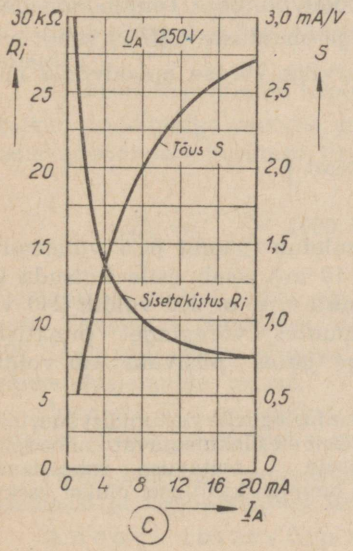
T õ u s. Elektronlambi tõus (*S*) näitab anoodvoolu muutumise suurust sõltuvalt võrepinge muutumisest ehk, teiste sõnadega, anoodvoolu kontrolli-

[1] Võimsus *P* väljendatakse pinge *U* ja voolu *I* korrutisena. Kui üks tegureid, käesoleval juhul *I*, võrdub nulliga, siis ka kogu võimsus $P = U \cdot 0$ võrdub nulliga.

mise määra võrepinge poolt. Tõus on olulisemaid iseloomustussuurusi elektronlambi juures, kuna ta annab üldise ettekujutuse lambi headusest. Kui anoodvoolu muutusi (ΔI_A) mõõta milliamprites ja võrepinge muutusi (ΔU_G) voltides, siis tõus

$$S = \frac{\Delta I_A}{\Delta U_G} \text{ (mA/volti) } \left[U_A = \text{const}\right].$$





Joon. 70. Trioodi 6C5 tunnusjooni: *a* — anoodvoolu-võrepinge $I_A - U_G$ tunnusjooned, *b* — anoodvoolu-anoodpinge $I_A - U_A$ tunnusjooned, *c* — tõusu S ja sisetakistuse R_i sõltuvus anoodvoolust I_A püsiva anoodpinge $U_A = 250$ juures. Joonisel b on toodud ühtlasi koormusjooned koormustele $R_A = 5000$, 10 000, 25 000, 50 000 ja 100 000 oomi 280 V anoodtoitepinge juures (koormus on takistuslik).

Kuna töötamisel tunnusjoone sirgjoonelises osas on oluline tüürida väikeste võrepinge muudatustega võimalikult suuri anoodvoole, siis on arusaadav, millist tähtsust omab suur elektronlambi tõus.

Joonisel 70 on toodud tüüpilisema kaudse küttega trioodi 6C5 tunnusjooned, millest saab tuletada lambi tõusud iga üksiku tööpunkti kohta. Kui punktis *a* (joon. 70 *a*), anoodpinge U_A võrdudes 240 V ja võrepinge U_G =—8 V, anoodvool I_A =6 mA, siis võrepinge U_G vähendamisel 2 voldi võrra, s. o. 6 voldile, suureneb anoodvool I_A 10 milliamprini, s. o. 4 mA võrra. Järelikult käesoleval juhul

$$S = \frac{\Delta I_A}{\Delta U_G} = \frac{10-6}{8-6} = \frac{4}{2} = 2 \text{ mA/V}.$$

Elektronlambi tõus sõltub õige tunduvalt nii anood- kui ka võrepingest. Tunnusjoonte sirgjoonelises osas on tõus maksimaalne, väheneb suurte negatiivsete ja positiivsete eelpingete juures, s. o. tunnusjoone muutudes horisontaalseks. Seda tõusu muutumise omadust sõltuvalt negatiivse võre-eelpinge suurusest kasutatakse sageli lambi võimenduse reguleerimiseks. Joonisel 70 *c* on toodud lambi 6C5 tõusu muutumine olenevalt anoodvoolust püsiva anoodpinge juures.

Konstruktiivselt on lambi tõus seda suurem, mida suurema emissioonivõimega on katood, mida suurema pinnaga on anood ja mida lähemal asub katoodile võre. Kui vanematüübilistel lampidel, milles kasutati volfram-kütteniiti, tõus ei ületanud 0,5 mA/V, siis moodsate oksüüdkatoodidega vastuvõtulampide tõus ulatub praegu kuni 9 mA/V ning saatelampide juures tõus ületab isegi 100 mA/V.

V õ i m e n d u s t e g u r (μ) näitab elektronlambi anooodpinge (U_A) ja võrepinge (U_G) muutuste suhtelist mõju anoodvoolule. Teiste sõnadega, lambi võimendusteguriks nimetatakse anoodpinge muutuste (ΔU_A) suhet vastavate võrepinge muutustega (ΔU_G), mis on tarvilik võrdse anoodvoolu muutuse esilekutsumiseks[1], s. o.

$$\mu = \frac{\Delta U_A}{\Delta U_G} \quad [I_A = \text{const}].$$

Joonisel 70 *a* toodud tunnusjoonte järgi tuletub lambi 6C5 võimendustegur järgmiselt: Anoodvoolu muutust 6 kuni 10 mA saab esile kutsuda kahel teel: kas muutes anoodpinget punktist *b* punkti *c*, s. o. 200 voldilt 240 voldile, võrepinge jättes püsivaks 6 V, või muutes võrepinget punktist *a* punkti *b*, s. o. 8 voldilt 6 voldile, anoodpinge jättes püsivaks 240 voldile.

[1] Mõnedes käsiraamatutes kasutatakse võimendustegurile vastupidist suurust — läbitavust (*D*), mida vaadeldakse kui võre poolt esilekutsutavat anoodpinge mõju vähendamist anoodvoolu vastavale muutumisele. Läbitavuse rakendamine võimendustegurile vastupidise suurusena ei tekita lampide käsitlusel olulisi raskusi, sest $D = \frac{1}{\mu}$.

Seega

$$\mu = \frac{\Delta U_A}{\Delta U_G} = \frac{240-200}{8-6} = \frac{40}{2} = 20.$$

Trioodide juures võimendustegur ei muutu palju, vaid tunnusjoonte sirgjoonelises osas jääb praktiliselt püsivaks.

Konstruktiivselt lambi võimendustegur suureneb võre tihedusega ja võreks kasutatud traadi jämedusega ning lähendamisega katoodile. Sõltuvalt lambi tüübist muutuvad trioodi võimendustegurid suurtes piirides, alates 3 kuni 100.

Lambi võimendustegur omab olulist tähtsust eriti siis, kui lampi kasutatakse pingevõimenduse otstarbeks, sest võimendustegur näitab ühtlasi maksimaalset teoreetilist võimendust, mida lamp ideaalseis töötingimustes on suuteline andma.

Sisetakistus (R_i). Kuna anoodvoolu tugevus elektronlambis pole püsiv suurus, vaid sõltub nii anoodpingest kui ka võrepingest, siis Ohmi seadus lihtsal kujul pole rakendatav lambi sisetakistuse määramiseks. Pealegi ei ole lambi alalisvoolu takistusel praktilist tähtsust, sest lamp rakendatakse töösse vahelduvpingete ja neist tulenevate vahelduvvoolude tingimuses. Sel puhul on palju olulisem teada, kuidas ja millistes piirides muutub anoodvoolu tugevus anoodpinge vastava muutmisega. Seepärast nimetatakse elektronlambi sisetakistuseks tema vahelduvvoolu takistust, mis kujutab endast anoodpinge muutuste (ΔU_A) suhet anoodpinge muutuse tagajärjel esilekutsutava anoodvoolu muutusega (ΔI_A), püsiva võre-eelpinge juures:

$$R_i = \frac{\Delta U_A}{\Delta I_A} \text{ (oomi) } [U_G = \text{const}].$$

Kui anoodpinge muutusi mõõta voltides ja anoodvoolu muutusi milliamprites, siis tuleb saadud suhte väärtus korrutada 1000-ga, et sisetakistus väljenduks oomides.

Joonisel 70 *a* tuletub trioodi 6C5 sisetakistus järgmiselt. Kui $U_G = -6$ V, kutsub anoodpinge muutus punktist *c* punktini *b*, s. o. 240 V kuni 200 V, esile anoodvoolu muutuse 10 mA kuni 6 mA, seega

$$R_i = \frac{\Delta U_A}{\Delta I_A} 1000 = \frac{(240-200)\ 1000}{10-6} = \frac{40\,000}{4} = 10\,000\ \Omega.$$

Sisetakistus sõltub lambi ehitusest ning lambile antavast anood- ja võrepingest. Tavalistes trioodides sisetakistus muutub õige suurtes piirides alates 800 Ω-st suuremate võimsuslampide juures ja lõppedes 100 000 Ω-ga pingevõimenduslampide juures.

Joonisel 70 *c* on toodud trioodi 6C5 sisetakistuse muutus olenevalt anoodvoolust püsiva anoodpinge juures.

Peale loeteldud iseloomustussuuruste eristatakse elektronlampide juures võimsusi ja nende suhteid järgmiselt:

Anoodi toitevõimsus. Anoodi toitevõimsuseks nimetatakse lambi

anoodile rakendatava toitepinge korrutist keskmise toitevoolu tugevusega:

$$P_A = U_A I_A.$$

Väljundvõimsus. Väljundvõimsuseks nimetatakse anoodringis genereerunud ja tarbijale üleantavat vahelduvvoolu võimsust ($P_v = U_A I_A$).

$$P_{efv} = U_{efA}\, I_{efA}.$$

Anoodi kaovõimsuseks nimetatakse anoodi toitevõimsuse ja väljundvõimsuse vahet, mis lambis muutub soojuseks. Lambi valmistaja poolt kindlaks määratud maksimaalset anoodi kaovõimsust pole lubatav ületada, kuna vastasel korral väheneb lambi kasulik tööiga tunduvalt ($P_k = P_A - P_v$).

Anoodi kasutegur kujutab väljundvõimsuse ja keskmise anoodi toitevõimsuse suhet protsentides:

$$\eta_A = \frac{P_v}{P_A} \cdot 100 \text{ (protsenti)}.$$

Kokkuvõte iseloomustussuurustest. Kui lambi tõusu ja sisetakistuse muutumiskäiku joonisel 70 *c* lähemalt jälgida, siis selgub, et nad muutuvad teineteisega pöördvõrdeliselt, samal ajal võimendustegur jääb praktiliselt püsivaks. Kui korrutada tõusu ja sisetakistuse võrrandid omavanel, siis saadav korrutis võrdub võimendusteguriga

$$SR_i = \frac{\Delta U_A}{\Delta I_A} \cdot \frac{\Delta I_A}{\Delta U_G} = \frac{\Delta U_A}{\Delta U_G} = \mu.$$

Sellest järeldub, et iga elektronlambi juures tõusu ja sisetakistuse korrutis on püsiv suurus ja võrdub lambi võimendusteguriga. Seega on võimalik kahte neist suurustest teades arvutada kolmandat, tundmatut.

Lambi headuse näitajaks lambi kasutamisel võimendajana on lambi tõusu ja võimendusteguri korrutis

$$G = S\mu.$$

Kuna konstruktiivseil põhjustel pole võimalik suurendada mõlemat tegurit korraga, siis lambi headuse näitaja on pigem kompromisslahenduseks, mille juures valitakse kas suur tõus või suur võimendustegur võimendusliigis kasutamise otstarbekuse seisukohalt. Et teatavail juhtudel on otstarbekam kasutada suure võimendusteguriga ja vastavalt ka suure sisetakistusega või väikese võimendusteguriga ja väikese sisetakistusega lampe, siis vastavalt sellele toodetaksegi lampe väga erinevate iseloomustussuurustega.

c) Dünaamilised tunnusjooned. Seni käsiteldud lampide I_A—U_G tunnusjooni nimetatakse staatilisteks tunnusjoonteks, kuna nad koostati anoodtoitepinge lülitamisega vahetult lambi anoodringi, kusjuures anoodpinge jäi püsivaks. Tegelikult aga lülitatakse anoodringi järjestikku anoodi toitepinge allikaga alati koormusimpedants, mille klemmidel tekib anoodvoolu läbimise tagajärjel pingelang ja mille võrra muutub lambi anoodile rakendatav pinge võrreldes anoodtoitepingega. Kuna koormusimpedantsis tekkiv pingelang on võrdeline anoodvoolu tugevusega, siis anoodile tegelikult ra-

kendatav pinge (anoodvoolu muutumise tagajärjel tööprotsessis) on muutlik suurus. Kui näiteks anoodi toitepinge on 250 V ja anoodringi koormusimpedants kujutab endast 50 000-oomilist takistust, siis anoodvoolude läbimisel 1, 2, 3, 4 mA tekivad koormustakistuses pingelangud 50, 100, 150 ja 200 volti ning anoodile rakendatav pinge võrdub vastavalt 200, 150, 100 ja 50 voldiga. Anoodpinge vähenemise tagajärjel väheneb vastavalt lambi tunnusjoone tõus. Saadud väärtuste graafiliselt ülesmärkimisel tuletub uus, nn. *töö-* ehk *dünaamiline tunnusjoon*. Selleks, et lambi tööst täielikku ettekujutust saada, on tarvis koostada lambile sääraste dünaamiliste tunnusjoonte sari erinevaile anoodkoormustele, nagu see on näidatud joonisel 71. Neist dünaamilistest tunnusjoontest selgub, et *anoodvoolu lõikepunkt*, s. o. punkt, kus negatiivse pinge tõustes anoodvool katkeb, on kõigile tunnusjoontele ühine, kuid tunnusjoone tõus on seda väiksem, mida suurem on koormusimpedants.

Palju lihtsam ja praktilisem on lambi töökäiku uurida anoodvoolu-anoodpinge tunnusjoonte (joon. 70 *b*) abil. Sellisel käsitlusviisil kujuneb lambi töökäik takistusliku koormuse puhul sirgjooneliseks, mille lõikepunktid staatiliste tunnusjoontega määravad kindlaks muutuvate võrepingete, anoodvoolude ja anoodpingete suurused. Selliseid töökäiku kujutavaid sirgjooni nimetatakse *koormusjoonteks*. Kui tõmmata koormustakistustele vastavad koormusjooned, on võimalik kindlaks määrata lambi sobivaim tööreŽiim, mis vastaks võimendajale ülesseatud nõuetele, ning arvutada saadav võimendus, moonutuste protsent jne.

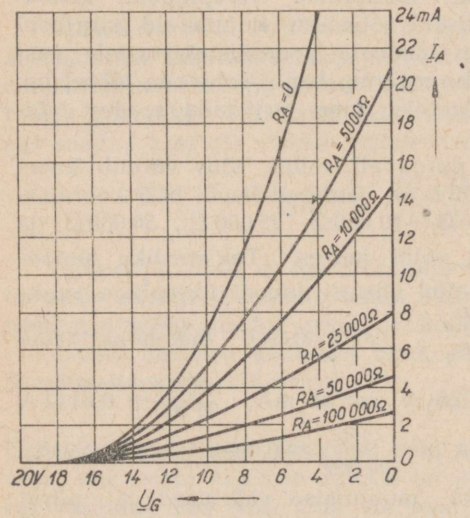
Sellised koormusjooned tõmmatakse nurga all, mille tõus võrdub koormustakistuse pöördväärtusega. Joonisel 70 *b* on näidatud lambi 6C5 koormusjooned koormustakistustele $R_A = 5000\ \Omega$, $10\,000\ \Omega$, $25\,000\ \Omega$, $50\,000\ \Omega$ ja $100\,000\ \Omega$ anoodi toitepinge $U_A = 280$ voldi juures. Takistusliku anoodkoormuse puhul nad algavad horisontaalteljel ühisest anoodi toitepinge punktist 280 V ja kulgevad vertikaalteljel $\frac{U_A}{R_A}$ vastavatesse lõikepunktidesse ($\frac{280}{5000} = 0{,}056$ A ehk 56 mA, $\frac{280}{10\,000} = 0{,}028$ A ehk 28 mA, $\frac{280}{25\,000} = 0{,}0112$ A ehk 11,2 mA, $\frac{280}{50\,000} = 0{,}0056$ A ehk 5,6 mA ja $\frac{280}{100\,000} = 0{,}0028$ A ehk 2,8 mA).

Koormusjoontest selguvad anoodvoolu muutumise väärtused ja piirid sõltuvalt võrepinge muutustest. Näiteks võrepinge $\underline{U}_G$ muutumisel —17 kuni 0 V ulatuvad anoodvoolu $\underline{I}_A$ muutused 10 000-oomilise koormustakistuse juures 0 ... 13 mA ja 25 000-oomilise koormustakistuse juures 0 ... 6,8 mA.

Ühtlasi selguvad koormusjoontega ka koormustakistuse klemmidel arenevad pingelangud, mis kujutavad endist võimendusastme väljundpingeid ja mille maksimaalväärtused vastavad väljundpingete amplituudidele. 10 000-oomilise koormusjoone juures võrepinge muutumisel —16 kuni 0 voldini võrdub väljundpinge amplituud 280—150 = 130 V, 25 000-oomilise koormusjoone juures samasugusel võrepinge muutumisel 280—110 = 170 V. Saadud väljundpingete väärtused on võimalikud maksimaalväärtused, mida tegelikus olukorras ei saa ära kasutada, kuna nad ulatuvad ühelt poolt $\underline{I}_A - \underline{U}_G$ tunnusjoonte alumisse põlvikusse, s. o. anoodvoolu lõikepunkti, ja teiselt poolt

nullise võrepingeni. Nagu eespool käsiteldud, tekivad mõlema piirväärtuse piirkonnas õige tunduvad väljundpinge amplituudi moonutused. Seepärast tegelikus töös rakendatakse ainult koormusjoonte keskmist osa, milles anoodpinge muutused on ligikaudu võrdelised võrepinge muutustega; ebavõrdelisust, mida arvutatakse protsentides, nimetatakse ebalineaarseks moonutusteguriks. Eelpinge määratakse kindlaks koormusjoone kasutatavat osa lõikavate võrepingete keskväärtusega.

Koormusjoonte võrdlusel selgub ühtlasi, et seesugune U_A ja U_G võrdelisus pole ühtlane, vaid muutub koormusjoontega. Trioodidel langeb võrdelisus märgatavalt, kui koormustakistuse väärtused kujunevad väiksemaks lambi sisetakistusest R_i. Seega seisab võimendaja õigesse töörežiimi seadmine koormusjoonte lähemas uurimises ja selle alusel optimaalsete töötingimuste määramises. Vaadeldaval juhul kujuneksid lambi 6C5 optimaalseteks töötingimusteks 280-voldise anoodi toitepinge juures $R_A = 10\,000 \ldots 50\,000$ oomi, võre-eelpinge $U_G = -5{,}5$ V, arendatavate väljundpingete amplituudid võrekäigu juures —1 kuni —10 V on 38—45 V. Üldiselt paraneb trioodide juures anoodpinge-võrepinge võrdelisus anoodi koormusimpedantsi tõustes, kuid samal ajal väheneb ühtlasi väljundvõimsus.



Joon. 71. Trioodi 6C5 dünaamiliste anoodvoolu-võrepinge $I_A - U_G$ tunnusjoonte sari püsiva anoodtoitepinge $U_A = 280$ V juures.

Reaktiivsete koormuste puhul määrab koormusjoonte tõusu koormusimpedants. Sel puhul koormusjooned ristuvad tööpunktis, mille määravad anoodi toitepinge ja sellele vastav eelpinge oma lõikepunktis.

d) Anood- ja võreringi pingete nihkumine faasis. Nagu selgub eelkäsiteldust (p. c), mõjutab anoodringi lülitatud koormustakistus tunduvalt trioodi töötingimusi, võrreldes staatiliste töötingimustega (joonised 70, 71), avaldudes eeskätt anoodvoolu-võrepinge tõusu (S) vähenemises. Selline nähtus seletub sellega, et hetkel, kui võrepinge evib maksimaalset positiivset väärtust, on ühtlasi maksimaalne ka anoodvool ning samal ajal on maksimaalne ka pingelang anoodringi koormustakistuses. Samal ajal anoodile rakendatava tegeliku pinge hetkväärtus (u_A) on minimaalne, sest ta võrdub püsiva anoodtoitepinge (U_A) ja koormustakistuses tekkinud pingelangu $(I_A R_A)$ vahega $(u_A = U_A - I_A R_A)$. Hetkel, mil võrepinge on minimaalne, s. o. evib maksimaalset negatiivset väärtust, on anoodvool minimaalne ning ühtlasi on minimaalne ka pingelang anoodringi koormustakistuses ja seega on maksimaalne anoodile tegelikult rakendatav pinge. Järelikult on vahelduvad anoodpinge muutused

vastupidised neid esile kutsunud võrepinge muutustele: kui võrepinge evib maksimaalset väärtust (on positiivseim), on anoodpinge minimaalne, ja kui võrepinge evib minimaalset väärtust (on negatiivseim), on anoodpinge maksimaalne. Teiste sõnadega, lambi vahelduvate võre- ja anoodpingete vahel tekib võimendamise puhul 180° faasinihe. Võrepinge vahelduv muutumine toimub võre-eelpinge kui keskväärtuse ümber ja anoodvoolu muutumine toimub sellise anoodvoolu keskväärtuse ümber, millise määrasid kindlaks püsivad võre-eelpinge ja anoodi toitepinge.

Kui anoodringi koormusimpedants on takistuslik, siis piirduvad anoodringis arenevad vahelduvpinged nullisest väärtusest kuni maksimaalselt anoodi toitepinge väärtuseni (U_A). Kui aga anoodringi koormusimpedants on reaktiivne (paispool, trafo), milles nimetamisväärset a.-v. pingelangust ei teki, kõiguvad vahelduvad anoodpinged anoodi toitepinge (U_A) kui keskväärtuse ümber: ideaalse lambi juures võib vahelduvate anoodpingete amplituudväärtus seega areneda kuni kahekordse toitepinge väärtuseni. Nagu eespool mainitud, töötavad lambid võimendajana anoodvoolu-võrepinge tunnusjoone sirgjoonelises osas, et vältida ebalineaarseid moonutusi, ja vahelduvad anoodpinged praktiliselt ei ulatu kunagi nende piirväärtusteni, vaid asuvad madalamal, vastavalt sellele, kui suured on lubatavad ebalineaarsed moonutused võimendamisel.

Reaktiivsete anoodkoormuste puhul vahelduvate võre- ja anoodpingete faasinihe sõltub koormuse reaktiivsuse iseloomust (L, C) ning koormuse reaktantsi (X) ja takistuse (R) omavahelisest nihkenurgast. Ainult resonantsjuhul asuvad vahelduvad anoodvoolud ja -pinged omavahel faasis ning nihkuvad vahelduvatest võrepingetest täpselt 180° võrra. Tavaliselt aga anoodkoormuse reaktants muutub sagedusega, mille tagajärjel ka vahelduvate võre- ja anoodpingete faasinihe kujuneb muutuvaks suuruseks.

Seega reaktiivsete anoodkoormuste puhul on faasinihe vahelduvates võre- ja anoodpingetes füüsikalisest 180°-st paratamatu nähtus, mis avaldub f a a s i m o o n u t u s e n a. Oleneb võimendaja ülesandest, kas seesugused faasimoonutused on lubatavad ja millistes piirides. Kuna inimese kõrv pole suuteline faasimoonutusi eraldama, siis heliülekanneteks määratud tavalistes võimendusseadmeis harilikult faasimoonutuste vähendamiseks erilisi abinõusid ei kasutata, kuid televisiooniseadmeis, mõõteriistades jne., kus faaside õige vahekord omab isegi suuremat tähtsust kui amplituudide õigete väärtuste säilitamine, tuleb sellele pöörata erilist tähelepanu. Faasimoonutuste vähendamist saavutatakse lülituselementide õige dimensioneerimisega ja erilülituste, näit. negatiivse tagasiside rakendamisega (D8c).

e) Lambi elektroodidevahelised mahtuvused. Elektronlambis moodustab iga elektroodide paar omaette väikese, mõne pikofaradilise mahtuvuse. Trioodi juures on säärasteks mahtuvusteks võre ja katoodi vaheline, võre ja anoodi vaheline ning anoodi ja katoodi vaheline mahtuvus. Dioodi juures on muidugi tegemist ainult ühe, s. o. anoodi ja katoodi vahelise mahtuvusega, kuna mitmevõreliste lampide juures on elektroodidevaheliste mahtuvuste kompleks keerukam.

Need elektroodidevahelised mahtuvused, olles oma väärtuselt suhteliselt väikesed, ei evi praktilist tähtsust lampide töötamisel madalatel helisage-

dustel, millel nende reaktantsid on lambi sisend- ja väljundringi impedantsidega võrreldes suured, ning jäetakse neil juhtudel arvestamata. Sageduste tõustes, alates juba keskmistelt helisagedustelt, tuleb lambi elektroodidevahelisi mahtuvusi tõsiselt arvestada, kuna nad kutsuvad esile rea uusi nähtusi, mis panevad piiri lambi kasutamisele ühel või teisel juhul.

Kuna lamp ühendatakse lülitusse tervikkomplektina, milles elektroodid on välja toodud ühendusjuhtmete kaudu lambisoklisse, siis elektroodide mahtuvustega liituvad veel ühendusjuhtmete vahelised mahtuvused nii lambi kestas, soklis, lambi pesas ja edasi ühendusjuhtmeis raadioseadme lülituselementides. Seesugused liituvad mahtuvused võivad tunduvalt tõsta lülituse üldisi mahtuvusi. Need mahtuvused esinevad kahjuliku nähtusena mitte ainult võimendajas, vaid samuti muudel elektronlambi rakendusaladel, sest nad moonutavad lülituse õiget töötamist suuremal või vähemal määral. Seepärast on tähtis, et konstruktiivselt lambi elektroodidevahelised mahtuvused oleksid vähendatud võimalike piirideni, kuid veelgi tähtsam on, et raadioseadme enda ehitusviisist ja lülituselementidest tingitud lisamahtuvused, mis liituvad lampide mahtuvustega, oleksid vähendatud miinimumini.

5. Mitmevõrelised lambid.

a) Nelja elektroodiga lamp — tetrood. Trioodi töösse rakendamisel võimendajana selgub kaks olulisemat puudust:

1) suhteliselt suur võre ja anoodi vaheline mahtuvus, mille kaudu osa anoodringis võimendatud võimsusest kandub tagasi võreringi ja põhjustab võimendusastme ebastabiilsust;

2) märgatav anoodpingete muutumise kahjulik tagasimõju võrepingete muutumisele tegelikus tööolukorras, mille tulemusena, eriti väikeste võimendusteguritega lampide juures, väheneb lambi tõus S ja seega ühtlasi võimendusastme võimekus.

Neid puudusi on võimalik tunduvalt vähendada teise võre paigutamisega kolme elektroodiga lambi võre ja anoodi vahele, mispuhul lamp muutub nelja elektroodiga lambiks — t e t r o o d i k s.

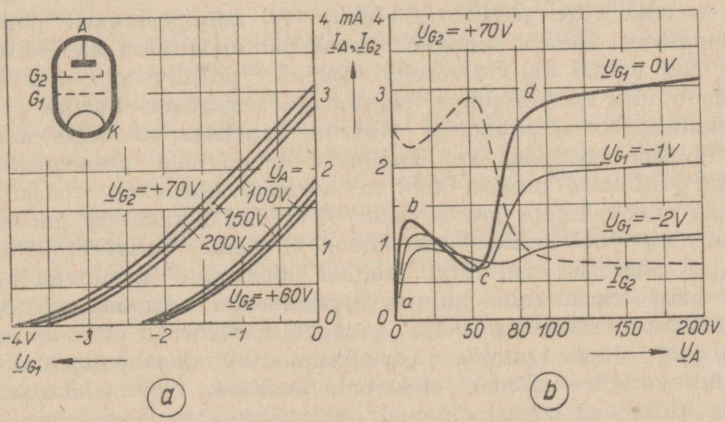
Algul nelja elektroodiga lambi areng kulges võre ja anoodi vahelise mahtuvuse vähendamise suunas, mis oli tarvilik kõrgsagedusvõimendaja stabiilsuse, lihtsuse ja kompaktsuse tõstmiseks. Kuid esimeste kõrgsagedustetroodide ehk nn. varivõretetroodide ilmumisega, milles võre ja anoodi vaheline mahtuvus oli vähendatud 0,01 pF, selgus, et lisaks sellele tetroodis anoodvoolu muutumine on praktiliselt sõltumatu anoodpingest, mistõttu tetrood leidis peagi rakendamist nn. võimsustetroodina. Vastavalt kasutamise otstarbele jagunevadki tetroodid kahte põhirühma: v a r i v õ r e t e t r o o d i d ja v õ i m s u s t e t r o o d i d.

b) Varivõretetrood. Varivõretetrood koosneb trioodile sarnanevast katoodist, võrest ja anoodist, millele lisaks on paigutatud võre ja anoodi vahele teine õige tihe, võrgutaolise ehitusviisiga ja võret täielikult ümbritsev metallist v a r i v õ r e. Kui varivõrele anda püsiv positiivne pinge, mis võrdub keskmiselt 30—40% anoodpingest, ning temas tekkivad vahelduvpinged lühistada kondensaatori kaudu katoodile, s. o. anda maanduspotentsiaal, siis

säärane varivõre toimib võre ja anoodi vahel elektrostaatilise varjena (B 48). Varivõre tiheduse tagajärjel anoodist väljuvad elektrilised jõujooned lõpevad peaaegu terviklikult varivõrel ja ainult väga väike osa neist ulatub läbi varivõre avade võrele. Samal põhjusel ei ulatu ka võre elektriväli praktiliselt kaugemale kui varivõreni. Varivõre kui elektrostaatilise varje tagajärjel muutuvad võre ja anoodi vahelised ühised elektriväljad väga väikesteks ning nendevaheline mahtuvus langeb 0,01—0,001 pF.

Kuna anoodi elektriväli ei ulatu võre piirkonda, milles keskendub katoodi ruumlaeng, siis on arusaadav, et anood ei saa mõjutada katoodist väljakiirguvate elektronide voolu sellisel määral nagu trioodi juures ning anoodvool muutub praktiliselt anoodpingest sõltumatuks.

Katoodi ja varivõre vahelises osas toimuv füüsikaline protsess sarnaneb täielikult trioodis areneva protsessiga, kusjuures varivõre toimib trioodi anoodina. Samuti kui trioodiski antakse võrele negatiivne eelpinge ning sõltuvalt võrepinge muudatustest kujuneb varivõrele saabuvate elektronide hulk. Erinevaks trioodist kujuneb füüsikaline protsess varivõre ja anoodi vahelises ruumalas. Liikudes katoodilt läbi võre omandavad elektronid positiivse varivõre mõjul lisakiirenduse, mille tõttu osa neist satub varivõrele, osa aga läbib varivõre avad ning tungib varivõre ja anoodi vahelisse ruumalasse. Elektronide edaspidine liikumine selles ruumalas sõltub nende kiirusest: suurema kiirusega elektronid, ületades varivõre mõjupiirkonna, jõuavad anoodile, väiksema kiirusega elektronid langevad varivõrele tagasi. Varivõrepinge tõstmisega omandavad katoodilt saabuvad elektronid vastavalt suurema kiirenduse, mille tulemusena suurenevad korraga nii varivõre- kui ka anoodvool. Järelikult oleneb tetroodi anoodvoolu suurus suurel määral varivõrepingest, samuti kui trioodi juures anoodvoolu suurus sõltus anoodpingest (joon. 72 *a*). Vaatamata sellele, et varivõre oma ehituselt on väga tihe, ja arvestades seda, et varivõreks kasutatava traadi läbimõõt on väike, on avade



Joon. 72. Kõrgsageduse varivõretetroodi tunnusjooni: *a* — $I_A - U_{G_1}$ tunnusjoonte sarjad püsivate varivõrepingete U_{G_2} juures + 60 V ja + 70 V; *b* — $I_A - U_A$ tunnusjoonte sari püsiva varivõrepinge U_{G_2} juures + 70 V. Punktiirjoonega on näidatud varivõrevoolu I_{G_2} muutumine sõltuvalt anoodpinge U_A muutmisest.

üldpind siiski suurem traadi pinnast, mistõttu varivõrevool tavaliselt ei kujune suuremaks kui keskmiselt 20—30% anoodvoolust.

Varivõretetroodi anoodvoolu-võrepinge tunnusjooned sarnanevad oma kujult üldiselt trioodi vastavate tunnusjoontega, erinedes viimastest peamiselt sellega, et erinevate anoodpingete tunnusjooned asuvad üksteisele õige lähestikku, sest anoodvoolud anoodpingetest peaaegu ei olene. Kui aga muuta ühtlasi varivõrepinget, siis kaldub kogu tunnusjoonte sari kas vasakule (kui varivõrepinget suurendada) või paremale (kui varivõrepinget vähendada). Samal ajal tetroodi anoodvoolu-anoodpinge tunnusjooned erinevad trioodi vastavaist tunnusjoontest tunduvalt, võttes keskmiste ja kõrgemate anoodpingete osas peaaegu horisontaalse kuju. See on tingitud varivõretetroodi kõrgest sisetakistusest, mis asub keskmiselt 0,2—2 MΩ piirides. Varivõretetroodi tõus S jääb samasuguseks kui trioodigi juures, kuid vastavalt sisetakistuse R_i suurenemisele tõuseb ka võimendustegur μ, mille väärtus ulatub keskmiselt 800—2500.

Erinevalt trioodist tekib tetroodide juures anoodpinge vähendamisel püsiva varivõrepinge juures omapärane nähtus. Anoodpinge pideval vähendamisel langeb anoodvool algul aeglaselt, kuid pärast seda, kui anoodpinge on vähenenud varivõrepinge väärtuseni, muutub anoodvoolu langus järsuks (joon. 72 *b*). Anoodpinge edasisel vähendamisel tekib anoodvoolu languses pöördepunkt (*c*) ning anoodvool näitab isegi tõusu, mis hiljem areneb uueks pidevaks languseks (*b*) kuni anoodvoolu väärtuse muutumiseni nulliseks, kui nullini on jõudnud ka anoodpinge.

Säärane nähtus tetroodi juures seletub suurendatud sekundaaremissiooni (B 5 d) tegevuse ilmnemisega siis, kui anoodpinge on langenud alla varivõrepinge. Sekundaaremissiooni nähtus ilmneb alati positiivse pinge all olevates anoodides, kui neid pommitavad suure kiirusega saabuvad elektronid. Ta tekib niihästi trioodi kui ka tetroodi juures. Kui triood töötab negatiivse võrepinge režiimis, siis sekundaarelektronid võrele ei saabu, vaid lähtudes anoodilt satuvad võre negatiivse elektrivälja mõjupiirkonda, pöörduvad tagasi ja langevad uuesti anoodile. Sama nähtus kordub ka tetroodi juures senikaua, kui anood on varivõrega võrreldes positiivsem. Kui aga anoodpinge langeb alla varivõrepinge, muutub nii sekundaar- kui ka primaarelektronide liikumisprotsess anoodi ja varivõre vahelises ruumalas keerukamaks; seda on lihtsam käsitella, kui vaadelda anoodvoolu arenemiskäiku alates anoodpinge lülitamise hetkest kuni ta normaalväärtusteni tõusmise hetkeni normaalsete anoodpingete juures (joon. 72 *b*). Kui anoodpinge on null *(a)*, siis võrdub ka anoodvool nulliga, sest anood ei tõmba varivõret läbinud elektrone külge. Säärased varivõret läbinud elektronid kanduvad tagasi varivõrele ja moodustavad selle ümbruses ruumlaengu. Anoodpinge tõstmisel väheneb varivõre ruumlaengu mõju ja sellele vastavalt tõuseb pidevalt ka anoodvool *(ab)*. Jõudes punkti *b*, omab anood küllaldast külgetõmbejõudu, et koguda kõik varivõre läbinud elektronid endasse. Need elektronid, omades nüüd juba küllaldast kiirust, löövad kokkupõrkel anoodist välja sekundaarelektrone. Algul sekundaarelektronid langevad tagasi anoodile, kuid anoodpinge edasisel tõstmisel tõuseb veelgi primaarelektronide kiirus, millega koos suureneb ühtlasi ka sekundaarelektronide kiirus ja mille tagajärjel nad lahkuvad anoodi mõjupiirkonnast ning kanduvad vari-

võrele. Selle tulemusena (lõigus *bc*) areneb kaks vastastikust elektronide voolu: primaarvool anoodile ja sekundaarvool anoodilt varivõrele. Kuigi anoodpinge tõusuga suureneb saabuvate primaarelektronide hulk, lahkub veelgi suurem arv sekundaarelektrone varivõrele, sest suurendatud kiirusega põrkamisel tõuseb sekundaarelektronide arv tunduvalt. Tulemuseks on anoodvoolu langus, mis kestab seni, kuni anoodpinge järjekordse tõstmisega on loodud tasakaal sekundaarelektronide külgetõmbes anoodi ja varivõre poolt *(c)*. Sellest peale algab uus järsk anoodvoolu tõus sekundaarelektronide tagasipöördumise arvel anoodile, millega koos suureneb pidevalt ka primaarelektronide arv. Anoodpinge jõudmisel tetroodi normaalsesse tööpiirkonda *(d)* muutub anoodvool ühtlaseks ning näitab anoodpinge edaspidisel suurendamisel väga väikest tõusu.

Lõigus *bc*, kus anoodvool langeb anoodpinge tõusmisel, kujuneb tetroodi sisetakistus negatiivseks, mis põhjustab lambi töös ebastabiilsust. Kuna negatiivne takistus võib kutsuda esile genereerumist, siis kasutatakse seda nähtust mõnikord kasulikult nn. dünatron-ostsillaatorites.

Lõik *ad*, mille ulatuses anoodpinge U_A on madalam varivõrepingest U_{G2}, kujutab endast võimenduse otstarbeks kasutamatut ala, mille tõttu tetroodi juures võimendatud pingete suurus on maksimaalselt piiratud anoodi toitepinge ja varivõrepinge vahega $(U_A - U_{G_2})$ ning võimendamiseks kasutatav ala I_A—U_A tunnusjoonte sarjas asub *d*-st paremal. Sellises tööpiirkonnas avaldab sekundaaremissioon tetroodi toimele pigem soodustavat mõju, sest anoodvool tõuseb, kuna samal ajal varivõrevool (kui lambi võimsusbilansis kasutu) isegi langeb.

c) Võimsustetrood. Võimsuslampide ülesandeks on anoodringi rakendatud alalisvoolu võimsuse muundamine soovitud sagedusega vahelduvvoolu võimsuseks võimalikult suure kasuteguriga. Trioodi tööprotsessis tekkiv anoodpinge muutumine kutsub esile anoodvoolu muutuse vähenemise, mis piirab anoodringis arenevate vahelduvvoolu võimsuste suuruse ja seega ka üldise võimendaja kasuteguri. Nimelt võrepinge negatiivse käigu ajal anoodvool väheneb, mille tagajärjel anoodringis arenev ja seega anoodile mõjuv pinge peab vastavalt suurenema (C 4 c). Kuna trioodis anoodvoolu suurus pole sõltumatu anoodpingest, siis suureneva anoodpinge tagajärjel anoodvool uuesti tõuseb, s. o. mõjub vastupidiselt võre juhtimisele. Sama nähtus kordub ka võrepinge positiivse käigu ajal: anoodvoolu tõus anoodpinge vastava languse tõttu väheneb. Kuna anoodvoolu muutused vähenesid, siis vähenevad vastavalt ka pinge muutused anoodi koormustakisti klemmidel ning järelikult ka anoodringis saadavad vahelduvvoolu võimsused $(P_v = I_A U_A)$.

Tetroodi juures seda liiki piiramisi ei ole, sest seal jääb anoodvool võrejuhtimisest tingitud anoodpinge muutumisest praktiliselt sõltumatuks.

Kuid tetroodi juures tekib omakorda kasuliku võimsuse piiramine anoodpinge kasutamisulatuse vähenemise tagajärjel varivõrepinge võrra, mis on tingitud negatiivse sisetakistuse ja anoodvoolu-anoodpinge ebalineaarsuse ilmnemisest madalate anoodpingete juures.

Sellise puuduse vältimiseks on moodsate võimsustetroodide juures tegelike vajaduste piirides ette võetud rida parandusi ja täiendusi, võrreldes esialgse varivõretetroodiga. Nende täienduste tõttu võivad praeguse aja

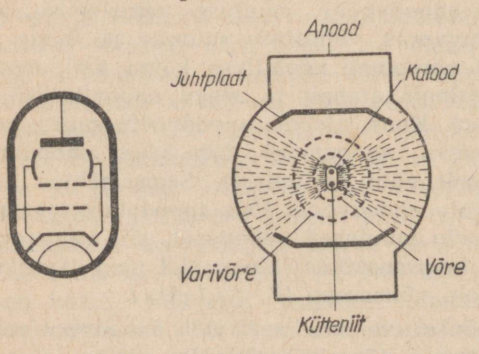
võimsustetroodides anoodpinged kõikuda kõige madalamate väärtusteni, vaatamata sellele, et varivõrele antakse anoodpingega võrdne positiivne toitepinge, mille tulemuseks on tunduv kasuliku võimsuse tõus võrdse anoodi toitevõimsuse juures.

Olulisemad võimsustetroodide juures ettevõetud konstruktiivsed täiendused on järgmised:

1) Anoodi ja varivõre vahekauguse suurendamine, millega varivõre külgetõmbevõime anoodist emiteerunud sekundaarelektronidele väheneb ja teataval kriitilisel kaugusel ka negatiivse sisetakistuse tekkimine kaob.

2) Ühtse sammuga ja kohastikku asetatud võre ja varivõre ehitusviis. Sellist võret läbiv elektronide vool lõhestub kitsasteks jugadeks ning läbib ühtlasi ka kohastikku asetsevad vahed varivõres, sattumata varivõre traatvõrku. Tulemuseks on tunduv varivõrevoolu vähenemine, s. o. sekundaarelektronide sattumise vähenemine varivõrele, sest keskendatult suunatud elektronide voolud, evides tugevat negatiivset elektrilaengut, tõkestavad vastassuunalist sekundaarelektronide liikumist varivõrele. Säärase ehitusviisi juures varivõre muutub võrdlemisi hõredaks, ta varjestusmõju väheneb ning vastavalt suureneb ka võre ja anoodi vaheline mahtuvus (0,1—0,8 pF), mis, olgugi väike võrreldes trioodi vastava mahtuvusega, võib osutuda mittekülladaseks kõrgsagedusvõimendajais.

3) Juhtplaatide asetamine rööbiti elektronide liikumissuunaga anoodi ja varivõre vahelisse elektrivälja mõjupiirkonda (joon. 73). Sellistele juhtplaatidele antakse negatiivne katoodpotentsiaal, mille tõttu katoodist väljakiirgunud ja võret ning varivõret läbinud elektronide voolud keskendatakse tihedalt kindlaisse piiristatud jugadesse. Juhtplaatide mõju anoodist emiteeruvatele sekundaarelektronidele on kahekordne: esiteks juhtplaadid vähendavad negatiivse laengu tagajärjel sekundaarelektronide kiirust ning piiravad nende levimise samadesse piiratud radadesse, kus levivad primaarelektronid, ja teiseks,

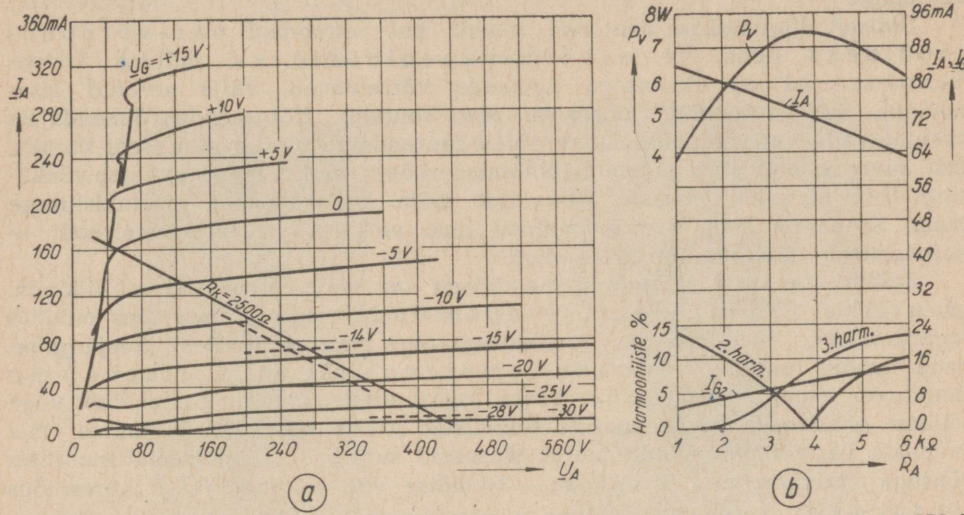


Joon. 73. Moodsa jugatetroodi lülituslik kujutus ja elektrooodide asetus.

keskendatud suure tihedusega primaarelektronide joad suruvad vastusattuvad sekundaarelektronid anoodile tagasi. Sel viisil välditakse praktiliselt täielikult sekundaarelektronide pääs varivõrele ning kaotatakse negatiivse sisetakistuse ilmnemine võimsustetroodis ka kõige madalamate anoodpingete puhul.

Need kolm ehituslikku põhimõtet on leidnud suuremal või väiksemal määral praktilist rakendamist moodsate nn. j u g a t e t r o o d i d e juures, mille nimetus on tuletatud elektronide suunamisest jugadesse juhtplaatide toimel. Jugatetroodid evivad suhteliselt suuri tõuse (4,1—6,0), kõrgeid võimendus-

tegureid (135—215) ja keskmisi sisetakistusi (20 000—50 000) ning vastavalt kõrget kasutegurit. Selliste hüvede tõttu on jugatetrood kõigi teiste võimsuslampide seas omandanud tähtsaima koha. Tüüpilisema jugatetroodi 6L6 tunnusjooned on toodud joonisel 74.



Joon. 74. *a* — jugatetroodi 6L6 anoodvoolu-anoodpinge $I_A - U_A$ tunnusjooni 250 V varivõrepinge U_{G_2} juures. Katkendjoon kujutab koormusjoont ilma signaalipingeta, pidevjoon — koormusjoont maksimaalse signaalipingega; *b* — jugatetroodi 6L6 anoodvoolu (I_A) ja varivõrevoolu (I_{G_2}) väljundvõimsuse (P_v) ja 2. ning 3. harmooniilise sageduse sisaldus väljundis sõltuvalt koormustakistuse (R_A) muutumisest püsivate $U_A = U_{G2} = 250$ V ja $U_{G1} = -14$ V juures.

d) Ruumlaenguvõrega tetrood. Ruumlaenguvõrega tetroodi ehk nn. kahe võrega lambi juures paigutatakse võre ja katoodi vahele nn. ruumlaenguvõre, millele antakse positiivne pinge. Sellise positiivse pingega katoodi vahetus läheduses negatiivne ruumlaeng kompenseerub ning suureneb tunduvalt lambi anoodvoolu-võrepinge tunnusjoone tõus. Sääraste lampidega saavutatakse suhteliselt madalate anoodpingetega, näiteks 10—15 voldiga ja isegi 4,5—6,0 voldiga küllaltki rahuldavaid tulemusi. Kuna väikese anoodpingega on piiratud ka väljundvõimsus, siis käesoleval ajal, mil tendents on väljundvõimsuse suurenemise suunas, on ruumlaenguvõrega tetroodide kasutamisest peaaegu täielikult loobutud.

e) Viie elektroodiga lamp — pentood. Pentoodides on tetroodi juures ilmneva negatiivse sisetakistuse nähtus kõrvaldatud kolmanda, nn. summutusvõre ehk sulgvõre paigutamisega varivõre ja anoodi vahele, millele antakse tavaliselt negatiivne katoodi pinge. Ehituslikult summutusvõre kujutab endast väga hõreda koega metallvõrku, mille ülesanne ja toime on väga lähedane jugatetroodi juures kasutatavate juhtplaatide toimele. Anoodilt emiteeruvad sekundaarelektronid, sattudes summutusvõre negatiivse elektrivälja keskkonda, langevad suuremalt osalt anoodile tagasi ja ainult väike osa pääseb varivõrele. Kuna aga summutusvõre asub primaarelektro-

nide liikumisteel, siis osa primaarelektrone satub summutusvõrele, mille tagajärjel pentoodide varivõrevoolud üldiselt on suuremad vastavate tetroodide varivõrevooludest. Osal pentoodidest tuuakse summutusvõre välja, väliseks ühendamiseks lülitusse, osal on summutusvõred juba lambi sees ühendatud katoodiga.

Üldiselt liigitatakse pentoode samuti kui tetroodegi varivõrepentoodideks (joon. 75) ja võimsuspentoodideks, millede iseloomustussuurused on üksteisega ligikaudu võrreldavad, välja arvatud sisetakistus, mis pentoodide juures on alati suurem. Kõrgsagedusvõimendajais kasutatavaile varivõrepentoodidele tuleb suurendatud sisetakistus isegi kasuks, sest suure sisetakistusega lambi lülitamine rööbiti võnkeringiga avaldab võnkeringi Q-le ja selektiivsusele väiksemat mõju kui väiksema sisetakistusega lamp. Seepärast ongi varivõrepentood oma eelkäija — varivõretetroodi — kasutamiselt täielikult välja tõrjunud.

Rööbiti tavaliste varivõrepentoodidega on välja arendatud eri liik nn. muutliku tõusuga varivõrepentoode, milles lambi tõus muutub logaritmiliselt võre-eelpinge muutmisega õige suurtes piirides. Seejärgi on need lambid tuntud eksponentlampidena ehk nn. variaabel-mü (muutuva μ-ga) lampidena. Tõusu logaritmiline muutumine eeldab väga väikesi ebalineaarseid moonutusi suhteliselt suurte võrekäikude juures, mis tavaliste varivõrepentoodide juures tõuseksid suureks. Tüüpilisemal muutliku tõusuga varivõrepentoodil 6K7 on —3-voldise võre-eelpinge (U_G) juures tõus (S) 1,65 mA/V, kuid võre-eelpinge suurendamisega —52,5 voldile langeb tõus pidevalt 0,002 mA/V. Seda omadust kasutatakse edukalt võimendusastmete võimenduse pidevaks reguleerimiseks kas automaatselt või käsitsi. Konstruktiivselt saavutatakse tõusu muutumine suurtes piirides sellega, et võre samm, s. o. võre tihedus, pole kogu võre ulatuses ühtlane, vaid muutlik. Muutliku tõusuga varivõrepentoodide anood- ja varivõrevoolud on väikeste võre-eelpingete juures tublisti suuremad kui tavaliste varivõrepentoodide voolud.

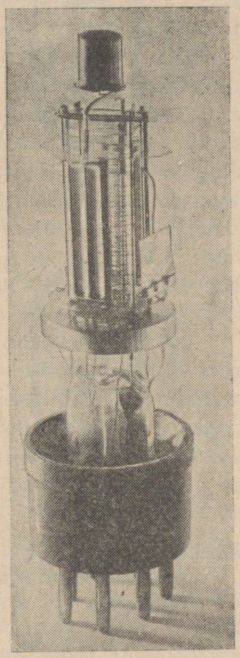
Samuti leiavad pentoodid õige laialdast kasutamist võimsuslampidena. Kuna aga võimsuslampidelt puhtpraktilistel kaalutlustel nõutakse muude võrdsete tingimuste juures võimalikult suurt kasutegurit, väiksemat sisetakistust ja ühtlasemaid anoodvoolu-anoodpinge tunnusjooni, siis võimsuslampidena on eelistatavamaks kujunenud jugatetroodid, milledel on kõik need paremused olemas. Eriti kindel on otsus jugatetroodide kasuks siis, kui küsimuses on suuremate võimsuste ülekandmine.

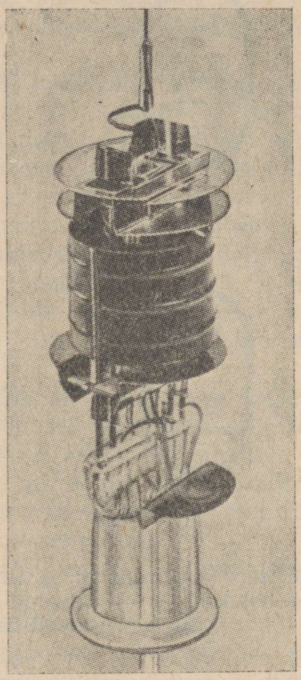
Kui tetroodide ja pentoodide võre ja anoodi vahelised mahtuvused varivõre toimel on väga väikesed, siis samal ajal nende sisend- ja väljundmahtuvused kujunevad suuremaks kui vastavatel trioodidel. Tetroodide ja pentoodide juures omavad nii võre kui ka anood mahtuvust ühtlasi ka varivõre suhtes, mis on vahelduvvoolule kondensaatori kaudu maandatud, järelikult asub võre ja katoodi vaheline mahtuvus rööbiti võre ja varivõre vahelise mahtuvusega ning üldine sisendmahtuvus staatilises olukorras võrdub mõlema summaga. Samal põhjusel suureneb anoodi ja katoodi vaheline mahtuvus anoodi ja varivõre vahelise mahtuvuse võrra. Sääraste lampide staatilised sisend- ja väljundmahtuvused kujunevad keskmiselt 10—15 pF suurusteks.

Ülikõrgsagedustel töötamiseks on välja arendatud eri liik varivõrepentoode, mis evides tõuse 9 mA/V annavad küllaldast võimendust, vaatamata

võnkeringide omaduste langemisele neil sagedusil. Sääraste lampide **esindajaiks** on tüübid 1851, 1852, 1853.

f) Kuue elektroodiga lamp — heksood. Heksood kujutab endast nelja võrega eriotstarbelist lampi, mis on ette nähtud sagedusmuundajana



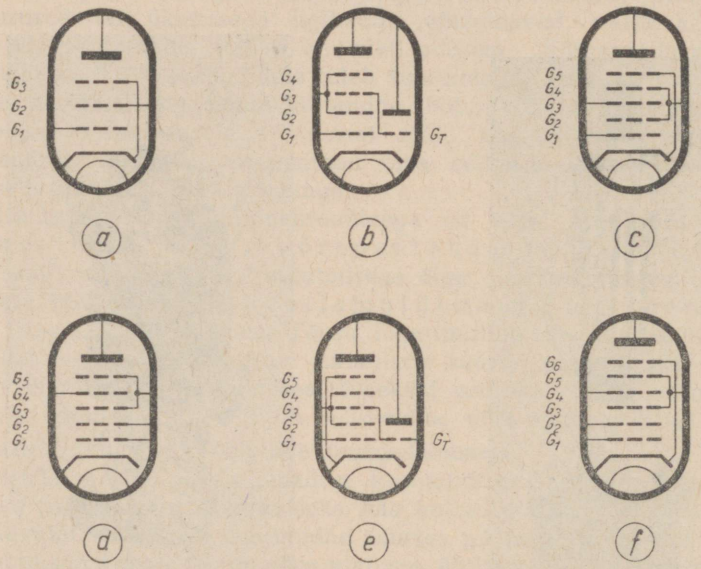


Joon. 75. Varivõrepentoodide sisemine ehitus: vasakul — otsese küttega, paremal — kaudse küttega varivõrepentood.

superheterodüün-vastuvõtjates. Kuna muunduslambi ülesandesse kuulub peale signaalisageduse ja ostsillaatorsageduse segustamise ühtlasi ka ostsillaatorsageduse genereerimine, siis säärased heksood-tüüpi lambid ehitatakse peaaegu eranditult kombineerituna koos triood-ostsillaatoriga ühisesse lambikesta. Seepärast nimetatakse sellist liitlampi triood-heksoodiks. Tavaliselt heksood ja triood omavad ühist katoodi ning heksoodi kolmas võre on lambis kokku ühendatud trioodi võrega, kohapealse võnkesageduse vahetuks ülekandmiseks heksoodi süsteemi.

Heksoodis esimene võre toimib tavalise juhtvõrena, millel on muutlik tõus ja millele lülitatakse muudetav võre-eelpinge koos signaalipingega. Teine ja neljas võre on lambis ühendatud kokku ja toimivad varivõrena, vältides

üheaegselt anoodpinge tagasimõjutamist anoodvoolule, nagu tetroodigi juures, ning kolmanda võre mõjutamist esimesele võrele. Kolmas võre saab trioodilt kohaliku sagedusega pingeid, mis muutuvad oma positiivsete ja negatiivsete amplituudväärtuste piirides. Selle tulemuseks on teise võre keskkonnas ruumlaengu tekkimine ning anoodvoolu sulgemine kolmanda võre



Joon. 76. Mitme elektroodiga ja liitlampide lulituslikke kujutusi: *a* — pentood, *b* — triood-heksood, *c* — heptood-segustuslamp, *d* — heptoodmuundaja (pentagrid), *e* — triood-heptoodmuundaja, *f* — oktood.

negatiivsel pooltsüklil ja anoodvoolu läbilaskmine positiivsel pooltsüklil. Ühises elektronide voolus, mis saabub anoodile, sisalduvad üheaegselt nii signaalipingelt esimese võre kaudu kui ka kohalikult ostsillaatorpingelt kolmanda võre kaudu avaldatud jäljendid.

Kuna heksoodil puudub summutusvõre, siis tema anoodil võib samuti kui tetroodiski tekkida sekundaaremissioon ning põhjustada negatiivse sisetakistuse tekkimist.

Triood-heksoodi tüüpilisemaid esindajaid on 6K8 ja ECH3, mille lülituslik kujutus on toodud joonisel 76 *b*.

g) Seitsme elektroodiga lamp — heptood. Heptood, samuti kui heksoodki, kujutab endast eriotstarbelist sagedusmuundus- või segustuslampi[1].

[1] Segustuslambi all mõeldakse lampi, milles kaks erisageduslikku pinget segustatakse tuikesageduslike pingete saamiseks, mis anoodringis kombineeritult annavad mõlema sisendsageduse summa ja vahe. Muunduslamp kujutab endast eri tüüpi segustuslampi, milles üks sisendsagedustest tekitatakse lambi enda poolt.

Ehitusviisilt ja töötamispõhimõttelt jagunevad heptoodid kolme gruppi: heptood-segustuslamp, heptoodmuundaja (pentagrid) ja triood-heptoodmuundaja.

Heptood-segustuslamp vajab muundajana töötamiseks eraldi ostsillaatorlampi. Oma ehituselt ta erineb triood-heksoodist sellega, et tal puudub trioodosa ja et heptoodosas neljanda võre ja anoodi vahele on asetatud viies võre — summutusvõre, millega välditakse anoodi sekundaaremissioonist tekkiv negatiivse sisetakistuse nähtus, mis heksoodis võis põhjustada lambi töö ebastabiilsust. Tüüpilisemaks selle rühma esindajaks on 6L7, mille lülituslik kujutus on toodud joonisel 76 *c*.

Heptoodmuundaja kujutab endast heksoodi, millele esimese ja teise võre vahele on paigutatud nn. anoodvõre. Konstruktiivselt anoodvõre ei kujutagi endast võret tavalises mõistes, vaid ainult kahte võrede vahele asetatud metallvarrast. Heptoodmuundaja erineb oma töötamispõhimõttelt teistest samalaadilistest lampidest sellega, et tema esimene ja teine võre toimivad ühtlasi kohaliku sageduse ostsillaatorina, kusjuures esimene neist kujutab võret, teine anoodi. Neljandale võrele antakse reguleeritav eelpinge ja signaalipinge. Kolmas ja viies võre kujutavad endast varivõret ja on lambis kokku ühendatud. Nende ülesandeks on vältida esimese ja teise võre mõju neljandale võrele. Heptoodmuundajas seega toimub muundusprotsess puhtelektroniliselt ühes lambis.

Heptoodmuundaja oli esimesi eriotstarbelisi muunduslampe üldse ja püsis sellisena ainulaadsena võrdlemisi kaua. Vaatamata varivõrele pole temas ostsillaatorvõrede (G_1, G_2) mõju signaalvõrele (G_4) siiski kõrvaldatud, mistõttu ta ei ole suuteline tänapäeval oma ülesandeid enam eeskujulikult täitma, eriti lühilainete vastuvõtul, ja on andmas teed moodsamaile viimistletumaile esindajaile, näiteks triood-heptoodile ja triood-heksoodile.

Tüüpilisemaid heptoodmuundajaid on 6A8, mille lülituslik kujutus on toodud joonisel 76 *d*.

Triood-heptoodmuundaja erineb triood-heksoodist ainult sellega, et neljanda võre ja anoodi vahele on asetatud viies võre — summutusvõre, millega välditakse negatiivse sisetakistuse nähtus. Seega triood-heptoodmuundaja kujutab käesoleval arenguastmel viimistletumat muunduslampi. Tüüpilisemaid esindajaid selles rühmas on 6J8 ja ECH4. Viimases neist on heptoodi kolmas võre ja trioodi võre ühendused lambi kestast välja toodud, mis evib suuremat paindlikkust lambi kasutamisel eri lülitustes. Triood-heptoodi lülituslik kujutus on toodud joonisel 76 *e*.

h) Kaheksa elektroodiga lamp — oktood. Oktood kujutab endast heptoodmuundajat, milles viienda võre (varivõre) ja anoodi vahele on asetatud summutusvõre, millega välditakse negatiivse sisetakistuse tekkimist. Muud töötamisomadused on sarnased heptoodmuundajaga. Tüüpilisemaid esindajaid on EK3, mille lülituslik kujutus on näidatud joonisel 76 *f* ja ehitus joonisel 77.

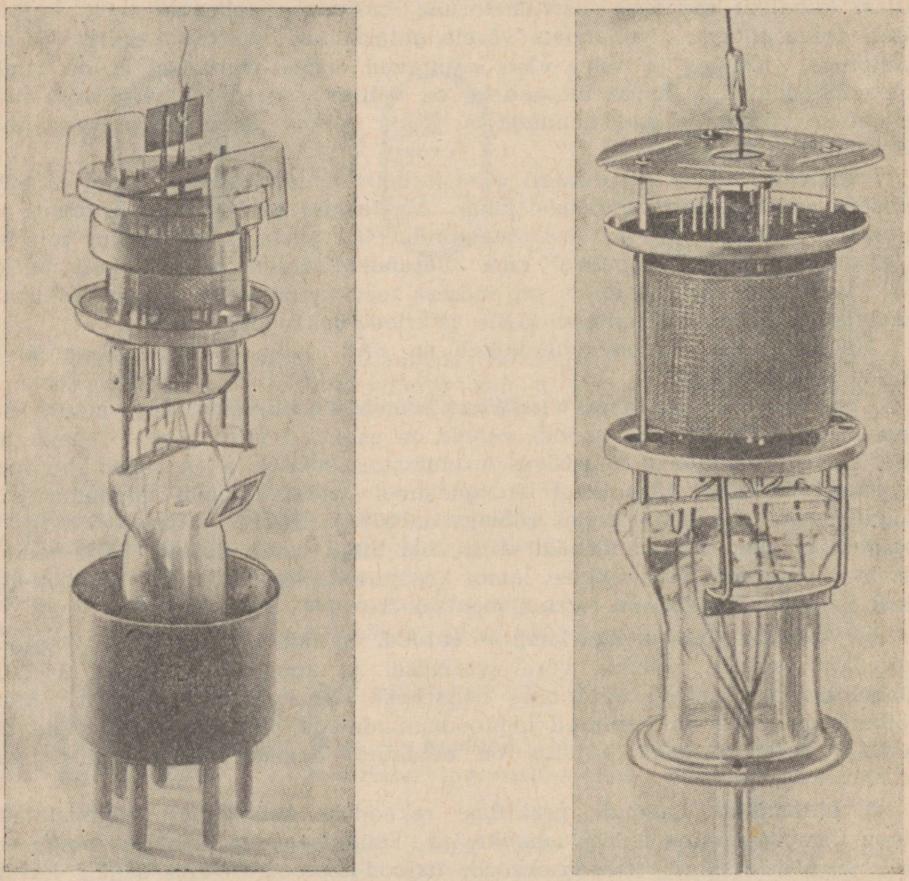
i) Liitlambid. Lampide praktilise rakenduse seisukohalt valmistatakse lampe kombineerituna ühises lambikestas. Tüüpilisemaiks neist on, nagu eespool juba käsiteldud, triood-heksood, triood-heptood. Väga sageli kasutatakse trioodide ja pentoodidega kombineeritud dioode, mille esindajaiks on kaksikdiood-triood (CO-185, 6Г7, 6R7) kaksikdiood-pentood (CO-193, 6B8),

kaksikdiood (6H6), kaksiktriood (CO-243, 6N7). Tavaliselt liitlampidel on ühised katoodid, mõnede üksikute erinevustega, näit. 6H6, millel kumbki dioodi süsteem on teineteisest täielikult isoleeritud.

Kaksikdiood-trioodi ehitus on kujutatud joonisel 68.

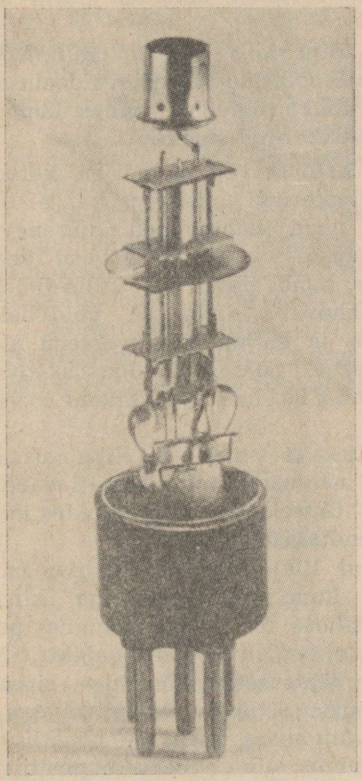
6. Lampide sisendtakistus.

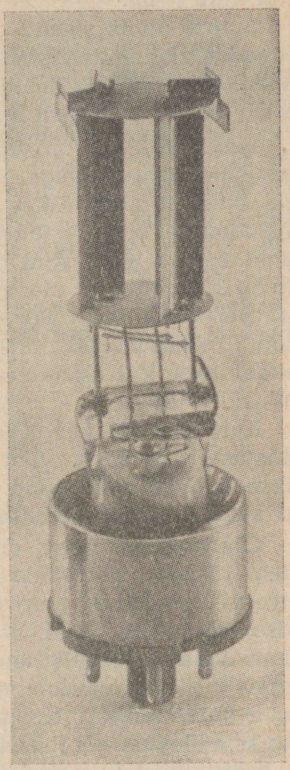
Madalsageduse võimendamisel elektronlamp kujutab endast ideaalset seadist, mis ei tarvita sisendringis mingit võimsust väljundvõimsuse genereerimiseks. Sedasama võib osaliselt öelda elektronlambi kohta ka madal- ja keskraadiosageduste juures, eriti kui kasutatakse varivõrepentoode, milles võre ja anoodi vaheline mahtuvus on vähendatud praktilise piirini. Kuid alalejäänud lambi sisend- ja väljundmahtuvused piiravad ka siingi lülituse valikut. Nimelt lambi võre ja katoodi vahelise mahtuvuse reaktants langeb sa-



Joon. 77. Vasakul triood-heksoodi ja paremal oktoodi sisemine ehitus.

geduse tõusuga; samuti langeb sageduse tõstmisel ka anoodi ja katoodi vahelise mahtuvuse reaktants. Seesugused mahtuvuslikud reaktantsid, asudes lülituses rööbiti lambi anoodkoormusega, mis on järgnevale võimenduslambile ühtlasi võrekoormuseks, põhjustavad üldise anoodkoormuse impedantsi vähe-





Joon. 78. Kaksikdioodide sisemine ehitus: vasakul kaudse küttega kaksikdioodetektor, paremal — kaudse küttega kaksikdiood-õgvendaja 5Ц4-С.

nemist ja seega võimenduse vastavat langust. Kui näiteks võimenduslambi katoodi ja võre vaheline mahtuvus on 10 pF, siis ta reaktants sageduse juures 300 kHz ($\lambda = 1000$ m) võrdub $X_C = \frac{1}{2\pi fC} \approx$ 50 000 oomiga, kuid sagedusel 1,5 MHz ($\lambda = 200$ m) $X_C \approx$ 10 000 oomiga ning sagedusel 30 MHz ($\lambda = 10$ m) $X_C \approx$ ainult 500 oomiga.

Tööolukorras elektronlambi sisendmahtuvus tegelikult tõuseb veelgi, võrreldes ta väärtusega külmas olukorras, osalt seetõttu, et kuumenemisega elektroodid paisuvad, kuid peamiselt ruumlaengu tekkimise tõttu katoodi lä-

heduses. Ruumlaengu tekkimisega katoodi kui kondensaatori plaadi pind kerkib ruumlaengu pinnale, mis asub lähemal võrele, võrreldes katoodi tegeliku pinnaga. Pealegi pole selliselt määrateldav lambi sisendmahtuvus püsiv suurus, vaid sõltub võrepingest: negatiivsema eelpinge puhul on ruumlaeng surutud katoodile lähemale, järelikult mahtuvus on väiksem, positiivsema eelpinge ruumlaengu pind nihkub võrele lähemale, mistõttu mahtuvus vastavalt suureneb. Säärane mahtuvuse muutumine võib tavaliste lampide juures ulatuda kuni 5 pF.

Suurte lambi sisend- ja väljundmahtuvuste tõttu pole seega võimalik kõrgsageduse võimendamist teostada takistus- või paispoolsidestusega, vaid ainsaks võimaluseks jääb võimendamine häälestatud võnkeringidega, milles lampide sisend- ja väljundmahtuvused liituvad rööbiti võnkeringi mahtuvusega.

Senikaua, kui on tegemist ainult võre ja katoodi või anoodi ja katoodi vaheliste mahtuvustega ja kui nad liituvad võnkeringi mahtuvusega, ei teki veel otseselt võimsuskadusid. Tegelikult aga need mahtuvused suurenevad elektroodide ühendusjuhtmete vaheliste mahtuvuste võrra, mis ei asu enam lambi kestas, s. o. vaakumis, vaid lambi soklis, lambi pesas jne., mille dielektrikuks kaugeltki ei ole enam endine ideaalne kaovaba dielektrik, vaid bakeliit, pertinaks jne. Seepärast on lambi sisend- ja väljundmahtuvustega alati seotud võimsuskaod, mis suurenevad sagedusega. Sääraseid võimsuskadusid vaadeldakse kui ekvivalentsel lambi s i s e n d t a k i s t u s e l tekkivaid soojuskadusid (I^2R).

Kuid sisend- ja väljundmahtuvused pole ainsaks lambi kahjuliku sisendtakistuse põhjuseks, vaid neile seltsivad teised nähtused, mida samuti vaadeldakse kui ekvivalentseid sisendtakistusi ja mis üksteisega rööbiti asudes moodustavad üldise, suhteliselt madala, lambi sisendtakistuse.

Olulisemaks neist on elektronide piiratud liikumiskiirus lambis, mida tuleb tõsiselt arvestada ülikõrgeil sagedusil, kuna see paneb iga kindla ehitusviisiga lambi juures sagedusele piiri, millest üle võimendamine pole üldse võimalik. Neil ülikõrgeil sagedusil pole aeg, mis kulub elektronide liikumiseks katoodilt anoodile, sugugi enam tähtsusetu, võrreldes sisendpinge ühe võnkeperioodiga. Võrepinge muutumisega tekib hilinemine anoodvoolu muutumises. Kui näiteks võrepinge muutub suure kiirusega negatiivses suunas, tõukab võre elektrone, mis olid saabumas võrele eelmise positiivse pooltsükli kestel, tagasi katoodile. Samal ajal elektronid, mis parajasti jõudsid läbida võret, eemalduvad samuti võrelt, lähenedes anoodile (või varivõrele). Kuid seesugune olukord ei kujuta endast muud kui võrevoolu tekkimist võrelt sisendringi. Võrepinge muutudes positiivseks tekib analoogiline nähtus vastassuunaliselt. Võrevool absorbeerib võimsust sisendringist, mida võib asendada võimsuskaoga kindla suurusega sisendtakistuses (I^2R). Selline elektronide inertsist tingitud sisendtakistus väheneb pöördvõrdeliselt sageduse ruuduga ja langeb seega sageduse tõustes väga järsult. Kui teda sagedustel alla 15 MHz (λ üle 20 m) veel ei tarvitsenud arvestada, võib ta 60 MHz sagedusel ($\lambda = 5$ m) osutuda väiksemaks kui 2000 oomi.

Kolmandaks, samuti ainult ülikõrgsagedustel esinevaks sisendtakistuse vähenemise põhjuseks on lambi elektroodide, eriti katoodi ning nende ühendusjuhtmete induktiivsus, mille reaktants, vaatamata nende väikestele mõõdetele, kujuneb küllaltki suureks sageduse tõustes, ületades märgatavalt

elektroodide ja nende ühendusjuhtmete vahelise mahtuvusliku reaktantsi. Seepärast ülikõrgsagedusil tuleb ühendusjuhtmete induktiivsust arvestada õige tõsiselt.

Neid elektronlampide väga tõsiseid puudusi ülikõrgsagedustel saab osaliselt vähendada, kuigi mitte täiesti kõrvaldada:

1) elektroodide vahekauguse ja pindalade vähendamisega,

2) elektroodide ühendusjuhtmete lühendamisega miinimumini ja asetamisega üksteisest võimalikult kaugemale, s. o. juhtides nad lambist välja radiaalseis suundades,

3) dielektriliste kadude maksimaalse vähendamisega, kasutades lambis kõrgeväärtuslikku isolatsioonimaterjali ja sedagi võimalikult tagasihoidlikult,

4) anoodpinge tõstmisega, mis annab elektronidele suurema kiiruse,

5) lambi tõusu tõstmisega, mis säilitab võimendust vähenenud sisendtakistuses.

Need meetodid on üksteisega kohati vastuolus, kuid annavad üldise suuna miniatuursete lampide valmistamiseks, milledel oleks eriline elektroodide ehitus ja asetusviis ning milledes elektroodide ühendusjuhtmed oleksid väga lühikesed ja toodaks välja võimalikult ilma soklita (tõrulambid).

Veelgi suurematel, s. o. ultra- ja superkõrgsagedustel (sentimeeter- ja detsimeeterlainetel) pole need meetodid siiski küllaldased, vaid neil sagedustel rakendatakse eri põhimõttel töötavaid lampe.

III peatükk.

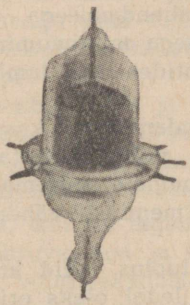
ÜLI-, ULTRA- JA SUPERKÕRGSAGEDUSLAMBID.

7. Miniatuursed lambid.

Sagedustel üle 60 MHz (lainepikkustel alla 5 m) tavalised lambid ja võnkeringid lakkavad töötamast või annavad ebarahuldavaid tulemusi. Eelmises punktis loeteldud nõuete täitmiseks on välja arendatud eri liik miniatuurseid lampe, mida saab kasutada sagedustel kuni 400 MHz (lainepikkustel kuni 0,75 m). Seesuguseid miniatuurseid lampe iseloomustavad nende väikesed elektroodide ja ka üldmõõted ning kohati sokli täielik puudumine. Sel puhul elektroodid tuuakse lambikestast välja tugevate lühikeste juhtmetena, mille külge ühendatakse vahetult lülituselemendid.

Miniatuurlambid eristuvad võimsuselt. Väiksemaid, nn. „tõrulampe", mis väliskujult ja suuruselt meenutavad tammetõrusid, kasutatakse eeskätt vastuvõtjates, kuid ühtlasi ka väikese võimsusega saatjates. Suuremaid lampe kasutatakse saatjates. Tüübilt valmistatakse neid dioodina, trioodina ja varivõrepentoodina. Sääraste trioodide sisend- ja väljundmahtuvused asuvad keskmiselt 1,0—2,0 pF piirides, võre ja anoodi vahelised mahtuvused tublisti alla 1 pF. Pentoodidel on sisend- ja väljundmahtuvused veidi suuremad, kuid võre ja anoodi vahelised mahtuvused on alla 0,02 pF.

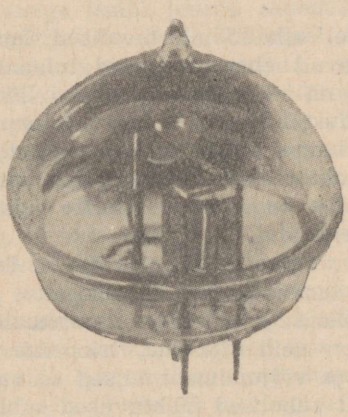
Miniatuurlampide tüüpilisemaid esindajaid „tõrulampide" seeriast on 6Ж1Ж (954), 955, 6К1Ж (956), 4674, „pöiallampide" seeriast 2П1П, saatelampide seeriast 4304-B, 4316-A (joon. 79).



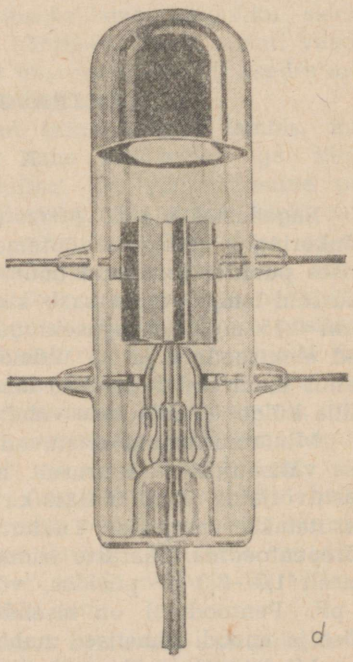
a



b



c

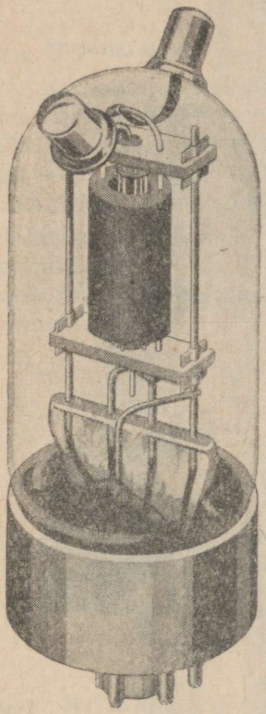


d

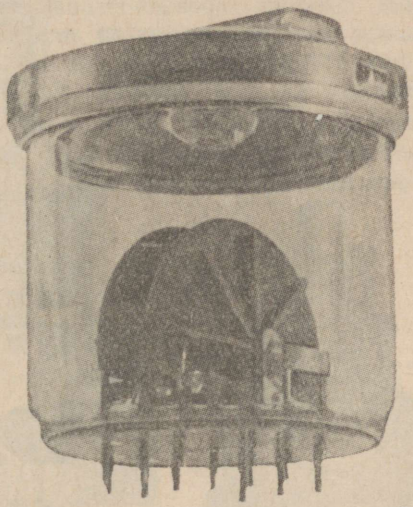
Joon. 79. Väikelampe: *a* — „tõrulamp" — varivõrepentood 954, *b* — „pöiallamp" — võimsuspentood 2П1П, *c* — saatetriood 4316-A, *d* — saatetriood 75.

Rööbiti miniatuurse ehituse põhimõttega on lambi sisendmahtuvuse ja elektroodide juhtmete induktiivsuse vähendamise eesmärgil leidnud praktilist rakendamist veel kaks suunda.

Esimesega neist tuuakse kõik elektroodid lambikestast välja kahe-kolmekordsete juhtmetena, mille ühendamisel rööbiti üldine sisendinduktiivsus vas-



e

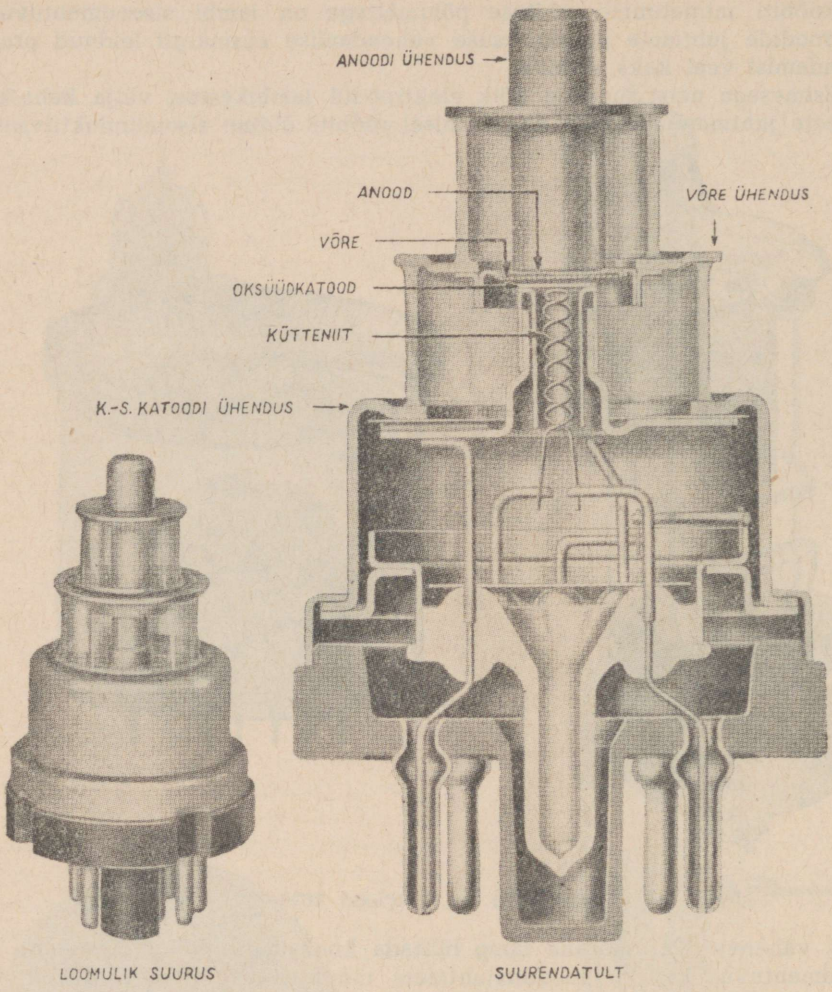


f

Joon. 79. Saatelampe: *e* — triood 1628, *f* — pulsstriood.

tavalt väheneb. Kui säärane lamp lülitada koaksiaalliinilõigule, siis nii lambi sisendmahtuvus kui ka ühendusjuhtmete induktiivsus liitub liinilõigu vastavate elektriliste suurustega, mille tulemusena vähenevad üheaegselt nii kiirguskaod kui ka elektronide läbivusaja mõju (joon. 79 *d*, *e*, *f*).

Teisel juhul vähendatakse elektroodidevahelisi mahtuvusi nende erilise seibitaolise ehitusviisiga, tavalise koaksiaalse ehitusviisi asemel. Ühtlasi vähendab seesugune ehitusviis ka ühendusjuhtmete induktiivsusi, sest seibi võib vaadelda kui lõpmatut arvu rööbitisi juhtmeid, mille induktiivsused sel puhul samuti asetsevad rööbiti. Ühe sellise, nn. „majaklambi" ehituspõhimõte ja läbilõige on kujutatud joonisel 79 *g*. Detsimeeter- ja sentimeeterlaine-tehnikas, kus võnkeringidena kasutatavad liinilõigud asendatakse õõsresonaatoritega, ehitatakse lamp sageli õõsresonaatoriga kokku ühisesse kesta. Sääraseid majaklampe kasutatakse ostsillaatoreina sagedustel kuni 1000 MHz (lainepikkus 30 cm) ja isegi kuni 3000 MHz (lainepikkus 10 cm).



Joon. 79 *g*. „Majaklambi" üldkuju ja sisemine ehitus.

8. Eriliiki elektronseadised.

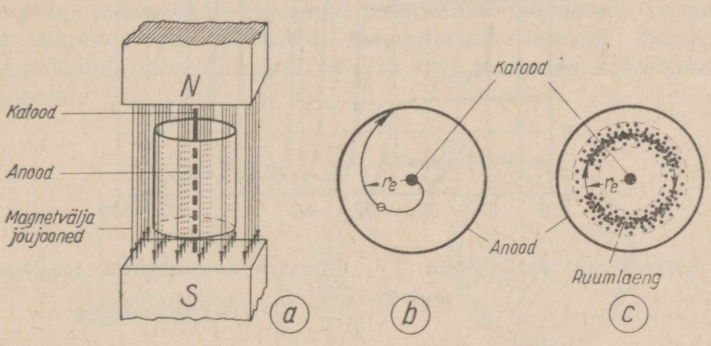
a) Magnetron. Kui mõjutada dioodi katoodilt anoodile lähtuvaid elektrone välise magnetväljaga sääraselt, et magnetilised jõujooned kulgevad röövbiti katoodi ja anoodiga, siis kalduvad elektronid endiselt sirgjooneliselt radiaalselt teelt kõrvale (joon. 80 *a*). Sellist sirgjooneliselt teelt kõrvalekaldumist võib vaadelda kui elektroni tiirlemist mingi keskmise tiirlemisraadiusega r_e (joon. 80 *b*), mille suuruse määravad anoodpingelt (U_A) tekitatava elektrivälja ja rakendatud magnetvälja (H) jõud, mis mõjutavad elektroni. Elektroni

tiirlemisraadius (r_e) on seda suurem, mida suurem on elektrivälja tugevus, s. o. anoodpinge (U_A), ja mida väiksem on magnetvälja tugevus (H). Üeldu matemaatiline kuju on:

$$r_e = 6{,}72 \frac{\sqrt{U_A}}{H} \quad \text{(cm)},$$

kus U_A — voltides, H — örsteedides.

Katoodilt väljakiirguvail elektronidel on algul suhteliselt väike kiirus, mis suureneb elektrivälja tugevuse suurenemisega anoodile lähenemisel[1] Ühtlase magnetvälja tugevusega katoodi ja anoodi vahelises ruumalas liikudes evib elektron seega muutlikku kiirust, millele vastavalt muutub ka ta liikumistee kõverjooneliseks. Sõltuvalt jõudude (U_A, H) tasakaalust omab elektroni liikumistee katoodi lähedal suurimat kõverust, mis muutub sirgjoonelisemaks anoodile lähenedes. Ristiasuva magnetvälja toimel liikuva elektroni tee kujuneb seega pikemaks ja elektroni saabumisaeg anoodile hilineb.

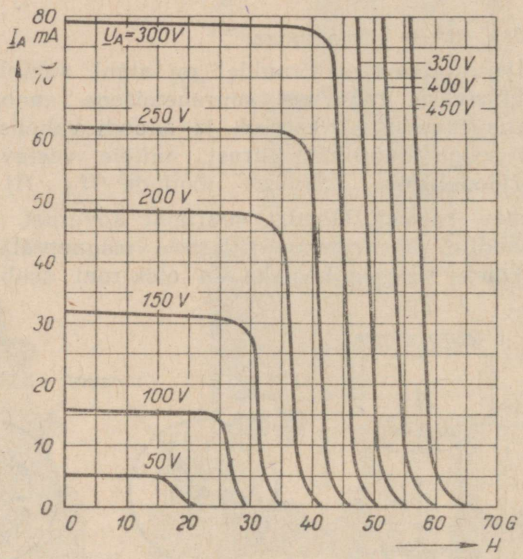


Joon. 80. Elektronide liikumisteede kõverdumine magnetronis välise magnetvälja toimel: *a* — dioodi paigutamine välisesse magnetvälja, *b* — elektroni liikumistee nõrkadel magnetvälja tugevustel, keskmise raadiusega r_e, *c* — elektronide ringikujuline liikumistee suurtel magnetvälja tugevustel, mille juures tekib kontsentriline ruumlaeng.

Kui magnetvälja tugevus tõuseb üle kriitilise piiri, siis võib elektronide tiirlemise raadius r_e kujuneda väiksemaks kui anoodi raadius; selle tagajärjel võtavad elektronid tiirleva suuna katoodi ja anoodi vahelises ruumalas ja tekitavad selles tiheda pöörleva ruumlaengu, mis asetub kontsentriliselt anoodiga (joon. 80 *c*). Seda kontsentrilist ruumlaengut võib vaadelda kui ebakatoodi, s. o. elektronidest küllastatud negatiivselt laetud keskkonda, mis ühelt poolt surub kõik uued katoodilt väljakiirguvad elektronid tagasi katoodile, teiselt poolt on suuteline elektrone eraldama anoodile juhul, kui väljade (U_A, H) endine tasakaal lakkab. Järelikult kriitilise olukorra tekkides lakkab elektronide vool anoodile, s. o. katkeb anoodvool. Anoodvoolu uuesti

[1] Ruumlaengu mõjul pole katoodi ja anoodi vahelises ruumalas elektrivälja tugevus ühtlane, vaid jaguneb anoodi raadiusele logaritmiliselt.

tekitamiseks on tarvis kriitilist olukorda muuta: kas vähendada magnetvälja tugevust H või suurendada elektrivälja tugevust, s. o. anoodpinget U_A. Anoodvoolu I_A sõltuvus magnetvälja tugevusest H ja anoodpingest U_A on toodud joonisel 81.



Joon. 81. Magnetroni anoodvoolu I_A sõltuvus magnetvälja tugevusest H ja anoodpingest U_A.

Nagu kõverjoontest selgub, on kriitilise olukorra piirid väga kitsad: õige väikese magnetvälja tugevuse või anoodpinge muutmisega on võimalik kontrollida anoodvoolu tugevust suurtes piirides. Seda nähtust kasutataksegi magnetroni juures anoodvoolu võnkumiste tekitamiseks, muutes perioodiliselt kas magnetvälja tugevust või anoodpinget.

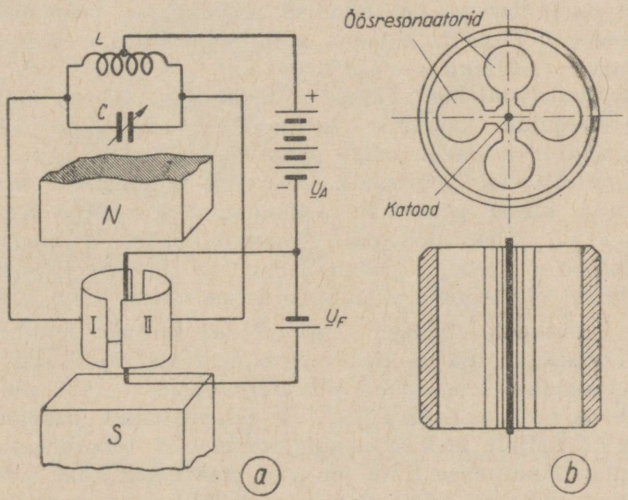
Magnetvälja muutmise põhimõttel töötavaid magnetrone praegu enam praktiliselt ei kasutata peamiselt nende väga väikese kasuteguri tõttu. Seepärast evivad erilist tähtsust magnetronid, milles magnetvälja tugevus on püsiv, kuid muutub anoodpinge.

Anoodpingete muutumise sageduse tõstmiseks, mis on tarvilik kõrgematel sagedustel töötamiseks, lõhestatakse magnetroni anood paaridena segmentideks, mille arvu suurendatakse vastavalt sageduse suurendamisele. Selliselt lõhestatud anoodi segmendid ühendatakse vaheldumisi kokku ja saadud segmentide paarile rakendatakse vahelduva suurusega pinge.

Sõltuvalt elektronide läbimiskiiruse ja anoodpinge vaheldumissageduse suhtest eritellakse kahte liiki magnetron-ostsillaatoreid. Esimest neist, milles antud anoodpinge ning katoodi ja anoodide vahekauguse juures elektronide läbivusaeg on võnkesageduse perioodiga võrreldes lühike, nimetatakse *negatiivse takistusega magnetron-ostsillaatoriks*.

Säärases magnetron-ostsillaatoris, mille lülitus on toodud joonisel 82 *a*, ühendatakse anoodi segmentide vahele võnkering või liinilõik. Anoodpinge lülitamisel tekib võnkeringis võnkumine, mille sagedus määratakse võnkeringi elementidega *LC*. Võnkumisega koos muutub tsükliliselt võnkeringi pinge ja seega ka anoodi segmentidele rakenduv pinge: hetkel, mil I segment omab maksimaalset pinget, on II segmendi pinge minimaalne, teisel pooltsüklil on pinged vastupidised. Seejuures jagunevad elektronide voolud anoodi segmentide vahel pöördvõrdeliselt nendele rakenduvate pingetega, s. o. magnetron käitub kui negatiivne takistus. Negatiivse takistuse ilmnemine põhjustab energia ülekandmist võnkeringi ja selles pidevat võnkumiste säilitamist. Negatiivse takistusega magnetron-ostsillaatoreid, milledel on võrdlemisi väike kasutegur, kuni 20—25%, saab kasutada sagedusteni 100 kuni 1000 MHz (lainepikkusteni kuni 3—0,3 m).

Kui anoodpinge vaheldumise kiirus segmentides kooskõlastada elektronide tiirlemisajaga, siis säärastes tingimustes töötavat magnetron-ostsillaatorit nimetatakse läbivusaja-magnetroniks, sest ta töötamispõhimõte rajaneb elektronide läbimise kestusele magnetronist. Läbivusaja-magnetroni võnkumissagedus määratakse peamiselt magnetroni mõõdetega ja magnet- ning elektrivälja tugevustega. Säärased magnetronid leiavad kasutamist eriti superkõrgsagedustel (lainepikkustel alla 10 cm) ja nende kasutegurid on tunduvalt kõrgemad.



Joon. 82. *a* — Tüüpilise kahesegmendilise anoodiga negatiivse takistusega magnetron-ostsillaatori põhimõtteline lülitus, *b* — neljasegmendilise õõsresonaatoritega läbivusaja-magnetroni ehitus.

Säärastes magnetronides magnetvälja tugevused reguleeritakse nii, et elektronid tiirleksid katoodi ja anoodi vahelises ruumalas, jõudmata anoodile, s. o. anoodvool võrduks praktiliselt nulliga. Sel puhul tiirlevad elektronid moodustavad pöörleva ruumlaenguna pöörleva elektrivälja.

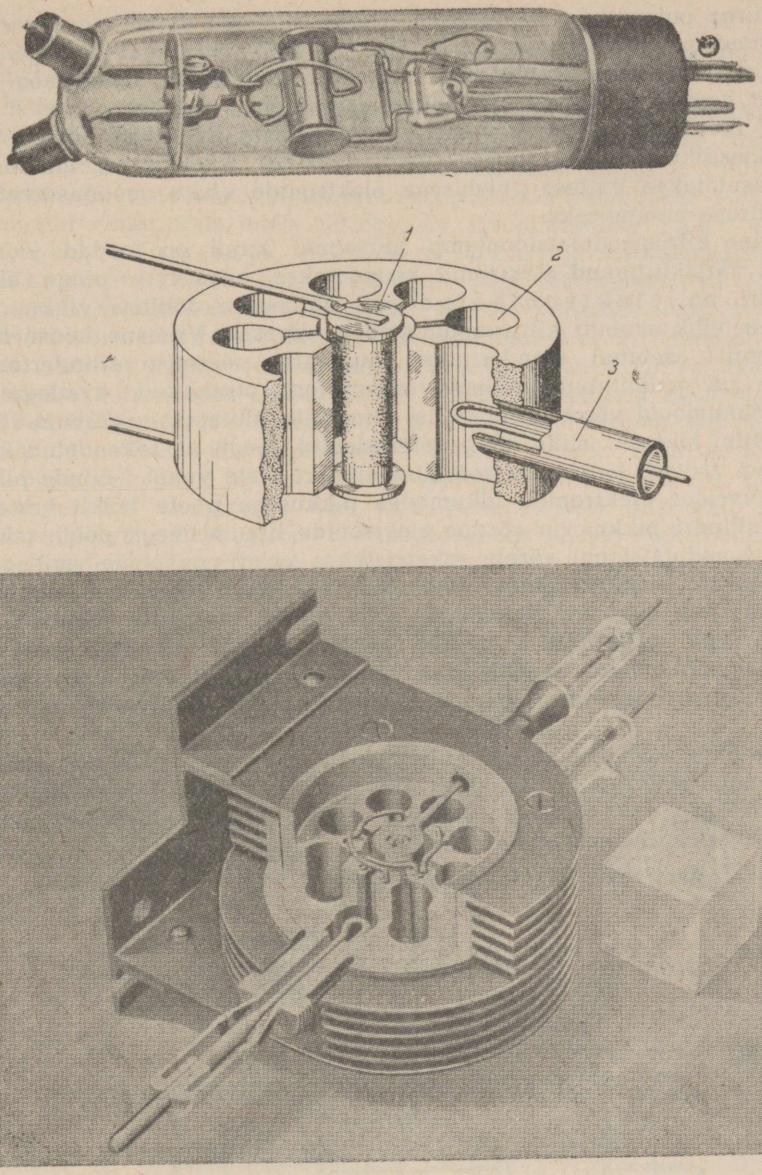
Kui alalisele anoodi segmentide toitepingele liita tsükliliselt muutuv vahelduvpinge, mille periood võrdub pöördvälja ühe pöörde kestusega, siis magnetvälja mõjutusel tekib katoodi ja anoodi segmentide vahelises ruumalas järgmine nähtus. Osa katoodilt kiirgunud elektrone loovutavad oma energia pöörlevale elektriväljale, mille tagajärjel nad ise liituvad teiste tiirlevate elektronidega, katoodile tagasi jõudmata. Osa elektrone saavad pöördväljalt energiat tagasi ja kanduvad uuesti katoodile. Kuna energiat loovutanud elektronid jäävad katoodi ja anoodi segmentide vahelisse ruumalasse kauemaks kui katoodile tagasikanduvad elektronid, siis järelikult tõuseb pöördväljas keskenduv energia pidevalt, mida on võimalik rakendada võnkumiste säilitamiseks anoodi segmentide külge lülitatavas kontsentrilise liini lõigus.

Superkõrgsagedustel kasutatakse kontsentriliste liinilõikude asemel õõsresonaatoreid, mis ehitatakse magnetroniga kokku (joon. 82 *b*). Väga kõrgetel sagedustel jagatakse anood kuni 16 ja enam segmendiks, koos vastava arvu õõsresonaatoritega. Selliselt ehitatud magnetronid toimivad sagedusteni kuni 30 000 MHz ja enam (lainepikkustega kuni 1 cm ja alla), arendades suhteliselt kõrgeid kasutegureid, kuni 65—70%, tippvõimsusi pulsitud saatel kuni 3000 kW 10 cm lainepikkusel ja kuni 100 kW 1 cm lainepikkusel. Magnetroni väljundvõimsusele panevad piiri maksimaalne võimalik anoodpinge, mille juures veel ei teki leeki katoodi ja anoodi vahel, ja katoodi emiteerimisvõime. Tänu magnetronile kui ülivõimsale mikrolainelisele generaatorile võis radaritehnika areneda tänapäeva tehnilise täiuslikkuse tasemele. Kui mitte arvestada toiteseadet, kujutab moodne mitmesegmendiline õõsresonaatoritega magnetron endast terviklikku saatejaama.

b) Kiirusmodulatsioonlamp. Tavalises negatiivse võrega töötavas lambis võrepotentsiaal mõjutab katoodist kiirguvate elektronide liikumiskiirust: negatiivsel pooltsüklil, mil võre omab negatiivseimat potentsiaali, elektronide kiirus väheneb, positiivsel pooltsüklil, mil võre potentsiaal on vähem negatiivne, elektronide kiirus suureneb. Omandatud kiiruse kohaselt võre ja anoodi vahelises ruumalas elektronid seega rühmituvad: negatiivsel pooltsüklil võret läbinud elektronide rühm tervikuna aeglustub, positiivsel pooltsüklil võret läbinud elektronide rühma kiirus suureneb.

Madal- ja keskraadiosagedusil elektronide kiiruse muutumine seoses võrepotentsiaali muutumisega ei avaldu kahjustavalt, sest neil sagedusil on elektronide liikumiskiirus väga suur, võrreldes võrele antava pinge nurksagedusega. Madal- ja keskraadiosagedusil võrepotentsiaalilt saadud kiirenemine ja aeglustumine ei mõjuta elektronlambi normaalset tööprotsessi, sest võrepotentsiaali aeglase muutumise tõttu jõuavad praktiliselt kõik elektronid anoodile õigeaegselt, s. o. taktis võrepotentsiaali tsüklilise muutumisega. Neil sagedusil töötab elektronlamp seega ühtlase kiirusega elektronide vooluga, muutub ainult elektronide voolu tihedus, mida reguleeritakse võrepotentsiaaliga.

Kõrg- ja ülikõrgsagedusil pole elektronide kiiruse muutumine sõltuvalt võrepotentsiaali muutusest enam tähtsuseta, sest läbinud võre ning jõudnud võre ja anoodi vahelisse ruumalasse, liigub ainult osa elektronide voolust tsüklilises taktis võrele rakendatud pingete algkujuga, kuna ülejäänud elektronid liiguvad anoodile väga mitmesuguse kiirusega. Kuna seesuguste elekt-



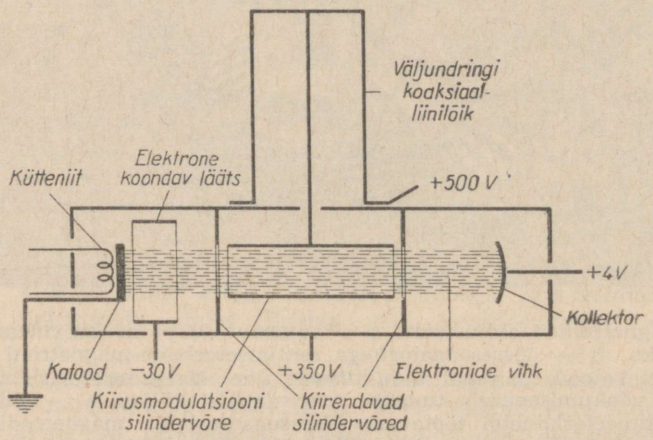
Joon. 83. Magnetronide ehitusviise: *a* — vanemat tüüpi neljasegmendilise magnetroni üldvaade; *b* — õõsresonaatoritega sentimeeterlaine-magnetroni põhimõtteline ehitus; keskel katood, paremal induktiivselt ühe õõsresonaatoriga sidestatud aas, mille kaudu võnkumisenergia tuuakse magnetronist välja; *c* — lõikeline kujutus 150 kW sentimeeterlainetel töötavast õõsresonaatoritega magnetronist; resonantssüsteem koosneb 8 õõsresonaatorist, millest üks (ülesvõttel esiplaanil) on sidestatud koaksiaalkaabliga sidestusaasa kaudu; kooniline osa koaksiaalkaablist toimib impedantside transformaatorina.

ronide kiirus pole faasis võrepotentsiaaliga, siis nad ei võta osa anoodvõimsuse kujundamisest töösagedusel. Lambi anoodi kasutegur järelikult väheneb võrdeliselt kiiruse muutustega ning kui elektronide läbivusaeg läheneb pooltsükli kestusele, muutub väljundvõimsus lõpuks nulliseks.

Seda tavaliste elektronlampide juures esinevat kahjulikku nähtust rakendatakse kasulikult nn. kiirusmodulatsioonlampides, milledes võrepinget kasutatakse ühtlase tihedusega elektronide vihku moodustavate elektronide kiiruse muutmiseks.

Säärane kiirusmodulatsioonlamp lihtsaimal kujul on toodud joonisel 84. Katoodist väljakiirgunud elektronid koondatakse negatiivse pinge all oleva juhtsilindri, nn. „elektronlääts" abil ühtlasesse rööbitisse vihku, misjärel elektronide vihk suubub kiirusmodulatsiooni võresse. Viimane koosneb kahest koaksiaalselt asetatud silindertorust, kusjuures seesmise silindertoru otste lähedusse on paigutatud välimise silindertoru otsakettad, avadega keskel. Kiirusmodulatsiooni võret kujutavaile silindreile lülitatakse väljund-võnkering koaksiaalliini lõiguna, mille võnkepotentsiaalid seega on rakendatud silindrite pilule, mis asetseb ketaste ja seesmise silindri otste vahel. Pilude pikkus on väike, võrreldes elektronide liikumistee pikkusega poole tsükli kestel, kuid seesmise silindri pikkus on võrdne elektronide liikumisteega poole tsükli kestel. Kiirusmodulatsiooni võrele rakendatakse positiivne pinge, millega liitub võnkesageduslik vahelduvpinge. Vastavalt võrepinge suurusele muutub seesmisse silindrisse suubuva elektronide vihu kiirus: positiivse pooltsükli kestel kiirus suureneb, negatiivse pooltsükli kestel väheneb. Seesmises silindris liikudes elektronid mingit lisakiirendust ei omanda, kuid seal tekib nende rühmitumine kiirusrühmadesse, kusjuures vabanev väljavõimsus kandub väljundringi.

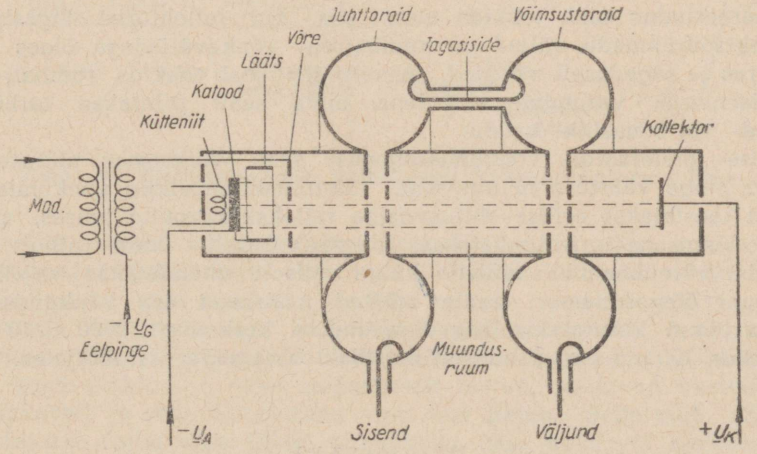
Elektronide vihu jõudmisel kollektorini, mis asub peaaegu nullpotentsiaalil, langeb elektronide liikumiskiirus ning elektronid ise peegelduvad lõpuks kollektorilt positiivsele kestale. Seega kiirusmodulatsioon muundub uuesti tavaliseks tihedusmodulatsiooniks.



Joon. 84. Kiirusmodulatsioonlamp lihtsaimal kujul, mida saab kasutada väikese võimsusega ostsillaatoriks lainepikkustel 5 . . . 50 cm.

Kiirusmodulatsioonlambid töötavad sagedustel kuni 6000 MHz (lainepikkustel üle 5 cm), arendades väljundvõimsusi 100 vatti ja enam, kusjuures kasutegur tõuseb kuni 58%.

c) Klüstron. Klüstron kujutab endast kiirusmodulatsioonlampi, milles kõrgete võnkeringi hindetegurite Q saavutamiseks kasutatakse sisseehitatud õõsresonaatoreid — rumbatrone. Klüstronis, mille ehitus ja lülitus on toodud joonisel 85, katoodist väljakiirgunud elektronid suunatakse elektronläätse süsteemi abil vihku, mis läbib järjekorras toroidikujulise juht-õõsresonaatori ehk rühmitaja, muundusruumi ja toroidikujulise võimsus-õõsresonaatori ehk püüdja. Juht-õõsresonaatorile rakendatav kõrgsageduslik pinge tekitab resonaatori võredel vahelduva elektrivälja, mis mõjutab läbivaid elektrone vastavalt pingesuunale kas kiirendavalt või aeglustavalt. Tulenev kiirusmoduleeritud elektronide vihk läbib väljavaba muundusruumi, kus kiirendatud elektronid mööduvad aeglustatud elektronidest ning rühmituvad kiiruse järgi rühmadesse. Läbides muundusruumi läbivad elektronide rühmad võimsus-õõsresonaatori mõlemad võred, indutseerides nende vahel kõrgsageduslikud pinged. Kuna võimsus-õõsresonaator on häälestatud kiirusmoduleeritud elektronide vihu rühmitussagedusele, siis tekib resonaatoris võnkuv elektriväli. Klüstroni resonantssagedus oleneb elektroodide pingest ja õõsresonaatorite kujust ning mõõdetest, mille valikuga seega on võimalik resonantssagedust muuta.



Joon. 85. Klüstroni põhimõtteline ehitus ja lülitus.

Klüstron on superkõrgsageduslamp. Erinedes oma töötamispõhimõttelt tavalistest elektronlampidest, omandab ta kõrge kasuteguri just neil sagedusil. Teda saab rakendada superkõrgsagedusil, samuti kui tavalist elektronlampi madalamail sagedusil, võimendajana, detektorina ja ostsillaatorina. Võimendajana töötamisel rakendatakse võimendatavad k.-s. pinged koaksiaalliini kaudu klüstroni õõsresonaatorile, kuna võimsus-õõsresonaatori väljundist saadakse koaksiaalliini kaudu võimendatud pinged. Toimides detektorina on sisend analoogiline võimendajaga, kuid võimsus-õõsresonaatori

ja kollektori vahele asetatakse lisavõre, mille vajalikul eelpingestamisel tekib elektronide vihus detekteerimine. Detekteeritud madalsageduslik võimsus saadakse kollektori vooluringist. Ostsillaatorina töötamisel juhitakse osa võimsus-õõsresonaatori võimsusest erilise liinilõigu kaudu tagasi juht-õõsresonaatorisse, mille tagajärjel tekib klüstronis kõrgsagedusliku võimsuse genereerimine. Võimsus juhitakse välja võimsus-õõsresonaatori väljundist koaksiaalkaabli kaudu. Kui rakendada elektronläätse järel asuvale võrele helisageduslik või kõrgsageduslik vahelduvpinge, on võimalik klüstronit kasutada ka modulaatorina, mis on ühevõrra sobiv kasutamiseks nii saatjas kui ka muundajana supervastuvõtjas.

Generaatorina kasutamiseks on tavalisest klüstronist välja arendatud nn. reflekslüstron, mis tavalisest klüstronist erineb sellega, et sisaldab ainult ühte õõsresonaatorit — rumbatroni. See rumbatron täidab üheaegselt nii rühmitaja kui ka püüdja ülesannet. Elektronkahurist saadud kiirenduse tagajärjel elektronide vihk läbib rumbatroni mõlemad võred, millele muundusruumis järgneb elektronide rühmitumine „parvedesse" nagu tavalisegi klüstroni juures. Kuid muundusruumi läbinud, põrkavad elektronid teel asetseva, püsiva negatiivse pinge all oleva reflektori elektriväljaga, mille tulemusena nad pöörduvad tuldud teed tagasi, säilitades seejuures varem omandatud rühmituse. Jõudnud uuesti rumbatroni võredele, annavad elektronid oma energia võrede kaudu rumbatronile ja jäädes ise ilma kiiruseta, langevad kas võredele või elektronkahurile.

Genereerimine saab tekkida ainult siis, kui reflektorist tagasipeegeldvate elektronrühmade väljad on rumbatroni võnkeväljadega õiges faasilises vahekorras ja sageduselt võrdsed. Ainult siis saab tekkida rumbatronis k.-s. võnkumisenergia varumine väljadena, mida sealt juhitakse tarbijani kas koaksiaal- või õõnesliini kaudu.

Sellise generaatori võnkumissagedust saab väiksemas ulatuses muuta reflektori pinge väärtuse muutmisega. Suuremaulatuslikku võnkumissageduse muutmist teostatakse erilise ehitusviisiga reflekslüstronite juures, mis ise ei sisalda õõsresonaatorit-rumbatroni konstruktiivselt, vaid ainult väliseid seibitaolisi võreühendeid, millede külge väliselt ühendatakse vajaliku kuju ja mahuga õõsresonaator, mille mõõted määravad ära võnkumissageduse.

Klüstroneid kasutatakse sagedusastmikus keskmiselt 3000 . . . 10 000 MHz (lainepikkus 10 . . . 3 cm) peamiselt ostsillaatorina supervastuvõtjates.

IV peatükk.

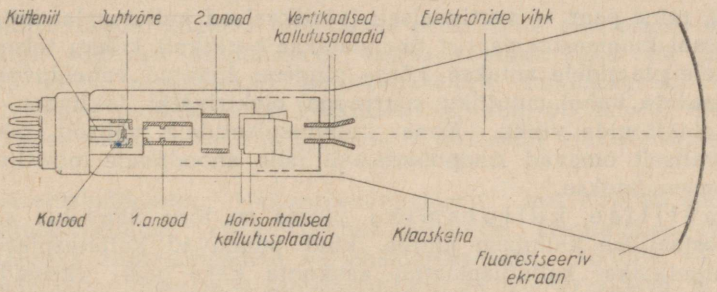
ERIOTSTARBELISED LAMBID.

9. Katoodkiirtetoru.

a) Kallutatava elektronivihuga toru. Katoodkiirtetoru kujutab endast elektronlampi, milles kuumutatud katoodist väljakiirgunud elektronidele antakse algul suur kiirus, seejärel koondatakse elektronid kitsasse vihku ja juhitakse fluorestseerivale ekraanile, mis elektronide vihu põrkamiskohal hakkab helendama. Kitsas elektronide vihk sarnaneb elektrilis-mag-

netilistelt omadustelt voolu all oleva juhtmega ning välised magnet- ja elektriväljad avaldavad talle samasugust mehaanilist mõju kui voolujuhtmelegi. Kuna elektronide kaal ja inerts on väga väikesed, siis säärast vihku saab kasutada perioodiliselt muutuvate väljade suuruse ja kuju visuaalseks näitamiseks isegi kõrgetel sagedustel. Kuna elektronide vihk on üldisemalt tuntud katoodkiirte nimetuse all, siis nimetatakse elektronivihu tekitamise ja visuaalse näitamise seadist k a t o o d k i i r t e t o r u k s.

Selleks, et koondada elektronide vihku võimalikult väikesele pindalale ja anda elektronidele küllaldast kiirust, mis on tarvilik valgusefekti tekitamiseks fluorestseerivale ekraanile põrkamisel, on katoodkiirtetoru ehitus tavalisest elektronlambist erinev. Kõigepealt kasutatakse väikesepinnalist kaudse küttega katoodi selleks, et elektronid kiirguksid võimalikult keskendatult. Katoodimaterjaliks kasutatakse kõrge emiteerimisvõimega aineid, näit. baariumoksüüdi, mis töötavad niivõrd madalail temperatuuridel, et katoodi hõõgumine ei häiri ekraanil vaadeldavat kujutist.



Joon. 86. Elektrostaatilise kallutusega katoodkiirtetoru ehitus.

Katoodile järgneb silindrikujuline juhtvõre, mille ülesandeks on koondada katoodist väljakiirgunud elektronid ühtlasesse kitsasse vihku ja reguleerida ühtlasi ka vihu tihedust. Selleks antakse võrele negatiivne eelpinge, mille suuruse reguleerimisega muudetakse ühtlasi ekraanil tekkiva valguspunkti intensiivsust. Võrelt antud elektronide vihu keskendumine pole aga küllaldane, kuna elektronid, olles negatiivselt laetud, mõjuvad üksteise suhtes eemaletõukavalt ja selle tulemusena vihk teel hajub. Selle mõju vähendamiseks asetatakse torus võre järele täiendavalt üks, kaks või rohkem silindrikujulist anoodi, mis positiivse kõrge pinge all olles annavad elektronidele lisakiirendust ja ühtlasi kontsentreerivad nad veelgi kitsamasse vihku. Seesugust anoodide süsteemi nimetatakse e l e k t r o n l ä ä t s e d e s ü s t e e m i k s, analoogiliselt optilisele läätsesüsteemile. Elektronläätsede süsteemi koos katoodi ja võrega nimetatakse e l e k t r o n k a h u r i k s ehk e l e k t r o n g e n e r a a t o r i k s. Tavaliselt esimesele anoodile antakse muudetav positiivne pinge, millega reguleeritakse elektronide vihu läbimõõt parajaks, kuna teisele anoodile antakse veelgi kõrgem, kuid püsiv pinge ja selle ülesandeks jääb peamiselt elektronidele lisakiiruse andmine (joon. 86). Katoodkiirtetorus võib anoodide arv muutuda vastavalt sellele, kuidas konstruktiivselt on lahendatud elektronläätsede süsteem. Vanemates katoodkiirtetorudes tekita-

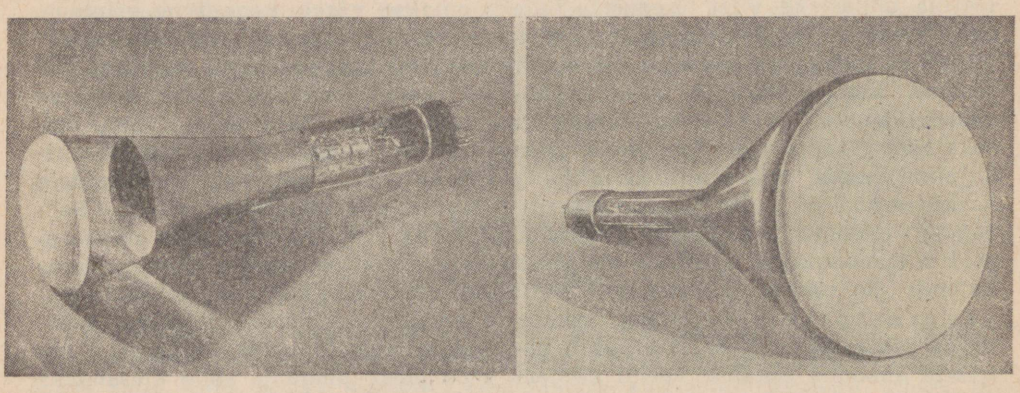
takse elektronide vihu kontsentreerimise otstarbel torus õige hõre gaasiatmosfäär, millest eraldunud ioonid tõkestavad elektronide vihu hajumist. Vähendatud elektronide vihu hajumise tõttu ei vaja gaasiga täidetud torud seevõrra kõrgeid anoodpingeid kui vaakumtorud.

Selliselt keskendatud elektronide vihk tekitab ekraanil ainult väikese terava valgustäpi. Kui elektronide vihku pärast elektronläätsede süsteemi läbimist mõjutada elektri- või magnetväljadega, kaldub elektronide vihk endiselt sirgjooneliselt teelt kõrvale, kusjuures kaldumise suund oleneb välja polaarsusest, kaldumise ulatus — välja tugevusest. Kui kallutamist teostada tsükliliselt muutuva väljaga, hakkab liikuma ekraanil ka valgustäpp, joonestades ekraanile välja muutused.

Väiksemates torudes kasutatakse peamiselt *elektrostaatilist elektronide vihu kallutamist*. Selleks asetatakse elektronide vihu teele pärast teisest anoodist väljumist kaks paari *kallutusplaate*, nagu on näidatud joonisel 86. Plaatide paarid on asetatud üksteise suhtes risti, millest üks paar kallutab elektronide vihku horisontaalselt (horisontaalsed kallutusplaadid), teine paar — vertikaalselt (vertikaalsed kallutusplaadid).

Üks plaat kummastki paarist ühendatakse harilikult kokku teise anoodiga, kuna teistele plaatidele antakse kõrge pingega liidetud vahelduvpinged, mis plaatide paaride vahel muutliku suurusega elektrivälju tekitades kallutavad vastavalt elektronide vihku. Kuna kallutusplaatidele väliselt rakendatavad pinged tavaliselt omavad maapotentsiaali, siis anoodpinge positiivne poolus harilikult maandatakse.

Magnetilise kallutamise juures on toru üldehitus samasugune kui elektrostaatilise kallutuse juures, kuid puuduvad kallutusplaadid. Selle asemel paigutatakse kallutusplaatide asukohta kaks paari väliseid magnetimähiseid, mida läbiv vool tekitab vastavad kallutus-magnetväljad. Magnetiline kallutamisviis on paindlikum kui elektrostaatiline kallutamine, sest magnetimähiste kuju ja paigutusega on võimalik parandada väljade ebasümmeetrilisusest tingitud moonutusi. Seepärast kasutatakse televisiooniseadmeis peamiselt magnetilist kallutamist.



Joon. 87. Vasakul 110 mm ekraani läbimõõduga elektrostaatilise kallutusega katoodkiirtetoru, paremal 390 mm ekraani läbimõõduga magnetilise kallutusega katoodkiirtetoru — kineskoop.

Praktikas on veel kasutamist leidnud sega-kallutussüsteemiga katoodkiirtetorud, milles näiteks vertikaalne kallutus teostatakse magnetiliselt, horisontaalne — elektrostaatiliselt, või ümberpöördult. Samuti valmistatakse eriotstarveteks, näiteks laboratoorseis mõõteabinõudes ja radareis kasutamiseks, kahe kuni nelja elektronkahuriga ja kallutussüsteemiga katoodkiirtetorusid, milledes ühisele fluorestseerivale ekraanile kujutised projekteeruvad üheaegselt mitmelt elektronide vihult.

Ekraan koosneb fluorestseerivate ainete kihist, millega kaetakse toru klaaskesta lapikpõhi. Sõltuvalt ainest omab tekitatav valgus eri värvust ning valgustuse kestust. Näiteks tsinksulfiidi värvus on roheline, kaltsiumvolframaadil sinine, magneesiumvolframaat annab valget värvust. Vastavalt otstarbele valitakse ekraanimaterjal kas lühema või pikema valgustuse kestusega, s. o. järelvalgustusega, mis võib ulatuda 10^{-7} sekundist kuni mitme minutini. Fotoülesvõteteks on sobivam sinine ja pikema järelvalgustusega ekraan, televisiooni otstarbeks (kineskoopides) on kohasem valge värvusega ja keskmise järelvalgustusega ekraan.

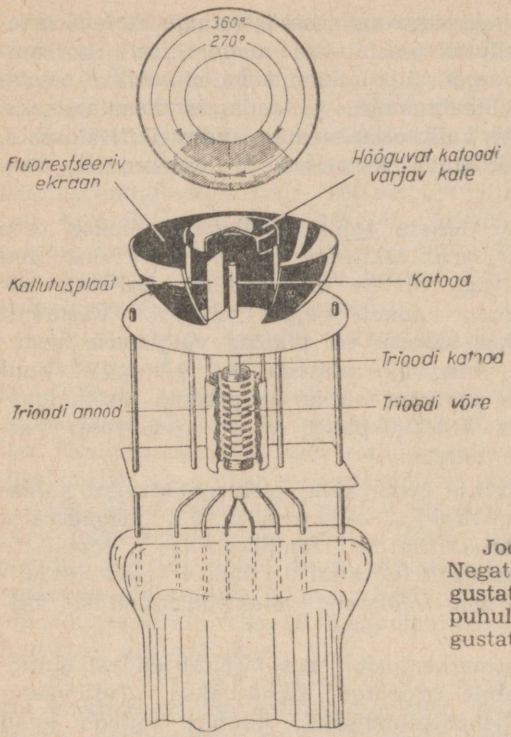
Katoodkiirtetorude omadusi hinnatakse peale selle elektronide vihu kalderulatuse järgi, sõltuvalt kaldumiseks vajatava elektrivälja või magnetvälja tugevusest, mida nimetatakse katoodkiirtetoru tundlikkuseks. Moodsate katoodkiirtetorude tundlikkus on keskmiselt 0,2 kuni 0,5 mm/V elektrostaatilise kallutamise puhul ja 0,04 kuni 0,12 mm/*H* (örsteedi) elektromagnetilisel kallutamisel.

b) Häälestusindikaator. Häälestusindikaatorit[1], mis kujutab endast miniatuurset katoodkiirtetoru kokkuehitatult trioodiga, kasutatakse raadiovastuvõtjates täpseks saatejaamadele väljahäälestamiseks. Rööbiti sellega leiab häälestusindikaator kasutamist pingeindikaatorina mõõteriistades ja mujal.

Häälestusindikaator koosneb (joon. 88) tavalisest kaudse või otsese küttega trioodist, mille katood ulatub ühtlasi indikaatori süsteemi ja tekitab selles elektronide kiirgumist ühtlaselt kõigis radiaalsuundades. Indikaatori katoodi ümber on asetatud kooniline fluorestseeriv ekraan, millele antakse püsiv positiivne pinge. Positiivse ekraanipinge mõjul katoodist kiirguvate elektronide liikumine kiireneb ning põrgates vastu ekraani panevad nad selle helendama. Katoodi ja ekraani vahele on katoodiga rööbiti paigutatud kallutusplaat (mõnel lambitüübil 4 plaati), mis on otseselt ühendatud trioodi anoodiga. Kui anoodi pinge on võrdne ekraani pingega, siis ka kallutusplaadi pinge võrdub ekraani pingega ning ekraani helendumine on kogu pinnal ühtlane. Kui aga anoodi, seega ka kallutusplaadi pinge on madalam, s. o. ekraani pingest negatiivsem, tekib nende vahel elektriväli. See lükkab elektronide vihu kallutusplaadist eemale ning kallutusplaadi ümbruskonnas tekib ekraanil valgustamata sektor laiusega kuni 90°. Valgustamata sektori laius on võrdeline ekraanile ja anoodile rakendatud pinge vahega.

Pingevahe tekib häälestusindikaatori juures siis, kui lülitada trioodi anoodringi takistus (tavaliselt 2MΩ) ja muuta trioodi võrepinget. Võrepinge suurendamisega negatiivses suunas nõrgeneb anoodvool, millega koos väheneb

[1] Rööbiti nimetusega häälestusindikaator tuntakse teda veel „maagilise silma" nimetuse all.



Joon. 88. Häälestusindikaatori ehitus. Negatiivse võrepinge juures on ekraan valgustatud terviklikult (360°), nullise pinge puhul tekib 90° valgustamata sektor (valgustatud sektor 270°, nagu on näidatud joonisel).

pingelang anoodtakisti klemmidel. Küllalt negatiivse võrepinge juures muutub anoodvool nulliseks ning anoodpinge võrdub sel puhul ekraani pingega — ekraan helendub terviklikult. Võrepinge vähendamisel tekib anoodvool ja ühtlasi ka pingelang anoodtakistis, mille tagajärjel anood muutub negatiivsemaks ekraanist — ekraanis tekib valgustamata sektor.

Tüüpilisema häälestusindikaatori 6E5 juures 90° valgustamata sektori tekitamiseks on tarvis trioodi võrepinget vähendada 8 voldilt 0 voldile.

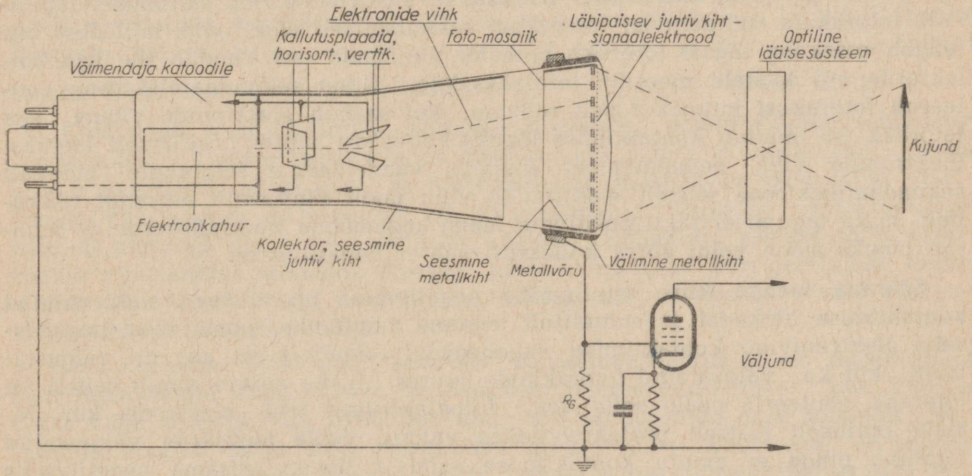
Peale lihtsa häälestusindikaatori valmistatakse indikaatoreid (EM4), milles kaks süsteemi toimivad ühisel ekraanil. Kuna kumbki süsteem evib eri tundlikkust, siis olenevalt trioodide ühisele võrele antud pingest kujunevad kummagi sektori nurgad erinevaiks. Selline indikaator võimaldab jälgida signaalipingete muutumist suurendatud tundlikkusega suurtes piirides.

10. Ikonoskoop.

Televisiooni algaastail kasutatud kujutise mehaanilistest ülesvõtteseadmetest on käesoleval ajal täielikult loobutud ning kujutise ülesvõtmiseks kasutatakse televisioonisaatjais praegu ainult moodsaid elektronseadiseid, millest levinenumaid on ikonoskoop, kujutise lahutaja ja ortikon. Neis kõigis rakendatakse kujutise täppimiseks elektronide vihku, kuid ehituselt ja töötamispõhimõttelt erinevad nad üksteisest.

Joonisel 89 kujutatud ikonoskoop sarnaneb oma ehituselt mitmeti elektrostaatilise kallutusega katoodkiirtetoruga. Ikonoskoobi tähtsamateks osadeks on elektronkahur, horisontaalsed ja vertikaalsed elektronide vihu kallutusplaadid, fotomosaiik, signaalelektrood ja elektronide kollektor. Katoodist, tüürvõrest ja anoodidest koosneva ikonoskoobi elektronkahuri ülesandeks on samuti kui katoodkiirtetorugi juures kitsa ühtlase tihedusega elektronide vihu tekitamine. Samuti teostatakse ikonoskoobis elektronide vihu kallutamist kas elektrostaatiliselt või elektromagnetiliselt; vaadeldaval juhul on kallutamine elektrostaatiline. Tingituna erinevast töötamispõhimõttest lähevad mõlemad seadised muis ehituslikes üksikasjades teineteisest lahku: katoodkiirtetoru fluorestseeriv ekraan asendatakse ikonoskoobis fotomosaiigiga ning täiendatakse signaalelektroodiga ja elektronkollektoriga, mis on tarvilikud kujutise piltelementide valgustuse muundamiseks vastavaiks signaalipingeteks.

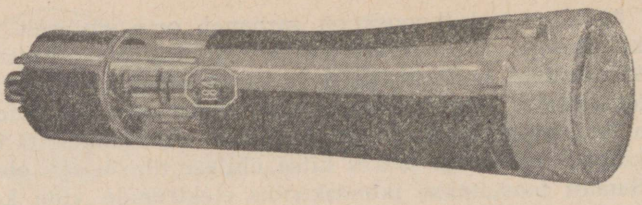
Fotomosaiik koosneb väga suurest arvust üksteisest isoleeritud mikroskoopilistest fotorakukestest, mis on sadestatud läbipaistvast isolatsioonimaterjalist ketta ühele (seesmisele) küljele. Isolatsioonketta teisel küljel asetseb samuti läbipaistev, kuid elektrivoolu juhtiv kiht — signaalelektrood. See elektrood on elektriliselt ühendatud klaaskesta seespool asetseva juhtiva metallikihiga. Seesmise metallikihiga kohakuti on väljaspool klaaskesta kinnitatud teine metallikiht, mis omakorda on ühendatud metallvõruga — signaalipinge klemmiga. Sellise ehitusviisi juures saavutatakse sidestus foto-



Joon. 89. Elektrostaatilise kallutusega ikonoskoobi ehituse ja töötamise põhimõte.

mosaiigi ja signaalipinge klemmi vahel kahe järjestikku asuva mahtuvuse kaudu, mille moodustavad fotomosaiik ja signaalelektrood ning seesmine ja välimine metallikiht.

Ikonoskoobi kesta silindrilise osa seesküljele sadestatud metallikiht moodustab kollektori, mille ülesandeks on koondada fotomosaiigilt emiteeruvaid elektrone.



Joon. 90. Elektrostaatilise kallutussüsteemiga ikonoskoop 1847.

Televisioon-ülesvõtete sooritamisel projekteeritakse ülesvõetav kujutis optilise läätsesüsteemi kaudu mosaiigile, kusjuures elektronkahuris tekitatud elektronide vihuga täpitakse, s. o. kallutatakse järjekorras läbi kõik fotomosaiigile projekteerunud kujutise piltpunktid. Elektronide vihu kulgemisel üle fotomosaiigi pinna areneb välise koormustakisti R_G klemmidel pinge, mille väärtus igal hetkel muutub vastavalt sellele, milline oli sel hetkel mosaiigi täpitava, fotorakkudest koosneva piltpunkti valgustus. Koormustakisti R klemmidel areneva pinge vahelduvat komponenti kasutatakse kui kujutise signaalipinget (pärast vajalikku võimendamist) televisioonisaatja modulaatori tüürimiseks.

Üksikasjalisemal vaatlusel areneb töötamise ajal ikonoskoobis järgmine füüsikaline protsess. Küllaldaselt intensiivse elektronide vihu sattumisel täpitavale fotorakule emiteeruvad fotorakust sekundaarsed elektronid, milledest osa langeb otsekohe tagasi fotoraku pinnale, ülejäänud osa kandub üle kas kollektorile või teistele mosaiigi fotorakkudele. Kuna sekundaarelektrone emiteerub fotorakust mitmekordselt rohkem, kui saabub elektronide vihust, siis fotorakk ise muutub kontaktimise lõpuks kollektori suhtes positiivselt laetuks. Elektronide vihu eemaldumisel kandub vaadeldavale fotorakule pidevalt sekundaarelektrone teistelt elektronide vihu poolt täpitavailt mosaiigi rakkudelt, mille tagajärjel raku positiivne laeng aegamööda neutraliseerub ja muutub lõpuks mõne voldi võrra kollektori suhtes negatiivseks.

Säärane laengu kiire muutumine negatiivsest positiivseks elektronivihu kontaktimise hetkedel ja suhteliselt aeglane muutumine positiivsest negatiivseks elektronivihu kontaktimise vaheaegadel toimub kogu aeg nii valgustamata kui ka valgustatud fotorakkude juures. Vahe seisab ainult selles, et fotorakk emiteerib peale selle veel fotoelektrilisel teel elektrone, kui temale optiliselt läätselt projekteeritakse valgus. Selle tagajärjel valgustatud fotoraku pinge ei muutu kontaktimise vaheaja lõpuks niisama negatiivseks kui valgustamata fotoraku pinge ning järjekordsel kontaktimisel kandub valgustatud fotorakult kollektorile vähem sekundaarelektrone. Kuna fotorakult emiteeritava elektronide voolu tugevus on võrdeline pinnavalgustusega, siis järelikult ka fotomosaiigi rakkudelt kollektorile kanduva elektronide voolu muutumine säilib võrdelisena raku valgustuse muutumisega.

Fotomosaiigi pinna täppimisel kontaktib elektronide vihk järjekorras kõik mosaiigi fotoelemendid. Selle tulemusena areneb mosaiigi ja kollektori vahel muutuva tugevusega elektronide vool — **kujutise signaalvool**, mille

väärtus igal hetkel vastab samal hetkel täpitava mosaiigi piltelemendi valgustusele. Signaalvooluring sulgub koormustakistiga R ja kondensaatoritega, mida moodustavad klaaskesta välimine ja sisemine metallikiht ning signaalelektrood ja fotomosaiik. Koormustakistis R arenev pingelang kujunebki ikonoskoobi väljundsignaalipingeks. Seejuures pole liigne tähele panna, et elektronide vihu siirdumisel nõrgalt valgustatud fotomosaiigi piltpunktilt heledalt valgustatud piltpunktile langeb mosaiigilt kollektorile kanduv elektronide vool. Järelikult ikonoskoobi väljundpinge on negatiivse polaarsusega, mis tähendab, et kujutise heledale piltpunktile vastab negatiivne signaalipinge, tumedale piltpunktile — positiivne signaalipinge.

Ikonoskoobi suureks vooruseks, võrreldes teiste kujutise ülesvõtteseadmetega, tuleb pidada ta suhteliselt kõrgeid väljund-signaalipingeid, mida suudavad käsitada tavaliste elektronlampidega võimendajad. See nähtus seletub ikonoskoobi fotomosaiigi töötamispõhimõttel rajaneva laengute salvestumisega. Kui näiteks täppimisel kujutis lahutatakse 40 000 piltpunktiks ja 1 sekundis vaheldub 25 raami, siis kestab iga üksiku piltpunkti täppimine ainult $1/25 \cdot 40\,000$, s. o. $1/1\,000\,000$ sekundit ehk 1 mikrosekund. Kuna fotoelementidelt emiteeritavate fotoelektronide hulk on võrdeline pinnavalgustusega ja valgustusajaga, siis väga lühikese, 1-mikrosekundilise aja kasutamisel fotoemiteerimiseks oleks täpitava piltpunkti elektronivool ja ühtlasi ka signaalipinge väga väike. Ikonoskoobi mosaiigis kestab fotoelektronide emiteerumine ja seega laengu salvestumine iga piltpunkti fotorakkudes neile langeva valguse toimel kogu kahe teineteisele järgneva elektronivihu poolt sooritatava kontaktimise vaheaja, s. o. $^1/_{25}$ sekundit. Järelikult peaks laengute salvestamise tagajärjel laengute suurus ja ühtlasi signaalipinge tõusma kogu täpitava kujutise ulatuses $\frac{1}{25} : \frac{1}{1\,000\,000} = 40\,000$ korda.

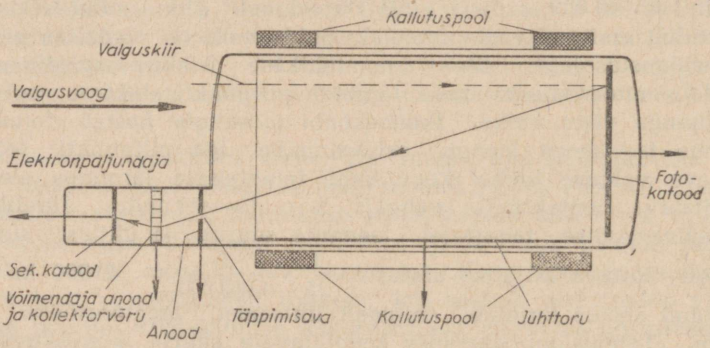
Käsiteldud seadis kujutab ehituselt lihtsamat, amatöörtööks sobivamat ikonoskoopi. Televisioonijaamades kasutatavate suurte ikonoskoopide ehitus erineb peamiselt sellepoolest, et suurepinnaline mosaiik on paigutatud elektronide vihu suhtes kallaknurga all, mis võimaldab kujutise projekteerimist otseselt mosaiigi pinna fototundlikule küljele. Kallakliku asetuse tõttu elektronide vihu suhtes moonduv mosaiigi projektsioonipind korrigeeritakse elektronide vihu täppimisviisi vastava muutmisega, mis on teostatav vaid elektromagnetilise kallutusmeetodiga.

Kuid seesama, ühelt poolt soovitav salvestumisnähtus paneb teiselt poolt piiri ikonoskoobi kasutamisele moodsamas televisioonitehnikas, kus kasutatakse väga kõrgeid, üle 10 000 000 ulatuvaid piltpunktide arve sekundis. Neil juhtudel toimub piltpunktide täppimine niivõrd suurte kiirustega, et salvestumine, kui täppimisest tulenev inerts, halvab kõrge piltpunktide arvuga taoteldud kujutise-ülekande teravuse. Peale selle ei evi ikonoskoop, vaatamata kõrgetele väljund-signaalipingetele, vajalikku valgustundlikkust, mis on tarvilik televisioon-ülesvõtete sooritamisel nõrga valgustuse juures.

Seepärast neis eri tingimustes leiavad kasutamist teised, inertsivabad televisioon-ülesvõtte seadmed.

11. Kujutise lahutaja.

Kujutise lahutajas, mis lihtsustatud kujul on näidatud joonisel 91, projekteeritakse kujutis fotokatoodile. Valguskiirte mõjul emiteerib fotokatood elektrone, mis siis juhttoru abil projekteeritakse ühtlase vihuna elektrostaatiliselt anoodile, mille keskel on väga väike, piltpunkti suurune ava. Täppimisega, mida teostatakse magnetiliselt kallutuspoolide süsteemiga, kallutatakse kindlas järjekorras kogu fotoelektronide vihk anoodis asuva täppimisava suhtes, millest korraga pääseb läbi ainult täpitava piltpunkti elektronide vihk. Sellega saavutatakse, et ava läbivate elektronide hulk vastab täpitava piltpunkti valgustusele fotokatoodil. Kuna ava läbiv elektronide hulk on suhteliselt väga väike, siis juhitakse ta kollektorvõrude toimel kujutise lahutajaga kokku ehitatud elektronpaljundajasse, kus toimub esialgne signaalvoolu võimendamine. Elektronpaljundaja väljundisse lülitatud takisti klemmidel arenevat vahelduvpingelangu kui signaalipinget võimendatakse edasi tavalises võimendajas televisioonisaatja modulaatori tüürimiseks.

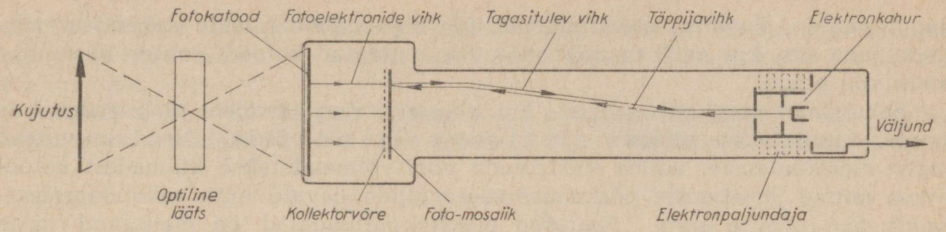


Joon. 91. Kujutise lahutaja ehituse ja töötamise põhimõte.

Kujutise lahutaja töötab praktiliselt inertsivabalt ja seega pole ta kasutamine piiratud suure teravusega televisioonisaadete ülesvõtmisel. Samuti võiks arvata, et ka ta valgustundlikkus on küllalt suur. Tegelikult ei saa seda tundlikkust praktiliselt ära kasutada ta väga nõrga väljundi tõttu, sest eelvõimendajana isegi elektronpaljundaja rakendamisel segunevad nõrga valgustusega kujutise signaalipinged niivõrd elektronide liikumise ebaühtlusest tingitud mürapingetega, et ülekandes kujutis muutub arusaamatuks. Seepärast vajab kujutise lahutajaga televisioon-ülesvõte head kohalikku valgustust.

12. Ortikon.

Ortikonis, mille põhimõtteline ehitus on toodud joonisel 92, projekteeritakse kujutis optilise läätsesüsteemi abil õhukesele fotokatoodile, mille pinnalt emiteeruvad fotoelektronid pikutise magnetvälja toimel (pool asetseb silindriliselt toru jämeda otsa ümber, joonisel pole näidatud) koondatakse röörbitise vihuna fotomosaiigile. Sellega muundub valguskujutis elektroniliseks



Joon. 92. Ortikoni ehituse ja töötamise põhimõte.

kujutiseks, kuna fotokatoodi pinna igast punktist emiteeruv fotoelektronide hulk on võrdeline vaadeldava punkti valgustusega. Fotomosaiigi alus on valmistatud niivõrd õhukesest klaaslehest, et ta elektriline juhtivus sügavusse on küllaldaselt hea, kuid pinda mööda moodustab üksikute fotorakkude vahel suurt takistust. Fotomosaiigi pinnale sattuvate fotoelektronide vihk lööb mosaiigist välja sekundaarelektrone, mis mosaiigi pinnalt lahkudes siirduvad kollektorisse. Sekundaarelektronide kaotamise tagajärjel mosaiigi fotorakud muutuvad positiivselt laetuks, kusjuures tugevama fotoelektronide kiiritusega fotorakkude laeng kujuneb suuremaks, nõrgema kiiritusega fotorakkude laeng väiksemaks, kiiritamata jäänud fotorakud jäävad neutraalseks.

Erinevalt ikonoskoobist toimub ortikoni juures mosaiigi täppimine niivõrd aeglase täppimis-elektronivihuga, et ta mitte ainult ei tekita mosaiigi fotorakkudes sekundaaremissiooni, vaid satub ainult positiivselt laetud fotorakkudele, jättes neutraalsed fotorakud täiesti puudutamata. Elektronivihu täppimine toimub magnetiliselt ortikoni kestale risti asuvate poolide abil.

Fotomosaiigi fotorakkudega kontaktimisel täppimis-elektronivihk annab oma koosseisust ära ainult nii palju elektrone, kui palju on tarvilik fotorakkude positiivse laengu neutraliseerimiseks. Ülejäänud elektronivihu osa, olles moduleeritud kujutise piltpunktide valgustusega, pöördub tuldud teed tagasi ja kandub katoodist positiivsema pinge all olevale ketas-anoodile, kust vihu toimel emiteeruvad sekundaarelektronid ning jätkub võimendamine elektronpaljundajas. Elektronpaljundaja väljundis saadavad signaalipinged on mitusada korda kõrgemad kui tavalise ikonoskoobi väljundpinged. Säärane suure tundlikkusega televisioon-ülesvõtte seade võimaldab teostada kujutise ülesvõtmist õige nõrga valgustuse juures, isegi tikutule valgusel. Tundlikkuse tõstmise saladus seisab ortikoni juures sekundaaremissiooni nähtuse mitmekülgses ärakasutamises ja osaliselt laengute salvestamise põhimõtte rakendamises.

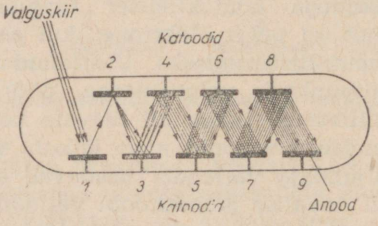
13. Elektronpaljundaja.

Tavaliste elektronlampide juures ilmneb sekundaaremissioon kahjuliku nähtusena, tekitades moonutusi lambi normaalses tööprotsessis. Sekundaaremissiooni tekkimise eeltingimuseks on hea emiteerimisvõimega pindade ja küllaldase kiirusega suunatud elektronide voolu või valguskiirituse olemasolu. Seejuures pole sugugi oluline, et emiteerivad pinnad oleksid kuumutatud olekus, nagu see on tarvilik primaarelektronide voolu tekitamisel termilise emis-

siooni puhul. Tavalise elektronlambi võres ja anoodis tekib sekundaaremissioon juba siis, kui neile on rakendatud kuumutatud katoodi suhtes 10-voldine positiivne pinge.

Sekundaaremissiooni nähtust, kui ebasoovitavat tavaliste elektronlampide juures, kasutatakse edukalt *elektronpaljundajais*. Need kujutavad endist elektronlampe, milles elektronide vool võimendatakse külmadest katoodidest mitme järjekordse põrkamise teel väljalöödavate uute sekundaarelektronide paljunemise arvel. Säärased elektronpaljundajad on muutunud mitte ainult tõsisteks võistlejateks tavalistele elektronlampidele, vaid teatavail juhtudel, näiteks võimendaja televisioon-ülesvõtte seadmeis, on nad muutunud asendamatuiks.

Joonisel 93 on kujutatud elektronpaljundaja töötamispõhimõte, milles neli paari katoode (1 ... 8) asuvad vastakuti, olles üksteise suhtes nihutatud; neile antakse järjekorras kõrgenev positiivne pinge. Esimesele neist (1) langeb valguskiir, mille mõjutusel temast lüüakse välja õige nõrk sekundaarelektronide vihk. See sekundaarelektronide vihk, saades positiivse pinge all olevalt teiselt katoodilt lisakiirenduse, põrkab vastu teist katoodi, kust lööb omakorda välja suurema arvu sekundaarelektrone. Säärane korduv sekundaarelektronide väljalöömine, s. o. endapaljundamine, jätkub järjekorras teisest kuni kaheksanda katoodini, kust lõplikult võimendatud elektronide vihk suundub anoodile. On selge, et anoodis saadav elektronide voolu tugevus on võrdeline esimesele katoodile langeva valguskiire intensiivsusega. Fotorakuna toimivat esimest katoodi võib tarbe korral asendada kuumutatava katoodiga ning selles tekkivat primaarelektronide voolu reguleerida 1. ja 2. katoodi vahele asetatava võre kaudu nagu tavalise elektronlambi juures.



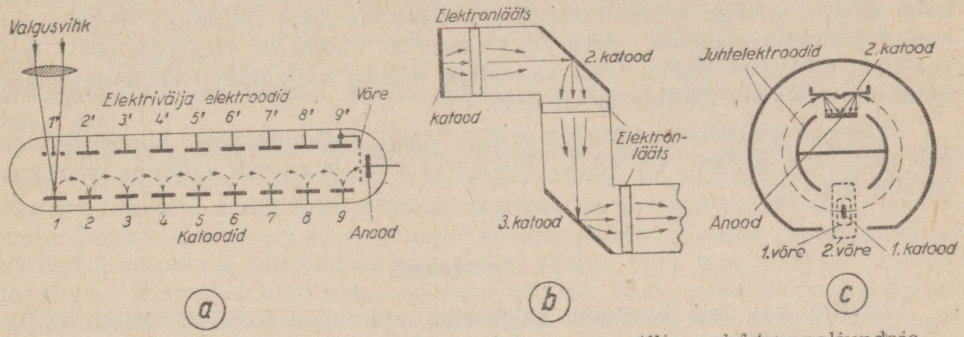
Joon. 93. Elektronpaljundajate ehituse üldpõhimõte.

Sekundaaremissiooni soodustamiseks elektronpaljundajais valmistatakse külmalt töötavad katoodid eriti kõrge emiteerimisvõimega ainest, näiteks tseesium-hõbeoksüüdist, mille juures iga elektron põrkamisel järgmise katoodiga lööb sellest välja 10 ... 12 sekundaarelektroni. Seega joon. 93 kujutatud elektronpaljundaja võimendus ulatuks $10^7 \ldots 10^8$.

Toodud lihtsa põhimõttelise lülituse juures on tõenäoline, et elektronide paljundamise protsess moondub, sest osa sekundaarelektrone juba esimestelt katoodidelt „hüppavad üle" anoodile, mõjutamata vahepealseid katoode. Sel puhul täielik paljundusefekt läheb kaduma ning saadav üldvõimendus kujuneb tunduvalt väiksemaks arvutatust. Seepärast hoitakse praktilistes lülitustes elektronide kulgemine kindlates roobastes kas magnetiliste või elektrostaati-

liste abiväljade toimel. Vastavalt sellele liigitataksegi elektronpaljundajaid magnetilisteks ja elektrostaatilisteks elektronpaljundajateks.

Joonisel 94 *a* on toodud magnetilise elektronpaljundaja lülitus. Selles, nagu eespoolvaadelduski (93), katoodide 1, 2 ... 9 positiivsed pinged progres-



Joon. 94. Elektronpaljundajate tüüpe: *a* — magnetiline elektronpaljundaja, *b* — elektrostaatiline elektronpaljundaja, *c* — sekundaar-elektronlamp

siivselt suurenevad. Sekundaarelektronidele lisakiiruse andmiseks on katoodidele vastakuti asetatud elektrivälja tekitamiseks eri elektroodid 1', 2' ... 9', milledele antakse ühe astme võrra kõrgem pinge, s. o. elektrood 1' saab 2. katoodi, elektrood 2' saab 3. katoodi pinged jne. Ristiasuva magnetvälja mõjutusel, mis tekitatakse välise magnetimähisega (jõujooned on suunatud ülalt alla, risti joonise pinnale), kallutatakse kiirendatud sekundaarelektronid katoodidest 1 ... 9 vastasasuvate elektroodide 1' ... 9' suunas nurga all tagasi paremale, järgnevale katoodile, kust toimub uus järjekordne sekundaarelektronide väljalöömine. Säärane protsess jätkub alates 1. katoodilt 2-le ja lõppedes viimase, 9. katoodiga, millest kiirendatud elektronid koondatakse võre kaudu anoodile. Käesoleval juhul 1. katood toimib fotorakuna, mida kiiritatakse optilises läätses koondatud valgusvihuga.

Elektrostaatilises elektronpaljundajas, mille ehituspõhimõte on kujutatud joonisel 94 *b*, koondatakse katoodist väljakiirguvad elektronid elektrostaatilise elektronläätse abil vihku ja suunatakse 2. katoodile. Kuna 2. katood asetseb 1.-ga 45° nurga all, siis sealt väljakiirguvad sekundaarelektronid kulgevad risti primaarelektronidele. Järjekordse vihkukoondamisega järgneva elektronläätse poolt juhitakse sekundaarelektronide vihk 3. katoodile, kus tekib uus elektronide paljunemine. Seesugune protsess jätkub seni, kuni lõpuks võimendatud elektronide vihk jõuab anoodile.

Kuigi algul elektronpaljundaja oli mõeldud ja välja arendatud väga nõrkade fotoelektriliste voolude võimendamiseks, mida tavaline elektronlamp polnud suuteline teostama, on sekundaarelektronilist võimendamist hakatud kasutama koos normaalse kuumutatud katoodiga ja juhtvõrega. Väga lihtsa ehitusviisiga sekundaarelektronlambilt, milles tekitatakse ainult ühekordne elektronide paljunemine, saavutatakse suuri tõuse — 10 ... 15 mA/V kohta, kuna mitmekordse paljundamisega suurenevad tõusud kuni 130 ja rohkem.

Pealegi on säärased lambid kõlblikud kasutamiseks kuni 300 MHz, sest läbivusaja kaod on neil väikesed.

Üks sääraseid sekundaarelektronlampe on kujutatud joonisel 94 c, millec kuumutatud esimesest katoodist väljakiirguvad elektronid tõmmatakse positiivse pinge all oleva teise võre poolt läbi esimese võre, mis on negatiivselt eelpingestatud ja esineb juhtvõrena. Seejärel elektronid satuvad kahe silindrikujulise juhtelektroodi vahelisse õõnsusse. Piiratuna negatiivselt laetud juhtelektroodidest, jätkavad elektronid teekonda ringikujuliselt seni, kuni nad põrkavad kokku teise katoodiga, millest väljalöödud sekundaarelektronid moodustavad lõpliku anoodvoolu.

Sekundaaremissiooni tõttu on sellise lambi tõus suhteliselt kõrge ja võrdub tüüp 4696 juures 14,5 mA/V, kusjuures võre ja anoodi vaheline mahtuvus on alla 0,004 pF.

14. Fotorakud.

Metallid, kui neid kiiritada valgusega, muutuvad fotoelektriliselt aktiivseks, s. o. hakkavad emiteerima elektrone, kusjuures emiteerimise intensiivsus on võrdeline pinnavalgustusega. Seadist, mis koosneb fotoelektriliselt elektrone emiteerivast katoodist ja elektrone vastuvõtvast elektroodist — anoodist, nimetatakse fotoelemendiks ehk fotorakuks. Elektroodide pinna puhtuse säilitamiseks ning sõltumatu fotoemissiooni saamiseks paigutatakse fotorakud klaas- või kvartskesta, milles on tekitatud kõrge vaakum või milles sisalduvad madala survega inertsed gaasid.

Kuigi kõik metallid evivad fotoelektrilist omadust, ei ole see omadus kõikide metallide juures siiski ühesugune, vaid muutub valguse värvusega, s. o. valguse lainepikkusega. Iga metalli juures eritellakse pikimat lainepikkust, millisel fotoelektriline emissioon tekib. Seepärast leiavad praktilist kasutamist fotorakkude katoodimaterjalina peamiselt seesugused metallid, millede aktiivne valgusspekter asub nähtava valguse ja infrapunase ning pikema ultravioletse valguse piirides. Säärasteks metallideks on tseesium, rubiidium, kaalium, naatrium ja liitium. Tavalised metallid nagu raud, vask, nikkel jne. muutuvad valgustundlikeks alles väga lühikese lainepikkusega ultravioletse valgusega kiiritamisel.

Fotoelektriline emissioon ei ole sõltuv katoodi temperatuurist nii kaua, kui seda ei mõjuta kuumutamisest tekkinud termiline emissioon. Vaakumfotorakkude fotoelektriline emissioon on võrdeline pinnavalgustusega katoodimaterjalile vastavas valgusspektri lõigus. Fotorakkudelt saadavad emissioonvoolud on tunduvalt väiksemad kui elektronlampide emissioonvoolud. Nii näiteks kõige tundlikuma vaakum-fotoraku vool 60-vatise valgustuslambi kiiritusel 25 cm kauguselt võrdub kõigest 10 ... 20 μA.

Fotoelektrilisel teel emiteerunud elektronidele kiirenduse andmiseks lülitatakse, samuti kui elektronlampidegi juures, anoodi ja katoodi vooluringi vooluallikas pingega kuni 60 ... 100 volti. Vaakum-fotorakkudelt saadav emissioonvool küllastub juba suhteliselt madalate anoodpingete juures (20 ... 30 V), kuid gaas-fotorakkude emissioonvool tõuseb pidevalt anoodpinge tõustes (fotorakus tekkiva ioniseerimise tagajärjel). Kuigi gaas-fotorakud on

suurema valgustundlikkusega[1] kui vaakum-fotorakud, pole nad rakendatavad neil juhtudel, kus on tarvilik täpne pinnavalgustuse ja voolutugevuse muudatuste lineaarsusest kinnipidamine, eriti valgustugevuse muutumisel suurte sagedustega, näiteks televisioonisaate ülesvõttel, sest gaas-fotoraku fotovool evib teatavat inertsi. Muudeks, vähemtäpseteks ülesanneteks on gaas-fotorakk oma suurema tundlikkuse tõttu isegi otstarbekam.

Fotorakke kasutatakse valgustugevuse mõõtmiseks (fotomeetrias), fotokontrollseadmeis (liikuvate esemete loendamiseks valgusvihu katkemise teel, esemete liigitamiseks värvuste järgi jne.) ja voolu moduleerimiseks valguse intensiivsuse muutumise järgi (pilt-telegraafis, televisioonis, kinoseadmeis jne.).

Peale fotoelektrilise emissiooni eritellakse mõnede ainete juures veel fotojuhtivuse nähtust, mis seisab selles, et valgusega kiiritamisel õhukese ainekihi elektriline juhtivus suureneb (s. o. takistus langeb). Üldisemalt tuntud seleenraku juures voolujuhtivuse muutus voolujuhtivuse võrdlusel valgusega kiiritamisel ja pimedas ulatub 10 : 1 kuni 1000 : 1. Seleenrakkudest läbivad voolud ulatuvad kuni 0,5 mA. Kuna seleenrakkudes pinnavalgustuse ja voolutugevuse suhe pole kuigi lineaarne, siis kasutatakse neid vaid vähem vastutusrikastel juhtudel ja peamiselt ainult indikaatoritena.

15. Regulaatorlambid.

Raadioseadmete korrapärase ja häireteta töötamise üheks eeltingimuseks on, et lampidele antavad toitepinged oleksid püsivad, vaatamata kohalike vooluallikate pingekõikumistele, ning et raadioseadmeis endis ei tekiks häireid käivitamisel, s. o. toitevoolude lülitamise hetkel, mil toidetavais esemeis (eeskätt lampides) üleminekul külmast olekust kuumutatud olekusse pole veel tekkinud normaalne tööolukord.

Seesuguste puuduste vähendamiseks kasutatakse rida gaasiga täidetud esemeid, mis kuigi mitte alati oma töötamispõhimõttelt, siis vähemalt väliselt meenutavad elektronlampe. Seepärast käsitellakse sääraseid esemeid käesolevas punktis regulaatorlampidena.

a) Barreter. Barretreiks nimetatakse sääraseid lisatakisteid, mis hoiavad neist läbivoolava voolutugevuse püsivana klemmipinge muutumisel teatavais piirides. Barretreid kasutatakse eeskätt järjestikku köetavate lampide küttevoolu püsivana hoidmiseks, eriti käivitushetkel. Et raadiolampide katoodid töötavad keskmiselt 600 kuni 700°C temperatuuridel, siis kütteniidi takistus üleminekul külmast olekust kuumutatud olekusse suureneb keskmiselt 10 . . . 12 korda. Kuna lampide kütteniidid on dimensioneeritud töötamiseks kuumutatud olekus, siis lülitushetkel areneb küttevoolu tugevus samuti 10 . . . 12-kordseks, mis kahjustab lampide normaalset kasutuse iga. Seepärast lülitatakse köetavaile lampidele järjestikku barreter, mis tunduvalt vähendab voolu kõikumist. Ühtlasi kasutatakse barretreid lampidega järjestikuselt lülitatuna ka patareiaparaatides, kus toitepinge muutub veelgi suuremates piirides, kuna

[1] Valgustundlikkuseks nimetatakse emiteeriva voolu tugevust mikroamprites valgusvoo ühiku kohta luumenites, s. o. μA/Lm.

lisaks kütteniitide takistuse muutumisele üleminekul külmast olekust kuumutatud olekusse muutub suurtes piirides veel küttepatarei või aku klemmipinge. Mõnikord lülitatakse barretrid raadioseadme võrgu toitetrafo primaarmähisega järjestikku, et vähendada võrgupinge kõikumistest tingitud toitevoolu tugevuse muutumist ja säilitada seega pinge püsivust raadioseadmes terviklikult.

Barreter koosneb tavaliselt vesiniku atmosfääri paigutatud rauast kütteniidist. Ta toimimispõhimõte rajaneb kõrgele raua takistuse temperatuuritegurile (B 3) ning vesiniku heale soojusjuhtivusele. Barretrile elektripinge rakendamisel püsib lineaarsus pinge ja barretrit läbiva voolutugevuse vahel seni, kuni kütteniidi temperatuuri tõus on madal ja temperatuuri tõusust tingitud takistuse juurdekasv väike. Kriitilise pinge juures muutuvad nii soojuse juurdekasv kui ka takistuse tõus seevõrra suurteks, et voolutugevus jääb praktiliselt püsivaks isegi pinge suurtes piirides muutumisel. Vesiniku atmosfääri hea soojusjuhtivuse tõttu tekib samal ajal teatud tasakaal soojuse juurdetuleku ja välisesse ümbruskonda ärajuhtimise vahel. Alles pärast teist pinge kriitilist piiri, mil vesiniku keskkond ei suuda enam juurdetulevat soojushulka vähendada ärajuhtimise teel, lõpeb barretri reguleerimistoime.

Sellise omaduse tõttu hoiab barreter tekkivate pingemuutuste korral voolu võrgus püsivana, kuid ei suuda vältida eelmainitud ülevoolu tekkimist seadme startimisel.

Seepärast kasutatakse barretreid koos urdoks-takistitega[1], mis evivad külmalt väga suurt, kuid soojalt, pärast voolu läbimist, väikest takistust. Seega hoiab urdoks-takistiga kombineeritud barreter küttevoolu püsivana teatavais toitepinge muutuste piirides ja ühtlasi kaitseb lampe ülevoolu eest startimisel.

Barreter-urdokseid valmistatakse normaalselt voolutugevustele 0,05, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5 amprit reguleeritava pingega 1...260 voldini.

b) Pingestabilisaatorid. Pingestabilisaatorid kujutavad endist kahe elektroodiga lampe, mille elektroodid on paigutatud hõredasse inertsete gaaside, tavaliselt neooni-heeliumi segu keskkonda. Seesugustes lampides katoode ei kuumutata, mistõttu madalatel pingetel elektronide vool on väga nõrk. Anoodpinge tõstmisega kriitilise, nn. süütepingeni, mis oleneb gaasi koostisest ja hõredusest ning võrdub keskmiselt 70...180 voldiga, tekib lambis gaaside ioniseerumine; sellega kaasneb järsk anoodvoolu tõus ja gaaside omapärane helkimine, mis harilikult on roosaka värvusega. Helkimise omaduse järgi tuntakse neid lampe üldisemalt huumlampide nimetuse all. Ioniseerumise nähtus seletub sellega, et katoodilt anoodile liikuvad elektronid omandavad süütepinge juures niivõrd suure kiiruse, et gaasi molekulid nendega kokku põrgates purunevad elektronideks ja positiivseteks ioonideks. Selliselt tekitatud vabad elektronid omandavad anoodi külgetõmbe mõjul samuti küllaldase kiiruse teiste gaasi molekulide purustamiseks. Säärase protsessi pideva arenemise tulemuseks on anoodvoolu järsk tõus, mis võib tõusta lambile ohtlike suurusteni. Seepärast lülitatakse huumlampidele vooluallikaga järjestikku piiramistakistus, millega välditakse anoodvoolu tõusmine üle lubatavate väärtuste. Pärast seda, kui ioniseerumine kord on tekkinud, võib anoodpinget teatud piirides vähendada alla süütepinge väärtuse, ilma et ioni-

[1] Urdoks-takisti valmistatakse uraani dioksüüdist.

seerumine katkeks. Alles tunduva anoodpinge vähendamisega kuni nn. kustumispingeni lakkab ioniseerumine, kusjuures anoodvool langeb järsult minimaalsele väärtusele. Süüte- ja kustumispinged pole huumlambi juures täpselt püsivad suurused, vaid kõiguvad väiksemais piirides, olenedes lambi töörežiimist. Korrapärase ja ühtlase koormusega pideval töötamisel on konstantsus praktiliseks otstarbeks küllalt suur, kuid peale pikemaajalist seismist tõusevad süüte- ja tööpinged. Normaalsete töötamisomaduste taastamiseks on tarvilik huumlampi enne töösse rakendamist mõne tunni kestel normaalse koormusvooluga „sisse töötada". Sama on kehtiv ka uute lampide kasutusele võtmisel.

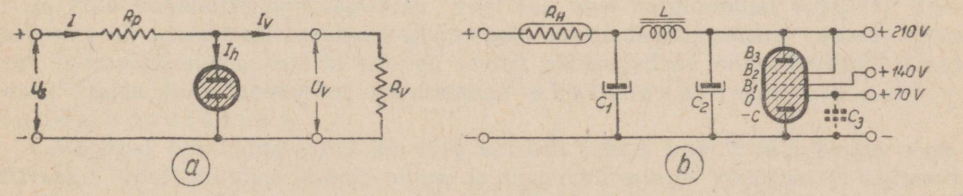
Huumlambi stabiliseerimisvõime seisab selles, et pärast süütumist suhteliselt väikesed pingekõikumised kutsuvad esile võrdlemisi suuri anoodvoolu muutusi. Näiteks 2-voldine pinge muutumine võib tekitada huumlambis 20-milliamprilise anoodvoolu muutuse. Selle omaduse ärakasutamiseks pinge stabiliseerimise otstarbel lülitatakse huumlamp rööbiti voolutarbijaga (R_v), milles soovitakse pinget stabiliseerida, ning vooluallikaga järjestikku lülitatakse piiramistakistus R_p, vastavalt joonisele 95 *a*. Stabiliseerimislülituse koostamisel tuleb arvestada, et huumlambi stabiliseerimisvõime säilib vaid süütepinge ja kustumispinge piirides, mistõttu toitepinge peab olema lambi süütepingest kõrgem keskmiselt 30%. Kuna enamkasutatavate huumlampide anoodvool on piiratud harilikult 30 mA, siis pinge heaks stabiliseerimiseks tuleb toitevool jaotada nii, et keskmiselt 25% (5 . . . 10 mA) läbiks huumlampi ja ülejäänud 75% (25 . . . 20 mA) läheks koormusse.

Piiramistakistuse väärtuse piiravad ühelt poolt maksimaalselt lubatav huumlambi vool (I_{Hmax}) nullise koormusvoolu juures ja teiselt poolt stabiliseerimiseks vajalik minimaalne huumlambi vool (I_{Hmin}). Näiteks, kui toitepinge U_s = 250 V, tööpinge U_v = 150 V, maksimaalne huumlambi vool I_{Hmax} = = 30 mA. siis piiramistakistuse R_p minimaalväärtus kujuneks

$$R_{p\,min} = \frac{U_s - U_v}{I_{Hmax}} = \frac{250 - 150}{0{,}03} \approx 3300\,\Omega .$$

Maksimaalne piiramistakistuse suurus määratakse keskmise koormusvoolu järgi. Üldiselt on pinge stabiliseerimine seda parem, mida suurem on piiramistakistus. Toitepinge kõikumiste puhul 10% piirides või koormusvoolu kõikumiste puhul 25% piirides säärane stabiliseerimisseadis kindlustab pingestabiilsust keskmiselt 1% ulatuses.

Tüüpilisemaid pingestabiliseerimiseks kasutatavaid huumlampe on HT-2, CH-1, VR 105-30, VR 150-30, 7475.



Joon. 95. Pingestabiliseerimise lülitusi: *a* — tavalise huumlambiga, *b* — eritüüp. huumstabilisaatoriga — stabilovoldiga.

Peale lihtsate huumlampide kasutatakse veel erilisi pingejagajaid-stabilisaatorlampe, nn. stabilovolte, mis eelmistest erinevad sellega, et katoodi ja anoodi vahele on lampi paigutatud mitu lisaelektroodi, millede vahel üldine stabiliseeritav pinge jaguneb mitmeks võrdseks osaks (joon. 95 *b*). Seega stabilovolt kujutab endast ühisesse klaaskolbi paigutatud mitmekordset huumlampi, kusjuures iga kahe naaberelektroodi vahel stabiliseeritav pinge võrdub 70 voldiga. Stabilovoldi poolt stabiliseeritav pinge on maksimaalselt 280 volti, mida stabilovolt jaotab astmeliselt 70 voldi kaupa, s. o. 210 V, 140 V ja 70 V. Pingejagajana töötades piirdub üldine stabiliseeritav voolutugevus stabilisaatori STV 280/80 juures 80 mA, mis on ühtlasi stabilisaatori enda lubatav maksimaalne vool. Seejuures on stabiliseeritavad pinged üksteisest sõltumatud, vaatamata voolutugevuste muutumisele üksikuis haruühendustes. Toitepinge muutumisel 10% piirides vähenevad stabiliseeritud pinge kõikumised kuni 0,1%. Suure stabiliseerimisvõime tõttu tõstab stabilovolt tunduvalt ka filtreerimist, mis tavalise paispoolist ja kondensaatoritest (L, C_1, C_2) koosneva filtriga osutus mitteküllaldaseks. Tarbe korral võib haruühendeid šuntida täiendavate filterkondensaatoritega (C_3).

Kui stabiliseeritav pinge on alla 280 voldi, saab stabilisaatorit kasutada sel teel, et ühendada osa elektroode omavahel vajaduse järgi lühisesse. Joonisel 95 *b* on näidatud lülitus 210-voldise pinge stabiliseerimiseks.

Piiramistakistuse määramine stabilovoldi juures toimub samal põhimõttel kui harilikugi huumlambi juures.

Peale stabiliseerimisülesande kasutatakse huumlampe veel pingeindikaatoritena, pingepiirajatena ja katoodkiirtetoru juures kallutuspinge generaatorina.

D. VÕIMENDAJA TEOORIA.

I peatükk.

ELEKTRONLAMP VÕIMENDAJANA.

Kõigist elektronlambi laialdastest rakendusaladest on kõige rohkem levinud elektronlambi rakendamine võimendajana. Võimendajat kasutatakse siis, kui on tarvis nõrka vahelduvvoolu või võimsust suurendada kasutamisotstarbele vastavate väärtusteni. Kuna võimendusprotsessi mõjutavad paljud muutlikud tegurid, nagu sagedus, võimendaja lülituselementide elektrilised omadused ja võimenduslamp ise, siis kujunevad võimendamise juures ilmnevad füüsikalised nähtused küllaltki keerukaks ja seepärast on käesolev peatükk mõeldud tervikuna võimendaja tööprotsessi lähemaks selgitamiseks.

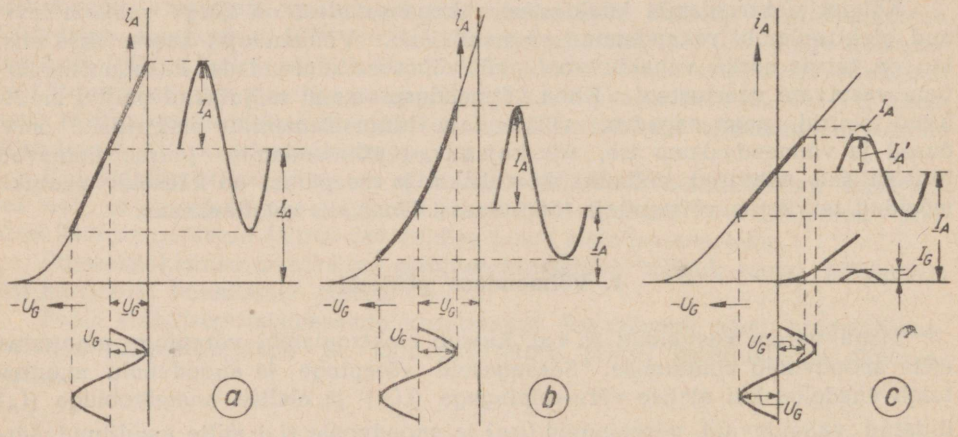
1. Võimenduse põhimõte.

Nagu varem käsiteldud (C 4 a), kutsub elektronlambi võrepinge muutmine esile anoodvoolu muutumise. Seesuguseid võrepinge ja anoodvoolu muutusi tuleb vaadelda kui alalise võre-eelpingega (U_G) ja alalise anoodvooluga (I_A) liidetud vahelduvaid võrepingeid (u_G) ja anoodvoole (i_A) mille amplituudväärtused on U_G ja I_A (joon. 96). Kui võrepinge muutumine areneb alalise võrepinge U_G alusel perioodiliselt, näiteks siinuseliselt, siis muutub anoodvool samuti siinuseliselt võrepingele vastava alalise anoodvoolu I_A alusel. Seni kui võre vahelduvpinge muutumine toimub tunnusjoone sirgjoonelises osas (joon. 96 *a*), omab anoodi vahelduvvool täpset võrepinge kuju. See on kehtiv juhul, kui võrele rakendatakse nõrgad vahelduvpinged, mille ulatuses tunnusjoone keskosa võib vaadelda sirgjoonena.

Kui aga võrepinge muutumine kandub tunnusjoone põlvikossa, lakkab lineaarsus, s. o. otsene võrdelisus võrepinge ja anoodvoolu muutumises, ning anoodi vahelduvvool moonutub (joon. 96 *b*). Võrekäigu positiivsel pooltsüklil anoodi vahelduvvoolu amplituud (I_A) kujuneb suuremaks kui negatiivsel pooltsüklil. Anoodi moonutatud vahelduvvool sisaldab endas peale põhisageduse, s. o. võre vahelduvpinge sageduse, veel rea uusi harmoonilisi sagedusi. Teatavasti saab iga mittesiinuselise kujuga voolu lahutada siinuseliste voolude reaks ehk harmoonilisteks, mis kujutavad endist põhisageduse mitmekordseid sagedusi. Seda liiki moonutust nimetatakse ebalineaarseks ehk amplituudmoonutuseks.

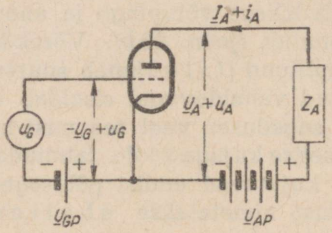
Mõlemal vaadeldud juhul jäi võre katoodi suhtes kogu tsükli kestel negatiivseks, võret mõjutas ainult pinge ja seega võreringis võimsust ei kulunud. Kui aga võre vahelduvpinge amplituud muutub suuremaks kui võre-eelpinge ($U_G > \underline{U}_G$), s. o. positiivsemaks kui katood (joon. 96 *c*), tekib positiivse tsükliosa kestel võrevool I^G samuti nagu positiivse anoodpinge puhul tekib

anoodvool. Võrevoolu tekkimisel ei toimi võrering enam kadudeta, vaid selleks kulub võimsust, mida peab katma võre vahelduvvoolu allikas (eelmine võimenduslamp, mikrofon jne.). Paljudel juhtudel võre vahelduvvoolu allikas pole suuteline andma võimsust sellisel määral, et katta võrevoolu kadusid. Sageli võre vahelduvvoolu allikas evib suurt sisetakistust, mille tõttu võrevoolu läbimisel tekib allikas endas suur pingelang. Kuna see pingelang tekib ainult tsükliosa kestel, mil voolab võrevool, siis järelikult võrele antav pinge (u'_G) ei kujuta enam tõetruud võre vahelduvvoolu allika (signaalipinge allika) pinge (u_G) kuju, vaid ta amplituud (U_G) väheneb võrevoolu kestel sisemise



Joon. 96. Moonutusteta ja moonutustega võimendamine: *a* — moonutusteta võimendamine (võre-eelpinge on paras), *b* — moonutused anoodvoolus tööpunkti paiknemise tõttu tunnusjoone põlvikusse (võre-eelpinge on liiga suur), *c* — moonutused võrevoolu tekkimise tagajärjel (võre-eelpinge on liiga väike).

pingelangu võrra. Järelikult võrevoolu tõttu võre vahelduvpinge moonutub, mille tagajärjel tekib moonutus ka anoodi vahelduvvoolu amplituudis (I_A), mis samuti kuulub ebalineaarsete ehk amplituudmoonutuste liiki.



Joon. 97. Võimendaja põhimõtteline lülitus.

Kui signaalallika sisetakistus on seevõrra väike, et temas võrevoolu voolamisel tekkiv pingelang on tähtsusetu, ja kui signaalallika võimsus suudab täielikult katta võrevoolu kadusid, siis selliseid moonutusi ei teki.

Võimendajas võivad tekkida mõlemad ebalineaarsed moonutused (põlvikul töötamise ja võrevoolu tõttu) korraga või üksikult, vastavalt sellele, kui suur on võrele rakendatava vahelduvpinge amplituud ja kuidas on valitud võre tööpunkt, s. o. alaline võre-eelpinge.

Kas ebalineaarsed moonutused on lubatavad või mitte, see oleneb võimendaja liigist: madalsagedusvõimendajais üldiselt hoitakse ebalineaarsed moonutused minimaalsetena, kuid kõrgsagedusvõimendajad töötavad tavaliselt just tunduvate amplituudi moonutustega.

Võimendamisel eritellakse veel teist liiki moonutusi, nn. *lineaarseid* ehk *sagedusmoonutusi*, milliseid iseloomustab asjaolu, et terve võrele rakendatava ühtlase amplituudiga sagedusastmiku üldkuju ei kandu täpselt üle anoodi vahelduvvoolule, vaid sagedusastmiku ühes osas on amplituudid suuremad kui teises. Seejuures sagedusastmiku igas vaadeldavas osas negatiivsete ja positiivsete amplituudide väärtused ja kujud võivad jääda moonutamata. Teiste sõnadega, sagedusmoonutus avaldub sageduste ebaühtlases võimendamises.

Lampvõimendajas põhjustab lineaarseid ehk sagedusmoonutusi koormuse impedantsi sõltuvus sagedusest ning kõrgematel sagedustel veel lambi elektroodide vaheline ja lülituse omamahtuvus. Seda liiki moonutusi saab vähendada miinimumini võimendusastmete sisend- ja väljundlülituse viisi ja lülituselementide sobiva valikuga ning nad on väikseimad lülitustes, mis ei sisalda reaktiivsusi.

Oleneb võimendaja ülesandest, kui suurtes piirides lineaarsed ehk sagedusmoonutused on lubatavad. Madalsagedusvõimendajalt nõutakse, et sagedusmoonutused oleksid minimaalsed kogu kuuldavate helisageduste spektris (16 ... 20000 Hz). Kõrgsagedusvõimendajaile võidakse esitada tunduvalt kergemaid, kuid mõnikord ka eriti rangeid nõudmisi sagedusmoonutuste vähendamises.

Lisaks loetletud moonutusliikidele tekivad võimendajates veel *faasimoonutused*, mis kujutavad endast võimendaja väljundpinge või -voolu nihkenurga ebavõrdelist muutumist võimendaja sisendpinge või -voolu suhtes sõltuvalt sagedusest. Faasimoonutusi põhjustavad samuti kui sagedusmoonutusigi lambi elektroodide ja lülituselementide reaktiivsused. Lülituselementide õige valikuga on võimalik faasimoonutusi vähendada miinimumini.

Nagu käsiteldud eespool (C 4 d), pole heliülekandeks kasutatavates võimendajates faasimoonutuste vähendamine eriti oluline inimkõrva puuduliku reageerimisvõime tõttu neisse, kuid ta omab esmajärgulist tähtsust televisioonkujutise võimendajates ja kõigis neis seadmeis, mille tarbijaks on katoodkiirtetoru.

Võimendajana toimides peab iga võimendusaste omama sidestusseadet nii sisendis kui ka väljundis ning töötamiseks vajalikke toitevoolu allikaid. Mitmeastmelises võimendajas võib eelmise astme väljundsidestus ühtlasi olla järgneva astme sisendsidestuseks.

2. Võimendajate liigitus.

Võimendajate juures elektronlamp toimib võimsuse muundajana, võttes anoodtoite-allikast alalisvoolu võimsust ja muutes selle vahelduvvoolu võimsuseks. Muundatud vahelduvvoolu võimsust kasutatakse kas võimendatud pinge tekitamiseks anoodvooluringi lülitatud impedantsi klemmidel, mispuhul võimendajat nimetatakse pingevõimendajaks, või koormusele üleandmiseks, mispuhul võimendajat nimetatakse võimsusvõimendajaks.

Peale jaotamise võimsuse järgi liigitatakse võimendajaid veel sagedusastmiku, sidestusviisi ja töörežiimi järgi.

Sagedusastmiku järgi jaotatakse võimendajaid põhiliselt kahte liiki: madalsagedus- ehk helisagedusvõimendajaiks ja kõrgsagedus- ehk raadiosagedusvõimendajaiks. Sellise jaotuse juures kujunevad piirsagedusteks mitte akustiliste helisageduste tajumise piirid, vaid pigem võimendajale esitatavad tehnilised nõuded ja ta tehniline väljaehitus. Madalsagedusvõimendajalt nõutakse üldiselt moonutusvaba ülekannet nii amplituudilt, sageduselt kui ka faasilt kogu võimendatavate sageduste spektris. Eritüüpi madalsagedusvõimendajalt võidakse nõuda moonutusteta võimendust alates nullisest sagedusest kuni miljonitesse hertsidesse ulatuvate sagedusteni. Kuuldavate helisageduste võimendamisel harilikult pannakse sageduse alampiiriks 16 ... 60 hertsi, ülempiiriks 8000 ... 16 000 hertsi. Kõrgsagedusvõimendajais sellises ulatuses moonutuste piiramist enamasti ei nõuta.

Sidestusviisi järgi jaotatakse võimendajaid vastavalt võimendusastmete vahel kasutatavaile sidestuselementidele. Nii näiteks eritellakse võimendajaid takistussidestuses, paispoolsidestuses, transformaatorsidestuses, häälestatud võnkeringiga jt.

Töörežiimi järgi jaotatakse võimendajaid klassidesse, vastavalt sellele, millises ulatuses kasutatakse võimendamisel võrepinge-anoodvoolu tunnusjooni.

A-klassi võimendajaks nimetatakse võimendajat, mille väljundringis (anoodringis) saadava voolu kuju praktiliselt sarnaneb sisendringi (võreringi) ergutuspingega. A-klassi võimendajas toimub võimendusprotsess kogu vahelduva sisendpinge tsükli kestel tunnusjoone sirgjoonelises osas. Võre peab olema eelpingestatud sääraselt, et sisendpinge positiivsel amplituudil ei tekiks võrevool ning et sisendpinge negatiivsel amplituudil anoodvoolu muutumine ei ulatuks tunnusjoone põlvikusse.

A-klassi võimendaja režiimis töötavad praktiliselt kõik madalsageduse pingevõimendajad ja väiksemad võimsusvõimendajad. Samuti töötavad A-klassi režiimis ka raadiovastuvõtja kõrg- ja vahesagedusvõimendajad.

AB-klassi võimendaja töötab suuremate alaliste võre eelpingetega kui A-klassi võimendaja. Sisendpinge (võre ergutuspinge) negatiivsel amplituudil anoodvool katkeb. Sisendpinge positiivne amplituud võib ulatuda kuni negatiivse eelpinge väärtuseni, mil võrevoolu veel ei teki, või kujuneda suuremaks kui võre-eelpinge, mille kestel tekib võrevool. Esimesel juhul nimetatakse võimendajat AB_1-klassi võimendajaks, teisel juhul — AB_2-klassi võimendajaks.

AB-klassi režiimis töötavat võimendajat kasutatakse peamiselt madalsageduse võimsusvõimendajana, mõnel juhul ka kõrgsagedusvõimendajana. Madalsageduse võimsusvõimendajana töötades peab võimendaja koosnema kahest vastastakti (puš-pulli) lülitatud lambist, mis on tarvilik tekkivate moonutuste hoidmiseks lubatud piirides. Kõrgsagedusvõimendajana töötades vastastaktlülitus pole nõutav.

AB-klassi võimendajate väljundvõimsus ja anoodi kasutegur on suuremad kui A-klassi võimendajail.

B-klassi võimendaja töötab niivõrd suure võre-eelpingega, et anoodvool ilma sisendpingeta on praktiliselt null, s. o. võre-eelpinge võrdub lõikepunkti[1] väärtusega. Anoodvool voolab ainult sisendpinge positiivse pooltsükli kestel, negatiivsel pooltsüklil anoodvool on null. Positiivsel pooltsüklil võrepinge amplituud ulatub positiivsete väärtusteni, millise aja kestel harilikult voolab võrevool.

B-klassi võimendaja kujutab endast võimsusvõimendajat, milles väljundvõimsus on võrdeline sisendpinge ruuduga. Ta leiab kasutamist madalsagedusvõimendaja lõppastmena ja modulaatorina ning kõrgsagedusvõimendajana peamiselt moduleeritavale kõrgsagedusastmele järgnevais võimendusastmeis. Esimesel juhul on kahelambiline vastastaktlülitus vajalik, samuti kui AB-klassi võimendajagi puhul, teisel juhul vastastaktlülitus pole nõutav.

B-klassi võimendaja arendab suuri väljundvõimsusi ning evib suhteliselt kõrget anoodi kasutegurit, mille teoreetiline väärtus ulatub kuni 78,54%.

C-klassi võimendaja omab tunduvalt suuremat kui lõikepunkti väärtusega negatiivset eelpinget. Anoodvool voolab ainult sisendpinge positiivse pooltsükli väikese osa kestel. Normaalseks töötamiseks peab sisendpinge olema suur, mille amplituud sageli evib väärtusi, mis kutsuvad esile anoodvoolu küllastumise. Märgatavalt suurteks arenevad positiivsete võrekäikude ajal ka võrevoolud. C-klassi režiimi puhul on väljund õige tunduvalt moonutatud, mille taastamiseks on tarvilik häälestatud anoodi võnkering.

C-klassi võimendaja kujutab endast võimsusvõimendajat, mida rakendatakse saatja võimendusastmeis ja ostsillaatoris enne moduleeritavat astet. Ta arendab suuri väljundvõimsusi ja väga kõrgeid anoodi kasutegureid, mis ulatuvad 90%.

II peatükk.

MADALSAGEDUSVÕIMENDAJA.

3. A-klassi pingevõimendaja.

a) Pingevõimendaja trioodiga. A-klassi võimendajate juures on põhiliseks tingimuseks, et tööprotsess toimuks tunnusjoone sirgjoonelises osas, mis eeldab õiget negatiivset võre-eelpinget ($-U_G$) ja väikesi sisendus- (võre vaheldav-) pingeid (u_G).

[1] Lõikepunktiks nimetatakse võrepinge-anoodvoolu tunnusjoone kokkupuutepunkti võrepinge horisontaalteljega ja lõikepunkti väärtuse all mõeldakse võre-eelpinge väärtust, millel kokkupuude tekib.

Kui S on lambi tunnusjoone tõus ja U_G sisendpinge amplituud, siis väljundvoolu (anoodi vahelduvvoolu) amplituud

$$I_A = SU_G.$$

Kuid see on kehtiv seni, kuni väljundtakistus (R_A) on väike võrreldes lambi sisetakistusega (R_i), sest vastasel korral tekib takistuses (R_A) pingelang

$$\Delta \underline{U}_A = - I_A R_A.$$

Anoodpinge väheneb pingelangu võrra ning vastavalt väheneb ka anoodvool (joon. 98). Trioodi tööprotsess nihkub staatiliselt tunnusjoonelt d ü n a a m i l i s e l e t u n n u s j o o n e l e. Selleks, et säilitada anoodvoolu muutumine I_A endises väärtuses, peab sisendpinget U_G suurendama anoodpinge tagasimõju võrra ($\Delta U_A/\mu$), mis kujuneb siis

$$U_G' = U_G + \frac{\Delta \underline{U}_A}{\mu}$$

ning väljundvoolu amplituud I_A võrdub sel puhul

$$I_A = S\left(U_G + \frac{\Delta \underline{U}_A}{\mu}\right),$$

sellest tuletub väljundvoolu väärtus [1]

$$I_A = \mu \frac{U_G}{R_i + R_A}$$

ja väljundpinge väärtus

$$U_A = - I_A R_A = - \mu U_G \frac{R_A}{R_i + R_A}.$$

Seega lamp toimib kui vahelduvvoolu generaator, mida ergutatakse sisendpingega U_G. Säärane generaator, mis evides sisetakistust R_i ja genereerides vahelduvpinget U_A, arendab välistakistuse klemmidel, mis on ühtlasi väljundtakistuseks, pingevõimendust V:

$$V = \frac{U_A}{U_G} = \mu \frac{R_A}{R_i + R_A}.$$

Võrrandist selgub, et lambilt saadav pingevõimendus oleneb lambi võimendustegurist μ, mis on ühtlasi maksimaalseks võimalikuks pingevõimenduseks. Kindla võimendusteguriga lambi juures võimalikult suure pingevõimenduse saavutamiseks peab välistakistus R_A olema suur võrreldes sisetakistusega R_i, mida on hõlpsam teostada siis, kui lambi sisetakistus on väike.

[1] Väljundvool $I_A = S\left(U_G + \frac{\Delta \underline{U}_A}{\mu}\right)$, kuid $S = \frac{\mu}{R_i}$ ja $\Delta \underline{U}_A = - I_A R_A$;

asendades S ja $\Delta \underline{U}_A$, saame: $I_A = \frac{\mu}{R_i}\left(U_G - \frac{I_A R_A}{\mu}\right)$ ja taandades

$$I_A = \mu \frac{U_G}{R_i + R_A}.$$

Seega tuleb eelistada pingevõimenduseks lampi, mille μ on suur ja võimalikult suur ka S.

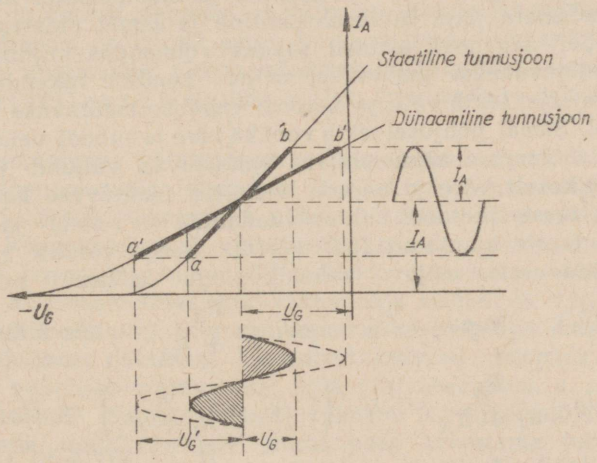
Praktiliselt pole tarvidust välistakistust tõsta väga suureks, mis takistussidestuse puhul tähendaks ühtlasi ka anoodi toitepinge tunduvat tõstmist, sest et küllaldane võimendus, keskmiselt 85% võimalikust maksimumist (μ) saavutatakse juba siis, kui välistakistus $R_A \approx 5R_i$.

Sama käsitlus on kehtiv pingevõimendaja kohta ka siis, kui välistakistus asendada paispooliga, mis esineb peamiselt küll induktiivse reaktantsina, kuid sisaldab siiski ka takistust ja sisemahtuvust, kujutades endast seega impedantsi. Madalamatel sagedustel, kus sisemahtuvus ei evi veel olulist tähtsust, võrdub paispoolsidestusega võimendaja võimendus

$$V = \mu \frac{X_L}{R_i + X_L}.$$

Kuna paispoolsidestusega võimendajas anoodpinge langust ei teki, siis saavutatakse küllaldasi tulemusi, kui paispooli reaktants X_L madalaimal võimendataval sagedusel võrdub

$$X_L \approx 2 \ldots 3\ R\ .$$



Joon. 98. Staatilise tunnusjoone muutumine anoodkoormuse tagajärjel dünaamiliseks tunnusjooneks.

b) Pingevõimendaja pentoodiga (tetroodiga). Kuna varivõrega lampide juures anoodi kahjulikku tagasimõju ($\Delta U_A / \mu$) praktiliselt ei arvestata, saavutatakse nendega tunduvalt suuremaid pingevõimendusi kui trioodiga. Samal ajal säilib varivõrelambi tõus (S) ka suurte välistakistuste puhul. Kuna varivõrelampide võimendustegur on väga kõrge, siis vaatamata nende suurele sisetakistusele saavutatakse suhteliselt suuri võimendusi juba suhteliselt väikeste välistakistustega.

Varivõrelampidega võimendamisel on kehtiv sama võimendusvalem mis trioodidegi juures, s. o.

$$V = \mu \frac{R_A}{R_i + R_A}.$$

Kuid arvestades seda, et varivõrelambi sisetakistus on kõrge, keskmiselt 1 megaoom, ei saa võimenduse arvutamisel arvestamata jätta lambiga rööbiti asetsevat järgneva võimendusastme võretakistuse väärtust R_G. Et varivõrelampi võib kõrge sisetakistuse tõttu vaadelda kui püsiva voolu generaatorit, siis täpsema vastuse astme pingevõimenduse kohta saab valemiga

$$V = SR,$$

milles S on lambi tõus ja R koondtakistus, mis on tuletatud kolmest rööbiti asetsevast takistusest R_i, R_A ja R_G. Näiteks lambilt 6J7, mille $S = 1{,}2$ ja $R_i = 1{,}5\ \text{M}\Omega$, saadakse pingevõimendust, kui $R_A = 0{,}2\ \text{M}\Omega$ ja $R_G = 0{,}5\ \text{M}\Omega$:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_i} + \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_G} = \frac{R_A R_G + R_i R_G + R_i R_A}{R_i R_A R_G}$$

$$V = SR = S \frac{R_i R_A R_G}{R_A R_G + R_i R_G + R_i R_A} = 1{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1{,}5 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}5}{0{,}2 \cdot 0{,}5 + 1{,}5 \cdot 0{,}5 + 1{,}5 \cdot 0{,}2} =$$

$$= 130.$$

See on maksimaalne võimendus, mida võimendusaste käesolevail tingimustel arendab keskmistel sagedustel. Kõrgematel ja madalamatel helisagedustel ei saa enam arvestamata jätta lülituselementide ja lambi elektroodide reaktiivsusi, mistõttu neil sagedusil astmelt saadav võimendus kujuneb väiksemaks.

c) Elektroodidevahelise mahtuvuse mõju. Lambile rakendatud vahelduva sisendpinge tagajärjel tekib võre ja katoodi vahelise mahtuvuse kui kondensaatori kaudu vool. Samal põhjusel tekib vool ka võre ja anoodi vahelise mahtuvuse kaudu. Lambi töötamisel võimendajana vahelduvad väljund- ja sisendpinged lülituvad järjestikuselt võre ja anoodi vahelise mahtuvuse kaudu ja asuvad üksteise suhtes faasis (katoodi suhtes vaadatuna on sisend- ja väljundpinged üksteise suhtes faasis nihutatud 180° võrra). Seega võrdub võre ja anoodi vahelisele mahtuvusele mõjuv vahelduvpinge mõlema pinge summaga ($U = U_G + U_A$). Kuna $U_A = \mu U_G \frac{R_A}{R_i + R_A}$, siis üldine mõjuvpinge

$$U = U_G + \mu U_G \frac{R_A}{R_i + R_A} = U_G \left(1 + \mu \frac{R_A}{R_i + R_A}\right) = U_G(1 + V).$$

Selle tagajärjel tekib võreringis vool $I_G = \frac{U}{X_C} = \frac{U(1+V)}{X_C}$, mis näitab, et võimendamise juures võre ja anoodi vahelist mahtuvust läbiv vool on võrdeline võimendusega ja väljendub lambi sisendmahtuvuse vastava suurenemisena.

Kuna võimenduse tagajärjel võreringis vool suureneb, siis järelikult väheneb vastavalt lambi sisendimpedants. Kui näiteks trioodi sisendmahtuvus $C_{GK} = 6$ pF, võre ja anoodi vaheline mahtuvus $C_{GA} = 4$ pF ja lambilt saadav võimendus $V = 50$, siis sisendmahtuvusega C_{GA} võimenduse puhul liituv ekvivalentne mahtuvus $C'_{GK} = C_{GA}(1+V) = 4(1+50) = 204$ pF ning üldine sisendmahtuvus 6 pF asemel kujuneb 6 pF + 204 pF = 210 pF. Sageduse juures $f = 10\,000$ Hz sisendimpedants $Z_s = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{10^{12}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 10^4 \cdot 6} \approx 2{,}7$ megaoomi, kuid võimendamisel muudes võrdsetes tingimustes

$$Z_s' = \frac{10^{12}}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 10^4 \cdot 210} = 76\,000 \text{ oomi},$$

mida peab võimendamisel tõsiselt arvestama, kui sisendring on lülitatud rööbiti eelmise võimendusastme väljundringiga.

Kui anoodkoormus on reaktiivne, siis sisend- ja väljundpinged on endiselt järjestikku, kuid faasinihe, mis katoodi suhtes vaadatuna takistusliku koormuse korral oli 180°, muutub ning sisendringi kandub peale võre ja anoodi vahelise mahtuvuse võimendatud kujul veel takistus. Seejuures on oluline lisada, et kui anoodkoormus on mahtuvuslik, kandub võrele üle reaalse väärtusega positiivne takistus, mille arvel võreringis tekivad võimsuskaod. Kui aga anoodkoormus on induktiivne, siis ülekanduv takistus on negatiivne, mis näitab, et anoodringist kandub võimsus üle võreringi. Võimendaja juures säärane võimsuse ülekandmine võre ja anoodi vahelise mahtuvuse kaudu üldiselt on kahjulik nähtus, sest selle tagajärjel tekib võimendajas *regenereerumine*. Nimelt on anoodringist negatiivse takistusega ülekantav pinge faasis võre sisendpingega, mistõttu üldine sisendpinge suureneb. Suureneva sisendpinge tagajärjel omakorda suureneb võimendatud pinge anoodringis, mis uuesti kandub tagasi võreringi, võrepinget veelkordselt suurendades jne. Kui lambi võre ja anoodi vahelise mahtuvuse kaudu anoodringist võreringi tagasikanduv võimsus on küllalt suur, kujuneb lambi võimendus lõpmata suureks. Sääraseis tingimustes töötav võimendaja hakkab *iseseisvalt võnkuma* ehk *ostsilleeruma*, ilma välise ergutuspinge (sisendpinge) kontrollita.

Kuna regenereeruvas võimendajas väline ergutus enam mõjule ei pääse, siis sõltuvalt regenereerimise suurusest kas tekivad võimendajas liiga suured moonutused või lakkab võimendaja üldse töötamast võimendajana, muutudes ostsillaatoriks. Regenereerumisi võib esile kutsuda mitte ainult lambi sisemahtuvus, vaid regenereerumine võib tekkida igas suure võimendusega võimendajas, eriti mitmeastmelises, kui võimendaja sisendi ja väljundi vahel kujunevad säärased sidestused, mis suurendavad sisendpinge amplituudi.

Sellest kahjulikust nähtusest on vabad, kuivõrd küsimus puutub lambi võre ja anoodi vahelisse mahtuvusse, kõik varivõrelambid, s. o. varivõretetroodid ja -pentoodid. Samal põhjusel väheneb ka tagasimõjutus kahjulikule sisendimpedantsile, mida trioodide juures peab arvestama juba alates sagedustest 3000 Hz.

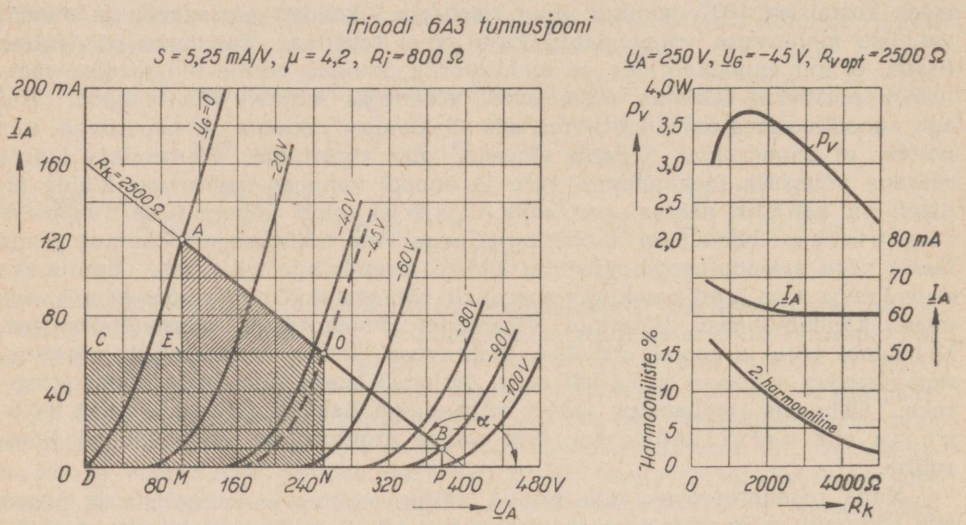
4. A-klassi võimsusvõimendaja.

a) Võimsusvõimendaja trioodiga. Võimsusvõimendaja ülesandeks pole seevõrra pinge võimendamine kui võimalikult suure moonutusvaba vahelduvvoolu võimsuse tekitamine anoodringi juhitava alalisvoolu võimsuse arvel ja selle vahelduvvoolu võimsuse ülekandmine tarbijale, näit. valjuhääldajasse, teise võimsust vajava võimendusastme sisendringi jne.

A-klassi režiimis toimiva võimsusvõimendaja tööprotsess üldjoontes sarnaneb pingevõimendajaga. Olulisemaks erinevuseks on õigete lampide ja õigete koormustakistuste ning töötingimuste valik, et võimendajalt saada maksimaalset moonutusvaba võimsust.

Nagu varem käsiteldud, oli suure pingevõimenduse saamiseks tarvilik, et välistakistus oleks lambi sisetakistusega võrreldes võimalikult suur. Mak-

simaalse väljundvõimsuse saamiseks peab lambi välistakistus teoreetiliselt võrduma, nagu iga elektrienergia generaatorigi juures, sisetakistusega $R_A = R_i$. Säärane tööolukord ei osutu tegelikult kõige sobivamaks moonutuste suure sisalduse tõttu. Nimelt trioodi juures tuleb võimendamisel kõige rohkem esile teine harmooniline, mis evib väikeste anoodkoormuste juures suuri väärtusi, langedes koormustakistuse tõustes [1] (joon. 99). Kuna anoodvõimsuse mak-



Joon. 99. Trioodi võimendusprotsessi graafiline kujutus.

simum eeltoodud võrrandiga pole väga teravalt piiriteldud, siis koormustakistuse mõistliku tõstmisega saavutatakse kompromiss lubatava moonutuste sisalduse ja võimsuse vähenemise vahel. Kui piirata teise harmoonilise sisaldust väljundis 5%, siis kujuneb optimaalseks anoodkoormuseks

$$R_A = 2 \ldots 3\, R_i ,$$

või veelgi täpsemalt

$$R_A = \frac{U_A}{I_A} - 2\, R_i .$$

Tüüpilise võimsustrioodi 6A3 töökäik selgub joonisel 99 toodud anoodvoolu-anoodpinge tunnusjoonte sarjast. Kui määrata kindlaks lambi andmete järgi normaalne tööpunkt 0, millele vastab $U_A = 250$ V, $U_G = -45$ V ja $I_A = 60$ mA, valida optimaalseks koormustakistuseks $R_A = 2500$ oomi ja tõmmata läbi tööpunkti 0 sirgjoon nurga α all [2], areneb kogu tööprotsess sellel joonel.

[1] Sama väide on kehtiv ka pingevõimendajate kohta: liiga väikeste välistakistuste puhul ($R_A < 2 \ldots 3\, R_i$) on moonutuste protsent väljundpinges suur.

[2] Koormusjoon ehitatakse nurga α all, mis peab vastama

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{\Delta I_A}{\Delta U_A} = -\frac{1}{R_A} .$$

Võrevoolust hoidumiseks ei tohi võrepinge amplituud positiivsel pooltsüklil ulatuda üle nullise väärtuse, s. o. ei tohi muutuda positiivseks. Sellega piiratakse ühtlasi ära võrepinge amplituud ($U_{Gmax} = -\underline{U}_G$), mis käesoleval juhul võrdub 45 V. Võrepinge positiivse amplituudväärtuse juures tõuseb anoodvool ($\underline{I}_A + I_A$) 120 mA, samal ajal langeb anoodpinge ($\underline{U}_A - U_A$) 100 V. Võrepinge negatiivse amplituudväärtuse juures ($-\underline{U}_G - U_G$) langeb anoodvool ($\underline{I}_A - I_A$) 10 mA, samal ajal tõuseb anoodpinge ($\underline{U}_A + U_A$) 376 V.

Saadav väljundvõimsus P_v võrdub anoodvoolu muudatuste ja anoodpinge muudatuste efektiivväärtuste korrutisega

$$P_v = \frac{\underline{I}_{Amax} - \underline{I}_{Amin}}{2\sqrt{2}} \cdot \frac{\underline{U}_{Amax} - \underline{U}_{Amin}}{2\sqrt{2}} = \frac{(\underline{I}_{Amax} - \underline{I}_{Amin})\,(\underline{U}_{Amax} - \underline{U}_{Amin})}{8} \text{ (vatti)},$$

mis graafiliselt võrdub kolmnurga OEA pinnaga. Seega käesoleval juhul

$$P_v = \frac{(0{,}12 - 0{,}01)\,(376 - 100)}{8} = 3{,}8 \text{ vatti}.$$

Anoodi alalisvoolu toitevõimsus $\underline{P}$ võrdub: $\underline{P} = \underline{I}_A \underline{U}_A$ (vatti)

ning käesoleval juhul $\underline{P} = 0{,}06 \cdot 250 = 15$ vatti, mis graafiliselt vastab nelinurga $ONDC$ pinnale. Normaalselt anoodi kaovõimsus piiratakse lambi valmistaja poolt ning seda pole lubatav ületada lambi tööea säästmise huvides.

Anoodi kasutegur $\eta_A = \frac{P_v}{\underline{P}} \cdot 100\,\%$, mis käesoleval juhul võrdub

$$\eta_A = \frac{3{,}8}{15} = 25{,}3\,\%,$$

mida tuleb pidada trioodide juures väga heaks.

Väljumistrafo vahekord anoodkoormusega sobitamiseks kujuneb

$$\ddot{u} = \frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{R_A}{R_i}},$$

milles w_1 ja w_2 on väljumistrafo primaar- ja sekundaarmähiste keerdude arvud.

Saadud väljundvõimsus pole moonutusvaba, sest anoodvoolu muudatused sõltuvalt sümmeetrilistest võrepinge muudatusist pole võrdsed: võrepinge positiivsel pooltsüklil $+I_A = 120 - 60 = 60$ mA, kuna negatiivsel pooltsüklil $-I_A = 60 - 10 = 50$ mA. Moonutuste üldväärtus, mis kujutab kõigi harmooniliste summat, arvutatakse harilikult anoodvoolu keskmise muutumise suhtest alalise anoodvoolu väärtusesse

$$K_{\ddot{u}} = \frac{\frac{\underline{I}_{Amax} + \underline{I}_{Amin}}{2} - \underline{I}_A}{\underline{I}_A} \cdot 100\ (\%).$$

Käesoleval juhul $K_{\ddot{u}} = \frac{\frac{0{,}12 + 0{,}01}{2} - 0{,}06}{0{,}06} \cdot 100 = 8{,}33\,\%$. Teise har-

moonilise sisaldus arvutatakse

$$K_2 = \frac{\frac{I_{Amax} + I_{Amin}}{2} - I_A}{I_{Amax} - I_{Amin}} \cdot 100\ (\%)$$

ning käesoleval juhul $K_2 = \frac{\frac{0{,}12 + 0{,}01}{2} - 0{,}06}{0{,}12 - 0{,}01} \cdot 100 = 4{,}55\%$.

Ulejäänud moonutused moodustavad kõrgemaid harmoonilisi. Harmooniliste sisalduse üldprotsent $K_{ü}$ võrdub ruutjuurega kõigi harmooniliste K_2, K_3 jne. ruutude summast $K_{ü} = \sqrt{K_2^2 + K_3^2 + K_4^2 \ldots}$

Siit nähtub ühtlasi, et maksimaalse võrepinge amplituudi puhul anoodvool tõuseb 60 milliamprilt 65 milliamprile, mis ongi A-klassi võimendaja juures moonutuste näitajaks. A-klassi võimendaja anoodringi milliampermeetri lülitamisel võib mõõteriista osuti tõusu järgi määrata moonutuste protsenti.

Võib juhtuda, et milliampermeetri osut võrepinge amplituudidel langeb. See nähtus esineb siis, kui tööpunkt on valitud liiga positiivsena, s. o. kui alaline võre-eelpinge on väike. Sel puhul võre vahelduvpinge positiivne amplituud ületab võre-eelpinge väärtuse, mille tagajärjel tekib võrevool. Võrevoolu tõttu, nagu varem käsiteldud (D1), muutub võre negatiivseks ning anoodvoolu tõus võrepinge positiivsel amplituudil kujuneb väiksemaks kui see tunnusjoonte sarja järgi peaks olema. Järelikult ka sel juhul on tegemist moonutustega.

Normaalseks tuleb pidada A-klassi võimendaja töötamist, kui nõrga võrepoolse ülekoormamise juures anoodvool näitab võrdseid nõrku kõikumisi nii üles kui ka alla. Ideaalse A-klassi võimendaja juures, mis peab töötama moonutusvabalt, ei tohi anoodringi lülitatud voolumõõtja osut normaalse koormamise puhul näidata kõikumisi ei suurenemise ega vähenemise suunas.

Kui käsiteldud analüüsi kohaselt sooritada arvutusi erinevate anoodkoormustega, on võimalik leida igal üksikul juhul sobivaim, väiksemate moonutustega töörežiim.

b) Võimsusvõimendaja pentoodiga (tetroodiga). Kõik trioodi kohta käsiteldu on üldiselt kehtiv ka pentoodi või tetroodiga võimsusvõimendaja suhtes. Olulisemaks erinevuseks mitme võrega võimsuslampide juures on nagu pingevõimendusegi juures, et anoodi tagasimõjutus $\frac{\Delta U_A}{\mu}$ praktiliselt kaob. Sellega koos tõuseb märgatavalt anoodi alalisvoolu võimsuse ärakasutamine. Tulemuseks on, et võrdseid väljundvõimsusi, võrreldes trioodiga, saavutatakse mitme võrega lambilt tunduvalt väiksema võrepinge ja väiksema anoodi kaovõimsuse juures.

Mitme võrega võimsuslampe iseloomustab koos nende kõrge võimendusteguriga kõrge sisetakistus, mis raskendab tarbija (nagu valjuhääldaja jne., mis tavaliselt evivad madalat takistust) õigesti sobitamist.

Üldiselt on mitmevõrelampide sobitamine tarbijaga moonutuste allasurumise ja väljundvõimsuse vähendamise kompromissina kriitilisem kui trioodide juures. Praktiliselt õnnestub miinimumini alla suruda ainult teist harmoonilist,

millist kompromissi taotellaksegi anoodkoormuse valikul. Kuid igal juhul jäävad alles kõrgemad paaritud harmoonilised, millede suhteliselt väikegi protsentuaalne sisaldus mõjub häirivalt, kui mitmevõrelampi kasutatakse lõppvõimendajana akustilisteks ülekanneteks. Allesjäävad moonutused kompenseeritakse harilikult eri lülitustega. Muude väga oluliste paremuste tõttu (võrreldes trioodiga) on võimsuspentood ja -tetrood käesoleval ajal võitnud praktilises rakendamises kahtlemata esikoha.

Sellise kompromissi alusel võrdub mitme võrega võimsuslampide optimaalne anoodkoormus keskmiselt lambi *alalisvoolu takistusega* ($R_{av}^{1,2}$), eeldusel, et lamp on rakendatud töösse õige töörežiimiga.

$$R_A = R_{av} = \frac{\underline{U}_A}{\underline{I}_A}.$$

Joonisel 100 on toodud tüüpilise võimsuspentoodi 6F6 tunnusjoonte sari, kusjuures tööpunktiks on valitud punkt *0*, millele vastab $\underline{U}_A = 250$ V, $\underline{U}_G = -16{,}5$ V ja $\underline{I}_A = 34$ mA. Koormusjoon on tõmmatud optimaalsele anoodkoormusele $R_A = 7000$ oomi.

Samuti kui trioodigi juures, piiratakse ka siin võrepinge amplituud negatiivse võre-eelpinge väärtusega.

Käesoleval juhul väljundvõimsus võrdub

$$P_v = \frac{(\underline{I}_{Amax} - \underline{I}_{Amin})\,(\underline{U}_{Amax} - \underline{U}_{Amin})}{8} =$$

$$= \frac{(0{,}066 - 0{,}005)\,(460 - 32)}{8} = 3{,}27 \text{ vatti},$$

mis graafiliselt on kolmnurga OEA pindala.

Anoodi alalisvoolu toitevõimsus

$$\underline{P} = \underline{I}_A \underline{U}_A = 0{,}034 \cdot 250 = 8{,}5 \text{ vatti}.$$

Anoodi kasutegur $\eta_A = \frac{P_v}{P} 100 = \frac{3{,}27 \cdot 100}{8{,}5} = 38{,}5\%$.

Teoreetiliselt võimsuspentoodide ja -tetroodide anoodi kasutegurid võivad ulatuda kuni 50%.

Teise harmoonilise protsent käesoleval juhul

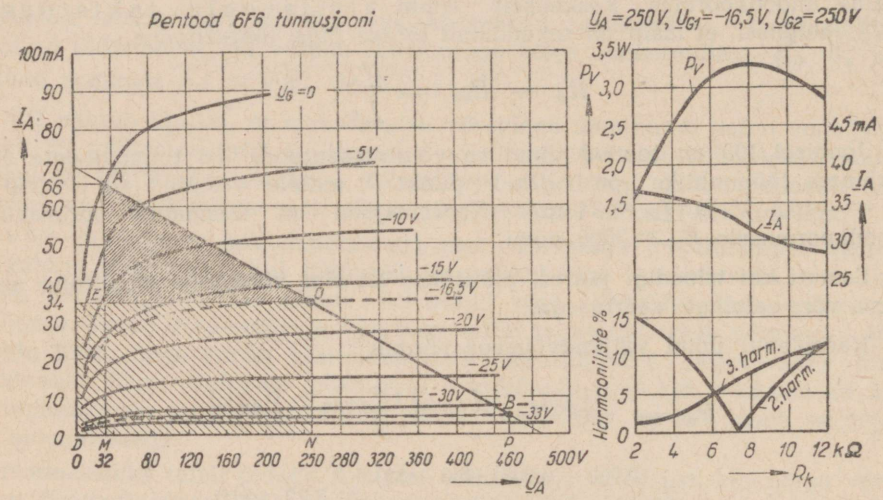
$$K_2 = \frac{\frac{\underline{I}_{Amax} + \underline{I}_{Amin}}{2} - \underline{I}_A}{\underline{I}_{Amax} - \underline{I}_{Amin}} \cdot 100 = \frac{\frac{0{,}066 + 0{,}005}{2} - 0{,}034}{0{,}066 - 0{,}005} \cdot 100 = 2{,}46\,\%.$$

Väljumistrafo keerdude vahekord kujuneb

$$\frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{\underline{U}_A}{\underline{I}_A R_A}}.$$

c) **A-klassi vastastakt- (puš-pull) võimendaja.** Kui on tarvis saada suuremat väljundvõimsust, kui üks lamp suudab anda, rakendatakse töösse ühe lambi asemel mitu. Eritellakse kahte mitmelambilist lülitusviisi: r ö ö b i t i s t ja j ä r j e s t i k u s t ehk v a s t a s t a k t l ü l i t u s t. Viimane neist on üldiselt tuntud ka puš-pulli nimetuse all.

Rööbiti võib lampe lülitada vabalt valitaval arvul, vastastaktis saab lampe lülitada ainult paaridena, kusjuures eeltingimuseks on, et paaris olevad lam-



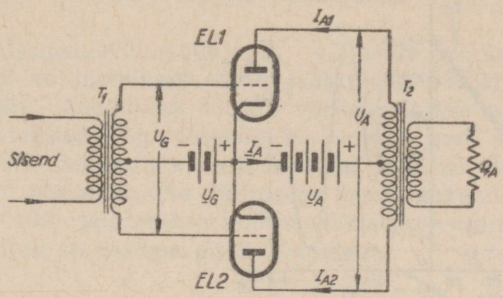
Joon. 100. Pentoodi võimendusprotsessi graafiline kujutus.

bid või lampide rühmad eviksid võimalikult võrdseid elektrilisi iseloomustussuurusi. Põhimõtteliselt võrdub nii rööbitise kui vastastaktlülituse korral saadav väljundvõimsus ühe lambi võimsusega, korrutatuna lampide arvuga.

R ö ö b i t i s e s l ü l i t u s e s tööprotsess sarnaneb täielikult üksiku lambi tööprotsessiga. Rööbiti lülitatud lampe, nii trioode kui ka mitme võrega lampe, võib alati käsitella kui ü h t e võimsamat koondlampi, milles vastavalt lampide arvule suureneb tõus ja anoodi kaovõimsus ning väheneb sisetakistus, kusjuures võimendustegur jääb endiseks. Järelikult jääb endiseks ka võre-eelpinge, kui anoodpinge ei muutu. Muidugi väheneb vastavalt ka optimaalne koormustakistus. Saadav koondvõimsus võrdub täpselt ühe lambi väljundvõimsusega, korrutatuna lampide arvuga, ning sisaldab sama protsendi moonutusi ning samas harmooniliste vahekorras kui üksiku lambi väljund.

Kuigi rööbitine lampide lülitamine võimaldab lihtsal viisil väljundvõimsust suurendada, lampide arvu muutmisega soovi kohaselt isegi väljundvõimsust muuta, kujunevad väljumistrafod asjatult suurteks ja kulukateks, sest lampide arvu tõusuga suureneb anoodvool ja see tingib suurt trafo südamikku jne. Seepärast on vastastaktlülitus rööbitise lülituse praktikast peaaegu välja tõrjunud, evides viimasega võrreldes rea paremusi.

A-klassi vastastaktvõimendaja, mille põhimõtteline lülitus ja tööprotsessi kujutus on toodud joonistel 101 ja 102, kujutab endast kahelambilist lülitust, milles nii lampide sisend- kui ka väljundringid asetsevad üksteise suhtes järjestikku. Seepärast vastastaktlülitust nimetataksegi mõnikord järjestikuseks lülituseks. Nagu nähtub joonisest 101, antakse mõlemale lam-



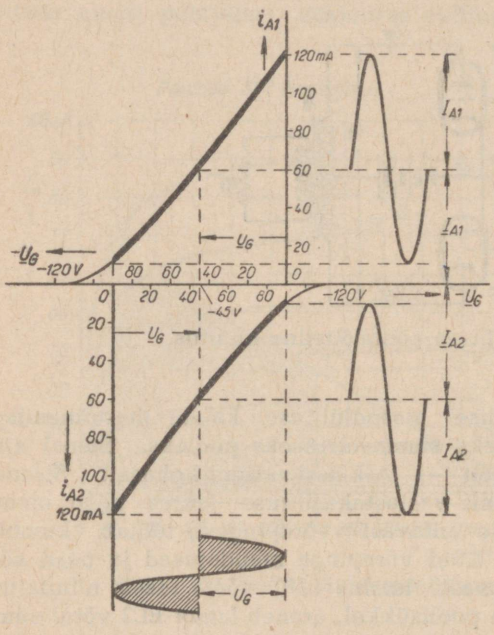
Joon. 101. Vastastaktlülituse põhimõtteline kujutus.

bile ühine sisendpinge U_G, mis erilise sisendlülituse kaudu (haruühendiga trafo, pingejagaja jne.) jaguneb kaheks sümmeetriliseks pooleks. Samal ajal eelpingestatakse mõlemad lambid ühiselt — A-klassi režiimi kohaselt. Sisendpinge sümmeetrilise jaotuse puhul, mis vastastaktlülituse juures peab olema kaks korda suurem üksikule lambile antavast võrepingest, töötab kumbki lamp harilikes A-klassi tingimustes. Kuid võrepinge muudatused ja neist sõltuvad anoodvoolu muutused on kummaski lambis 180° võrra faasis nihutatud. Kui lambi EL1 võrel areneb positiivne pooltsükkel, areneb lambi EL2 võrel sümmeetriline negatiivne pooltsükkel ning järgneval pooltsüklil lampide osad vahetuvad. Samuti kujunevad vastupidisteks ka anoodvoolude muutused, mis ühisesse väljumistrafosse juhituna üksteisega liituvad ja kujundavad väljundis koormustakistusel R_A koondväljundvõimsuse.

Võrepinge-anoodvoolu muutumise ebalineaarsuse tagajärjel tekib igas lambis suuremal või väiksemal määral moonutusi, mis kanduvad üle koormusele. Trioodide juures on suurim teine harmooniline. Vastastaktlülituses kummagi lambi teised harmoonilised, asudes vastufaasis, vastastikku hävivad ning väljundis seega teised (samuti kõik paarisarvulised) harmoonilised puuduvad. Väljundisse kanduvad üle ainult kõrgemad, paaritud harmoonilised. Kuna aga nende amplituudid on märgatavalt väiksemad kui väljundis hävinud teiste harmooniliste amplituudid, siis on vastastaktvõimendaja väljundis üldine moonutuste protsent tunduvalt väiksem kui samade lampide töötamisel rööbiti. Kui aga piirata moonutuste protsent rööbitiste lampide moonutuste tasemega, siis vastastaktlülituselt saadav väljundvõimsus ning ühtlasi anoodi kasutegur kujunevad suuremaks kui rööbitiste lampide juures.

Teiseks oluliseks paremuseks vastastaktlülituse juures on, et alalised anoodvoolud I_A (olles kummalgi lambil võrdsed) voolavad väljumistrafo primaarmähiste pooltes vastassuunaliselt, mille tagajärjel nende poolt trafo südamikule avalduv eelmagneetimine hävib ning trafo südamikku mõjutab ai-

nult kasulik vahelduvvoolu komponent. Seega vastastaktlülituse väljumistrafod kujutavad endist pigem võimsustrafosid tavalises mõistes, peamise vahega, et ülekantavad sagedused moodustavad terve helisagedusliku sagedusspektri. Seetõttu väljumistrafo südamik kujuneb väikeseks ja ühtlasi väheneb ka mähiste traadi pikkus, kuna trafo töötab kõrgete permeaabluste piirides.



Joon. 102. A-klassi vastastaktvõimendaja tööprotsessi kujutus dünaamiliste tunnusjoontena kahe 6A3 tüüpi trioodi lülituses. $U_A = 250$ V, $U_G = -45$ V.

Peale selle ei vaja vastastaktlülitus ideaalselt silutud anoodi toitevoolu, nagu see on tarvilik tavalistes A-klassi lülitustes võrgumürade madalana hoidmise otstarbel, vaid väljumistrafos anoodi toitepinge ebaühtlused vastastikku summeerudes tasakaalustuvad.

Muus osas sarnaneb vastastaktlülituse tööprotsess üldiste A-klassi töötamispõhimõtetega. Lampide asudes lülituslikult järjestikku kujuneb nende optimaalne koormustakistus kaks korda suuremaks kui ühe lambi puhul. Seega väljumistrafo keerdude vahekord koormustakistuse õigeks sobitamiseks kujuneb

$$\frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{2R'_A}{R_A}} = \sqrt{\frac{4R_i}{R_A}},$$

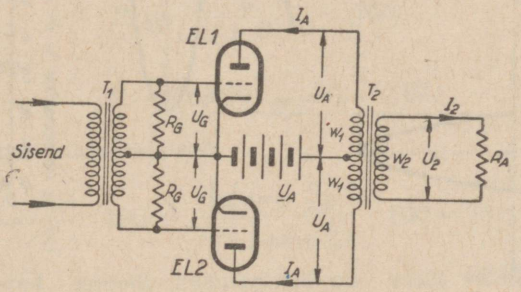
milles R'_A on optimaalseks koormustakistuseks A-klassis töötavale üksikule trioodile.

Vastastakti lülitatud võimsuspentoodide ja -tetroodide tööprotsess sarnaneb täielikult vastastakti lülitatud trioodide tööprotsessiga. Sama on maksev ka väljundvõimsuste, moonutuste ja anoodkoormuste kohta.

Peale võimsuse võimendamise kasutatakse vastastaktlülitust tarbe korral ka pingevõimendamiseks. Selline vajadus tekib eeskätt võimsate vastastaktvõimendajate eelastmetes, kus on tarvilik saavutada suhteliselt suuri, sümmeetrilisi ja väikese moonutusprotsendiga ergutuspingeid.

5. B-klassi võimendaja.

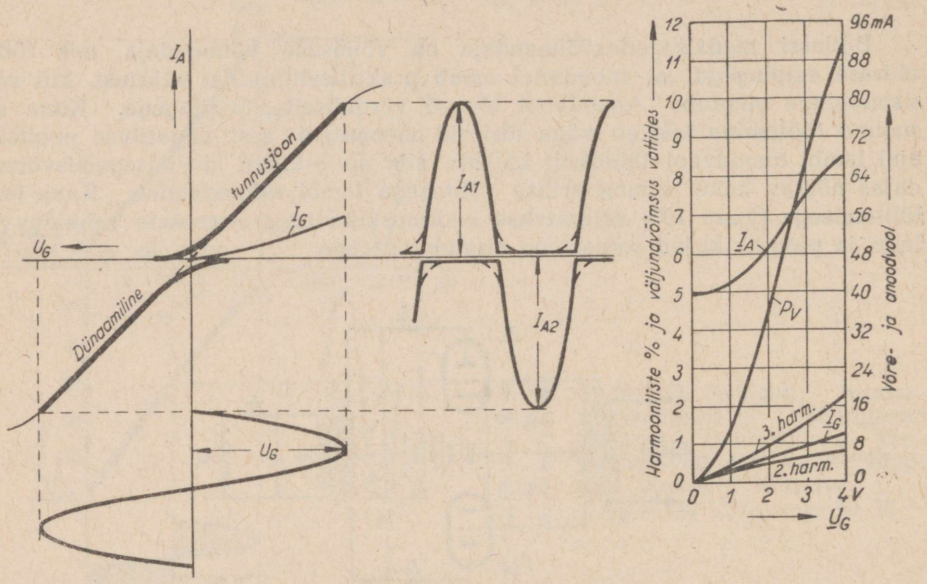
B-klassi madalsagedusvõimendaja on võimsuse võimendaja, mis töötab säärase eelpingega, et anoodvool omab praktiliselt nullist väärtust, kui võrel sisendpinge puudub. Anoodvool tõuseb võrdeliselt võrepingega. Kuna seesugune töötamine tekitab väga tõsiseid moonutusi, sest negatiivse pooltsükli ajal lambi anoodvool täielikult katkeb, siis on B-klassi madalsagedusvõimendajas nõutav kahe sümmeetrilise lülitusega lambi rakendamine. Kahe lambi lülitamisega (joon. 103) säilitatakse koormustakistuses arenevate vahelduvvoolude ja pingete kujud sarnastena sisendpingetega.



Joon. 103. B-klassi võimendaja põhimõtteline kujutus.

B-klassi võimendajas kujunevad sisendpinge amplituudid seevõrra suurteks, et võrevoolude tekkimine on normaalseks nähtuseks. Tüüpilise B-klassi töörežiimi iseloomustuseks on, et võrevool voolab kogu tsükli kestel, kusjuures ühe pooltsükli kestel võrevool tekib ühes lambis, teise pooltsükli kestel teises lambis. Sellega lihtsustub B-klassi võimendaja võre sidestuskomplekti arvutus, kuna võreringi võib vaadelda kui enam-vähem püsivat võimsust tarvitavat koormust, mille koormustakistuseks on võrepinge ja võrevoolu keskmiste väärtuste suhe $\left(R_G = \frac{U_{Gkeskm}}{I_{Gkeskm}}\right)$. Võrekoormuse ühtluse paremaks säilitamiseks ja seega moonutuste vähendamiseks paigutatakse sageli võrede ja katoodi vahele võimsust absorbeerivad takistid. Võrevoolu säilitamise otstarbel kogu tsükli kestel kasutatakse B-klassi võimendajais erilisi, nn. B-klassi võimsustrioode, mis väiksemate võimsuste puhul ehitatakse kombineerituna ühisesse kesta (kahekordne triood, näit. 6N7, 1J6). Säärased lambid evivad suuri võimendustegureid ja sisetakistusi normaalse tõusu juures, mistõttu nende $I_A - U_G$ tunnusjoonte sari kandub seevõrra paremale, et B-klassi režiimis töötamiseks nad negatiivset võre-eelpinget ei vaja ($U_G = 0$)

ning võrevool tekib niipea, kui võrele rakendatakse sisendpinge. Nende $I_A - U_G$ tunnusjoonte sari positiivsete võrepingete osas sarnaneb pentoodide ja tetroodide sarjaga. Selle tulemusel on anoodi toitevõimsuse ärakasutamine hea; anoodvoolu kasutamisele paneb piiri vaid anoodvoolu küllastumine väga kõrgete positiivsete võrepingete juures.



Joon. 104. B-klassi võimendaja tööprotsessi kujutus. Paremal kahekordse trioodi 6N7 iseloomustussuurused B-klassi režiimis töötamisel: $U_A = 300$ V, $U_G = 0$ V, $R_A = 10\,000\ \Omega$; ergutusastmes 6N7 mõlemad trioodid rööbiti: $U_A = 294$ V, $U_G = -6$ V, sisendtrafo suhe 5:1 (primaar jagatud ½ sekundaariga).

Tööprotsess B-klassi võimendajas areneb järgmiselt (joon. 103 ja 104). Ergutustrafost T_1 sümmeetrilise sekundaarmähisega juhitakse ergutusvõimsus lampide võreringi, mis arendab kummagi lambi võrel vastupidised pingeamplituudid U_G. Osa võreringi juhitud võimsusest hävib võrevoolude katteks lampides, osa hävib võretakistustes R_G (kui nad olid lülitatud). Eeldades, et ergutusvõimsus on küllaldane, et koormus on õigesti sobitatud eelneva ergutusastme lambiga ja et ergutustrafo alalisvoolu takistus on väga väike, ei teki moonutusi võredele antavate pingete kujus. B-klassi võimendajat arvutatakse alati koos ergutusastmega, mille juures lahendatakse korraga nii ergutusastmelt nõutava võimsuse kui ka ergutustrafo küsimus. Võredele antavate ergutuspingete amplituudide ja võreringi võimsuse vahekord selgub järgnevast valemist $U_G = 1{,}41\sqrt{P_G R_G}$, milles P_G on võreringi juhitav võimsus ja R_G — üldine võreringi koormustakistus. Vastavalt võrepinge polaarsusele töötab korraga ainult üks lamp, mille tagajärjel lambid arendavad vaheldumisi pooltsüklilisi anoodvoole amplituudväärtustega I_A. Sääraste

pooltsükliliste voolupulsside koondumisel väljumistrafo primaarmähises tekib sekundaarmähises vool amplituudiga I_A, millel on täpne võrepinge U_G kuju. Lampide tunnusjoonte ebalineaarsuse tõttu alumistel põlvikutel tekivad väljundvoolu pulsside pooltsüklites moonutused (joonisel 104 näidatud punktiirina), mis väljumistrafos vastastikku neutraliseeruvad.

Maksimaalse anoodi vahelduvpinge juures, mis teoreetiliselt võib ulatuda kuni $\underline{U}_A$ (tegelikult alati väiksem), on väljundvõimsus suurim. Koormustakistus kujuneks sel puhul

$$R_A \leqslant \frac{\underline{U}_A}{\underline{I}_{A\,max}} \quad (\Omega).$$

Saadav väljundvõimsus võrdub maksimaalselt

$$P_v = \tfrac{1}{2}\underline{I}_{A\,max}\underline{U}_A \quad (\mathrm{W}),$$

või ülekantuna võrepingele

$$P_v = \frac{\mu^2 U_G^2 R_A}{(R_A + R_i)^2} \quad (\mathrm{W}).$$

Anoodi toitevõimsus

$$\underline{P} = 0{,}636\,\underline{I}_{A\,max}\underline{U}_A \quad (\mathrm{W})$$

ja anoodi kasutegur maksimaalselt

$$\eta_A = \frac{P_v}{\underline{P}} \cdot 100 = \frac{\tfrac{1}{2}\underline{I}_{Amax}\underline{U}_A}{0{,}636\,\underline{I}_{Amax}\underline{U}_A} \cdot 100 = 78{,}5\ (\%).$$

Praktiliselt saadavad anoodi kasutegurid on veidi väiksemad (50 ... 70%). Väljumise sobitustrafo keerdude vahekord arvutatakse

$$\frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{4\underline{U}_A}{\underline{I}_{Amax}R_A}}.$$

B-klassi võimendajad vajavad väga hea reguleerimisvõimega anoodpinge toiteallikat, et ei tekiks anoodpinge piiramisi väljundvõimsuses.

Pentoode ega tetroode B-klassi võimendajana ei kasutata, kuna nad trioodiga võrreldes ei anna mingit paremust. Trioodidega saavutatakse juba teoreetiliselt maksimaalne võimalik kasutegur.

B-klassi võimendaja kasutamine on alati õigustatud neil juhtudel, kui anoodi kasutegur evib esmajärgulist tähtsust, nagu suurte võimsustega võimendajates saatjate modulaatoreina, kõnevõimendajaina ja lõppvõimendajaina patareivastuvõtjates.

6. AB-klassi võimendaja.

Põhimõtteliselt AB-klassi võimendaja on võimsuse võimendaja. Ta töötamiseks vajalik võre-eelpinge valitakse B- ja A-klassi režiimide vahepealne nii et kummaski lambis anoodvool voolab rohkem kui sisendpinge pooltsükli (180°) ja vähem kui terviktsükli (360°) kestel. Seepärast vajab AB-klassi töö-

režiim kahe lambi sümmeetrilist lülitust, et tagada väljundi kuju sarnasust koormustakistuses võrepinge kujuga. Eristatakse kahte AB-klassi töörežiimi: AB_1 — kui võrepinge amplituud ei ületa võre-eelpinge väärtust, millega piiratakse täielikult võrevoolu tekkimine, ja AB_2 — kui võrepinge amplituud ületab võre-eelpinge ja osa tsükli ajal voolab võrevool.

a) AB_1-klassi lülituses tööprotsess sarnaneb pigem A-klassi vastastaktlülituse tööprotsessiga. Et võrering ei tarvita võimsust, võib ergutusastmes kasutada tavalist võimendajat isegi takistussidestuses, eeldusel, et ta suudaks arendada AB_1-klassi võimendaja normaalseks töötamiseks vajaliku amplituudiga moonutusvabu pingeid. Säärase töörežiimi juures tekivad kummagi lambi anoodvoolus suurtel võrepinge amplituudidel moonutused, mis väljumistrafos vastastikku tasakaalustuvad, ja väljundvõimsus omab täielikult võrepinge kuju. Ühtlasi tasakaalustuvad väljundis kõik paaris harmoonilised. Anoodvoolu I_A amplituud võib ulatuda kuni $\frac{1}{2}\frac{U_A}{R_i}$ väärtuseni ja maksimaalne võimalik väljundvõimsus

$$P_v = \tfrac{1}{2} I_A^2 R_A = \tfrac{1}{8} U_A I_{A max} \quad (W).$$

Anoodi toitevõimsus $P = 0{,}318\, U_A I_{A\,max}$ (W) ning

maksimaalne anoodi kasutegur $\eta_A = \frac{P_v}{P} \cdot 100 = \frac{\frac{1}{8} U_A I_{A\,max}}{0{,}318\, U_A I_{A\,max}} \cdot 100 = 39{,}3(\%)$.

Et siin korraga töötab ainult väljumistrafo üks pool, nagu B-klassi võimendajaski, siis väljumistrafo keerdude vahekord kujuneb

$$\frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{4R_i}{R_A}} = \sqrt{\frac{4U_A}{I_{A\,max} R_A}}.$$

Pentoodi ja tetroodi rakendamisel AB_1 töörežiimi on tööprotsess analoogiline trioodi tööprotsessiga. Selliste lampide anoodpinge tagasimõju puudumise tõttu on anoodi vahelduvvoolu amplituud I_A sõltumatu koormustakistusest R_A. Vahelduva anoodpinge amplituud U_A on piiratud anoodi alalispinge U_A väärtusega ($U_A = U_A$). Kui koormustakistus $R_A = \frac{U_A}{I_{A max}}$, kujuneb maksimaalne väljundvõimsus

$$P_v = \tfrac{1}{2} I_{A\,max} U_A \quad (W).$$

Anoodi toitevõimsus

$$P = 0{,}636\, I_{A\,max} U_A \quad (W) \text{ ning}$$

anoodi kasutegur

$$\eta_A = \frac{\frac{1}{2} I_{A\,max} U_A}{0{,}636\, I_{A\,max} U_A} \cdot 100 = 78{,}5(\%).$$

Väljumistrafo keerdude vahekord on samuti kui trioodidegi juures

$$\frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{4R_i}{R_A}} = \frac{4U_A}{I_{A max} R_A}.$$

b) AB_2-klassi võimendaja tööprotsess kujutab AB_1- ja B-klassi võimendajate tööprotsesside vahepealset: väikeste sisendpingete puhul, kui võrevool ei voola, töötab võimendaja AB_1-klassi režiimis, suurte amplituudidega sisendpingete puhul, kui voolab võrevool, B-klassi režiimis.

AB-klassi võimendajas kasutatakse tavalisi võimsustrioode või pentoode ja tetroode, millede anoodvoolu allaviimiseks sisendpingete puudumisel on tarvis anda suhteliselt suuri võre-eelpingeid (1,5 ... 2 korda suuremaid kui A-klassi puhul). Kuna olulisim osa AB_2-klassi tööprotsessist sarnaneb pigem B-klassi töörežiimiga, siis sarnanevad kõik arvutused B-klassi arvutustega. AB_2-klassi võimendaja vajab samuti kui B-klassi võimendajagi erilist ergutustrafot, mis peab katma võrekaod. Koormustakistus, väljundvõimsus ja väljumistrafo arvutatakse ühistel alustel B-klassi võimendajaga. Samuti kui B-klassi võimendaja juures, peab ka AB_2-klassi võimendaja anoodi toiteallikas evima head pingereguleerimise võimet.

7. Sidestusviise ja põhilülitusi.

Iga võimendusaste omab sisend- ja väljundringi, mis tuleb sidestada vastavalt võimendatavate pingete või võimsuste allikaga ja tarbijaga. Vaadeldava võimendusastme suhtes võivad selleks võimendatavate pingete või võimsuste allikaks ja tarbijaks olla teised võimendusastmed, kui võimendaja on mitmeastmeline. Nii sisend- kui ka väljundpoolel on sidestamise ülesandeks sobitada õigesti vooluallika ja tarbija impedantsid võimendusastme vastavate impedantsidega, et saavutada võimalikult maksimaalset pinge või võimsuse ülekannet ühtlase võimendusega kogu võimendatavate sageduste spektris.

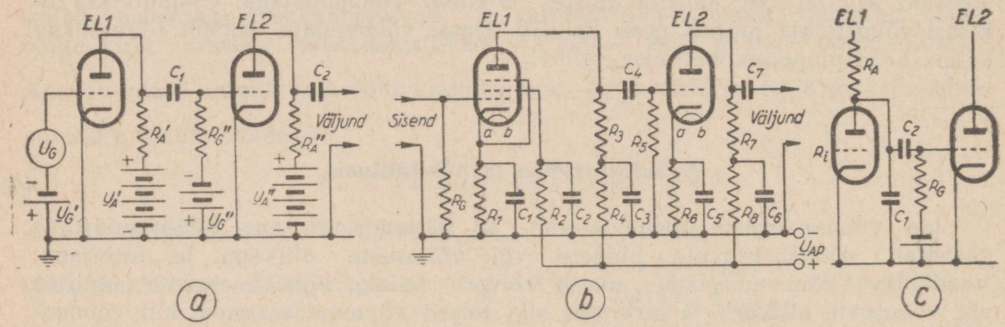
Tegelikult sellise ülesande täitmine (eriti laias sagedusribas) on seotud raskustega, sest kasutatavate lülituselementide elektrilised väärtused, kaasa arvatud võimenduslambi elektroodidevaheliste mahtuvuste reaktantsid, muutuvad sagedusega. Tavaliselt on võimendatavate võimsuste vooluallikate sisetakistused võimendusastme võre ja katoodi vahelise sisendimpedantsiga võrreldes väga väikesed. Neil juhtudel, näiteks süsimikrofoni juures, näib olevat õigeks lahenduseks kõrge ülekandesuhtega sisendtrafo lülitamine vooluallika ja võimendaja sisendi vahele. Kuid madalsagedustrafode juures jõuab ülekandesuhe õige pea piirväärtuseni, millest üle trafo mähiste mahtuvused kutsuvad esile tõsiseid lineaarseid moonutusi. Seepärast sidestusprobleemi lahendamine võimendajas kujuneb pigem kompromisslahenduseks, mille juures harilikult tuleb kas ohverdada võimendust või võimsust või leppida vähemal või suuremal määral moonutustega. Lahendus ise seisab sobivaima lülituse ja lülituselementide suuruse valikus.

Eristatakse üldiselt kolme liiki madalsagedusvõimendaja põhilülitusi:

1) takistussidestust,
2) paispoolsidestust,
3) trafosidestust,

mis võimendajas kui tervikus ei esine puhtal kujul, vaid harilikult on üksteisega segatud.

a) Takistussidestus. Takistussidestuses, mille põhimõtteline lülitus on toodud joonisel 105 *a*, esimese võimendusastme lambi EL1 võreringi rakendatud sisendpinge U_G mõjul tekib anoodtakistuse R_A' klemmidel võimendatud väljundpinge. See väljundpinge baseerub üldisele miinus- ehk maandus-potentsiaalile läbi anoodi toiteallika $U_{A'}$ millel nimetamisväärset sisetakistust ei ole ja mis pingelangu ei tekita. Väljundpinge kõrge potentsiaal asetseb takistuse R_A' anoodi-poolses otsas ning on ühtlasi anoodi toiteallika plusspotentsiaali all. Seepärast väljundpinge ülekandmiseks järgneva võimenduslambi EL2 võrele edaspidiseks võimendamiseks on tarvis EL1 anoodi ja EL2 võre vahele lülitada sidestuskondensaator C_1, millel peab olema nii suur



Joon. 105. Takistussidestuses võimendaja lülitusi: *a* — põhimõtteline lülitus; *b* — praktiline lülitus, mille esimeses astmes kasutatakse varivõrepentoodi 6J7, teises astmes trioodi 6C5. Osade suurused: $R_1 = 4000\ \Omega$, $R_2 = 1{,}2\ M\Omega$, $R_3 = 0{,}225\ M\Omega$, $R_4 = 30\,000\ \Omega$, $R_5 = 0{,}5\ M\Omega$, $R_6 = 1200\ \Omega$, $R_7 = 12\,200\ \Omega$, $R_8 = 10\,000\ \Omega$, $R_G = 0{,}5\ M\Omega$; $C_1 = 8\ \mu F$, $C_2 = 0{,}01\ \mu F$, $C_3 = 4\ \mu F$, $C_4 = 0{,}0012\ \mu F$, $C_5 = 2\ \mu F$, $C_6 = 4\ \mu F$, $C_7 = 0{,}032\ \mu F$; $U_A = 280$ V; *c* — ekvivalentne arvutuslülitus.

mahtuvus, et temas ei tekiks märgatavat pingelangust ka madalamail võimendatavail sagedustel. Teise võimenduslambi EL_2 võrele antakse alaline eelpinge võrepinge allikast U_G'' võretakistuse R_G'' kaudu, sest võrepinge allika väga väike sisetakistus lühistaks praktiliselt väljundpinge. Seega võretakistus R_G'' peab olema küllalt suur võrreldes anoodtakistusega R_A', millega ta asub rööbiti, et ei tekiks nimetamisväärset pingevõimenduse langust. Takistussidestuse astmevõimendus väljendatakse $V = \mu \dfrac{R_A}{R_A + R_i}$, millest nähtub, et R_A vähendamisega väheneb võimendus. Kuna R_G asetseb rööbiti R_A, siis anoodringi üldise takistuse vähenemine on seda märgatavam, mida väiksem on R_G. Isegi kui $R_G = R_A$, on anoodringi üldtakistus ainult $\dfrac{R_A}{2}$.

Teiselt poolt ei või C_1 ja R_G piiramatult suurendada kahel põhjusel: 1) kondensaatori isolatsioon pole ideaalne ning asudes suhteliselt kõrge positiivse anoodpinge all on võimalik positiivse laengu lekkimine võrele, mis kutsub esile võrevoolu, ja juhul, kui võretakistus R_G on väga suur, tekib võre töö-

punkti nihkumine vasakule, s. o. alumisse põlvikusse, mille tulemuseks on vältimatud moonutused, ja 2) sama võrevoolu võivad esile kutsuda juhuslikud kõrged vahelduva signaalipinge positiivsed amplituudid, mille tulemus on analoogiline eelmisega. Seepärast piiratakse C_1 ja R_G suurused nende korrutisväärtusega maksimaalselt

$$C_1 R_G \leqslant 0{,}003 \ldots 0{,}03 \text{ ehk } C_1 \leqslant \frac{0.003 \ldots 0{,}03}{R_G},$$

milles C_1 on väljendatud μF, R_G aga MΩ. Igal juhul sidestuskondensaator peab evima väga kõrget isolatsiooniväärtust.

Olulisim osa keskmistest helisagedustest võimendatakse takistussidestuses võrdlemisi ühtlaselt, sest võimendust määravaks teguriks neil sagedusil on puhttakistuslik anoodkoormus R_A. Kuid madalail ja kõrgeil sagedusil muutuvad domineerivamaiks tegureiks sidestuskondensaatori ja võimenduslambi ekvivalentne sisendmahtuvus. Sidestuskondensaatori reaktants tõuseb sageduse langedes ja kuna sidestuskondensaatori mahtuvuse tõstmine eespool selgitatud põhjustel on piiratud, siis vältimatult peab võimendus varem-hiljem langema. Samasuguse piiri paneb kõrgemate sageduste võimendamisele lambi ekvivalentne sisendmahtuvus (D3c), mis tõuseb sagedusega ja lambi võimendusega. Et sisendmahtuvus asetseb rööbiti anood- ja võretakistusega, siis on ta mõju seda suurem, mida suuremad on takistused. Järelikult neil juhtudel, kui on tarvis võimendada ühtlaselt väga laia sagedusriba, näit. alates 16 kuni 20 000 Hz, on vältimatu vähendada R_A ja R_G suurusi ning valida võimenduslamp, mille sisetakistus R_i ja võimendustegur on väikesed. Sellega väheneb tunduvalt üldine võimendus, kuid hoidutakse lineaarseist moonutustest.

Üheks takistussidestuse puuduseks on veel suur alalisvoolu pingelang anoodtakistuses, mille tagajärjel langeb tunduvalt lambi tõus ning samavõrra tõuseb sisetakistus. Järelikult tuleb tõsta anoodtakistust, et säilitada küllaldast võimendust ning ühtlasi suurendada anoodi toitepinget, mis viiks lambi töötamistingimused normaal-olukorda. Teiselt poolt, nagu varem käsiteldud, on piiratud ka anoodtakistuse tõstmine.

Tunduvalt soodsam on takistussidestuses võimendajana kasutada varivõrepentoode: nende sisendmahtuvus on väga väike ega muutu sagedusega ja anoodi tagasimõjutus võrele praktiliselt puudub. Seepärast on varivõrepentoodide kasutamine takistussidestuses alati õigustatud senikaua, kui võimendatavate pingete amplituudid on väikesed. Suuremate amplituudidega pingeid varivõrepentoodid ei suuda käidelda piiratud võrekäigu tõttu ning sel puhul tuleb töösse rakendada triood.

Joonisel 105 *b* on toodud kaheastmelise takistussidestuses võimendaja praktiline lülitus, mille esimeses astmes on kasutatud varivõrepentoodi 6J7, teises trioodi 6C5. Selles lülituses toidetakse lampe ühisest anoodpinge allikast $\underline{U}_{AP}$. R_8 ja R_7 on anoodi koormustakistusteks, R_2, R_4 ja R_8 — lahtisidestuse ja pingelangetuse takistusteks. Kondensaatorid C_4 ja C_7 on sidestuskondensaatoriteks, C_2, C_3 ja C_6 — lahtisidestuskondensaatoriteks. Võre-eelpinge saadakse katoodtakistites R_1 ja R_6, alalise katoodvoolu $\underline{I}_K$ ($\underline{I}_K = \underline{I}_A + \underline{I}_{G2}$) läbimisel tekkiva pingelanguna, mis rakendatakse võretakistite R_G ja R_5 kaudu lampide võredele. Katoodkondensaatorid C_1 ja C_5 tekitavad katoodtakistite klemmidel are-

nevatele vahelduvpingetele lühise. Katoodtakistite R_K suurused arvutatakse vajaliku võre-eelpinge $\underline{U}_G$ ja katoodvoolu I_K järgi

$$R_K = \frac{\underline{U}_G}{\underline{I}_K} \text{ (oomi)}$$

ning katoodkondensaatorid arvutatakse

$$C_K \approx \frac{7000}{R_K} \ (\mu\text{F}).$$

Võimendajalt saadav üldvõimendus võrdub 1530, s. o. 63,7 dB, millest esimene aste annab 140,5, s. o. 43 dB, teine võimendusaste 10,8, s. o. 20,7 dB. Võimendus on ühtlane sagedustel alates 30 kuni 10 000 Hz, langusega piirsagedusil kuni 25%, s. o. — 2,6 dB. Lubatavad maksimaalsed sisendpinged $U_G = 1{,}5$ mV, mille juures saadavad väljundpinged võrduvad 23 V. Ebalineaarsed moonutused on alla 3%.

Alljärgnevalt on toodud võimendaja arvutuskäik.

Takistusidestuses võimendaja arvutus. Käesolev arvutusmeetod on koostatud järgmiste oletustega (joon. 105 *b*):

1) on teada lülituses kasutada olev võimenduslamp EL1,
2) on teada võimendusastmele järgnev seade (käsiteldaval juhul võimenduslamp EL2),
3) on ette määratud madalaima ja kõrgeima piirsageduse osavõimendus võrreldes keskssagedusega (400 Hz).

Arvutuse ülesandeks on:

1) leida võimenduslambi EL1 anoodtakistuse R_A väärtus,
2) leida sidestuskondensaatori C_2 väärtus,
3) määrata astme võimendus kesksagedusil, kõrgeimal piirsagedusel ja madalaimal piirsagedusel,
4) kontrollida astme töörežiimi ebalineaarsete moonutuste seisukohalt.

Käesoleval juhul on tarvis arvutada 2-astmeline mikrofoni eelvõimendaja, mille madalaima piirsageduse $f_m = 30$ Hz ja kõrgeima piirsageduse $f_k = 10\,000$ Hz osavõimendus, võrreldes keskmise sagedusega $f_{kesk} = 400$ Hz, oleks $A = 0{,}75$. Nõutav võimendus 63,5 dB ehk 1500, amplituudi moonutused alla 3%. Võimendajas on ette nähtud lambid: 1. astmes varivõrepentood 6J7, 2. astmes — triood 6C5. Lampide andmeid: 6J7: $\mu = 1500$, $R_i = 1{,}5$ M Ω, $C_{AK} = 12$ pF; 6C5: $\mu = 20$, $R_i = 10\,000\ \Omega$, $C_{GK} = 4$ pF, $C_{GA} = 1{,}8$ pF.

Jooniselt 105 *c* selgub, et kõrgemate sageduste võimendamisele paneb piiri kahjulike mahtuvuste üldväärtus C_1, mille moodustavad C_{AK}, C_{GK} ja ekvivalentne C_{GA} võimendusel tuletatav mahtuvus C_e (D 3c) ja mis asub rööbiti R_i, R_A ja R_G-ga. Arvutusel tuleb kõiki elektroodidevahelisi mahtuvusi suurendada keskmiselt 3 pF võrra lambi sokli, pesa ja ühendusjuhtmete vaheliste mahtuvuste arvel. C_e leidmiseks oletame, et 6C5 võimendus võrdub 10, siis $C_e = 4{,}8\ (1+10) = 53$ pF. Üldväärtus $C_1 = 53+12+4+2 \cdot 3 = 75$ pF.

Arvutame 1. astme lülituselemendid. C_1-st tulenevat vastavat takistust kõrgel piirsagedusel f_k lubatava nõrgenemisega (0,75) väljendame algul *r*-ga:

$$r = \frac{1 - A^2}{\omega C_1 A} = \frac{\sqrt{1 - 0{,}75^2}}{6{,}28 \cdot 10^4 \cdot 75 \cdot 10^{12}} = 0{,}1405 \cdot 10^6\ \Omega$$

ning ülekantuna lambi sisetakistusele R_i väljendame R:[1]

$$R = \frac{rR_i}{R_i - r} = \frac{0{,}1405 \cdot 10^6 \cdot 1{,}5 \cdot 10^6}{1{,}5 \cdot 10^6 - 0{,}1405 \cdot 10^6} = 0{,}155 \cdot 10^6\ \Omega.$$

Kui piirata võimenduslambi 6J7 lineaarseid moonutusi 5%-ga, s. o. osavõimendusega 0,95, kõrgeimaks sageduseks $f_k = 12\,000$ Hz, siis väheneb anoodi koormustakistus $R_A = 63\,000$ oomile ning saadav võimendus võrdub ainult 55,3.

Kui vähendada kõrgeimat sagedust $f_k = 8000$ Hz ja suurendada moonutusprotsenti 25, tõuseb anoodi koormustakistus $R_A = 0{,}275$ M Ω ning saadav võimendus suureneb 160-ni.

Sellest nähtub, et kõrgemate sageduste säilitamiseks tuleb ohverdada õige tunduvalt saadavat võimendust.

Seejärel arvutame R_A sõltuvalt R-ist ja võretakistusest R_G, mille valime 0,5 M Ω:

$$R_A = \frac{RR_G}{R_G - R} = \frac{0{,}155 \cdot 10^6 \cdot 0{,}5 \cdot 10^6}{0{,}5 \cdot 10^6 - 0{,}155 \cdot 10^6} = 0{,}225 \cdot 10^6 = 0{,}225\ \text{M}\Omega.$$

Lõpuks arvutame C_2 sõltuvalt madalaimast piirsagedusest ja lubatavast nõrgenemisest sellel sagedusel (0,75)

$$C_2 = \frac{A}{\omega R_G \sqrt{1 - A^2}} = \frac{0{,}75}{6{,}28 \cdot 30 \cdot 0{,}5 \cdot 10^6 \cdot \sqrt{1 - 0{,}75^2}} = 0{,}0012\ \mu\text{F}.$$

Kõiki lülituselemente teades, arvutame 1. astmelt saadava pingevõimenduse kesksagedusel (f_{kesk}) ja piirsagedustel (f_k, f_m).

Kesksagedusel saadav võimendus V_{kesk} ($f = 400$ Hz):

$$V_{kesk} = \frac{\mu R}{R + R_i} = \frac{1500 \cdot 0{,}155 \cdot 10^6}{0{,}155 \cdot 10^6 + 1{,}5 \cdot 10^6} = 140{,}5.$$

Kõrgeimal piirsagedusel saadav võimendus V_k ($f = 10\,000$ Hz):

$$V_k = V_{kesk} \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega C_1 r)^2}} = \frac{140{,}5}{\sqrt{1 + (6{,}28 \cdot 10^4 \cdot 75 \cdot 10^{-12} \cdot 0{,}1405 \cdot 10^6)^2}} = 109,$$

mis võrdub 0,775 osavõimendusega kesksagedusest.

Madalaimal piirsagedusel saadav võimendus V_m ($f = 30$ Hz):

$$V_m = V_{kesk} \frac{R_G}{\sqrt{R_G^2 + \frac{1}{(\omega C_2)^2}}} = \frac{140{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 10}{\sqrt{0{,}5^2 \cdot 10^{12} + \frac{1}{(6{,}28 \cdot 30 \cdot 0{,}0012 \cdot 10^{-6})^2}}} = 128,$$

mis võrdub 0,91 osavõimendusega kesksagedusest.

Samuti arvutame teise astme lülituselemendid ja võimenduse lambiga 6C5, eeldades, et teisele astmele järgneb sidestus, mille kaudu kandub tagasi anood-

[1] Lambi väikese sisetakistuse korral võib juhtuda, et R kujuneb negatiivseks, mispuhul arvutatav kõrge piirsagedus lambist ei sõltu.

ringi ekvivalentne võretakistus $R'_G = 0{,}5$ MΩ ja mahtuvus $C'_1 = 80$ pF. Ühtlasi piirame võimenduse piirsagedustel $A = 0{,}95$, et säilitada üldist võimendaja lineaarsete moonutuste protsenti eeldatud piirides. Teise võimendusastme vastavad suurused kujunevad järgmisteks:

$$r = \frac{\sqrt{1-0{,}95^2}}{6{,}28 \cdot 10^4 \cdot 80 \cdot 10^{-12}} = 0{,}062 \cdot 10^6\ \Omega;$$

$$R = \frac{0{,}062 \cdot 10^6 \cdot 10^4}{10^4 - 0{,}062 \cdot 10^6} = 11900\ \Omega;$$

$$R_A = \frac{11{,}9 \cdot 10^3 \cdot 0{,}5 \cdot 10^6}{0{,}5 \cdot 10^6 - 11900} = 12200\ \Omega;$$

$$C_2 = \frac{0{,}95}{6{,}28 \cdot 30 \cdot 0{,}5 \cdot 10^6 \cdot 0{,}312} = 0{,}032\ \mu\text{F}.$$

Saadavad võimendused:

$$V_{f400} = \frac{20 \cdot 11900}{11900 + 10000} = 10{,}8;$$

$$V_{f10000} = \frac{10{,}85}{\sqrt{1 + (6{,}28 \cdot 10^4 \cdot 80 \cdot 10^{-12} \cdot 0{,}062 \cdot 10^6)^2}} = 10{,}4 \text{ ehk } 0{,}96\, V_{f400};$$

$$V_{f30} = \frac{10{,}85 \cdot 0{,}5 \cdot 10^6}{\sqrt{0{,}5^2 \cdot 10^{12} + \frac{1}{(6{,}28 \cdot 30 \cdot 0{,}032 \cdot 10^6)^2}}} = 10{,}4 \text{ ehk } 0{,}96\, V_{f400}.$$

Lõplikud andmed võimendajast, mille lülitus on toodud joonisel 105 *b*, kujunevad järgmisteks.

Võimendus: 1. astmelt 140,5 ehk 43 dB, 2. astmelt 10,8 ehk 20,7 dB, üldvõimendus $140{,}5 \cdot 10{,}8 = 1530$ ehk $43 + 20{,}7 = 63{,}7$ dB.

Lineaarsed moonutused: sagedusel 10 000 Hz, üldvõimenduse juures $109 \cdot 10{,}4 = 1140$ osavõimendus 0,745, ja sagedusel 30 Hz, üldvõimenduse juures $128 \cdot 10{,}4 = 1330$ osavõimendus 0,87, moonutused seega 25,5% ehk —2,6 dB ja 13,1% ehk —1,2 dB, mis vastab ülesseatud tingimustele

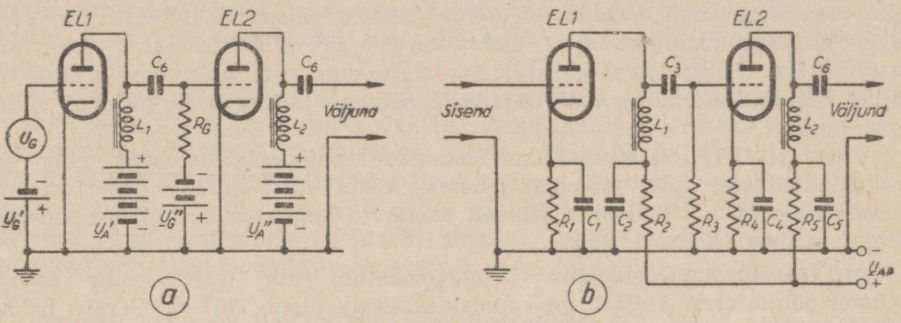
Jääb veel üle kontrollida ebalineaarsete moonutuste protsenti, mis arvutatakse tööprotsessi järgi anoodvoolu-anoodpinge iseloomustuskõverate sarjast. Määrates kindlaks anoodpinge $\underline{U}_A$ suuruse, mis käesoleval juhul, arvestades suhteliselt väikesi võimendatavaid pingeid, võib piirduda 200 ... 300 voldiga, tuleb tõmmata koormusjoon, mille kaudu tehakse kindlaks anoodpingete amplituudide kõikumised. Saadud väärtuste järgi tuletub moonutusprotsent

$$K_e = \frac{\frac{\underline{U}_{Amax} + \underline{U}_{Amin}}{2} - \underline{U}_A}{\underline{U}_{Amax} - \underline{U}_{Amin}} 100.$$

Käesoleval juhul esimeses võimenduslambis arenevad anoodpinge kõikumised on väikesed ning tekkivaid moonutusi ei saa arvutada. Teises lambis väljundpinge U_A amplituudväärtuse juures 23 V piirduvad amplituudi moonutused 2%-ga (anoodi toitepinge 280 V). Igal juhul on saadavad väljundpinged teatud määral võrdelised anoodi toitepingega. Trioodide juures võib takistussidestuses arvata väljundpingete amplituudväärtusi kuni $^1/_5 \ldots {}^1/_4$ anoodi toitepingest, pentoodide juures kuni $^1/_4 \ldots {}^1/_3$ anoodi toitepingest. Järelikult suuremate

väljundpingete saamiseks tuleb võrdeliselt tõsta anoodi toitepinget, kuid seejuures mitte üle minna lambi valmistaja poolt määratud piirväärtustest.

b) Paispoolsidestus. Paispoolsidestuses asendatakse anoodtakistus (joon. 106 *a)* (mõnikord ka võretakistus) paispooliga. Kuna paispooli alalisvoolu takistus on ta induktiivse reaktantsiga võrreldes väga väike, siis paispoolsidestuses rakendub anoodile praktiliselt kogu alaline anoodpinge ning paispooli klemmidel tekkivat kasulikku vahelduvpinget kasutatakse võimenduse otstarbel. Võrele juhitud sisendpinge kutsub anoodi paispoolis esile anoodvoolu muutuse, mille tagajärjel indutseerub paispoolis vahelduvpinge. Kuna see vahelduv-



Joon. 106. Paispoolsidestuses võimendaja lülitusi: *a* — põhimõtteline lülitus, *b* — praktiline lülitus, milles kasutatakse mõlemas astmes trioodi 6C5. Lülituselementide suurused: $R_1 = 1000\ \Omega$, $R_2 = 20\,000\ \Omega$, $R_3 = 0{,}5$ M Ω, $R_4 = 650\ \Omega$, $R_5 = 5000\ \Omega$, C_1, $C_4 = 10\ \mu$F, C_2, $C_5 = 4\ \mu$F, C_3, $C_6 = 0{,}1\ \mu$F, $L_1 = 200$ H, $L_2 = 100$ H.

pinge on võrdeline paispooli induktiivsuse ja sagedusega, siis on võimalik keskmistel sagedustel arvutada pingevõimendust analoogiliselt takistussidestuses kasutatava võimendusvalemiga, milles anoodtakistus on asendatud paispooli reaktantsiga.

Et keskmistel sagedustel anoodi paispooli reaktants $(2\pi f L_1)$ on tunduvalt suurem järgneva lambi võretakistusest R_G, siis lihtsustub võimendusvalem

$$V = \frac{\mu R_G}{R_i + R_G}.$$

Uhtlase võimenduse saamiseks madalamail sagedustel peab paispooli induktiivsus olema suur. Teiselt poolt suur induktiivsus ohustab kõrgemate sageduste võimendust, kuna induktiivsuse suurenemisega koos tõuseb ka paispooli mähiste vaheline sisemahtuvus, mis liitudes järgneva võimenduslambi sisendmahtuvusega paneb peagi piiri võimendamisele. Paispoolsidestus annab täiesti rahuldavaid tulemusi ja omab võrdlemisi ühtlast võimendust laial sagedusribal siis, kui võimendusastmes kasutatav lamp on madala sisetakistusega. Kuid kõrge sisetakistusega lambi juures kujunevad lineaarsed moonutused suhteliselt suurteks. Uhtlasi on võimalikud resonantsnähtused paispooli induktiivsuse ja liituvate mahtuvuste vahel, mis põhjustavad resonants-

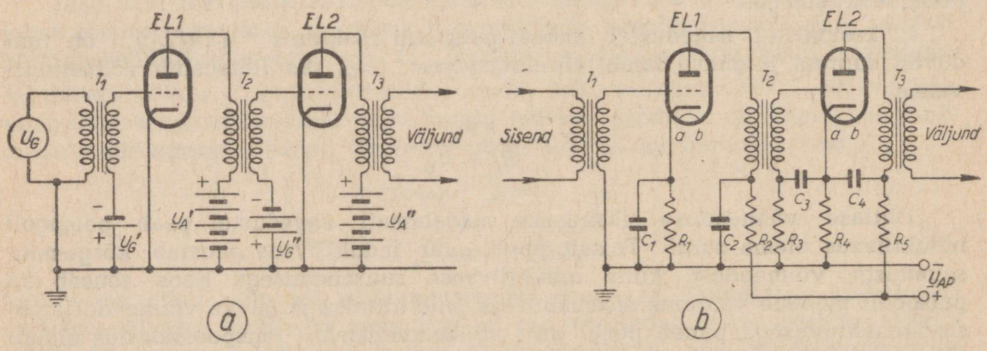
sagedustel ebaühtlasi võimenduse tõuse. Kõrgete sisetakistuste tõttu pole varivõrepentoodide kasutamine paispoolsidestuses üldse mõeldav, kuna lineaarsed moonutused tõuseksid siis väga suureks.

Paispoolsidestuse kasutamine võiks olla õigustatud neil juhtudel, kui anoodi toitepinge on piiratud ja seega takistussidestuse kasutamine ei anna tulemusi. Kuid sellistel kordadel on otstarbekam pingevõimendajaks kasutada trafosidestust, mis madala anoodpingega töötamisel annab ühtlasi veel lisavõimendust.

Paispoolsidestuses asendatakse võretakistus mõningail juhtudel paispooliga. Sellega taotellakse õige madalate sageduste võimenduse forsseerimist sel teel, et võrepaispooli ja sidestuskondensaatori väärtuste sobiva valikuga tekitatakse resonants neil sagedustel. Kui näiteks paispooli induktiivsus võrdub 35 H ja sidestuskondensaatori mahtuvus 0,3 μF, siis resonants tekib sagedusel 50 Hz. Sellisel teel kunstlik madalate sageduste paisutamine annab küll näilist efekti, kuid kõrgemail sagedusil säärane lülitus toob pidevat võimenduse langust.

Joonisel 106 *b* on toodud kaheastmelise paispoolsidestusega võimendaja praktiline lülitus, mille mõlemas astmes kasutatakse madala sisetakistusega trioode tüüp 6C5. Selliselt lülituselt saadav võimendus keskmistel sagedustel võrdub umbes 350, s. o. 31 dB.

c) Transformaatorsidestus. Transformaator- ehk trafosidestus sarnaneb töötamispõhimõttelt üldiselt paispoolsidestusega (joon. 107 *a*). Trafo primaarmähist läbiva anoodvoolu vahelduvvoolu komponendi toimel indutseeruvad vahelduvpinged nii primaar- kui sekundaarmähistes. Pingevõimendustrafo ülekandesuhe $\ddot{u} = \frac{w_1}{w_2}$ on harilikult väiksem kui 1, millele vastavalt sekundaarmähises indutseeruvad pinged on kõrgemad primaarmähise pingetest, s. o. trafo toimib täiendava pingevõimendajana. Seega keskmistel sagedustel võimendusastmelt saadav pingevõimendus võrdub lambi võimendusteguriga jagatuna ülekandesuhtega $(\mu/\ddot{u})$.



Joon. 107. Transformaatorsidestuses võimendaja lülitusi: *a* — põhimõtteline lülitus, *b* — praktiline lülitus, mille mõlemas astmes kasutatakse trioodi 6C5. Lülituselementide suurusi: $R_1 = 1000\ \Omega$, $R_2 = 20\,000\ \Omega$, $R_3 = 0{,}1$ M Ω, $R_4 = 650\ \Omega$, $R_5 = 10\,000\ \Omega$, C_1 $C_4 = 10\ \mu$F, $C_2 = 4\ \mu$F, $C_3 = 1\ \mu$F; T_1 — sisendtrafo, T_2 — lampidevaheline trafo ülekandesuhtega 1:3, T_3 — väljundtrafo.

Madalamate sageduste võimendamisel on nõutav, samuti kui paispoolsidestusegi juures, et primaarmähise induktiivsus oleks küllaldaselt suur.

Kõrgemate sageduste võimendamisel on nõutav, et trafo puisteinduktiivsused ja mähiste omamahtuvused (B56d) oleksid võimalikult väikesed, et nendest tulenev resonantssagedus asuks ülekantavast kõrgeimast sagedusest kõrgemal. Resonantssagedusel tekib tunduv pingevõimenduse tõus, millele sageduste tõustes järgneb järsk pingevõimenduse langus. Resonantsist tingitud lineaarseid moonutusi leevendatakse trafo vastava ehitusviisiga (sektsioonimine, õhuvahega mähised, suur sekundaarmähise takistus) ning madala sisetakistusega võimenduslambi valikuga. Viimane, asudes rööbiti trafo primaarmähisega, vähendab resonantsringi Q, muutes resonantskõvera lamedaks. Mõnikord lülitatakse samal otstarbel sekundaarmähisele rööbiti kõrgeoomiline takistus (0,25 ... 1 megaoomi), mis vähendab üldist võimendust kõigil sagedustel.

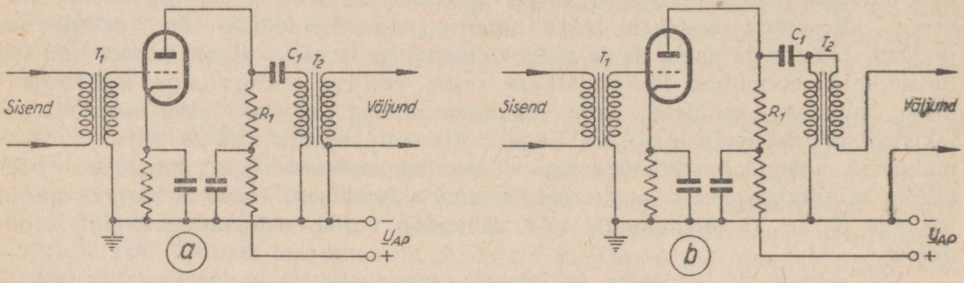
Siit selgub, et madalate ja kõrgete sageduste võimendamise põhimõtted on üksteisega vastuolus, mille õigeks kompromisslahenduseks on väike primaar-sekundaarmähise ülekandesuhe (mitte üle 1:3) ja madala sisetakistusega, kuid ühtlasi väikese anoodvooluga (väike anoodvool vähendab trafo südamiku magnetilise küllastumise ohtu) trioodi kasutamine, mis tähendab vähendatud pingevõimendust võimendusastmelt. Varivõrepentoodide kasutamine trafosidestuses langeb endastmõistetavalt välja, samuti kui paispoolsidestusegi juures.

Joonisel 107 *b* on toodud tüüpilise trafosidestuse lülitus, milles kasutatakse kahte madala sisetakistusega trioodi tüüp 6C5. Trafosidestuses pole sidestuskondensaator tarvilik, sest sekundaarmähis on anoodi alalispingest isoleeritud. Lülituses on erinevuseks teise võimendusastme võre- ja anoodringide lahtisidestus, mis vastavalt teostatakse takistite-kondensaatorite komplektide R_3C_3 ja R_5C_4 abil. Kondensaatorite C_3 ja C_4 ühendamisega vahetult katoodile elimineeritakse vahelduvate anoodpingete pääs anoodi toitepinge allikasse ja ühtlasi tagasimõju katoodi kaudu võreringi. Selliselt võimendajalt saadav pingevõimendus (arvestamata sisend- ja väljundtrafode ülekandesuhteid, mis olenevad nende individuaalsest sobitamisest) võrdub keskmistel sagedustel umbes 1000, s. o. 60 dB.

Harilikes trafosidestus-lülitustes voolab trafo primaarmähisest läbi alaline anoodvool, mis tekitab trafo südamikus eelmagneetimise. Tavaliste keskpäraste trafode juures, kui võimendajaks on valitud väikese anoodvooluga lamp, eelmagneetimine ei kujune ohtlikuks. Kuid kõrgeväärtuslikes trafodes, mis omavad suurt primaarmähise induktiivsust või milledes on kasutatud kõrge permeaablusega südamikumaterjali (permalloy jt.), kutsuvad isegi väikesed anoodvoolud esile südamiku magnetilise küllastumise, mille tulemuseks on ülekande kõrge kvaliteedi asemel väga suured ebalineaarsed moonutused. Selle pahe vältimiseks kasutatakse r ö ö b i t i s t t o i d e t, milline lülitus on toodud joonisel 108 *a*. Võimendaja töötab harilikus takistussidestuses, kuid võimendatud pinge lülitatakse sidestuskondensaatori C_1 kaudu veelkordseks võimendamiseks trafosse. Kui anoodpinge on valitud nii suur, et lambis moonutusi ei teki, annab säärane lülitus võrreldamatult paremaid tulemusi kui harilik trafosidelülitus.

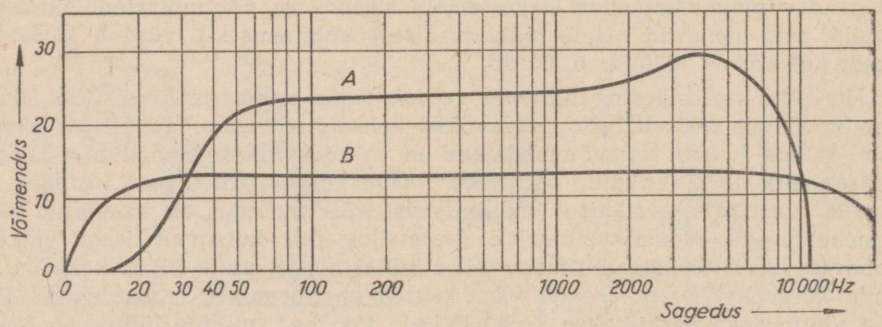
Joonisel 108 *b* on kujutatud eelmise lülituse variant a u t o t r a f o - s i d e s -

tuses. Sel puhul lülitatakse trafo primaar- ja sekundaarmähised järjestikku, mistõttu trafolt saadav võimendus suureneb. Näiteks, kui trafo ülekandesuhe $ü = 1:2$, siis autotrafo-sidestusel trafolt saadav võimendus võrdub $1:(2+1) = 1:3$, seega võimendus tõuseb 50%, trafo ülekandesuhte puhul $ü = 1:3$ tõuseb võimendus 33% jne. Trafo ühendamisel autotrafona peab enne selgitama, kas mähise pinged liituvad, sest väärühenduse korral tekib lisavõimenduse asemel nõrgenemine. Ka sellelt lülituselt saadavad tulemused on täiesti rahuldavad.



Joon. 108. Rööbitise toitega trafosidestusi: *a* — harilik lülitus, *b* — autotrafo-lülitus.

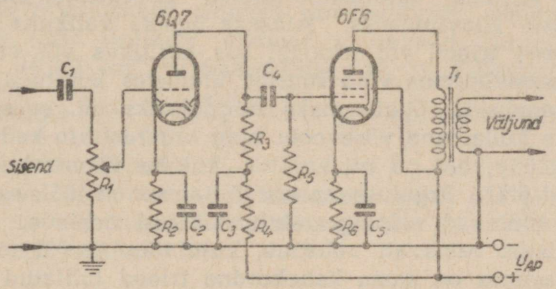
Trafosidestusega ja takistussidestusega võimendajate võrdlusel võib teha kokkuvõtte, et vaatamata trafo kaudu saadavale lisavõimendusele kujuneb õigete lampide ja lülituselementide valikul takistussidestuselt saadav võimendus umbkaudu võrdseks trafosidestusega, käesoleval juhul vastavalt 1500 ja 1000, seega isegi takistussidestuse kasuks. Samal ajal on takistussidestus tunduvalt moonutusvabam nii ebalineaarsete kui ka faasimoonutuste suhtes (joon. 109).



Joon. 109. Takistus- ja transformaatorsidestuse võimenduste võrdlus: A — transformaatorsidestuse, B — takistussidestuse võimenduse tüüpilisi kõveraid.

Uhtlasi on takistussidestuses kasutatavad lülituselemendid trafosidestuses kasutatavaist märksa odavamad. Takistussidestus nõuab küll kõrgemaid anoodi toitepingeid, kuid samal ajal on voolutugevus vastavalt väiksem.

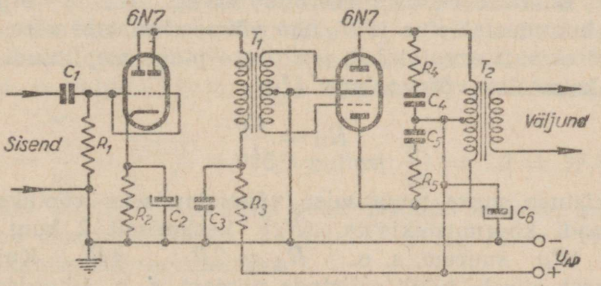
d) A-klassi võimsusvõimendaja. A-klassi võimsusvõimendaja, mille tüüplülitus kombineerituna pingevõimendajaga on toodud joonisel 110, kujutab endast takistussidestuses pingevõimendusastet, milles on kasutatud kõrge võimendusteguriga trioodi 6Q7 ja sellele järgnevat võimsusvõimendajat võimsuspentoodiga 6F6. Võimendajat toidetakse 285-voldisest anoodpinge toitealli-



Joon. 110. A-klassi võimsusvõimendaja lülitus, mille esimeses astmes on kasutatud pingevõimendajana takistussidestust lambiga 6Q7 (dioodid käesolevas lülituses on jäetud kasutamata) ja teises astmes võimsuspentoodi 6F6. Lülituselemendid: R_1 — sisendpinge reguleerija potentsiomeeter = 0,5 MΩ, R_2 = 3000 Ω, R_3 = 0,2 MΩ, R_4 = 20 000 Ω, R_5 = 0,5 MΩ, R_6 = 450 Ω, C_1 = 0,01 μF, C_2 = 10 μF, C_3 = 4 μF, C_4 = 0,05 μF, C_5 = 50 μF; T_1 — väljumistrafo; U_A = 285 V.

kast, voolutarvitus 54 mA. Küte võetakse võrgutrafost, küttevõimsus 6,3 V × 1 A = 6,3 vatti. Pingevõimendusaste arendab 35-kordset (30 dB) pingevõimendust. Sisendpinge juures 0,4 volti, mis on reguleeritav potentsiomeetriga, töötab võimsuslamp maksimaalses töörežiimis ja arendab väljundvõimsust 3 vatti, milles ebalineaarseid moonutusi on 7%, lineaarseid moonutusi sagedustel 50 Hz ja 8000 Hz 20%.

e) B-klassi võimendaja. B-klassi võimendaja, mille tüüplülitus on toodud joonisel 111, koosneb kahest astmest: ergutusastmest ja sümmeetrilisest kahe-



Joon. 111. B-klassi võimendaja lülitus. Nii ergutus- kui ka võimendusastmes kasutatakse kaksiktrioodi 6N7 Lülituselemendid: R_1 = 0,5 MΩ, R_2 = 900 Ω, R_3 = 40 000 Ω, R_4, R_5 = 10 000 Ω, C_1 = 0,01 μF. C_2 = 10 μF, C_3 = 4 μF. C_4, C_5 = 0,02 μF, C_6 = 10 μF; T_1 — ergutustrafo, T_2 — väljumistrafo, anoodpinge U_A = 300 V.

lambilisest võimendusastmest. Ergutusastme ülesandeks on mitte ainult võimendada võimendusastme sisendisse vajaliku suurusega vahelduvpingeid, vaid ühtlasi anda võimendusastme sisendringi vahelduvvoolu võimsust, mis läheb võrevoolu kadude katteks. Võrevoolu voolamine avaldub ergutuslambile koormustakistusena, mis sõltuvalt võrevoolu muutusest muutub suurtes piirides. Seepärast ergutusastme lambina ei kõlba kasutamiseks võimsuspentoodid ja -tetroodid, millede optimaalne anoodi koormustakistus on kriitiliselt piiratud moonutuste allaviimiseks. Ainsaks õigeks valikuks on madala sisetakistusega A-klassi triood või trioodid kas harilikus või vastastaktlülituses, sest et nende anoodkoormus võib suurtes ulatustes muutuda, ilma et seeläbi moonutused suureneksid. Olulisemaks tingimuseks on, et ergutusastme väljundvõimsus oleks küllaldane võrevoolu ning ergutustrafo kadude katmiseks.

Vaadeldaval tüüpjuhul on nii ergutus- kui ka võimendusastmesse valitud kahekordne triood 6N7. Ergutusastmesse lülitatuna on mõlemad trioodid ühendatud rööbiti ja töötavad eelpingestatult A-klassi režiimis. Rööbitise ühendamisega sisetakistus vastavalt väheneb, kuid tõus ja väljundvõimsus suurenevad. Võimsusastmes on sama kahekordne triood lülitatud B-klassi režiimi eelpingestamata.

Ergutusastmelt kantakse anoodringis genereeritud võimsus ergutustrafo kaudu võimsusastme võreringi. Kuna võimsusastmes arendab väljundvõimsust korraga ainult üks triood, siis on ergutustrafo ülesandeks sobitada üheaegselt ühe võimendaja trioodi võre koormustakistus ergutuslambi anoodi optimaalse koormusega. Seejuures eeldatakse, et ergutusastme väljundvõimsus täielikult katab võrekaod. Käesoleval juhul annab ergutuslamp 300-voldise anoodpingega töötades efektiivset väljundvõimsust 400 mW. Võimenduslambi võrekaod positiivse võreamplituudi juures $P_G = U_G I_G = \frac{35 \cdot 0{,}022}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2}} = 0{,}385$ W ehk 385 mW, seega parajasti ergutuslambi võimete piirides.

Ergutustrafo ülekandesuhe kujuneb seega järgmiseks:

$$\ddot{u} = \frac{w_1}{\frac{w_2}{2}} = \sqrt{\frac{R_A}{R_G}},$$

milles w_1 ja w_2 on trafo mähiste keerdude arvud, R_A — ergutuslambi optimaalne anoodi koormustakistus ja R_G ühe võimenduslambi võre sisendtakistus.

Võre sisendtakistus arvutatakse positiivse pinge amplituudi väärtuse (U_G) jagamisega maksimaalse võrevooluga (I_G):

$$R_G = \frac{U_G}{I_G}.$$

Võre sisendtakistuse suure muutumise vähendamiseks võetakse ergutuslambi optimaalne anoodi koormustakistus (R_A) keskmiselt 2 kuni 4 korda lambi sisetakistusest (R_i) suurem, s. o. $R_A \approx 2R_i \ldots 4R_i$. Kui ergutusastme väljundvõimsusest piisab, tuleb eelistada viimast, s. o. 4-kordset väärtust.

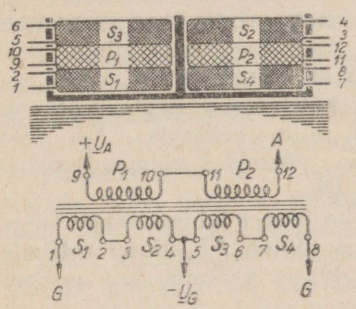
Käesoleval juhul ergutustrafo andmed kujunevad järgmisteks: Võimenduslambi andmeist on teada, et ergutuspinge positiivse amplituudväärtuse $U_G = 35$ V juures võrevool $I_G = 22$ mA; seega $R_G = \frac{U_G}{I_G} = \frac{35}{0{,}022} = 1600$

oomi. Ergutuslambi (kahe rööbitise trioodi) sisetakistus $R_i = 11\,000$ oomi. Kui valida optimaalseks anoodkoormuseks $R_A \approx 4R_i = 40\,000$ oomi, kujuneb ergutustrafo ülekandesuhe

$$\ddot{u} = \frac{w_1}{\frac{w_2}{2}} = \sqrt{\frac{R_A}{R_G}} = \sqrt{\frac{40000}{1600}} = 5.$$

Trafo edaspidine arvutuskäik toimub analoogiliselt sobitustrafo arvutusega (B56f), kusjuures trafo lõplikud andmed kujunevad järgmisteks: südamiku ristlõikepind $S_r = 4{,}0$ cm², primaarmähise $w_1 = 4200$, traadi läbimõõt 0,15 mm; sekundaarmähise $\frac{w_2}{2} = \frac{w_1}{\ddot{u}} = \frac{4200}{5} = 840$ ja kogu sekundaarmähis $w_2 = 840 + 840$ keerdu, traadi läbimõõt $d_s = \sqrt{\ddot{u}}d_p = \sqrt{5} \cdot 0{,}15 = 0{,}35$ mm.

Kuna korraga töötab üks sekundaarmähise pool, siis puisteväljade vähendamiseks tuleb trafo mähised hästi sektsioonida; üks viimisteldum sektsioonimisviis on toodud joonisel 112.



Joon. 112. Konstruktiivseid andmeid ergutustrafo sektsioonimise kohta; kõik mähised on keritud ühes suunas. Väljundtrafo ehitus on sama, kuid primaar- ja sekundaarmähiste asukohad on vahetatud.

Võimendusastmes töötavad mõlemad trioodid väljundi koormustakistusse vaheldumisi, seega väljundtrafo ülekandesuhe

$$\ddot{u} = \frac{\frac{w_1}{2}}{w_2} = \sqrt{\frac{R_A}{R_v}},$$

milles w_1 ja w_2 on primaar- ja sekundaarmähiste keerdude arvud, R_A on ühe lambi anoodi optimaalne koormustakistus, R_v — väljundtakistus (voolutarbija takistus). Käesoleval juhul 6N7 ühe trioodi koormustakistus $R_A = 2500$ oomi ja kui tarbijaks on valjuhääldaja, mille takistus $R_v = 7$ oomi, siis

$$\ddot{u} = \frac{\frac{w_1}{2}}{w_2} = \sqrt{\frac{2500}{7}} = 18{,}9 \text{ millest } \frac{w_1}{w_2} = 2\ddot{u} = 37{,}8.$$

Tavaliselt antakse lampide valmistaja poolt B-klassi lampide kohta optimaalne anoodidevaheline koormustakistus, käesoleval juhul $R_v = 10\,000$ oomi; siis loomulikult ülekandesuhe arvutatakse

$$\ddot{u} = \frac{w_1}{w_2} = \sqrt{\frac{10000}{7}} = 37{,}8,$$

s. o. sama mis varemgi.

Väljundtrafo edaspidist arvutuskäiku teostatakse analoogiliselt sobitustrafo arvutusega, seejuures arvestades, et B-klassi väljundvõimsus käesoleval

juhul võrdub 10 vatiga, trafo südamiku ristlõikepind $S_r = 5$ cm², primaarmähise $w_1 = 1600+1600 = 3200$, traadi läbimõõt 0,3; sekundaarmähise $w_2 = \frac{w_1}{\ddot{u}} = 85$ ja traadi läbimõõt $d_s = \sqrt{\ddot{u}}d_p = \sqrt{18}, 9.0,3 = 1,3$ mm. Õhupilu pole vaja, kuna alaliste anoodvoolude magnetväljad vastastikku neutraliseeruvad.

Mähiste sektsioonimine on vältimatu samuti kui ergutustrafoski, erinevalt tuleb primaar- ja sekundaarmähised paigutuselt ümber vahetada.

Maksimaalse ja võimalikult väheste moonutustega väljundvõimsuse kättesaamiseks on B-klassi võimendajate juures eeltingimuseks:

1) ergutusastme võimsus peab katma täielikult võimendusastme võrekaod; tuleb pidada soovitavaks, et ergutusastme võimsus oleks 1,5 ... 3 korda suurem võimendusastme sisendvõimsusest, mis võimaldab suuremat pingete allatransformeerimist ja seega ebalineaarsete moonutuste vähendamist;

2) ergutus- ja väljundtrafode mähiste alalisvoolu takistused peavad olema võimalikult väikesed, et neis ei tekiks nimetamisväärset pingelangust ja seega ebalineaarseid moonutusi;

3) võimendusastme anoodi toitepinge allikas peab evima head pingereguleerimist, mis tingib alaldajalt paispoolsisendit (H6), ning anoodpinge peab olema hästi filtreeritud, et väljundisse ei kanduks üle võrgumürad; anoodi toitepinge tuleb võimendaja juures lahti sidestada küllaldaselt suure mahtuvusega kondensaatoriga (joonisel 111 märgitud C_6), mille reaktants (X_C) ülekantavail madalamail sagedusil peab olema väike, võrreldes võimendusastme lambi koormustakistusega (käesoleval juhul 2500 Ω).

f) AB-klassi võimendaja. AB-klassi võimendajate juures lahendatakse sidestamise probleem vastavalt sellele, kas võimendaja töötab AB_1-klassi režiimis, s. o. ilma võimendusastme võrevooluta, või AB_2-klassi režiimis, kui osaliselt tekib võrevool.

Esimesel juhul ergutusaste võib olla kas sümmeetrilises trafosidestuses või sümmeetrilises takistussidestuses. Mõlemad sidestusviisid (D4c) on samahästi kasutatavad ka A-klassi vastastaktlülituse juures. Trafosidestuses ergutuslambi anoodi koormustakistus (R_A) valitakse katseliselt ja ta võrdub keskmiselt 2- kuni 3-kordse ergutuslambi sisetakistusega ($R_A \approx 2 \ldots 3\, R_i$). Takistussidestuses on oluline, et ergutusaste arendaks kummagi võimenduslambi võrele täielikuks väljatüürimiseks vajalikud sümmeetrilised pinged. Pingete väärtus loomulikult peab olema kaks korda suurem, kui seda vajab üks lamp.

AB_2-klassi režiim on teostatav ainult ergutustrafoga, mis peab andma võimsust, ja seepärast ta arvutus ja ehitusviis on analoogiline B-klassi ergutustrafoga.

AB-klassi väljundtrafode ehitus ja arvutuskäik sarnaneb B-klassi väljundtrafode arvutusega. Harilikult antakse lampide valmistajate poolt võimenduslampide anoodidevaheline optimaalne koormustakistus, mis kujuneb aluseks trafo ülekandesuhte arvutamisel.

g) Võimenduse loomulikud piirid. Võiks arvata, et pingevõimendusel pole olemas mingeid piire ja et ka kõige väiksemaid ettekujutatavaid pingeid võib piiramata arvu võimendusastmete järjestikku lülitamise teel võimendada vajaliku amplituudini ning edasi arendada kasutatavaks võimsuseks. Tegelikult aga on väga väikeste pingete võimendamisel olemas loomulikud piirväärtused, millest allpool võimendus muutub küsitavaks. Tõsi, moodsate elektronpaljunda-

jate piirväärtused on märksa madalamad kui harilikel lampidel, muidu poleks mõeldav suure kontrastsusega televisioon-ülesvõtete teostamine.

Elektronlampide juures panevad võimendusele loomulikud piirid järgmised asjaolud:

1) elektronide ebaühtlane emiteerumine ja liikumine,
2) toitevooluallikaist tekkivad häirepinged,
3) omaergutus.

Katoodist ei kiirgu elektronid välja ühtlase kiirusega ja seepärast jõuavad nad anoodile mõnesuguste korrapäratute rühmitustena, mis kandub üle väljundisse müra pingetena. Need võimendaja esimeses astmes tekkivad müra pinged on väikesed, harilikult alla 1 mikrovoldi, kuid mitmeastmelise võimenduse järel kujunevad nad küllaltki suurteks ja avalduvad, näiteks valjuhääldajas, erilise häiriva kahinana. Võimendamise edaspidine võimalus sõltub täielikult nõrkade võimendatavate signaalipingete ja müra pingete väärtuste suhetest: kui signaalipinged on müra pingetest suuremad, s. o. ületavad müra taseme, on võimendamine õigustatud, kui aga signaalipinged osutuvad müra pingetest väiksemaks, ei anna edaspidine võimendamine enam tulemusi.

Peale ebaühtluse elektronide katoodist kiirgumisel tekivad analoogilised ebaühtlused elektronide liikumises veel suuremal määral mitme võrega lampide juures. Teatavasti võivad mitme võrega lampides võred muutuda ebakatoodideks ja evida ruumlaengu nähtusi (C5b), mis põhjustavad korrapäratusi elektronide ühtlases liikumises. Säärased elektronide edasi-tagasi liikumised võrede vahel tõstavad sellistes lampides tunduvalt müra taset, mis võib kujuneda häirivaks juba suhteliselt väikeste võimenduste juures. Üldiselt on seesugused müra pinged võrdelised katoodvoolu tugevusega. Moodsamates mitme võrega lampides on müra taset siiski suudetud märgatavalt vähendada konstruktiivselt, üldise katoodvoolu vähendamise, võre võrkude kohastikku asetamise ja jugaprintsiibi kasutamise teel. Neil põhimõtteil konstrueeritud lampe nimetatakse mõnikord „müravabadeks" ehk „kahinavabadeks" lampideks. Seega elektronide emiteerumise ja liikumise ebaühtlus paneb tõsisema loomuliku piiri võimendusele.

Ükski toitevoolu allikas, kaasa arvatud akupatarei, ei evi absoluutset pinge konstantsust[1], vaid alati tekivad neis suuremal või väiksemal määral pingekõikumised. Suurte võimenduste puhul jätkub väga väikestest toitepingete muutustest näiteks esimeses võimendusastmes, mis võimendatuina järgmistes astmetes võivad kujuneda küllaltki suurteks. Selliseid ebaühtlusi toitepingetes saab vähendada filtreerimise täiendamisega, kuid ka filtrielemendid (näiteks takistid) ei oma absoluutset takistuse konstantsust, mis omakorda paneb piiri väga kõrgetele võimendustele. Neil juhtudel, mil võimendajale esitatavad nõuded mürade suhtes on eriti ranged, näiteks kiirusmikrofoni eelvõimendajas, kasutatakse nii anood- kui ka küttetoiteks vähemalt esimestes võimendusastmetes akupatareisid, hiljem üle minnes võrgutoitele.

Suure pingevõimendusega võimendajates peab lahtisidestussüsteem ja pinge all olevate juhtmete varjestamine olema läbi viidud suurima järjekindlusega.

[1] Alalisvool on teoreetiline fiktsioon. Praktikas on alati tegemist kas pulseeriv- või vahelduvvooluga.

On vähe ainult sisendusjuhtmete varjestamisest. Varjestamisele kuuluvad samuti tähtsamad lülituselemendid, nagu trafod, paispoolid jne., ning isegi üksikud võimendusastmed terviklikult. Ainult seesuguste ettevaatusabinõudega on võimalik vabaneda omaergutusest, s. o. ostsilleerumisest, mille oht tõuseb võimenduse suurenemisega.

8. Erilülitusi.

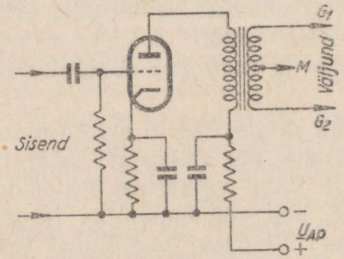
Peale eelkäsiteldud põhilülituste kasutatakse madalsagedusvõimendajais rida erilülitusi, millega saavutatakse suuremat painduvust võimendajate töös või lahendatakse seesuguseid eriprobleeme, mida põhilülitused ei võimalda.

Allpool vaatleme neist lülitusist tüüpilisemaid.

a) Faasipöörde-lülitusi. Vastastaktlülitus on üldiselt tunnustatud oma väiksema ebalineaarse moonutusprotsendi tõttu, võrreldes hariliku A-klassi lülitusega. Ainsaks raskuseks vastastaktlülituse rakendamisel on faaside pööramine sisendpoolel, kus on tarvilik tekitada vastastakti lülitatud lampide võredele 180° faasis nihutatud ja võrdsed pinged.

Faasis nihutamine iseenesest pole veel probleemiks, sest iga pinget võib poolitada pingejagaja abil ning kumbagi tuletatud poolt võib vaadelda kui iseseisvat faasis nihutatud pinget. Raskus seisab selles, et pingete poolitamispunkt vastastaktlülituses tuleb maandada ning faaside nihutamist arvestada maanduse suhtes.

Seesuguseid lülitusi, milledes sooritatakse maandatud poolitamispunktiga võrdsete ja 180° faasis nihutatud ergutuspingete tekitamist, nimetatakse faasipöörde-lülitusteks ja seesuguseid seadmeid faasi-inverteriteks.



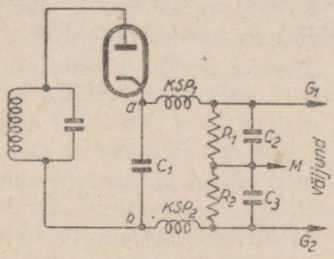
Joon. 113. Faasi-inverter-lülitus ergutustrafoga.

1) Joonisel 113 on toodud lihtsaim ja levinenuim faasi-inverter-lülitus, milles kasutatakse sümmeetrilise sekundaarmähisega trafot. Sekundaarmähise keskpunkt *M* maandatakse, kuna mähise otsad (G_1 G_2), mis kannavad üksteise suhtes faasis 180° võrra nihutatud pingeid, juhitakse vastastaktvõimendaja lampide võredele. Teatavasti kasutatakse samakujulist lülituspõhimõtet ka B-klassi ja AB-klassi võimsusvõimendajates, kuigi sellised trafod oma tööiseloomult ja ehituselt põhiliselt erinevad A-klassi vastastakt-trafodest.

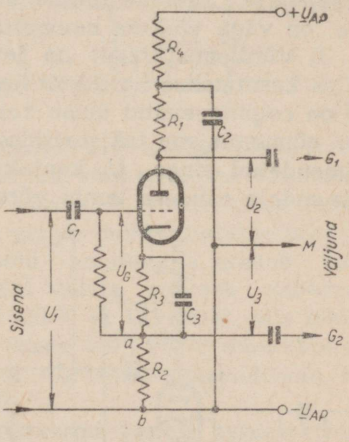
Kõrgekvaliteedilises „puhttakistuslikus" võimendajas kujunevad nõudmised suuremaks, kui seda suudab anda trafolülitus. Seepärast on tekkinud rida takistussidestusega faasi-invertereid, mis võimendajale tagavad takistussidestuselt

saadava kõrge kvaliteedi, s. o. väikese moonutusprotsendi. Endastmõistetavalt ei kõlba säärased takistussidestuses faasi-inverterid B- ja AB-klassi võimendajas kasutamiseks.

Joonisel 114 on toodud lihtsamaid faasi-invertereid takistussidestuses, mida saab rakendada ainult vastuvõtjas diooddetektori väljundisse. Diooddetektori lülituses p. *a* ja *b* vahel tekib õgvendatud madalsageduslik pinge, millel üldse puudub maapotentsiaal. Kui säärase diooddetektori koormustakistus asendada võrdsete väärtustega takistitega R_1 ja R_2 ning nende ühenduspunkt maandada, siis *a* ja *b* asetsevadki 180° võrra nihutatud võrdsed pinged, mida saab juhtida vastastaktlampide võredele G_1 ja G_2. Kondensaatorid C_1, C_2, C_3 ja paispoolid KSP_1 ja KSP_2 pole millegagi seotud faasipööramise toimingus, nende rakendamine on tarvilik detekteerimisprotsessis. Kuna detektorist saadavad pinged on kasutamiseks veel liiga nõrgad isegi pärast üheastmelist võimendajat, siis säärasele lülitusele peaks järgnema enne võimsuse võimendusastet veel üks vahepealne vastastakt-võimendusaste.



Joon. 114. Diooddetektor faasi-inverterina.



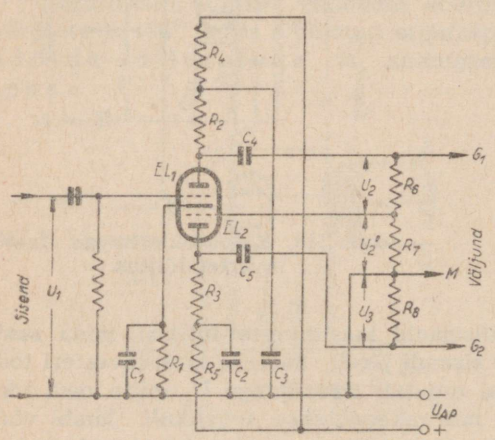
Joon. 115. Katoodsidestusega faasi-inverter-lülitus.

2) Joonisel 115 on toodud tüüpilisemaid faasiinverter-lülitusi, mida saab rakendada tavalise mittesümmeetrilise sisendi järel. Säärase faasi-inverteri töötamispõhimõte seisab selles, et lampi ergutab sisendpinge U_1 mitte oma tõelises väärtuses, vaid suurusega U_G, mis rakendatakse tegelikult lambi võre ja katoodi vahele [1] ja mis võrdub sisendpinge U_1 ja pooliku väljundpinge U_2 vahega, s. o. $U_G = U_1 - U_2$. Järelikult on sääraselt astmelt saadav võimendus poolik-väljundpinge suhtes väiksem kui 1 ja inverter sellises lülituses nõrgendab. Tegelikult on nõrgenemine siiski praktiliselt väike ning pingete ülekanne sellises astmes läheneb praktiliselt 1-le. Võimendust arvutatakse järgmiselt: $V = \frac{U_2}{U_1} = \mu \frac{R_2}{R_i + 2R_1 + \mu R_1}$. Nõrgenemine tekib sellest, et katoodi

[1] Seejuures on jäetud arvestamata pingelang katoodtakistuses R_3, mis suure šuntkondensaatori C_3 tõttu on väga väike.

ja maanduse vahele on lülitatud suure takistusega faasinihke-takisti R_2, mis peab olema võrdne anoodtakisti takistusega R_1, mille väärtused tavaliselt valitakse keskmiselt 10 000 ... 50 000 Ω piirides. Katoodi lülitatud faasinihke-takisti R_2 asetseb üheaegselt nii sisend- kui ka väljundringis, mis sidestab väljundpinge U_3 tagasi võreringi. Sellise sidestuse puhul, mida nimetatakse degenereeruvaks tagasisideks ehk vastusideks, on väljundi pinged sisendi pingete suhtes 180° võrra faasis nihutatud ja seega vähendavad vastavalt sisendpingeid. Kuigi negatiivse pooltsükli ajal on vahelduv anoodpinge positiivne, siiski kujuneb maandus samal ajal katoodi suhtes negatiivseks, s. o. takisti R_2 klemm *b* on negatiivsem kui *a*, või ümberpöördult — klemm *a* on positiivsem kui *b*. Järelikult takisti R_2 klemmidel on sisendi ja väljundi faasid vastupidised. Kuna takistite R_1 ja R_2 välisotsad, arvates lambist, on maandatud (R_1 on maandatud läbi suure mahtuvusega kondensaatori C_2, mille suurus valitakse mitte alla 8 μF), siis lülitus lihtsustatud kujul sarnaneb dioodlülitusega joonisel 108 *b*, milles takistused R_1 ja R_2 moodustavad maandatud keskpunktiga pingejagaja. Säärane lülitus, mille kohta hiljem tuuakse praktilised lülitusandmed, on väga väikese moonutusprotsendi tõttu parim.

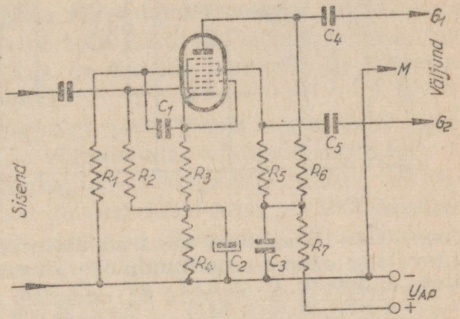
3) Võrdlemisi laialt on levinud joonisel 116 toodud faasiinverter-lülitus, milles kasutatakse harilikult kahekordset trioodi, näiteks 6N7. Mõlemad trioodid on eelpingestatud ühise katoodtakisti R_1 kaudu. Triood EL_1 toimib harilikku võimendajana takistussidestuses, mille anoodtakisti R_5 näpitsail tekkinud võimendatud pinge U_2 kantakse sidestuskondensaatori C_4 kaudu vastastaktvõimendaja esimese lambi võreringi G_1M võretakisti R_6+R_7 klemmidele.



Joon. 116. Anoodsidestusega faasiinverter-lülitus kaksiktrioodiga.

Võimendatud pinge U_2 on takistussidestuse puhul sisendpinge U_1 suhtes täpselt 180° võrra faasis nihutatud. Osa võimendatud pingest U_2, mis tekib takisti R_7 klemmidel, juhitakse faasipööraja trioodi EL_2 võreringi. EL_2 anoodtakisti R_3 klemmidel saadud võimendatud pinge U_3 juhitakse sidestuskondensaatori C_5 kaudu vastastaktvõimendaja teise lambi võreringi MG_2, võretakisti R_8 klemmidele. Kuna viimati võimendatud pinge U_3 on väljundpinge U_2 suhtes 180° võrra faasis nihutatud, siis järelikult on sellega faasipööramise ülesanne täidetud. Selleks, et U_3 ja U_2 oleksid väärtustelt võrdsed, peab selle lülituse juures

pingete $\frac{U_2}{U_2'}$ ja vastavalt takistite $\frac{R_6 + R_7}{R_7}$ suhe võrduma täpselt trioodilt EL_2 arendatava pingevõimendusega. Kui näiteks EL_2 pingevõimendus on 25 (see on maksev lambi 6N7 juures, kui $U_A = 250$ V ja $R_2 = R_3 = 0{,}2$ MΩ) ja kui määrata võretakistite üldväärtus $R_6 + R_7 = R_8 = 0{,}5$ MΩ, kujuneb $R_6 = 0{,}48$ MΩ ja $R_7 = 0{,}02$ MΩ. Seega ka käesoleval juhul faasipööraja lamp praktiliselt ei võimenda ja saadava võimenduse 25 arendab ainult üks trioodidest.



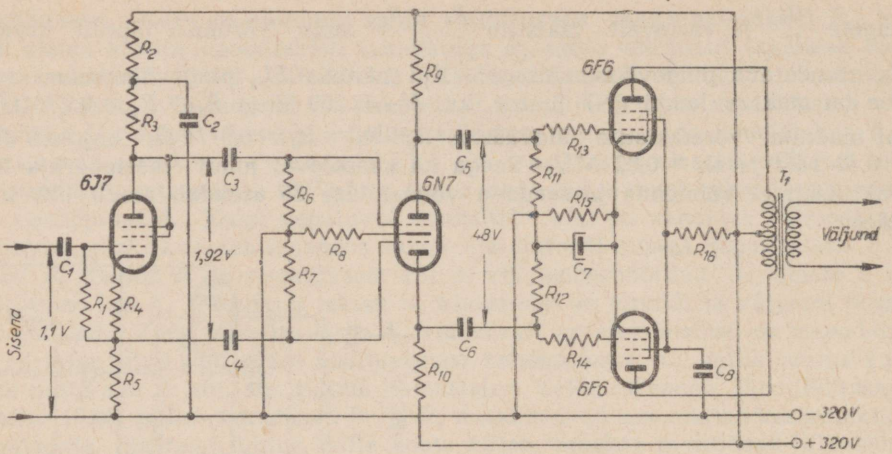
Joon. 117. Faasi-inverter-lülitus oktoodiga.

4) Vähem levinud, kuid originaalne on joonisel 117 toodud faasiinverter-lülitus, milles üheaegselt nii faasipöörajana kui ka võimendajana kasutatakse oktoodi. Kui juhtida signaalipinge oktoodi 1. võrele, 2. võrele anda katoodpinge ning 4. võrele katoodi suhtes negatiivne pinge, mis tekitatakse pingelanguna katoodi takistites R_3 ja R_4, siis anoodvoolu muutumine areneb vastufaasis varivõre, s. o. 3. ja 5. võre vooluga. Kui valida sobivas vahekorras anoodi ja varivõre takistid R_6 ja R_5, näiteks 25 000 Ω ja 125 000 Ω, siis tekivad nende klemmidel teatud piirides võrdsed, kuid faasis 180° võrra nihutatud pinged, mis tuginedes läbi lahtisidestuskondensaatori C_3 üldisele maandusele, kanduvad vastastaktvõimendaja võredele G_1 ja G_2.

Seega säärases lülituses teostub faaside pööramine lambis puhtelektroniliselt ning lamp ise arendab pingevõimendust 10 ... 14-kordselt, sõltuvalt lambi tüübist. Sama põhimõtet on võimalik rakendada ka lihtsamate mitmevõrelampide, nagu heptoodide, heksoodide ja tetroodide juures.

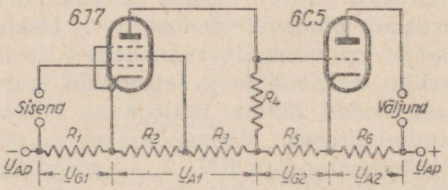
5) Joonisel 118 on toodud lülitus, millega on lahendatud tüüpvõimendaja takistuslikus faasipöörde-lülituses. Võimendaja on kolmeastmeline: 1. — pingevõimendusaste varivõrepentoodiga 6J7, 2. — pingevõimendusaste ja ühtlasi faasi-inverter kahekordse trioodiga 6N7, ja 3. — võimsusaste A-klassi vastastaktlülituses kahe võimsuspentoodiga 6F6. Selline võimendaja arendab 320-voldise anoodpinge juures 0,78-voldise efektiivse sisendpingega 15 vatti väljundvõimsust, mille ebalineaarsed moonutused on maksimaalselt 4% ja lineaarsed moonutused 20 Hz kuni 10 000 Hz piirides ei ületa 20%.

b) Alalispinge võimendaja. Seni käsiteldud pingevõimendajate juures väheneb võimendus väga madalatel sagedustel tunduvalt ning sageduse nulliseks muutumisel, s. o. alalisvoolu puhul, lakkab võimendamine täielikult. Sellised piirid paneb takistussidestuse puhul astmetevaheline sidestuskondensaator, trafosidestuse juures alalisvoolust tingitud püsiv magnetväli trafo südamikus. Helisageduste ülekandel pole allpool kuuldepiiri asuvate sageduste või-



Joon. 118. Vastastakt-takistussidestuses 3-astmeline võimendaja, mis arendab 1,1-voldise sisend-amplituudpinge juures väljundvõimsust 10 vatti. Lülituselementide andmeid: $C_1 = 0{,}01$ µF, $C_2 = 8$ µF, $C_3, C_4, C_5, C_6 = 0{,}1$ µF, $C_7 = 50$ µF, $C_8 = 4$ µF, $R_1 = 2$ MΩ, $R_2 = 30\,000$ Ω, $R_3 = 10\,000$ Ω, $R_4, R_{13}, R_{14} = 1000$ Ω, $R_5 = 9000$ Ω, $R_6, R_7, R_{11}, R_{12} = 0{,}25$ MΩ, $R_8 = 1800$ Ω, $R_9, R_{10} = 50\,000$ Ω, $R_{15} = 400$ Ω, $R_{16} = 1500$ Ω, T_1 — väljumistrafo. Lambid: faasi-inverterina varivõrepentood 6J7 lülitatud trioodina, võimendajana kaksiktriood 6N7, võimsusvõimendajana A-klassi vastastaktlülituses kaks võimsuspentoodi 6F6. Anoodi toitepinge 320 V, anoodvool 75 mA, anoodi kaovõimsus 21 vatti, küttepinge 6,3 V, küttevool 2,5 A, küttevõimsus 16 vatti.

mendamine tarvilik. Mõnikord siiski tekib vajadus võimendada loomutruult ja eksimatult alalispinge impulsse, näiteks fotoraku pingeid vajalike releede käivitamiseks (valgustugevuste võrdlus, värvuste kontroll, foto-telemehaanilised seadmed jne.).



Joon. 119. Alalispinge võimendaja põhimõtteline lülitus.

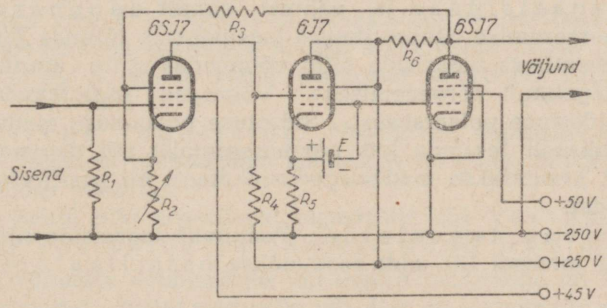
Üks säärane alalispinge ehk nullise sagedusega pingevõimendaja põhimõtteline lülitus on toodud joonisel 119. Lülitus on kaheastmeline, mille esimeses astmes kasutatakse varivõrepentoodi 6J7, teises trioodi 6C5. Lülituses on 6J7 anood ühendatud vahetult 6C5 võrega, kusjuures 6J7 anoodtakisti R_4 on ühtlasi 6C5 võretakistiks. Sellega saavutatakse sisendisse antud pingeimpulsside kuju täiesti moonutamata võimendamine ja ülekanne väljundisse, sest lülitus kujutab endast puhtakujulist ilma reaktantsideta alalisvoolu-ahelat.

Kuna teise võimenduslambi võre asub esimese lambi positiivse anoodpinge all, siis on ainsaks lahenduseks nihutada teise lambi katood vastavalt positiivsemaks, et alaline negatiivne eelpinge lambi võrel oleks tagatud. See on teostatav anoodi toitepinge U_A rakendamise teel pingejagaja abil. Pingejagaja õlgade ülesandeks on jaotada anoodpinge lampide õigeks töötamiseks vajalikeks osapingeteks, mis saavutatakse pingelangudena üldvoolu läbimisel pingejagaja õlgadest: R_1 — 6J7 eelpingeks, R_2 — varivõrepingeks, R_2+R_3 — anoodpingeks, R_5 — 6C5 eelpingeks ja R_6 — anoodpingeks.

Nagu algul mainitud, leiab säärane lülitus rakendamist eeskätt fotorakkude pingete võimendamiseks, kuid samahästi võib teda kasutada mõõteriistades, katoodtoru-ostsillograafides ja kõikjal seal, kus on tarvilik alaliste pingeimpulsside võimendamine ilma kuju moonutamiseta.

Lülituse puuduseks on, et anoodi toitepinge peab olema normaalsest ligikaudu nii mitu korda kõrgem, kui palju on võimendajas võimendusastmeid.

Joonisel 120 on toodud praktilisema alalispinge võimendaja lülitus, mis toitub ainsast 250-voldisest anoodtoite allikast ja arendab seejuures 1000-kordset (+60 dB) pingevõimendust. Nagu nähtub joonisest, koosneb lülitus kolmest takistussidestuses astmest, milles pole kasutatud ühtegi kondensaatorit. Astmetest toimivad võimendajana tegelikult esimene ja kolmas, lampidega 6SJ7; teine aste, lambiga 6J7, on ainult sidestusastmeks ning võimendust ei arenda.



Joon. 120. Alalispinge võimendaja lülitusi. Osad: R_1, R_3 = 2 MΩ, R_2 = 2500 Ω, R_4 = 0,25 MΩ, R_5 = 0,05 MΩ, R_6 = 0,1 MΩ, E — taskulambi patarei 4,5 V.

Esimene aste toimib takistussidestuses võimendajana, milles reguleeritava katoodtakisti R_2 kaudu muudetakse vastuside väärtust (D8c) ja koos sellega ka võimendust. Esimese astme väljund on sidestatud teise astmega, mis lülituselt kujutab katoodjärgijat (D8e). Alalispinge võimenduse ülesande õigeks täitmiseks on esimese võimendusastme anood ühendatud vahetult teise astme varivõrega, mis käesoleval juhul toimib tüürvõrena. Normaalse töörežiimi säilitamiseks antakse teise astme tüürvõrele 4,5-voldisest taskulambi-patareist vajalik eelpinge, mille väärtus vähendatuna katoodtakistis R_5 tekkiva pingelangu võrra kujuneb ühtlasi ka kolmanda lambi võre-eelpingeks. Teise astme anood ja sulgvõre on ühendatud vahetult 250-voldise anoodpingega. Sel viisil katoodjärgijana lülitatud teise astme katoodtakisti R_5 klemmidel arenevad väljundpinged asuvad maanduspotentsiaalil, mis võimaldab neid rakendada otseselt kolmanda võimenduslambi võrele. Kolmas võimendusaste töötab täiesti

tavalistes võimendustingimustes, ta võimendatud väljund juhitakse otseselt tarbijasse.

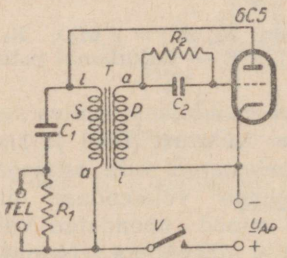
Kuna varivõrega tüüritava astme väljund sisaldab tavalisest suuremal määral ebalineaarseid moonutusi, siis rakendatakse väljundi ja sisendi vahele veelkordselt vastusidet takisti R_3 kaudu, millega saavutatakse ideaalsele võimendusele lähenev ülekanne madalsageduslikus sagedusastmikus. Lisaks suurele võimendusele ei sisalda käsiteldava võimendaja ülekanne lineaarmoonutusi sagedusastmikus 0 ... 20 kHz; ebalineaarsed moonutused on alla 1%, kui väljundpinge amplituud ei ulatu üle 15 voldi. Võimendaja on sobiv rakendamiseks kõikjal, kus on tarvilik alalispinge võimendus, eeskätt mikrofoni eelvõimendajana.

c) **Regenereeruv ja degenereeruv tagasiside.** Nagu käsiteldud eespool (D3c), tekib võimendajas regenereerumine siis, kui lambi sisemahtuvuse (C_{GA}) kaudu anoodringist võreringi tagasikanduva võimsuse pinge on võrepingega faasis. Kui tagasikanduv võimsus on küllalt suur, hakkab võimendaja iseseisvalt võnkuma ja muutub ostsillaatoriks. Regenereerumist esilekutsuvat võimsuse tagasikandumist võreringi nimetatakse positiivseks tagasisideks.

Mitte alati ei ole anoodringist tagasikanduva võimsuse pinge võrepingega faasis. Juhul, kui ta on vastufaasis, võrepinge vastavalt väheneb ning ühtlasi väheneb ka saadav võimendus. Seesugust vastufaasis võimsuse tagasikandumist, mille tulemusena võimendaja võimendus väheneb, nimetatakse negatiivseks tagasisideks ja nähtust ennast degenereerumiseks. Säärane degenereerumise nähtus ilmnes faasipöörajа lülituse juures (D8a), kus väga tugeva negatiivse tagasiside tõttu võimendus mitte ainult ei vähenenud, vaid muutus tegelikult nõrgenemiseks. Võimsuse tagasikandumise iseloom sõltub seega sidestuse polaarsusest. Sidestuse polaarsuse muutmisega on võimalik soovi kohaselt tekitada kas regenereerumist või degenereerumist.

Praktiliselt kasutatakse madalsagedusseadmeis nii positiivset kui ka negatiivset tagasisidet.

1) Positiivne tagasiside. Positiivse tagasiside lihtsamaid rakendusi on toodud joonisel 121, mida kasutatakse ostsillaatorina ehk heli-



Joon. 121. Lamp-ostsillaator morsekoodi harjutusteks. Lülituselemendid: R_1 $R_2 = 0{,}5$ MΩ, $C_1 = 100$ pF, $C_2 = 250$ pF.

sagedusgeneraatorina, kas morse-koodi harjutusteks või muuks helitekitamise otstarbeks. Selles lülituses tagasiside saavutatakse induktiivselt madalsagedustrafo T kaudu: trafo sekundaarmähis S on lülitatud lambi anoodringi, primaarmähis P — võreringi. Regenereerumine toimub ainult siis, kui anoodist võrele tagasikanduvad pinged on teineteisega faasis, vastufaasi korral tekiks degenereerumine. Trafo mähiste otste õige lülitamisega on võimalik faase

soovi kohaselt sobitada. Regenereerumise korral tuleb mähiste otsad ühendada nii, et sekundaarmähise lõpp (*l*) asuks anoodil ja primaarmähise algus (*a*) võrel, või vastupidi: sekundaarmähise algus (*a*) anoodil ja primaarmähise lõpp (*l*) võrel (eeldusel, et mähised on keritud ühesuunaliselt).

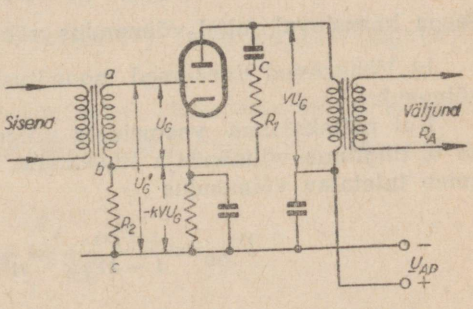
Positiivse võrekäigu ajal on trafo primaarmähise algus (*a*) positiivse pinge all. Samal ajal on anoodringis negatiivse pinge arenemine ning nii anood kui ka anoodile lülitatud sekundaarmähise lõpp (*l*) negatiivse pinge all. Kuna indutseeruvad pinged on kõigis trafo mähistes faasis, siis mõlema mähise (*P*, *S*) algustes (*a*) on vaadeldaval hetkel pinged positiivsed. Seega primaarmähises indutseeritud pinge liitub aritmeetiliselt võrepingega ja üldine võrepinge suureneb, järelikult tekib ostsilleerumine. Ostsilleerimissageduseks kujuneb see sagedus, millisel võimendus on kõige suurem.

Ostsillaatori võrele negatiivse võre-eelpinge andmine tavalisel teel pole vajalik, sest ostsillaatori töörežiimi ei määrata ebalineaarsete moonutuste, vaid anoodi kasuteguri järgi. Tegelikult ostsillaatori võre saab negatiivse eelpinge võrekondensaatori C_2 laengult. Ostsilleerimisel tekib läbi võretakistuse R_2 suurte positiivsete võrepinge amplituudide korral võrevool, mille tagajärjel võre ise muutub negatiivseks. Et säilitada säärane automaatne võre-eelpinge kogu areneva tsükli kestel vajaliku suurusega, valitakse võretakistus küllaldaselt suur ja filtreeritakse ühtlasi võrekondensaatoriga C_2. Ostsilleerimise tekitamiseks ja katkestamiseks, s. o. tastimiseks lülitatakse anoodi vooluringi võti *V* ja rööbiti anoodtakistiga peatelefonid *Tel.* Kondensaatori C_1 ülesandeks on tõkestada alalise anoodvoolu pääsu peatelefonidesse ning koos takistiga R_1 siluda voolu tastimisel tekkivaid häirivaid vooluimpulsse.

2) Negatiivne tagasiside. Negatiivne tagasiside on leidnud viimasel ajal eriti laialdast rakendamist madalsagedusvõimendajais — võimendaja töö stabiliseerimise otstarbel.

Eritellakse kahte liiki negatiivset tagasisidet ehk vastusidet: rööbitine (pinge) vastuside ja järjestikune (voolu) vastuside.

Ühtlasi on võimalik võimendajas üheaegselt rakendada nii rööbitist kui ka järjestikust vastusidet. Neist vastuside viisidest on levinenuim rööbitine vastuside, mille tüüplülitus on toodud joonisel 122. Nagu nähtub joonisest, juhi-



Joon. 122. Negatiivse tagasisidestuse (vastuside) tüüplülitusi.

takse osa võimendatud pingest anoodringist tagasi võreringi pingejagaja kaudu, mille õlgadeks on takistused R_1 ja R_2. Seejuures tagasikanduva osapinge väärtuse määrab sidestustegur *k*, mis võrdub

$$k = \frac{R_2}{R_2 + R_1}$$

ning tagasikanduva osapinge suurus

$$kU_A = kVU_G.$$

Takistuste R_1 ja R_2 summaarne väärtus peab olema küllaldaselt suur, et nende tõttu ei tekiks nimetamisväärset võimsuse langust: sobivaks suuruseks keskmiselt on kümnekordne anoodi koormustakistuse väärtus ($R_1 + R_2 \approx 10R_A$). Kui sidestustegur $k = 25\%$, siis kujuneksid 10 000-oomilise anoodkoormuse juures $R_1 = 75\,000\ \Omega$ ja $R_2 = 25\,000\ \Omega$. Kondensaatori C ülesandeks on tõkestada alalise anoodpinge pääsu võreringi ning ta väärtus peab olema küllaldaselt suur, et temas ei tekiks nimetamisväärset pingelangu vahelduvpingetele; sobivaks suuruseks on keskmiselt 0,25 ... 0,5 μF. Võreringi tagasikanduv osapinge — kVU_G on vastufaasis võre vahelduvpingega ja kannab seepärast miinusmärki (—). Negatiivse võrekäigu ajal on võreringi võrepoolne ots (*a*) negatiivne, katoodipoolne ots (*c*) positiivne. Samal ajal anoodpinge on positiivne ning ülekantuna sidestustakisti R_2 klemmidele kujuneb *b* positiivseks, *c* negatiivseks, s. o. tagasikanduv pinge on vastupidine võrepingega, mis väheneb tagasikanduva pinge võrra:

$$U'_G = U_G - kVU_G.$$

Sellises olukorras ilmnevad võimendajas järgmised nähtused:

a) Väheneb saadav võimendus ning tuletatav võimendus V' kujuneb

$$V' = \frac{U_A}{U'_G} = \frac{U_A}{U_G - kVU_G} = \frac{U_A}{U_G(1 - kV)} = \frac{V}{1 - kV}.$$

Kui näiteks lambilt saadav võimendus ilma vastusideta $V = 12$, siis vastuside puhul, kui sidestustegur $k = 25\%$, kujuneb tuletatav võimendus

$$V' = \frac{V}{1 - kV} = \frac{12}{1 - (-0{,}25 \cdot 12)} = \frac{12}{1 + 3} = 3.$$

Seega käesoleval juhul võimendus väheneb $\frac{V}{V'} = \frac{12}{3} = 4$ korda.

b) Vähenevad lineaarsed moonutused, kuid suuremal määral kui väheneb võimendus.

Kui näiteks ilma vastusideta pingevõimendus V_{f30} sagedusel $f = 30$ Hz oli 6, tingituna võimendaja lineaarsest moonutusest, siis vastuside puhul kujuneb tuletatav võimendus

$$V'_{f30} = \frac{V_{f30}}{1 - kV_{f30}} = \frac{6}{1 - (-0{,}25 \cdot 6)} = 2{,}4.$$

Seega sagedusel 30 Hz väheneb võimendus $\frac{V_{f30}}{V'_{f30}} = \frac{6}{2{,}4} = 2{,}5$ korda.

Võrreldes võimenduste suhteid ilma vastusideta ja vastusidega piirsagedusel $f = 30$ ja keskmistel sagedustel, selgub, et ilma vastusideta

$\frac{V_{f30}}{V} = \frac{6}{12} = 0{,}5$, seega lineaarsed moonutused on 50% ning vastuside puhul

$\frac{V'_{f30}}{V'} = \frac{2{,}4}{3} = 0{,}8$, seega lineaarsed moonutused on ainult 20%.

c) Vähenevad ebalineaarsed moonutused, mis tekivad lambis endas, vähenevad anoodpinge ebatäiuslikust filtreerimisest tekkivad võrgumürad, väheneb võimenduse sõltuvus anoodpinge kõikumisest ja lõpuks väheneb lambi teise lambiga asendamisega seotud võimenduse ebastabiilsus $\frac{1}{1-kV}$ korda. Kui näiteks väljund sisaldas võimendamisel ilma vastusideta $K_e = 10\%$, siis käesoleval juhul, mil $k = 25\%$, väheneb üldine ebalineaarsete moonutuste protsent K'_e:

$$K'_e = \frac{K}{1-kV} = \frac{10}{1-(-0{,}25 \cdot 12)} = 2{,}5\%.$$

d) Väheneb lambi sisetakistus R_i ja võimendustegur μ, tõusu S ja koormustakistuse R_A jäädes endisteks[1]:

$$R'_i = \frac{R_i}{1-k\mu}$$ [2] ja vastavalt $\mu' = \frac{\mu}{1-k\mu}$.

Kui näiteks võimsuspentoodi sisetakistus $R_i = 40\,000\ \Omega$, optimaalne koormustakistus $R_A = 8000\ \Omega$, $S = 5$ mA/V ja $\mu = 200$, siis lambi võimendus ilma vastusideta

$$V = \mu \frac{R_A}{R_A + R_i} = \frac{200 \quad 8\,000}{8\,000 + 40\,000} = 33{,}3$$

ja 10% vastuside korral

$$V' = \frac{V}{1-kV} = \frac{33{,}3}{1-(-0{,}1 \cdot 33{,}3)} = 7{,}8$$

ning $R'_i = \frac{R_i}{1-k\mu} = \frac{40\,000}{1-(-0{,}1 \cdot 200)} = 1\,900\ \Omega$

ja $\mu' = \frac{\mu}{1-k\mu} = \frac{200}{1-(-0{,}1 \cdot 200)} = 9{,}5$.

Seega pentoodi kõrge sisetakistus ($R_i = 40\,000\ \Omega$) vastuside 10% tagajärjel

---

[1] See on kehtiv ainult rööbitise vastuside puhul. Järjestikuse vastuside puhul suureneb sisetakistus $R'_i = R_i\ (1-kS)$ ja väheneb tõus $S' = \frac{S}{1-kS}$, võimendusteguri jäädes endiseks.

[2] $R'_i = \frac{R_i}{1 - \frac{Vk\,(R_A + R_i)}{R_A}}$, kuna $V = \mu \frac{R_A}{R_A + R_i}$, siis

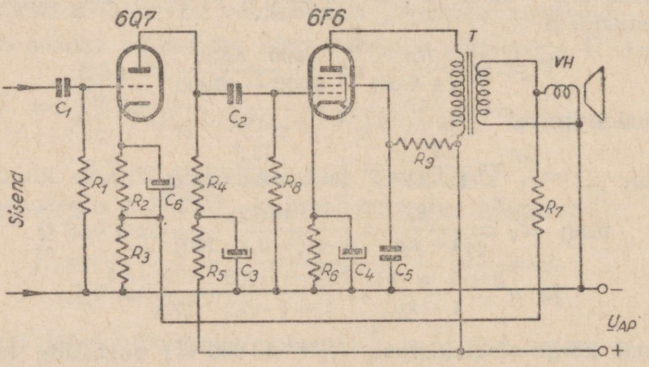
$$R'_i = \frac{R_i}{1 - \frac{k\mu R_A\,(R_A + R_i)}{(R_A + R_i)\,R_A}} = \frac{R_i}{1-k\mu}.$$

vähenes 1900 Ω-ni, mis vastab tavalisele trioodile. Et väikese sisetakistuse tõttu anoodkoormus pole kriitiline, nagu see oli pentoodi juures, siis võib vastuside korral anoodkoormust muuta suurtes piirides.

Ühtlasi aga väheneb vastusidestamisega suurim võimsuspentoodi pahe, kui väljundiks on valjuhääldaja. Valjuhääldaja liikuvsüsteem evib loomulikku mehaanilist resonantssagedust, millel valjuhääldaja hakkab võnkuma iga suurema voolupulsi tagajärjel, kutsudes esile heliülekandes erilist liiki moonutusi, mida tuntakse „pentoodi tooni" all. Seda resonantsnähtust ei suuda pentood, kuigi asub rööbiti valjuhääldajaga, oma suure sisetakistuse tõttu summutada. Olukord on sootuks erinev trioodi juures, mille tunduvalt väiksem sisetakistus võrreldes valjuhääldaja takistusega (ülekantuna anoodi sobitustrafo kaudu), asudes viimasega rööbiti, tegelikult summutab säärased resonantsnähtused. Vastusidega vähendatuna võrdsustub võimsuspentood sisetakistuse suhtes trioodiga ja seetõttu saadav helikvaliteet on võrreldav trioodi helikvaliteediga.

Peale selle kujuneb vastusidestatud võimsuspentoodi väljumistrafo ehitus odavamaks ja lihtsamaks, kuna väikese R_i tõttu trafo primaarmähise induktiivsus ja seega nii mähise keerdude arv kui ka südamiku ristlõikepind kujunevad märgatavalt väiksemaks. Võrdseis primaarmähiste induktiivsuste suhetes R_i -ga lineaarsed moonutused vähenevad magnetiliste puisteväljade vähenemise tagajärjel.

e) Vähenevad faasi moonutused, millede vähendamine küll pole oluline helilises ülekandes, kuid mis on tarvilikud televisiooniseadmeis, täpseis mõõteriistades jne.



Joon. 123. Vastusidestatud A-klassi võimendaja lülitus. Lülituselementide väärtusi: R_1, R_3 = 0,5 MΩ, R_2 = 3000 Ω, R_3 = 3,33 Ω, R_4 = 0,2 MΩ, R_5 = 20 000 Ω, R_6 = 450 Ω, R_7 = 66,7 Ω, R_9 = 5000 Ω, C_1, C_2 = 0,05 μF, C_3 = 10 μF, C_4, C_6 = = 50 μF, C_5 = 4 μF; T — väljumistrafo ülekandesuhtega 37,5:1, anoodpinge 315 V, väljundvõimsus 4,5 vatti.

Joonisel 123 on toodud 2-astmeline vastusidestusega võimendaja, mille 1. astmes pingevõimendajana on kasutatud kahekordset diood-drioodi 6Q7 (dioodid on kasutamata), 2. võimsusastmes — võimsuspentoodi 6F6. Lülituses on vastuside teostatud kõige viimasest väljundlülist, s. o. väljumistrafo sekundaarmähiselt eelvõimenduslambi katoodile, millega vähendatakse mitte ainult võimendajas tekkivaid, vaid ühtlasi ka väljumistrafo moonutusi. Vastuside saadakse pingejagaja R_7 ja R_8 haruühendilt, mille väärtused käesoleval juhul on tuletatud järgmiselt:

Ilma vastusideta arendas võimendaja sisendpinge $U_G = 0{,}39$ voldi juures väljundvõimsust $P_v = 4{,}5$ vatti valjuhääldajasse, mille takistus $R_v = 5\ \Omega$. Seejuures ebalineaarsete moonutuste protsent $K = 8\%$.

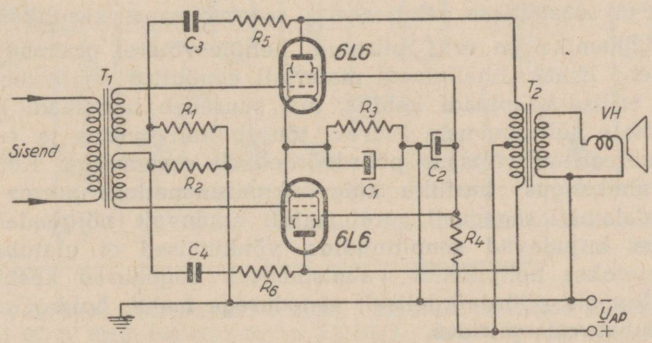
Vastusidestuse sisseviimise eesmärgiks oli vähendada moonutuste protsenti 8-lt 1,6-le, s. o. 5 korda, mis kooskõlas eelnevaga vastab väärtusele $1 - kV$. Sidestusteguri k leidmiseks on eelkõige tarvis kindlaks teha võimendaja üldine pingevõimendus sisendi ja väljundi vahel, kuhu vastuside rakendatakse. Sisendpinge on teada ($U_G = 0{,}39$V), väljundpinge tuletatakse väljundvõimsusest (P_v) ja väljundtakistusest (R_v).

$$P_v = \frac{U_v^2}{R_v},\ \text{millest}\ U_v = \sqrt{P_v R_v} = \sqrt{4{,}5 \cdot 5} = 4{,}75\ \text{volti.}$$

Siit pingevõimendus $V = \frac{U_v}{U_G} = \frac{4{,}75}{0{,}39} = 12$. Edasi arvutatakse sidestustegur. Kuna oli ette nähtud moonutusprotsenti vähendada 5 korda, siis $1 - kV = 5$, millest $-k = \frac{5-1}{12} = 0{,}333$. Sidestusteguri väärtuse järgi kujunevad pingejagaja õlad R_7 ja R_3. Pingejagaja takistus peab olema küllaldaselt suur võrreldes väljundkoormusega. Käesoleval juhul valitud $R_7 + R_3 = 20\ R_v$, s. o. $R_7 + R_3 = 100$ oomi. Sidestusteguri $k = 0{,}333$ realiseerimiseks peab pingejagaja õlgade suhe vastama $\frac{R_3}{R_3 + R_7} = k = 0{,}333$, millest $R_3 = 33{,}3$ oomi ja $R_7 = 66{,}7$ oomi.

Moonutusprotsendi vähenedes 8-lt 1,6-le väheneb vastusidestusega võimendus samuti 5 korda ning endise võimsuse ($P_v = 4{,}5$W) saamiseks peab vastavalt suurenema sisendpinge $U'_G = 5U_G = 5 \cdot 0{,}39 = 1{,}95$ voldile.

Seega vastuside rakendamisel vähenesid võrdselt korraga nii ebalineaarsed moonutused kui ka võimendus. Kuna aga nõrkade pingete võimendamisel ebalineaarsed moonutused ei lisandu võrdeliselt võimendusega, vaid märgatavalt vähem, siis on arusaadav netovõit, mida saavutati vastusidega. Võimenduse langust saab tarbe korral hõlpsasti taastada eelvõimendusastme juurdelisamisega, mis väga nõrkade pingete puhul ei tekita juurde uusi moonutusi.



Joon. 124. Vastusidestatud AB$_2$-klassi võimendaja lülitus. Lülituselementide väärtusi: R_1, $R_2 = 10\,000\ \Omega$, $R_3 = 200\ \Omega$, $R_4 = 14\,000\ \Omega$, R_5 R_6, $= 90\,000\ \Omega$, $C_1 = 50\ \mu$F, $C_2 = 8\ \mu$F, C_3, $C_4 = 0{,}1\ \mu$F, T_1 — ergutustrafo, T_2 — väljundtrafo. Anoodpinge 315 volti, väljundvõimsus 32 vatti, koormustakistus 6600 Ω, moonutusprotsent alla 0,6%.

Joonisel 124 on toodud AB_2-klassi võimendaja lülitus, mis on samas võimsusvõimendaja astmes vastusidestatud 10%. Vastusidestus tekitatakse pingejagajates R_5 — R_1 ja R_6 — R_2. Vastusidestusega väheneb ebalineaarsete moonutuste protsent alla 0,6%, samal ajal vähenevad nii lineaarsed kui ka faasimoonutused.

d) Võimsuse kompressioon ja ekspansioon. Vaatamata sellele, et võimendaja peab võimenduse sooritama amplituudilt, sageduselt ja tarbe korral ka faasilt moonutusteta, tekib sageli vajadus säärast ühtlust eriseadmete abil kunstlikult muuta. Need vajadused tekivad järgmistel põhjustel.

1) Muusikalisi saateid iseloomustab helivõimsuste amplituudide suhe, mida nimetatakse *helidünaamikaks* ja mida vaadeldakse kui kontrastsust muusikalise saate fortede ja piaanode vahel. Sümfoonilise muusika ettekandes säärane helidünaamika ulatub väga suurtesse suhetesse, kuni 1 000 000:1 ehk 60 dB. Loomulikuks ülekandeks peaks ka helisageduse võimendaja või ringhäälingu saatja olema suuteline üle kandma võimsusi samas vahekorras. Praktiliselt ollakse sunnitud helidünaamikat, s. o. helivõimsuste amplituudide suhet ülekannete juures piirama vahekorraga 10 000:1 ehk 40 dB, harilikult tunduvalt rohkemgi, kuna sellise määratu suure kontrastsuse ühtlasel võimendamisel väga nõrgad (pp) helipassaažid osutuksid nõrgemaks kui võimendaja enda müra tase, mis tähendaks nende nõrkade helitugevuste asendamist ülekandes müradega. 40 dB helidünaamika on piiriks, mida võimendajad on suutelised normaalselt veel käsitama. Järelikult muusikalistes heliülekannetes on helidünaamika moonutus minimaalselt 20 dB või vahekorras 100:1 paratamatu.

2) Sõnaliste ülekannete puhul harilikult pole seevõrra oluline helidünaamika ulatus kui ülekande arusaadavus. Seepärast sõnaliste saadete puhul, et säilitada head arusaadavust ka siis, kui mõnesugustel põhjustel müra tase (atmosfäärilised, elektriseadmete häired) on kõrge, vähendatakse helidünaamika miinimumini ja sõltumata kõneleja kõnetugevusest reguleeritakse võimendus nii, et väljund säiliks praktiliselt ühtlasena. Sellega ei moonutata märgatavalt sõnalist ülekannet ennast, kuid samal ajal tõstetakse ülekande arusaadavust ja säästetakse raadiosaatja saatevõimsust kasulikes piirides.

3) Helidünaamika on eriti piiratud heliülesvõtetel grammofoniplaatidele kahel põhjusel. Esiteks, heliplaadi materjali ebaühtlus põhjustab püsiva müra taseme, erilise heliplaadi kahina, mis suureneb heliplaadi kasutamisega. Teiseks, võrdsete helitugevuste juures tõuseb helivõimsus ja seega ka võimendajas genereeritav võimsus pöördvõrdeliselt sagedusega. Kuna heliplaadi helivagude vahekaugus hariliku külgvõnkumismenetluse juures on piiratud, siis tuleb madalamail sagedusil paratamatult tunduvalt nõrgendada võimsust, et helivagudes kujunevad amplituudide võnkumised ei ulatuks üksteiseni. Seepärast lõigatakse heliplaatide valmistamisel sagedused keskmiselt alates 200 Hz-ist allapoole pöördvõrdeliselt sagedusega maha, hoides seega helivao võnkumised lubatavais piirides.

Heliplaadi kahina mõju vähendamiseks teostatakse heliplaadi ülesvõtmisel kogu ülekantava helisageduste spektri amplituudide ühtlustamist, s. o. nõrgemaid helitugevusi võimendatakse rohkem kui tugevamaid. Moodsates heliplaatides isegi tõstetakse kõrgemate helisageduste (alates 5000 Hz) amplituude, et sellega ületada mürade amplituudi, mis asetsevad peamiselt helisagedusliku spektri kõrgemas osas.

Järelikult on heliplaatide dünaamika eriti moonutatud kui tehniline paratamatus.

Sama nähtus esineb ka muudes heliülesvõtetes, nagu helifilmis jne.

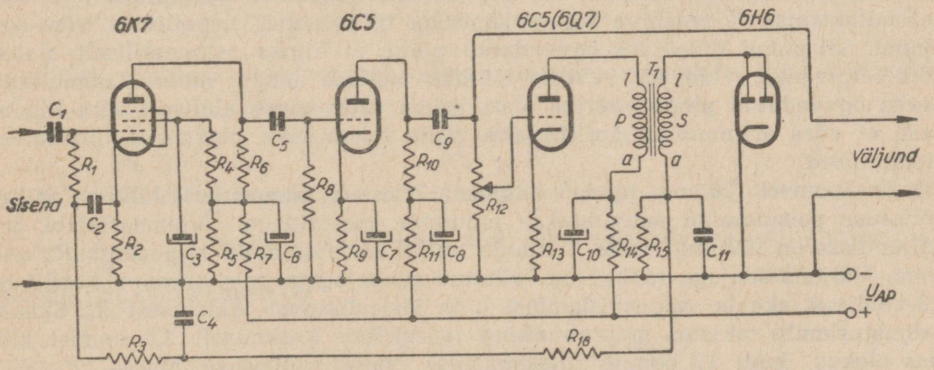
Heliülesvõtete puhul teostatakse rööbiti võimendamisega, sõltuvalt sagedusest või mitte, suuremal või vähemal määral helidünaamika kompresseerimist. Seda sooritatakse praktiliselt kas käsitsi atenuaatorite abil või automaatselt eriliste nn. võimsuse kompressorite abil. Viimasel juhul toimub kompresseerimine kindla reegli kohaselt harilikult logaritmiliselt.

Helilise, eriti muusikalise ülekande originaalse helidünaamika taastamiseks teostatakse kõrgekvaliteedilistes seadmetes kompresseerimisele vastupidist toimingut — helitugevuste ülespaisutamist, võimsuse ekspanseerimist. Ka võimsuse ekspanseerimist sooritatakse kas käsitsi (kinodes) või automaatselt eriliste seadmete — võimsuse ekspanderite abil.

On arusaadav, et võimsuse ekspander täidab oma ülesande eeskujulikult siis, kui võimsuste ekspanseerimine toimub sama reegli kohaselt, s. o. samas suhtelises vahekorras kui kompresseeriminegi, mis kahjuks alati pole ja ei saagi olla nii. Siiski ekspanseerimine, eriti heliplaatide ülekandel, mil kompresseerimine sooritati automaatselt, lisab võrdlematult palju juurde ülekande loomulikkusele.

Seepärast on võimsuse kompressorite kasutamine tarvilik eeskätt heliplaatide ülesvõttel ja telefonisaatjate modulaatorites. Ekspanderite kasutamine on soovitav võimendajates kõrgekvaliteedilise muusika ülekandel, eriti aga heliplaadi-muusika puhul.

1) Võimsuse kompressor. Joonisel 125 on toodud tüüpilisema võimsuse kompressorseadme lülitus, milles on kasutatud neli lampi. Muutliku tõusuga varivõrepentood 6K7 töötab tavalises takistussidestuses võimendajana, mille



Joon. 125. Võimsuse kompressori lülitus. Lülituselementide loetelu: lambid 6K7, 6C5, 6C5 (või 6Q7), 6H6; takistid $R_1 = 0{,}3$ MΩ, $R_2 = 400$ Ω, R_3, $R_{10} = 50\,000$ Ω, R_4, R_6, $R_7 = 3000\Omega$, $R_5 = 0{,}1$ MΩ, R_8, $R_{16} = 0{,}5$ MΩ, $R_9 = 2000$ Ω, R_{11}, $R_{14} = 20\,000$ Ω, $R_{12} = 0{,}25$ MΩ, $R_{13} = 1200$ Ω, $R_{15} = 1$ MΩ; kondensaatorid: $C_1 = 0{,}05$ μF, C_2, C_4, $C_9 = 0{,}1$ μF, C_3, C_6, C_8, $C_{10} = 8$ μF, $C_5 = 0{,}02$ μF; $C_7 = 50$ μF, $C_{11} = 2$ μF, T_1 — madalsageduse pingetrafo ülekandesuhtega ü $= 1:1$; anoodpinge $U_A = 280$ V. Takistussidestuse sisendi komplekti (C_1 R_1) võib vajaduse korral asendada liini- või mikrofonitrafoga, kui sidestus teostatakse trafo kaudu.

sisendisse juhitakse mikrofoni või helipea väljund. Tarbe korral, kui kasutatakse suure väljundiga mikrofoni, võib sisendikomplekti C_1R_1 asendada sisendtrafo sekundaarmähisega. Võimendatud väljund juhitakse järgneva võimendusastme võreringi, milles on kasutatud trioodi 6C5.

Teise võimendusastme väljund juhitakse kompressorist välja jätkuvaks võimsuse võimendamiseks, kuid osa väljundist, mille suurus on reguleeritav potentsiomeetri R_{12} kaudu, juhitakse automaatseks eelpingeks vajalikuks võimendamiseks kolmandasse lampi — trioodi 6C5. Eelpinge võimendajas kasutatakse trafosidestust, mille ülekandesuhe lineaarsete moonutuste vältimiseks ei või olla suur ja käesoleval juhul on valitud 1:1. Võimendatud väljund juhitakse kahekordsesse dioodi 6H6, mille mõlemad dioodid on kokku ühendatud. Dioodides võimendatud vahelduv signaalipinge õgvendub ning dioodid on lülitatud sääraselt, et õgvendatud pinge liitub 6K7 negatiivse võre-eelpingega. Kuna õgvendatud pinge väärtus on võrdeline sisendpingega, siis võrdeliselt sisendpingega areneb 6K7 võrel ka negatiivne eelpinge ning kui kasutada 6K7 muudetavat tõusu suurtes eelpinge ulatustes, kujuneb temas saadav võimendus pöördvõrdeliseks sisendpingega. Teiste sõnadega, kompressorist väljuvad pinged säilitatakse ühtlasel tasemel, vaatamata nende suhtelistele väärtustele sisendil. Takistite-kondensaatorite komplektid R_{15} R_{16} C_{11} — R_3 C_4 C_2 kujutavad madalläbivusfiltreid, milles tekib lühiajaline aeglustumine sisendpingete lõikamises ning hoitakse eelpinge muutumine sisendpingete keskmisel tasemel. Sobiva keskväärtuse reguleerimist teostatakse kompressioonvõimendaja sisendis potentsiomeetriga.

Seesuguse kompressori kasutamine on täiel määral õigustatud sõnalise saate ühtlustamiseks, muusikalises ülekandes on ta rakendamine piiratum.

2) Võimsuse ekspander. Kuna võimsuse ekspanseerimine on vastupidine tegevus kompresseerimisele, siis joonisel 125 toodud lülitust võiks samahästi kasutada ka ekspanderina, kui lülitada dioodide polaarsus vastupidiselt ja tõsta katoodtakistuse R_2 vastava suurendamisega 6K7 alalist negatiivset võre-eelpinget. Sel puhul dioodides õgvendatud pinge ei liituks aritmeetiliselt alalise võre-eelpingega, vaid 6K7 võrele mõjuks mõlema pinge vahe. Loomulikult peaks õgvendatud pinge väärtus alati jääma väiksemaks alalisest võre-eelpingest, et võre ei muutuks positiivseks, mille tulemuseks oleksid ebalineaarsed moonutused.

1) Joonisel 126 on toodud lihtsam võimsuse ekspanderi lülitus, milles võimsuse paisutamine saavutatakse muutuva vastusidega. Võimsuslambi 6F6 väljundisse on lülitatud trafo T kaudu valjuhääldaja, mille impedants $R = 5$ oomi. Valjuhääldajaga rööbiti on lülitatud pingejagaja, mis koosneb harilikust 6,3-voldisest skaala valgustuslambist L ja järjestikusest takistusest R_6. Skaala valgustuslambi takistus muutub antud töörežiimis keskmiselt 2,5 oomist külmas olekus kuni 10 oomini maksimaalse väljundvõimsuse juures ($P_v = 3{,}5$ vatti). Kui valida R_6 suuruseks 1 oom, siis sidestustegur k võrdub 10% väljundvõimsuse, s. o. 0,35 vati juures, mil lamp on veel külm:

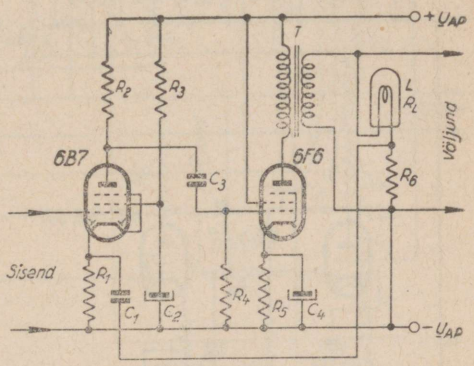
$$k' = \frac{R_2}{R_2 + R_L} = \frac{1}{1 + 2{,}5} = 0{,}286 \text{ ehk } 28{,}6\%$$

ning täie võimsuse juures

$$k = \frac{R_2}{R_2 + R_L'} = \frac{1}{1+10} = 0{,}091 \text{ ehk } 9{,}1\%.$$

Kuna ilma vastusideta sisendpinge lambi 6B7 võreringis on $U_G = 0{,}34$ V ja täie väljundvõimsuse juures väljundpinge $U_v = \sqrt{P_v R_v} = \sqrt{3{,}5 \cdot 5} = 4{,}2$ V, siis pingevõimendus võrdub

$$V = \frac{U_v}{U_G} = \frac{4{,}2}{0{,}34} = 12{,}4.$$



Joon. 126. Lihtsamaid võimsuse ekspanderi lülitusi. Osade loetelu: $R_1 = 1000\ \Omega$, $R_2 = 0{,}15$ MΩ, $R_3 = 0{,}75$ MΩ, $R_4 = 0{,}5$ MΩ, $R_5 = 400\ \Omega$, $R_L = 2{,}5 \ldots 10\ \Omega$; $C_1 = 10\ \mu$F, $C_2 = 8\ \mu$F, $C_3 = 0{,}05\ \mu$F, $C_4 = 20\ \mu$F; T — väljundtrafo, ülekandesuhe 37,5:1, L — 6,3-voldine skaala valgustuslamp: anoodpinge 290 volti.

Vastuside puhul kujuneb võimendus täie võimsuse juures

$$V'' = \frac{V}{1 - kV} = \frac{12{,}4}{1 + 0{,}091 \cdot 12{,}4} = \frac{12{,}4}{2{,}13} = 5{,}8$$

ning täie võimsuse arendamiseks tuleb ergutuspinget sisendis tõsta 0,34 voldilt

$$U_G' = \frac{U_A}{V'} = \frac{4{,}2}{5{,}8} = 0{,}725 \text{ voldile}$$

ja 10% väljundvõimsuse arendamiseks oleks vaja pinget ilma vastusideta $U_G'' = \frac{U_G'}{\sqrt{10}} = \frac{0{,}725}{3{,}16} = 0{,}229$ V. Samal ajal 10% väljundvõimsuse juures vastusidega kujuneb võimendus

$$V'' = \frac{V}{1 - k'V} = \frac{12{,}4}{1 + 0{,}286 \cdot 12{,}4} = 2{,}7$$

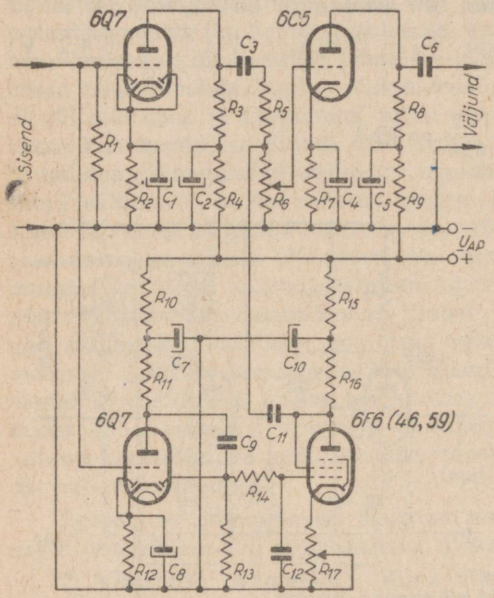
ning 10% väljundvõimsuseks tarvilik sisendpinge $U_G'' = 0{,}229$ V arendab vastusside puhul väljundvõimsust 0,35 vati asemel ainult

$$U_A'' = U_G'' \cdot V'' = 0{,}229 \cdot 2{,}7 = 0{,}62 \text{ V ja } P_v'' = \frac{U_A''^2}{R_v} = \frac{0{,}62^2}{5} = \frac{0{,}384}{5} =$$
$$= 0{,}077 \text{ vatti.}$$

Seega kontrastsus dünaamikas tõusis $\frac{3{,}5}{0{,}35} = 10$-lt $\frac{3{,}5}{0{,}077} = 45{,}5$-le.

Käesoleva lülituse paheks on see, et lihtsuse huvides tuleb märgatav osa võimsust paratamatult ohverdada valgustuslambi ja takisti R_6 toiteks.

2) Joonisel 127 toodud lülitus kujutab viimisteldud võimsuse ekspanderi lülitust, milles esimene 6Q7 ja 6C5 toimivad pingevõimendajana, teine 6Q7 ja



Joon. 127. Võimsuse ekspanderi lülitus. Lülituselementide loetelu: takistid — R_1, R_6 (potentsiomeeter), $R_{11} = 0{,}5$ MΩ, R_2, $R_{12} = 2000$ Ω, R_3, R_5, R_8, $R_{11} = 0{,}1$ MΩ, $R_7 = 1500$ Ω, R_4, R_9, R_{10}, R_{15}, R_{17} (reostaat) = 20 000 Ω, $R_{13} = 2$ MΩ, $R_{16} = 0{,}25$ MΩ, kondensaatorid — C_1, C_4, $C_8 = 50$ μF, C_2, C_5, C_7, $C_{10} = 8$ μF, C_3, $C_6 = 0{,}1$ μF, $C_9 = 0{,}05$ μF, C_{11}, $C_{12} = 0{,}5$ μF; anoodpinge 300 V.

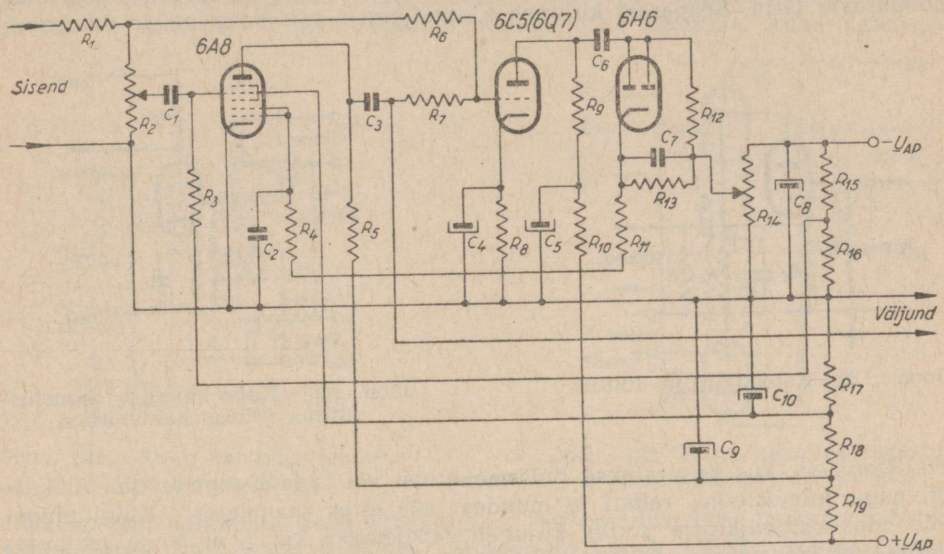
trioodina lülitatud 6F6 (mida võib asendada trioodiga, kasutades lampe 46 või 59) toimivad võimsuse paisutajatena. Sisendpinge lülitatakse üheaegselt nii pingevõimendaja kui ka ekspanderi sisendringi. Ekspanderis algul sisendpinge 6Q7-s võimendatakse ja seejärel juhitakse sama lambi dioodile, kus toimub õgvendamine. Õgvendatud pinge satub läbi filtri R_{14}, C_{12} 6F6 võrele, kutsudes esile 6F6 sisetakistuse muutumise õige suurtes piirides: suurte sisendpingete puhul 6F6 sisetakistus väga kõrge (ligi 0,5 MΩ), nõrkade sisendpingete puhul negatiivne ergutuspinge puudub ja 6F6 sisetakistus langeb 6000...8000 oomile.

6F6 moodustab signaalipingetega võrdeliselt muutuva takistuse ja asudes rööbiti oma anoodi koormustakistusega R_{16} ning võimenduslambi 6C5 võretakistusega — potentsiomeetriga R_6, põhjustab kogu koondtakistuse väärtuse muutumist signaalipingete tugevuse rütmis. Kuna mainitud koondtakistus omakorda moodustab esimese võimenduslambi 6Q7 väljundi pingejagaja (koos R_5) alumise õla, siis 6C5 võrele antavate pingete väärtus oleneb täielikult koondtakistuse suurusest: suurte sisendpingete korral on koondtakistus kõrge ja võimendus maksimaalne, väikeste sisendpingete korral on koondtakistus madal ja võimendus väga väike.

Reostaadiga R_{17} saab reguleerida 6F6 sisetakistuse muutumise piire ja seega muuta ekspandeerimise mõjuvust. Potentsiomeeter R_6 on ette nähtud paisutatud pingete üldise taseme reguleerimiseks.

Hästi reguleerituna töötab vaadeldav lülitus täiesti heade tulemustega.

3) Joonisel 128 on toodud praktikas laialdaselt rakendatav võimsuse ekspanderi lülitus, milles 6C5 toimib paisutuspinge eelvõimendajana, 6H6 paisutuspinge õgvendajana ja 6A8 õgvendatud paisutuspingega kontrollitava signaalipinge võimendajana. Nimelt juhitakse heptoodi 6A8 esimesele ja teisele



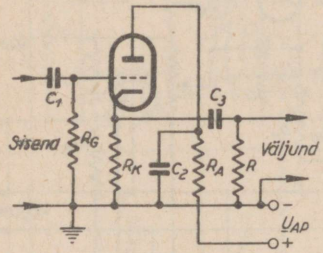
Joon. 128. Võimsuse ekspanderi lülitus. Lülituselementide loetelu: takistid — R_1, R_6, $R_{12} = 0{,}1$ MΩ, R_2 — potentsiomeeter 0,1 MΩ, R_3, $R_7 = 1$ MΩ, R_4, $R_{11} = 0{,}5$ MΩ, $R_5 = 5000\ \Omega$, $R_8 = 2000\ \Omega$, $R_9 = 50\,000\ \Omega$, $R_{10} = 10\,000\ \Omega$, $R_{13} = 0{,}25$ MΩ, R_{14} = potentsiomeeter 500 Ω, R_{15}, $R_{16} = 350\ \Omega$, R_{17}, $R_{19} = 3000\ \Omega$, $R_{18} = 3500\ \Omega$; kondensaatorid — C_1, C_3, $C_7 = 0{,}1$ μF, $C_2 = 0{,}5$ μF, C_4, $C_8 = 20$ μF; C_5, C_9, $C_{10} = 8$ μF, $C_6 = 0{,}02$ μF, anoodpinge = 300 V.

võrele muutliku suurusega pinge, mille muutumise taktis areneb ka võimendus: suuremate signaalide puhul muutub võrele mõjuv üldpinge vähem negatiivseks — võimendus suureneb, nõrgemate signaalide puhul on võrepinge negatiivsem — võimendus langeb.

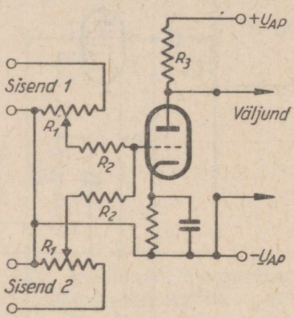
Stabiilsuse säilitamiseks juhitakse 6C5 võrele peale otsese signaalipinge (R_6 kaudu) osa vastufaasis väljundpinget (R_7 kaudu). Potentsiomeetriga R_2 reguleeritakse sisendpinge suurust, potentsiomeetriga R_{14} helidünaamika kontrastsust.

e) Katoodjärgija. Katoodjärgija, mis on kujutatud joonisel 129, erineb harilikust võimendajast selle poolest, et ta väljund sidestatakse mitte anoodringis, vaid katoodringis. Katoodtakistiga R_K rööbitise kondensaatori puudumise tagajärjel tekib katoodjärgija astmes 100%-line vastusidestus, mistõttu astmes ei arene pingevõimendust, vaid väljepinge kujuneb isegi 10 ... 20% sisendpingest madalamaks. Kuid tugeva vastusidestuse tagajärjel evib katoodjärgija järgmisi eriomadusi: 1) väljepinge on faasis sisendpingega, 2) sisendimpedants säilitatakse väga kõrgena, 3) väljundi impedants muutub väga madalaks, mis võimaldab sobitada väga väikesi (50 ... 500-oomilisi) koormusimpe-

dantse, 4) väljundi kuju sarnaneb täpselt sisendi kujuga. Need voorused teevad katoodjärgija eriti hinnatavaks neil juhtudel, mil on tarvilik sobitada kõrge impedantsiga sisendit madala impedantsiga väljundiga ja kui sobitamiseks trafo kasutamine pole lubatud tekkivate amplituudi, sageduse ja faasi moonutuste tõttu. Seepärast kujuneb katoodjärgija rakendamine asendamatuks



Joon. 129. Katoodjärgija lülitus.



Joon. 130. Kahe kanaliga segustuslülitus piiramistakistusega.

neis seadmeis, kus kasutatakse pulssmenetlust või/ja laia sagedusriba ülekannet, nagu televisiooni, radari ja muudes säärastes seadmetes. Kuigi pingevõimendus katoodjärgija juures kujuneb väiksemaks kui 1, ei lange seejuures märgatavalt võimsuse võimendus, mida võib säilitada isegi ligikaudu võrdsena sama astme toimimisel tavalise anoodsidestuses võimendajana.

f) Segustuslülitused. Heliliste ja sõnaliste ülekannete puhul sageli tekib vajadus segustada mitme mikrofoni ja helipea väljundid soovitavas vahekorras ühisesse võimendajasse. Katsesaatejaamades tekib säärane vajadus eriti mitut liiki seadmete proovimisel ja kontrollimisel.

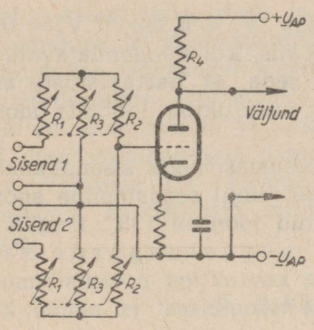
Pealiskaudsel vaatlusel näib, nagu ei esitaks küsimuse lahendamine mingeid raskusi, tegelikult aga on õige lahendus siiski küllalt keerukas.

Joonisel 130 on toodud lihtsaim kahe sisendkanali segustuslülitus, milles R_1 on kummagi sisendi tugevusregulaator ja R_2 piiramistakistid. Piiramistakistid on tarvilikud selleks, et ühe kanali sisendi reguleerimine ei muutuks sõltuvaks teisest, nende suurused peaksid olema suuremad kui R_1, et vastastikune mõjutus oleks väike. Praktikas satub säärane valik vastuollu, sest tugevusregulaatori R_1 väärtus võib harva kujuneda väiksemaks kui näiteks 0,25 MΩ, tavaliselt kujuneb ta isegi suuremaks, sõltuvalt lülitatava mikrofoni või helipea väljundimpedantsist. Kui aga R_2 on väga kõrge, siis kõrgemad helisagedused nõrgenevad lambi sisendmahtuvuse tõttu tunduvalt. Isegi siis, kui R_2 võrdub 0,25 MΩ, on kõrgemate helisageduste nõrgenemine märgatav.

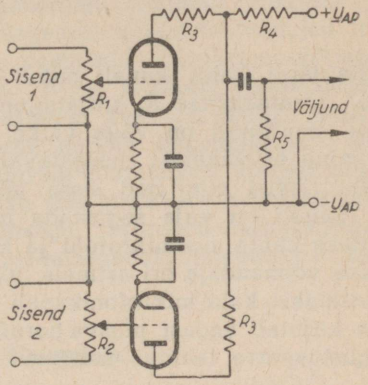
Siit nähtub, et joonisel 130 toodud lülitus kaugeltki ei vasta keskpärastelegi nõuetele ja et ta rakendamine on õigustatud ainult siis, kui on võimalik tugevusregulaatoreid R_1 valida väiksematena, näiteks 20 0000 . . . 50 000 oomi, kusjuures piiramistakistite väärtusteks R_2 kujuneksid 50 000 . . . 150 000 oomi.

Vaadeldud segustuslülituse juures on peamiseks puuduseks tugevusregulaatori sisend- ja väljundimpedantside muutumine suurtes piirides, mis pole võimsuste ülekandel lubatav (B55a). Sellest pahest on vaba atenuaatori

tüüpi segustuslülitus, mis on toodud joonisel 131. Atenuaatoritega hoitakse sisend- ja väljundimpedantsid püsivad, alaliselt sobitatuna koormustega. Kui atenuaatorite väljundid on arvutuslikult võrdsed, võib nad lülitada lambi võreringi rööbiti ning segustus toimub täiesti häireteta. Ainsaks raskuseks seejuures on sobivate kõrgetakistuslike atenuaatorite saamine, kuna valmistoo-



Joon. 131. Kahe kanaliga segustuslülitus atenuaatoriga.



Joon. 132. Kahe kanaliga segustuslülitus kahe segustusastmega.

tena on nad suuremalt osalt standarditud 600-oomilise liini jaoks ja mõeldud sobitamiseks võimendaja sisendiga sobitustrafo kaudu. Siiski, kohaste ümberlülitite olemasolul on atenuaatorite isevalmistamine alati õigustatud.

Segustusprobleemi lahendus lihtsustub, kui kasutada igale sisendkanalile omaette võimenduslampi, nagu on näidatud joonisel 132. Sel puhul on sisendid küll teineteisest sõltumatud, kuid raskus tekib lampide väljundite segustamises. Kui lülitada üksikkanalite võimenduslampide anoodid kokku ja toita neid ühise koormustakistuse R_4 kaudu, siis iga töötava lambi anoodi koormustakistus, mille moodustavad teiste lampide rööbiti lülitatud sisetakistused ja koormustakistus R_4 koos järgneva võimenduslambi võretakistusega R_5, muutub liiga väikeseks. Kui näiteks lambi sisetakistus $R_i = 66\,000$ oomi (trioodi 6F5 juures), anoodtakistus $R_4 = 0{,}2$ megaoomi ning võretakistus $R_5 = 0{,}5$ megaoomi, siis ühe töötava lambi anoodi koormustakistus kahe kanali puhul võrduks $R_A = 45\,000$ oomi, mis on tublisti vähem lambi sisetakistusest. Sellises tööreziimis tekivad võimendamisel väga suured ebalineaarsed moonutused. Teatavasti peab anoodi koormustakistus moonutuste mahasurumise mõttes trioodide juures võrduma vähemalt 2 ... 3-kordse sisetakistusega. Selleks, et tagada igale lambile optimaalse väärtusega anoodi koormustakistus, on tarvilik iga lambi anoodi ja koormustakistuse R_4 vahele lülitada lisatakistus R_3, millega hoitakse ebalineaarsed moonutused lubatavais piirides. Kui valida takistuse R_4 väärtus nii, et ta võrdub $2\,R_i$ ja et iga lambi anoodi üldine koormustakistus R_A võrduks kahekordse lambi sisetakistusega, siis lisatakistuse R_3 väärtused olenevad kanalite arvust ning toodud eeldustel võrduvad

$$R_3 = R_i \frac{1 - 2n + \sqrt{4n^2 + 12n - 15}}{2},$$

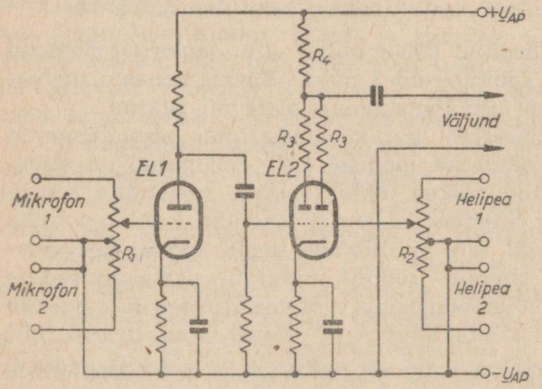
milles n on kanalite arv.

Ühe kanali puhul R_3 muutub nulliks, mis näitab, et lisatakistus pole tarvilik. Kahe kanali puhul, nagu see on näidatud joonisel 132, $R_3 = R_i$, kolme kanali puhul $R_3 = 1{,}275\ R_i$ ja nelja kanali puhul $R_3 = 1{,}42\ R_i$. Samuti arvutatakse toodud eeldustel saadav võimendus

$$V = \mu \frac{2}{1 + 2n + \frac{R_3}{Ri}},$$

mille järgi kahe kanali puhul saadav võimendus $V_2 = 0{,}33\mu$, $V_3 = 0{,}24\mu$ jne. Lisatakistuse R_3 ärajätmine on lubatav ainult siis, kui võimendatavate pingete amplituud on väga väike, kuid arvestades seda, et lisatakistuste sissetoomine ei vähenda märgatavalt võimendust, on mõistlikum loobuda moonutuste riskist ning nad sisse jätta.

Sageli on vaja segustada mitmesuguse võimsustasemega sisendkanaleid, näiteks kahte süsimikrofoni ja kahte helipead. Sel juhul segustamine sooritatakse võimendaja eri astmeis, nagu see on näidatud joonisel 133. Lambis EL_1 teostatakse kahe mikrofonikanali segustamist nn. segustuspurde kaudu, mis kujutab endast püsiva haruühendiga ja liikuva kontaktiga potentsiomeetrit. Segustuspurre lahutab mõlemad kanalid täielikult teineteisest ja nende kasu-



Joon. 133. Nelja kanaliga segustuslülitus segustuspurdega.

tamine on õigustatud neil juhtudel, kui pole vaja rööbitist kanalite töötamist. Esimeses astmes võimendatud pinged juhitakse segustusastmesse, milles on kasutatud kahekordset trioodi EL_2. Üks trioodidest võimendab saabunud mikrofonipingeid, teine triood võimendab samuti segustuspurdelt saabunud helipeapingeid. Trioodide anoodidesse on lülitatud, analoogiliselt joonisel 132 käsiteldud lülitusega, lisatakistused R_3 ja ühine anoodi koormustakistus R_4.

Käsiteldud segustuslülitused kujutavad vaid peamisi lülituspõhimõtteid, mille järgi saab välja arendada sobiva variandi kohalike vajaduste kohaselt.

III peatükk.

KÕRGSAGEDUSVÕIMENDAJA.

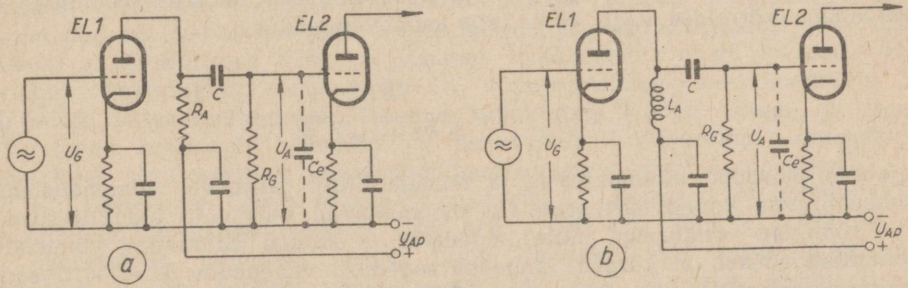
Samuti kui madalsagedusvõimendajad (D2), jagunevad ka kõrgsagedusvõimendajad kahte põhirühma: pinge võimendajad ja võimsuse võimendajad. Töörežiimi järgi liigitatakse kõrgsagedusvõimendajad A-klassi, B-klassi ja C-klassi võimendajateks. Praktiliselt kõik kõgsageduse pingevõimendajad toimivad A-klassi töörežiimis ja neid kasutatakse peamiselt raadiovastuvõtjates kõrgsageduse ja vahesageduse võimendajatena. B- ja C-klassi võimendajaid rakendatakse võimsusvõimendajatena raadiosaatjates, kus on oluline suurte väljundvõimsuste arendamine võimalikult kõrge anoodi kasuteguriga. Sõltuvalt võimenduslambi ja lülituselementide erinevast toimimisest kõrgeil sagedusil ning võimendajale pandavaist erinõudeist, mis piiravad võimendamist ainult väiksema või suurema sagedusriba laiusega, erinevad kõrgsagedusvõimendaja lülitusviisid mitmeti vastavaist madalsagedusvõimendajate lülitustest.

9. A-klassi kõrgsagedusvõimendaja.

A-klassi kõrgsagedusvõimendajad toimivad selliselt, et anoodvoolu kuju väljundis praktiliselt jääb sarnaseks võre ergutuspingega sisendis. Selleks võimenduslambi võre eelpingestatakse negatiivselt sellisel määral, et anoodvool ei katkeks võrepinge negatiivsel amplituudil ja et positiivsel amplituudil ei muutuks võre positiivseks ega tekiks võrevoolu. Sellist töörežiimi iseloomustavad ebalineaarsete moonutuste puudumine ning suhteliselt väikesed väljundvõimsused.

A-klassi võimendajaid liigitatakse astmetevahelise sidestusviisi järgi, mille kohaselt võimendajad võivad olla takistussidestuses, paispoolsidestuses, häälestatud võnkeringi sidestuses ja trafosidestuses. Trafosidestuses sekundaarmähis on enamasti alati häälestatud võimendatavale sagedusele.

Lülitused, mis toimivad häälestamatult, s. o. milledes ei esine tähelepandaval määral resonantsnähtusi, sarnanevad põhimõtteliselt vastavate madalsagedusvõimendajatega. Sääraste lülituste kasutamine piirdub peamiselt madalate raadiosagedustega või erilülitustega, kus pigem on oluline laia sagedusriba ühtlane võimendamine kui astmelt saadava pingevõimenduse väärtus.



Joon. 134. Häälestamata kõrgsagedusvõimendaja lülitusi: *a* — takistussidestuses, *b* — paispoolsidestuses.

a) Takistussidestuses ja paispoolsidestuses pingevõimendaja. Takistussidestuses pingevõimendajat kasutatakse neil juhtudel, kui on tarvilik saada ühtlast pingevõimendust võrdlemisi laia sagedusriba ulatuses. Kui astmetevaheline sidestuskomplekt koosneks (joon. 134-a) ainult esimese lambi sisetakistusest R_i ja temaga rööbiti asetsevast anoodi koormustakistusest R_A, arvestades, et võretakistuse R_G väärtus on väga suur, siis astmelt saadav võimendus

$$V = \frac{U_A}{U_G} = \mu \frac{R_A}{R_i + R_A}.$$

Tegelikult aga asetsevad takistustele R_i ja R_A rööbiti esimese lambi anoodi ja katoodi vaheline mahtuvus (C_{AK}), teise lambi võre ja katoodi vaheline mahtuvus (C_{GK}) ja võimenduse korral teise lambi võre ja anoodi vahelisest mahtuvusest (C_{GA}) tagasikanduv ekvivalentne mahtuvus (C'_{GA}). Need mahtuvused moodustavad küllaltki suure üldise mahtuvuse

$$C_e = C_{AK} + C_{GK} + C_{GA}\,(1 + V),$$

mis võimendusastme juures, sõltuvalt valitud lampide tüüpidest ja arendatavast võimendusest, ulatub 40 ... 80 pF-ni.

Seega sageduse juures näiteks $f = 1$ MHz võrdub C_e reaktants

$$X_{Ce} = \frac{1}{2\pi f C_e} = \frac{1}{6{,}28 \cdot 10^6 \cdot 40 \cdot 10^{-12}} \approx 4000 \text{ oomi}$$

ning astmelt saadav võimendus kujuneb väga väikeseks. Sageduse tõstmisega väheneb võrdeliselt nii reaktants X_{Ce} kui ka saadav võimendus.

Olukord paraneb märgatavalt, kui võimendajas kasutada trioodi asemel varivõrepentoodi, milles väga väikese C_{GA} tõttu võreringi tagasikanduv mahtuvus väheneb ning üldine rööbitine mahtuvus C_e piirdub vaid 10 ... 20 pF. Kuid isegi sellest väikesest mahtuvusest on küllalt, et panna piir võimendusele sageduse tõustes.

Paispoolsidestuses pingevõimendaja (joon. 134 *b*) astmevõimendus sõltub paispooli induktiivsusest. Kui valida paispooli induktiivsus L_A küllaldaselt suur, et ta reaktants X_{L_A} madalaimal võimendataval sagedusel oleks suur, võrreldes lambi sisetakistusega R_i, ja kui paispooli takistus seejuures on reaktantsiga võrreldes väga väike, siis astmevõimendus

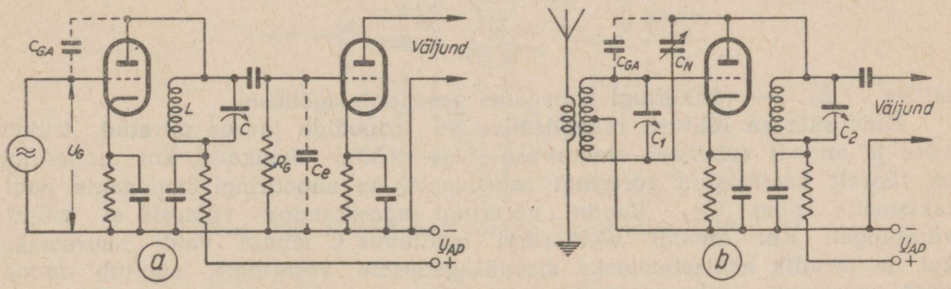
$$V = \frac{U_A}{U_G} = \mu \frac{\omega L_A}{\sqrt{R_i^2 + (\omega L_A)^2}}.$$

Seejuures paispooli sisemahtuvus ja temaga liituv järgneva võimenduslambi sisendmahtuvus koondväärtusena C_e moodustavad paispooli induktiivsusega L_A rööbitise võnkeringi, mille impedants ja ühtlasi ka saadav võimendus resonantssagedusel on kõrged, langedes sageduse vähenedes, kuid eriti sageduse suurenedes üle resonantssageduse. Kui resonantssagedus satub võimendatava sagedusastmiku piiridesse, siis saadav võimendus kujuneb erinevail sagedusil äärmiselt ebaühtlaseks. Seepärast paispooli induktiivsus dimen-

sioonitakse nii, et resonantssagedus asetseks veidi madalamal kõrgemaist võimendatavast sagedusest. Kuigi sel teel väheneb võimenduse ebaühtlus, muutub võimendus madalamail sagedusil siiski väikeseks.

Paispoolsidestuse kasutamine on õigustatud väga madalal sagedusastmikul ($f = 50 \ldots 100$ kHz), millel paispooli induktiivsuse võib valida küllalt suurena, sest C_e tõuseb pooli omamahtuvuse tühise suurenemisega väga vähe, mis tagab hea võimenduse kogu kaetaval sagedusastmikul. Paispoolsidestust rakendatakse ka kõrgemail sagedusil, kui on tegemist mitte pidevalt muutuva sagedusastmikuga, vaid kindla sagedusega, millele saab valida paispooli induktiivsuse nii, et ta resonantssagedus koondmahtuvusega C_e asetseks veidi kõrgemal võimendatavast sagedusest.

b) Pingevõimendaja häälestatud võnkeringiga. Takistus- ja paispoolsidestuse piiratust kõrgsageduse võimendamisel saab vältida häälestatud võnkeringiga sidestamise teel. Teatavasti võib rööbitine võnkering evida väga kõrget impedantsi (B45), kui võnkeringi Q on küllalt suur. Kui koostada kõrge Q-ga, s. o. madalakaoline võnkering ja lülitada võimenduslambi anoodringi (joon. 135 *a*), siis astmelt saadav võimendus läheneb võimenduslambi μ-le. Kuna võnkeringi impedants on maksimaalne ainult resonantssagedusel, siis on aru-



Joon. 135. Häälestatud võnkeringiga pingevõimendaja lülitusi: *a* — põhimõtteline lülitus, *b* — neutraliseeritud lülitus.

saadav, et häälestatud võnkeringiga võimendaja tagab kõrge võimenduse üheaegselt ainult suhteliselt kitsal sagedusribal, kuna teistel sagedustel, impedantsi järsult langedes, võimendust ei teki. Sellest järeldub, et võimenduse saavutamiseks kitsaste sagedusribadena kogu kaetava sagedusastmiku piirides, on tarvilik koos sageduse muutmisega pidevalt säilitada resonantssagedust. See on teostatav kas induktiivsuse pideva muutmisega variometri abil või mahtuvuse pideva muutmisega pöördkondensaatori abil. Oma lihtsuse ja praktilisuse tõttu on viimane häälestusviis enam levinud. Häälestatud võnkeringiga võimendajas nii võimenduslambi sisendmahtuvus kui ka muud parasiitmahtuvused liituvad võnkeringi mahtuvusega ja seega rakenduvad kasulikult võimenduse ülesandesse. Võnkeringi dimensioonimisel tuleb alati arvutada sellist koondmahtuvuste püsivat komplekti C_e.

Kui näiteks on tarvis määrata võnkeringi LC suurused, et pidevalt katta ringhäälingu kesksagedusastmik 1500 kHz ... 520 kHz (200 m ... 577 m), siis on arvutuskäik järgmine. Algul tuleb kindlaks teha püsiv mahtuvuste komplekt, mis on rööbiti võnkeringiga. Oletades järgneva lambi sisend-

mahtuvusena $C_e = 16$ pF, võimenduslambi anoodi-katoodi ja ühendusjuhtmete ning lambipesa mahtuvusena $C_p = 20$ pF ning häälestuskondensaatori algmahtuvusena $C_o = 20$ pF, kujuneb minimaalne rööbitine mahtuvus $C_{min} = 16 + 20 + 20 = 56$ pF. Teades C_{min}, arvutame L väärtuse, mis rahuldaks võnkeringi tingimused kõrgeimal häälestussagedusel $f = 1500$ kHz. Resonantssagedus (B44) võrdub $f = \frac{159{,}15}{\sqrt{LC}}$ (MHz), kus L on μH ja C on pF; asendades $1{,}5 = \frac{159{,}15}{\sqrt{L.56}}$, millest $L = 200$ μH. Häälestusmahtuvuse väärtus madalaimal sagedusel võrdub vastavalt $0{,}52 = \frac{159{,}15}{\sqrt{200.C'}}$, millest $C = 467$ pF ning häälestuskondensaatori maksimaalne mahtuvus $C_{max} = C - (C_e + C_p) = 467 - (16 + 20) = 431$ pF.

Häälestatud võnkeringiga saadavat võimendust resonantssagedusel arvutatakse üldvalemi järgi nagu takistussidestusegi puhul:

$$V = \mu \frac{Z_r}{R + Z_r},$$

milles Z_r — võnkeringi impedants resonantssagedusel.

Kuid säärase lülituse rakendamine on trioodide juures piiratud trioodi võre ja anoodi vahelise mahtuvuse C_{GA} tõttu. Senikaua, kui anoodring on täpselt häälestatud võreringi sagedusele, on anoodringi impedants puhttakistuslik ning C_{GA} kaudu võreringi tagasikanduv võimsus ei mõjuta võrepinget. Kui anoodi võnkeringi mahtuvus C muuta veidi suuremaks, kui on tarvilik häälestamiseks sisendsagedusele võreringis, muutub anoodringi impedants mahtuvuslikuks ning C_{GA} kaudu võreringi tagasikanduv võimsus kutsub esile negatiivse tagasiside ehk vastuside, mis võimendust tunduvalt vähendab. Kui aga vähendada anoodi võnkeringi mahtuvust C, muutub anoodringi impedants induktiivseks ning C_{GA} kaudu tagasikanduv võimsus kutsub esile negatiivse tagasiside ehk vastuside, mis võimendust tun-Juhul, kui tagasikanduv võimsus kujuneb suuremaks võimsusest, mis on tarvilik võreringi takistuskadude katteks, muutub võreringi efektiivne takistus negatiivseks ning võimendusastmes areneb pidev kontrollimata võnkumine — ostsilleerimine. Kui sellist võimendajat kasutada vastuvõtjas kõrgsageduse võimendajana, siis vastuvõtja väljundis asendab heliülekannet püsiv kahin. Kuigi teoreetiliselt anoodringi täpsel häälestamisel võreringi sagedusele ostsilleerimist tekkida ei tohiks, on häälestamine, olenedes võnkeringi Q-st, seevõrra kriitiline, et kondensaatori õiget häälestusasendit praktiliselt on raske tabada, eriti kui mitu võnkeringi häälestatakse sünkroonselt ühe nupu abil.

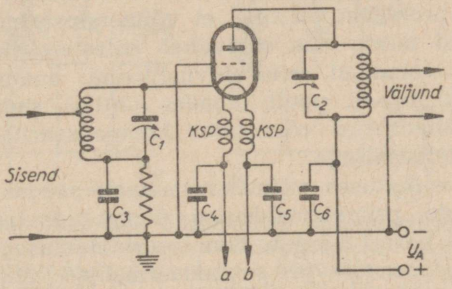
Sama võnkumise nähtus võib tekkida ka varivõrelampide juures, kui võnkeringi Q on väga kõrge, ja kuna sel puhul on ka võimendus väga suur, siis piisab varivõrelambi väga väikesest C_{GA}-st, et võnkumist esile kutsuda. Tavaliselt ei rakendata varivõrelampidega väga kõrgete Q-dega võnkeringe, kuna isegi keskmiste Q väärtustega saadav võimendus on praktiliseks otstarbeks küllalt suur.

Positiivse tagasiside vältimiseks trioodide juures (tarbe korral ka vari-

võrelampide juures) kasutatakse neutraliseerimist, millega juhitakse võreringi C_{GA} kaudu tagasikanduvale pingele võrdse väärtusega, kuid vastufaasis pinge. Säärane neutraliseerimislülitus on toodud joonisel 135 *b*, milles neutraliseerimiskondensaatori C_N kaudu juhitakse anoodringist võreringi pinge, mis on häälestatud võreringi alumise otsa suhtes 180° võrra faasis nihutatud.

Käesoleval ajal on varivõrelambid vastuvõtuseadmeis trioodid kõrgsageduse võimenduse ülesandest täielikult välja tõrjunud ja trioode kasutatakse ainult saatjates neutraliseeritud lülitustes võimsuse võimendajatena.

c) Maandatud võrega pingevõimendaja. Trioode kasutatakse kõrgsageduse pingevõimendajaina peamiselt ultrakõrgsagedustel, millistel varivõrelambid oma pikema elektronide läbivusaja tõttu lakkavad võimendamast. Neil juhtudel kasutatakse maandatud võrega võimendaja lülitust, mis on toodud joonisel 136. Selles lülituses võre ja katoodi ühendused on vahetatud: võre



Joon. 136. Maandatud võrega võimendaja lülitus.

on ühendatud vahetult maaga ning katood asetseb sisend-võnkeringi kõrgepotentsiaalsel otsal. Anoodring on ühendatud tavalisel viisil. Sellise lülitusega anoodvoolu vahelduvkomponent haarab sisendringi vastusuunaliselt, mille tagajärjel võreringis positiivse tagasiside asemel tekib negatiivne tagasiside. Ühtlasi moodustab maandatud võre varjestuse vahelduvate potentsiaalide all asuva anoodi ja katoodi vahel. Neil põhjustel lülituses ei saa tekkida ostsilleerimist. Katoodi ja kütteniidi vahel asetsev mahtuvus ultrakõrgeil sagedusil on küllaldane, et avaldada lühistavat mõju häälestatud võreringile. Seepärast lülitatakse kütteniidi toitejuhtmeisse kõrgsagedus-paispoolid *KSP*, millega isoleeritakse kütteniit kõrgsageduse suhtes maast. Kondensaatorid C_3, C_4, C_5, C_6 toimivad lülituses lahtisidestuselementidena.

d) Trafosidestuses pingevõimendaja. Trafosidestuses pingevõimendaja, evides suurt paindlikkust impedantside sobitamisel, on kujunenud standardseks kõrgsagedusvõimendajaks peamiselt vastuvõtjates. Häälestamata trafosidestust kasutatakse ainult neil juhtudel, mil on tarvilik võimendada ühtlaselt tervet sagedusalstmikku, kusjuures võimendamine toimub praktiliselt samades tingimustes kui paispoolsidestuse juures. Seetõttu on häälestamata trafosidestuse rakendamine piiratud ning praktilist kasutamist leiavad häälestatud trafosidestuses võimendajad, peamiselt pingevõimendajatena vastuvõtjates.

Vastuvõtjates kasutatavad häälestatud trafosidestuses võimendajad pea-

vad harilikult võimendama kas kitsamat või laiemat sagedusriba, jättes samal ajal üle kandmata muud sagedused.

Terve sagedusriba võimendamine on vajalik selleks, et üle kanda koos võimendatava kandevsagedusega ühtlaselt kogu moduleeritud madalsageduste kompleks, säilitades seega ülekande kvaliteeti vajalikul tasemel. Heliliste saadete puhul ringhäälingu sagedusastmikus piiratakse ülekantav sagedusriba harilikult $\pm 4{,}5$ kHz ruumi ülekoormuse tõttu ringhäälingu saatjate poolt. Kõrg- ja ülikõrgsageduslikes astmikes sääraseid piire pole ning kõrgekvaliteediliseks heliülekandeks kasutatakse laiu sagedusribasid ± 10 kHz kuni $\pm$ 16 kHz. Televisioonisaadetes ülekantavate sageduste riba ulatub keskmiselt $\pm 2 \ldots 4$ MHz.

Samaaegselt peab kõrgsagedusvõimendaja vastuvõtjale kindlustama vajaliku selektiivsuse, s. o. saatjate eraldusvõime, mis on vastuolus laia sagedusriba ühtlase ülekande nõudega. Kõrgsagedusvõimendaja koostamine kujuneb seega pigem kompromisslahenduseks: saavutada küllaldast selektiivsust, ohverdades selleks osa võimalikust maksimaalsest võimendusest. Praktiliselt lahendatakse probleem sel teel, et võimendusastmeis kasutatakse mitte ühte võnkeringi, vaid mitut, mis omavahel sidestatakse ülekriitiliselt (B47). Sellised võnkeringid toimivad ribaläbivusfiltrina, andes ühelt poolt vajalikku selektiivsust ja teiselt poolt tagades ühtlast sagedusriba võimendust. Seejuures saadav vähendatud võimendus kompenseeritakse täiendavate võimendusastmete juurdelisamisega.

Häälestatud trafosidestuses võimendusastmelt saadakse maksimaalne võimendus siis, kui trafo primaarmähisesse ülekantud trafo sekundaarmähise impedants resonantsi korral võrdub lambi sisetakistusega. Säärane olukord tekib siis, kui trafo primaar- ja sekundaarmähise ühisinduktiivsus M on optimaalne:

$$R_i = \frac{\omega^2 M^2_{opt}}{R_s}; \qquad M_{opt} = \frac{\sqrt{R_i R_s}}{\omega},$$

milles R_i — lambi sisetakistus, ω — resonants-ringsagedus $(2\pi f_r)$, M_{opt} — trafo mähiste optimaalne ühisinduktiivsus, R_s — sekundaarmähise kõrgsagedustakistus. Asendades ühisinduktiivsuse M_{opt} sekundaarmähise induktiivsusega [1], saame

$$R_i = \ddot{u}^2_{opt} \frac{\omega^2 L^2_s}{R_s}, \quad \text{millest } \ddot{u}_{opt} = \frac{\sqrt{R_i R_s}}{\omega L_s},$$

milles $\ddot{u}$ — primaarmähise-sekundaarmähise keerdude ülekandesuhe, L_s — sekundaarmähise induktiivsus.

Optimaalse side puhul (s. o. M_{opt} puhul) häälestatud trafosidestuses astmelt saadav pingevõimendus

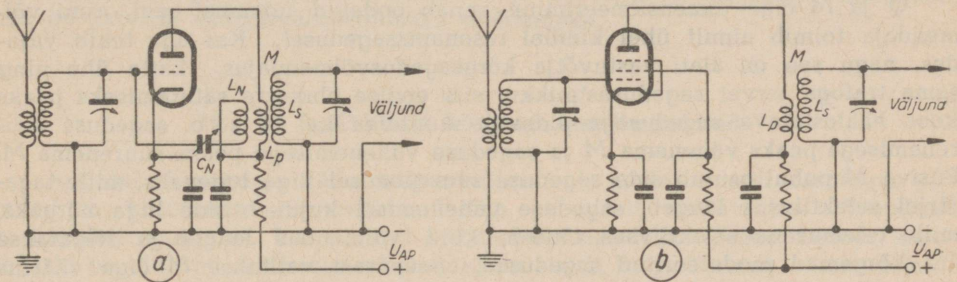
$$V_{opt} = \mu \frac{\omega L_s}{2\sqrt{R_i R_s}} = \mu \frac{L_s}{2M_{opt}}.$$

Ühisinduktiivsuse valimisel alla või üle optimaalse väheneb võimendus. Väi-

[1] Valem on õige sel juhul, kui sidestus primaar-sekundaarmähiste vahel on 100%. Kuna sidestustegur k on alati väiksem kui 100%, siis kujuneb sekundaarmähise keerdude arv 10 ... 15% suuremaks kui arvutatav.

kese, s. o. alla optimaalse valitud M puhul langeb võimendus, kuid samaaegselt tõuseb selektiivsus, üle optimaalse M langeb samuti võimendus, kuid ühtlasi langeb ka selektiivsus.

Võimenduse valemist nähtub ühtlasi, et optimaalseis tingimustes saadav võimendus sõltub lambi parameetrite suhtest $\mu/\sqrt{R_i}$. Seega võrdse tõusuga lampidest saavutatakse suurem võimendus suurema μ-ga lambilt, millest tuleb järeldada, et varivõrelampidelt saadav võimendus nende väga kõrge μ tõttu peab olema tunduvalt kõrgem kui trioodidelt saadav võimendus. Peale selle lihtsustub varivõrelampide lülitus kõrgsagedusvõimendajana, kuna langeb ära neutraliseerimise vajadus, nagu see on tarvilik trioodide juures (joon. 137).



Joon. 137. Kõrgsagedusvõimendaja häälestatud trafosidestuses: *a* — triood kõrgsagedusvõimendajana, *b* — varivõrepentood kõrgsagedusvõimendajana. L_p — trafo primaarmähis, L_s — sekundaarmähis, L_N — neutraliseerimismähis, M — ühisinduktiivsus ja C_N — neutraliseerimiskondensaator.

Kuna varivõrelampide puhul trafodes kasutatav sidestus alati on märgatavalt väiksem optimaalsest (optimaalse sidestuse puhul kujuneb varivõrelambiga primaarmähise keerdude arv keskpärase Q-ga poolide juures sekundaarmähise keerdude arvust mitmekordselt suuremaks), siis varivõrelampidelt saadav võimenduse valem lihtsustub:

$$V = SQ_s\omega M,$$

milles S — lambi tõus, Q_s — trafo sekundaarmähise hindetegur.

Näide: 1) Võimendusastme trafo häälestatud sekundaarmähise induktiivsus $L_s = 200\,\mu$H, k. s. takistus $R_s = 12\,\Omega$; võimendusastmes kasutatakse trioodi 6C5, mille $\mu = 20$ ja $R_i = 10000\,\Omega$; määrata trafo optimaalne M, mähiste ülekandesuhe $\ddot{u}$ ja optimaalne võimendus V resonantssagedusel $f_r = 1$ MHz.

$$M_{opt} = \frac{\sqrt{R_i R_s}}{2\pi f} = \frac{\sqrt{10\,000 \cdot 12}}{6{,}28 \cdot 10^6} = 55 \cdot 10^{-6}\ \text{H} = 55\ \mu\text{H};$$

$$\ddot{u}_{opt} = \frac{\sqrt{R_i R_s}}{2\pi f L_s} = \frac{55}{200} = 0{,}28;$$

$$V_{opt} = \mu \frac{L_s}{2M_{opt}} = \frac{20 \cdot 200}{2 \cdot 55} \approx 36.$$

2) Määrata võimendus, kui sama trafot kasutada koos varivõrepentoodiga 6K7, mille $S = 1{,}65$ mA/V.

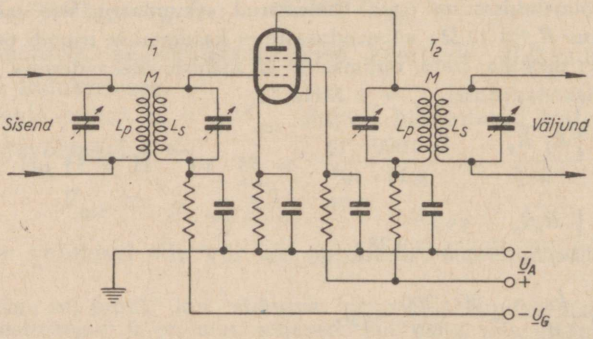
Trafo sekundaarmähise $Q_s = \frac{2\pi f L_s}{R_s} = \frac{6{,}28 \cdot 10^6 \cdot 200 \cdot 10^{-6}}{12} = 105$; $V = S_s Q 2\pi f M =$

$= \frac{1{,}65}{1\,000} 105 \cdot 6{,}28 \cdot 10^6 \cdot 55 \cdot 10^{-6} \approx 60.$

Võimendaja selektiivsuse ja ülekantava sagedusriba laiuse kompromisslahendus üksikvõnkeringiga trafosidestuse puhul seisab võnkeringi Q ja ühisinduktiivsuse M õiges valikus: suurema Q-ga võnkering annab suuremat selektiivsust ja suuremat võimendust, kuid samal ajal lõikuvad maha kõrgemad moduleeritud sagedused; M suurendamisel väheneb selektiivsus ning ühtlasi tõuseb võimendus kuni sidestuse kriitilise piirini ning samal ajal paraneb moduleeritava sagedusriba ülekande ühtlus.

Q ja M õige dimensioneerimine annab oodatud tulemusi seni, kuni võimendaja toimib ainult ühel kindlal resonantssagedusel. Kui aga tekib vajadus, nagu see on alati vastuvõtja kõrgsagedusvõimendajas, katta ühe ning sama trafoga tervet sagedusastmikku, siis endise olukorra säilitamiseks peaks koos häälestatava sagedusega pidevalt muutuma ka M, s. o. sageduse suurenemisega peaks vähenema M ja sageduse vähenemisega peaks suurenema M. Püsiva M puhul osutub side sageduse suurenemisel liiga tugevaks, mille tagajärjel selektiivsus langeb, sageduse vähenemisel kujuneb side liiga nõrgaks, mille tulemusena selektiivsus tõuseb, kuid võimendus langeb ja lõigatakse ära kõrgemad moduleeritud sagedused. Seepärast valitakse M õige väärtus kaetava sagedusastmiku kesksagedusel ja lepitakse keskpäraste kõrvalekaldumistega sagedusastmiku otstel.

e) Ribaläbivusfiltriga võimendaja. Mitmeastmelise võimendaja juures tõusevad progressiivselt nii võimendus kui ka selektiivsus, kuid samas vahekorras nõrgenevad ka ülekantava sagedusriba kõrgemad sagedused. Kõrgekvaliteedilise ülekande tagamiseks kasutatakse ühekordsete võnkeringide asemel võimendusastmeis ribaläbivusfiltreid (B47, B55), millede resonantskõverad õigel dimensioneerimisel oma kujult lähenevad püstkülikule. Seesuguste ribaläbivusfiltrite kasutamine on kujunenud standardseks praktikaks vahesageduse võimendusastmeis (joon. 138), kus nende rakendamine lihtsustub sellega, et nad häälestatakse kindlale, püsivale sagedusribale. Kui riba-



Joon. 138. Ribaläbivusfiltri lülitus. Võimendajas on kasutatud varivõrepentoodi, mille sisend- ja väljundringi moodustavad ribaläbivusfiltrid T_1 ja T_2.

läbivusfiltris nii primaar- kui ka sekundaar-võnkering on häälestatud ühele ning samale resonantssagedusele, oleneb ülekantava sagedusriba laius võnkeringide ühisinduktiivsuse M väärtusest. Kriitilise sidestuse puhul muutub resonantskõver sadulakujuliseks. M-i väärtuse pideva tõstmisega eemalduvad mõlemad resonantskõvera tipud teineteisest ning nendevaheline lohk muutub sügavamaks, eriti siis, kui võnkeringide Q-d on suured. Harilikult M dimensioneeritakse kas täpselt kriitilisele väärtusele või veidi üle kriitilise väärtuse, mispuhul resonantskõveras tekkivad lohud ei kujune veel häirivateks. Mitme ribaläbivusfiltri lülitamisega võimendajasse vastavalt võimendusastmete arvule kaetakse tekkinud lohud vastastikku ning võimendaja üldine resonantskõver läheneb oma kujult ideaalsele püstküliku-kujulisele resonantskõverale; see tagab ühelt poolt kõrge selektiivsuse ja teiselt poolt küllaldase ribalaiuse, mis on tarvilik kõrgekvaliteediliseks ülekandeks.

10. B- ja C-klassi kõrgsagedusvõimendajad.

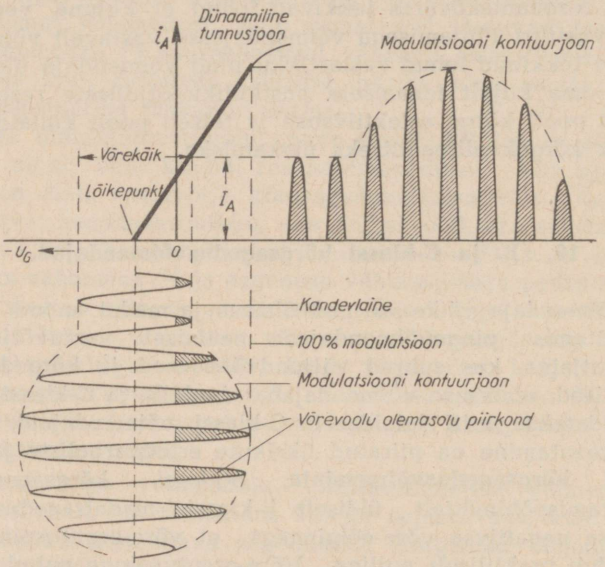
A-klassi võimendaja väike väljundvõimsus ja madal anoodi kasutegur piiravad ta kasutamise pingevõimendajana peamiselt vastuvõtjas. Seepärast kasutatakse saatjates, kus suured väljundvõimsused ja kõrged anoodi kasutegurid on olulised, võimsuse võimendajana ainult B- ja C-klassi võimendajaid. Nendest rakendatakse eriti laialdaselt C-klassi võimendajaid, kuna B-klassi võimendajate kasutamine on piiratud üksikute eriotstarbeliste juhtudega.

a) B-klassi kõrgsagedusvõimendaja. B-klassi kõrgsagedusvõimendaja sarnaneb töötamispõhimõttelt üldiselt B-klassi madalsagedusvõimendajaga, töötades säärase negatiivse võre-eelpingega, et võre-ergutuspinge puudumisel anoodvool võrdub praktiliselt nulliga. Võre-ergutuspinge puhul voolab anoodvool ainult võrepinge positiivsete pooltsüklite, s. o. 180 elektrilise kraadi kestel, kusjuures anoodvool kujutab endast võrepinge pooltsüklitega sarnanevaid voolupulsse (joon. 139).

B-klassi kõrgsagedusvõimendajat kasutatakse saatjas moduleeritud astme võimsuse edaspidiseks tõstmiseks ja nimetatakse sel puhul *lineaarseks võimendajaks*. Samuti sarnaneb B-klassi tööreţiimile moduleeritav aste, milles moduleerimine toimub *võrepinge moduleerimise meetodil*. Kuna üldine võrepinge koosneb alalisest võre-eelpingest ja sellele liituvast ergutuspingest, siis olenevalt sellest, kumba neist võrepinge komponentidest muudetakse, kujuneb B-klassi võimendaja liik: kui võre-eelpinge on püsiv ja muutub ergutuspinge, on tegemist lineaarse võimendajaga, kui ergutuspinge amplituud on püsiv, kuid muutub võre-eelpinge, on tegemist võrepingega moduleeritud astmega. Nii ühel kui ka teisel juhul ei tohi B-klassi võimendaja väljundis esile tulla moonutusi moduleeritud laine algkujus, mis juhiti võimendaja võreringi. Selle teostamiseks anoodvoolu muutumine peab olema täpselt võrdeline võrepinge muutumisega, ehk teiste sõnadega, väljundvõimsus peab muutuma võrdeliselt võrepinge ruuduga.

Sellise nõude täitmiseks reguleeritakse anoodi koormusimpedantsi säärasel, et dünaamiline tunnusjoon oleks võimalikult sirgjooneline (joon. 139 ja C4d). See omakorda tingib ühelt poolt kriitilist lineaarse võimendaja eelpinge seadmist peaaegu anoodvoolu lõikepunkti ja teiselt poolt võrekäigu, s. o.

võrepinge amplituudi piiramist tunnusjoone ülemise põlviku alguseni, mil anoodvool hakkab küllastuma. Vastasel korral on moonutused paratamatud, mis avalduvad vastuvõtjas ebalineaarsete moonutustena; liiga suure võre-eelpinge puhul hävivad modulatsiooni negatiivsed amplituudid, sest neil puhkudel anoodvool katkeb, küllastumisvoolu piiridesse ulatuvad võrepinge amplituudid samuti langevad välja väljundis.



Joon. 139. B-klassi kõrgsagedusvõimendaja tööprotsessi kujutus.

Õigesti toimiva lineaarse võimendaja kandevlaine väljundvõimsus peab olema piiratud 25%-ga maksimaalsest väljundvõimsusest, mida võimendaja arendab 100%-lise moduleerimise puhul. Kui lineaarne võimendaja on ühtlasi saatja lõppastmeks, mis toidab saateantenni, siis 100% modulatsiooni teravikel peab antennivool tõusma kahekordse väärtuseni, võrreldes antennivooluga moduleerimata kandevlaine puhul.

Praktiliselt reguleeritakse õige töörežiim nii, et kandevlaine juures alaline anoodvool I_A võrduks ligemale 16% küllastusvoolust kasutatava anoodi toitepinge juures. Anoodi alalisvoolu keskväärtus B-klassi võimendaja juures jääb püsivaks, sest voolu tõus ja langus (jäädes sümmeetrilisteks) vastastikku tasakaalustuvad. Anoodringi paigutatud alalisvoolu mõõteriist ei tohi moduleeritud saate ajal kõikuda ja kui ta seda peaks tegema, siis on see ilmseks moduleerimise ebalineaarsuse signaaliks.

Kuna B-klassi kõrgsagedusvõimendaja käsitab kõrgsageduslikke sisendpingeid, siis pole sugugi oluline, mis sünnib üksikute kõrgsageduslike amplituudidega anoodringis, kui aga seejuures säilitatakse väljundis üldine moduleeritud madalsageduslik k o n t u u r j o o n. Seega B-klassi režiimis toimivas kõrgsagedusvõimendajas pole sümmeetriline kahelambiline lülitus tarvilik, kuna modulatsiooni kontuurjoon ise on sümmeetriline nii positiivsetel kui

negatiivsetel pooltsüklitel. Nagu nähtub joonisel 139 toodud B-klassi võimendaja tööprotsessi kujutusest, säilib väljundi anoodvoolus siiski täielikult modulatsiooni kontuurjoone kuju, vaatamata sellele, et võre ergutuspinge negatiivsed pooltsüklid tööprotsessis täielikult välja langevad. Anoodvoolu sümmeetria restaureeritakse uuesti anoodi võnkeringi inertsi tagajärjel.

Nagu B-klassi madalsagedusvõimendaja juures, on õige ergutusastme dimensioneerimine väga oluline ka B-klassi kõrgsagedusvõimendajas. Ergutusaste peab andma küllaldast võimsust, et katta B-klassi võimendaja võrevoolu kaod, mis on maksimaalsed võrepinge amplituudidel, ja peab seejuures arendama vastava amplituudiga pingeid, mis on tarvilikud B-klassi võimendaja väljundi täielikuks väljatüürimiseks. Kui ergutuspingete amplituudid pole küllaldased, jäävad võimenduslambi võimed osaliselt kasutamata: arendatav väljundvõimsus on väike ja samuti on väike anoodi kasutegur. Kui ergutuspinge amplituud on liiga kõrge, tekivad väljundis ebalineaarsed moonutused. Et võrevool ei voola kogu positiivse pooltsükli vältel, vaid ainult osaliselt, suurenedes ergutuspinge tõusuga, siis kujutab võrering ergutusastmele väga suurtes piirides muutuvat koormusimpedantsi, olles minimaalne ergutuspinge amplituudväärtustel ja lõpmata suur väikestel ergutuspingetel, mil võrevool ei voola. See seab ergutusastmele üles väga ranged tingimused. Ebalineaarsuste vältimiseks šunditakse lineaarse võimendaja võrering takistusega, mis ühtlustab võrekoormuse impedantsi muutused. Takistuse väärtus valitakse selliselt, et temas häviks 50 ... 100% võrekoormuses kandevlaine tingimustes kuluvast võimsusest. Mida väiksem on võre šunttakistus, seda suurem on garantii ebalineaarseist moonutustest vabanemiseks. Säärane kunstlik, näiliselt kahjulik koormus on paratamatu, milles tekkivaid kadusid lisaks võrevoolukadudele peab ergutusaste olema suuteline katma.

Ergutamiseks vajalik võimsus ja pinge arvutatakse võimenduslambi tunnusjoonte sarja alusel. Määrates kindlaks võre-eelpinge $-U_G$, võre-ergutuspinge amplituudi U_G ja leides võrevoolu tunnusjoontest maksimaalse võrevoolu väärtuse I_{Gmax} võrepinge positiivsel amplituudil, leiame lambi ergutuseks vajaliku maksimaalse võimsuse

$$P_{Gmax} = 0{,}9 U_G I_{Gmax} \quad \text{(vatti)}.$$

Kandevlaine puhul võrevoolu kaovõimsus peab võrduma veerandiga maksimaalsest ergutusvõimsusest:

$$P_G = \frac{P_{Gmax}}{4} \quad \text{(vatti)}$$

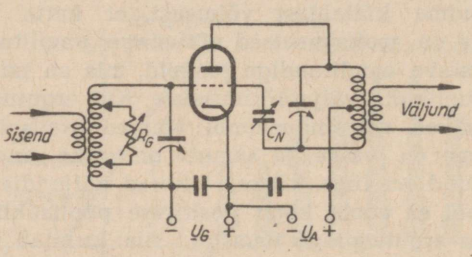
ning šunttakistuses peab kuluma vähemalt pool sellest võimsusest, s. o. $\frac{P_{Gmax}}{8}$ vatti, millest šunttakistuse maksimaalne väärtus

$$R_G = \frac{8U^2_{Gmax}}{P_{Gmax}} \quad \text{(oomi)}.$$

B-klassi võimendaja töötab muutliku anoodi kasuteguriga, sest väljundvõimsus muutub vastavalt modulatsiooni protsendile, kusjuures anoodi toitevõimsus jääb kogu ajaks konstantseks. Teoreetiliselt maksimaalne anoodi

kasutegur 100% moduleeritud laine puhul võrdub 78,5%, mis moduleerimata kandevlaine puhul väheneb poolele, s. o. 39,25%.

B-klassi võimendajas kasutatakse nii trioode kui ka saatepentoode. Trioodide kasutamisel on neutraliseerimine tarvilik. Võimsuse suurendamise otstarbel on võimalik lampe lülitada rööbiti või sümmeetriliselt. Joonisel 140 on toodud B-klassi lineaarse võimendaja tüüplülitus.

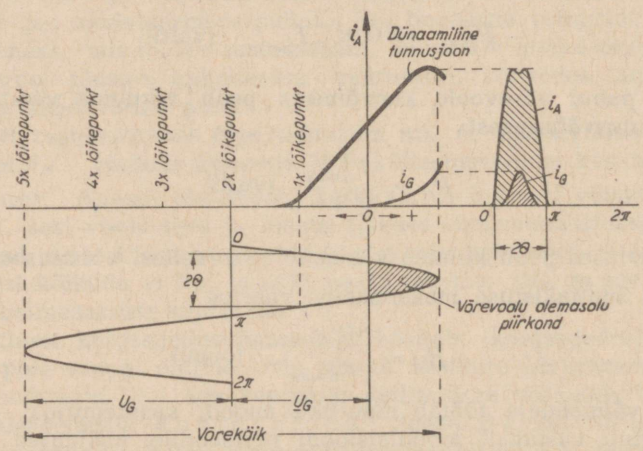


Joon. 140. B-klassi lineaarse võimendaja lülitus trioodiga. Neutraliseerimine teostatakse anoodringis. Võreringi on paigutatud astendatav muutlik takistus R_G, mis on tarvilik ergutusastme anoodkoormuse ühtlustamiseks.

b) C-klassi kõrgsagedusvõimendaja.

1) Üldiselt. C-klassi võimendaja on säärane võimendaja, mille anoodi vahelduvvool on võrdeline anoodpingega. Järelikult väljundvõimsus peab olema võrdeline anoodpinge ruuduga. Sellises tööolukorras arendab võimendaja väga kõrget anoodi kasutegurit, mis ulatub tegelikult kuni 75% ja suurte võimsuslampide juures isegi kuni 90%. Samuti on suur C-klassi võimendaja juures väljundvõimsus, kuid võimsuse võimendus on suhteliselt madal.

C-klassi režiimis töötamiseks eelpingestatakse võimenduslamp vähemalt kahekordse lõikepunkti väärtusega võre-eelpingega (joon. 141). Sel puhul ilma



Joon. 141. C-klassi võimendaja tööprotsessi kujutus.

ergutuspingeta on anoodvool null. Ergutuspinge amplituud peab olema seevõrra suur, et positiivsel võrekäigul anoodvool küllastuks, s. o. ulatuks üle tunnusjoone ülemise põlviku. Seejuures anoodvool voolab ainult lühikese aja vältel, võrreldes ergutuspinge terviktsükli kestusega, ja piirdub harilikult 120 ... 150 elektrilise kraadiga (nurk 2Θ). Võrepinge ulatudes anoodvoolu küllastumise piiridesse, areneb positiivsel amplituudväärtusel võrevool niivõrd suureks, et katoodi emissioon ei suuda säilitada anoodvoolu pulsi siinuselist kuju ning anoodvoolus tekib sel hetkel langus (hammas). Anoodvoolu kuju moondub õige märgatavalt, mis avaldub tugevate nii paaris kui ka paaritute harmooniliste sageduste tekkimises. Kuna aga väljund-võnkering häälestatakse C-klassi võimendajana töötamisel põhisagedusele, millel võnkering evib resonantsi puhul kõrget puhttakistuslikku impedantsi, siis harmoonilised sagedused väljundisse praktiliselt üle ei kandu ning võnkeringis väljund muutub uuesti siinuseliseks.

C-klassi võimendajana saab kasutada nii trioode kui ka varivõre võimsuspentoode ja tetroode. Pentoodide ja tetroodide eeliseks on, et nad ei vaja neutraliseerimist.

C-klassi võimendaja töörežiimis töötavad praktiliselt kõik k.-s. võimsuse võimendajad, mis asuvad enne moduleeritavat võimendusastet, kaasa arvatud moduleeritav aste, ostsillaator ja sageduspaljundusastmed. Ainult lineaarsed võimendusastmed, mis järgnevad moduleeritavale astmele, ja võre-moduleeritavad astmed toimivad B-klassi režiimis.

2) Anoodi koormustakistus ja võimsus. Olulisemaid probleeme C-klassi võimendaja juures on ta sobitamine sisendiga ning väljundiga ja ergutusastme dimensioneerimine. Võimendaja sisendiks on C-klassi režiimis toimiv eelmine võimendusaste, nn. ergutusaste, väljundiks on kas järgnev võimendusaste või antenn, juhul, kui võimendaja on ühtlasi lõppvõimendajaks.

C-klassi koormusimpedantsi moodustab rööbitine anoodi võnkering, mis resonantssagedusel on puht-takistuslik (B45),

$$Z_r = \frac{(2\pi f L)^2}{R} = XQ.$$

Sellest selgub, et suure impedantsi saavutamiseks peab võnkeringi Q olema kõrge, s. o. induktiivsus suur ja järjestikune takistus R väike. Kuna resonantsi puhul $X_L = X_C$, siis induktiivsuse tõstmisel peab võnkeringi mahtuvus olema väike. Seega võnkeringi Z_r tõstmist saab teostada kahel teel: R vähendamisega ja L/C suhte tõstmisega. Resonantssagedusist madalamail ja kõrgemail sagedusil võnkeringi impedants langeb. Suure impedantsi tõttu kujuneb anoodvool resonantssagedusel minimaalseks, kusjuures voolu languse ulatus on ühtlasi võnkeringi ja kogu võimendaja töötamise headuse hindeks. Saatja anoodi võnkeringi häälestades muudetavail sagedusil, võib panna tähele, et sageduse tõusuga anoodvoolu miinimum järjest tõuseb. Sellest ei tule järeldada, nagu hakkaks võimenduslamp kõrgemail sagedusil halvema kasuteguriga töötama, vaid miinimumi tõus on tingitud võnkeringi kõrgsageduse takistuse R tõusust kõrgemail sagedusil. Seepärast pole väga kõrgeil sagedusil keskendatud L ja C võnkeringide kasutamine otstarbekas ning võnkeringi asendamine liinilõikresonaatoriga osutub neil juhtudel õigustatuks.

Võnkeringi kõrge Q evib reaalset väärtust seni, kuni võnkering toimib ilma koormuseta. Võnkeringi sidestamisel koormusega, s. o. tarbijaga, milleks on kas järgneva võimendusastme võrering või antenn, kandub võnkeringi ekvivalentne järjestikune takistus (B45), mis vähendab vastavalt võnkeringi Q-d. Kui näiteks toimides sagedusel 7,0 MHz võnkeringi Q ilma koormuseta võrdus 100-ga, langeb ta koormamisel kuni 15-ni ja isegi kuni 10-ni.

Koormustakistuse tõstmisega, s. o. sidestuse nõrgendamisel koormusega, väheneb anoodi toitevõimsus, väheneb soojuseks muunduv anoodi kaovõimsus ja suureneb anoodi kasutegur. Samuti tõuseb koormustakistuse tõstmisega algul ka väljundvõimsus P_v, kuid ainult teatud piirini, millel koormustakistus kujuneb optimaalseks Z_{opt}; koormusimpedantsi edaspidisel tõstmisel hakkab väljundvõimsus uuesti langema. Seega ei lange kõrgeim anoodi kasutegur kokku maksimaalse väljundvõimsusega. Säärase toimimise tõttu kaotab C-klassi võimendaja juures oma tähtsuse väide, et kasulikumalt sooritatakse töö siis, kui generaatori sisetakistus võrdub välistakistusega.

Optimaalne on seesugune anoodi koormustakistus, mis küllastatud anoodvoolu amplituudide juures arendab minimaalse anoodi vahelduvpinge. Optimaalse koormustakistuse puhul minimaalne anoodpinge võrdub võrepinge amplituudväärtusega, mis kutsus esile anoodvoolu küllastumise. Lihtsustatud kujul C-klassi võimendaja juures optimaalne koormustakistus arvutatakse

$$Z_{opt} = 2\frac{U_A}{I_s} \quad \text{(oomi)},$$

milles U_A — anoodi toitepinge voltides ja I_s — anoodi küllastusvool amprites; võimendaja väljundvõimsus, mis areneb optimaalse koormustakistuse klemmidel, on

$$P_v = \frac{U_A I_A}{2},$$

milles U_A — anoodi vahelduvpinge ja I_A — anoodi vahelduvvoolu amplituudväärtus.

3) Ergutusvõimsus. Optimaalses töörežiimis toimides C-klassi võimendaja anoodi minimaalne pinge (olenevalt lambi tüübist) võrdub 10 ... 20%-ga anoodi toitepingest, mis vastab ühtlasi võrepinge amplituudile. Kuna võrevool voolab ainult võrepinge positiivse amplituudi väikese osa kestel, võrdub võreringis tarvitatav keskmine võimsus ligikaudu võrepinge amplituudi (U_{Gmax}) ja keskmise võrevoolu (I_{Gkesk}) korrutisega, mida näitab võrevoolu mõõteriist:

$$P_{Gkesk} = 0{,}9 U_G I_{Gkesk} \quad \text{(vatti)}.$$

Lambi võrevoolu-võrepinge tunnusjoonte puudumisel saab võrepinge amplituudväärtuse ligikaudu kindlaks määrata, kui lisada valitud võre-eelpinge väärtusele (U_G) 10 ... 20% anoodi toitepinge (U_A) väärtusest. Sagedustel kuni 30 MHz seisavad võreringi kaod peaaegu täielikult võrevoolu kadudes lambis ja eelpinge allikas[1]. Väga kõrgeil sagedusil lisanduvad võrevoolu kadu-

[1] Kui võre-eelpinge allikaks kasutada akupatareid, siis võimendaja töötamise ajal asub aku laadimise olukorras.

dele veel dielektrilised kaod lambi ühendusjuhtmeis, soklis, pesas, ja lõpuks elektronide läbivusaja kaod, milliste katteks tuleb arvutatud ergutusvõimsust tõsta mitmekordselt. Arvestades lisakadusid veel ergutuse võnkeringis, sidestuselementides jne., on tarvilik kõigil sagedusil ergutusvõimsus tegelikult määrata 2...3 korda suuremana, kui eespool arvutatud.

Väga olulist tähtsust evib ergutusastmelt arendatava võimsuse õige rakendamine võimendaja võreringi, mis seisab ergutusastme optimaalse koormustakistuse sobitamises võimendaja võreimpedantsiga. Suurema osa võrekäigu kestel, mil võrevoolu ei voola, kujutab võreimpedants lõpmata suurt takistust. Võrepinge positiivsel amplituudil langeb võreimpedants olenevalt lambi tüübist väga madalaks, 4000 oomi piiridesse. Keskmiseks võreimpedantsiks, mida sobitamisel võetakse arvutuse aluseks, nimetatakse säärast impedantsi, mida lamp omaks siis, kui sama ergutusvõimsuse juures kogu tsükli vältel voolaks ühtlase väärtusega võrevool. Kuna ergutusvõimsus eespooltoodud kaalutlusil on arvutatav, kujuneb keskmine võreimpedants Z_{Gkesk} järgmiseks:

$$Z_{Gkesk} = \frac{U_G^2}{2P_{Gkesk}} \quad \text{(oomi)},$$

milles U_G — võrepinge amplituudväärtus voltides ja P_{Gkesk} keskmine ergutusvõimsus vattides, või ülekantuna võrevoolu keskväärtusele I_{Gkesk}:

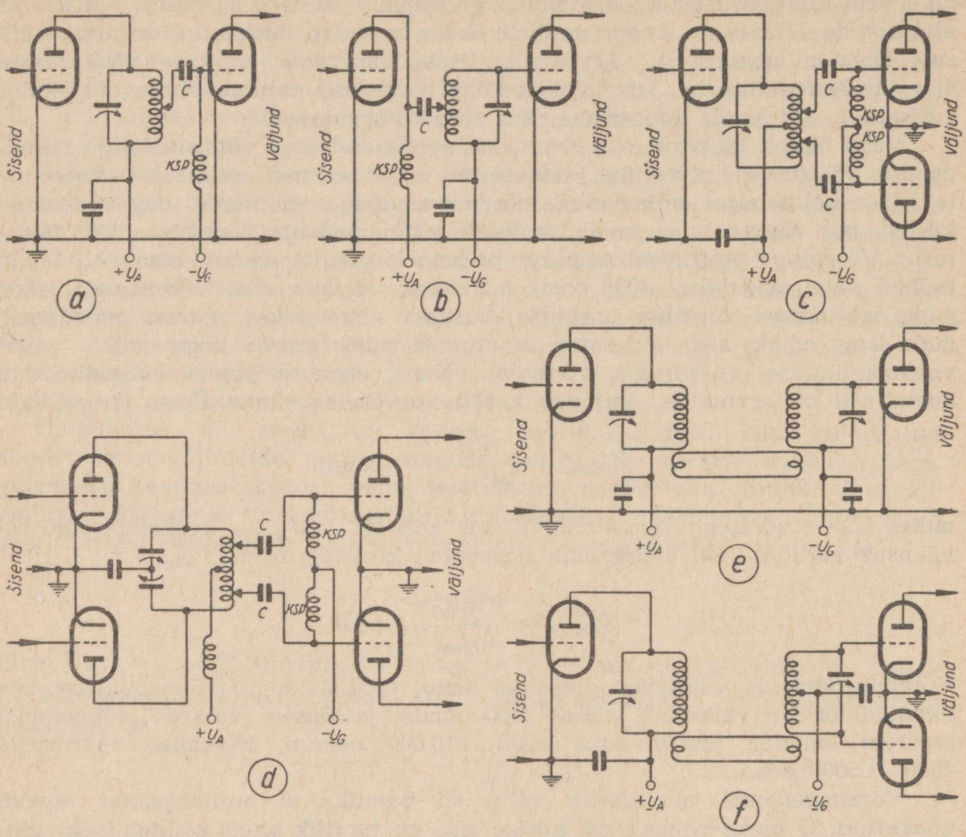
$$Z_{Gkesk} = \frac{0{,}56U_G}{I_{Gkesk}} \quad \text{(oomi)}.$$

Võreimpedantside väärtused olenevad lambi tüübist: suure võimendusteguriga lampidel on Z_G väikesed, alates 2000 oomist ja tõustes väikese võimendusteguriga lampide juures kuni 8000...10 000 oomini, keskmise väärtusega 4000...5000 oomi.

Võreimpedantsi muutuvuse tõttu on vajalik, et ergutusastme anoodi võnkeringi Q oleks võimalikult kõrge, mis on tarvilik pinge säilitamiseks ühtlasena kogu tsükli vältel. Teades võimendusastme võreimpedantsi ja ergutusastme optimaalse anoodkoormuse väärtusi, saab neile valida õige sidestuse. Joonisel 142 on toodud tüüpilisemaid sidestusviise.

4) Anoodi võnkeringi parameetreid. Eeltoodu põhjal tuleks arvata, et kõige ideaalsem on säärane võnkering, mille Q on väga kõrge ja mille häälestuskondensaatori mahtuvus on viidud absoluutse miinimumini. Tegelikus tööolukorras pole see siiski päris täpselt nii selles osas, mis käib kondensaatori mahtuvuse kohta: liiga väike mahtuvus põhjustab võnkeringi ebastabiilsust ja harmooniliste sageduste suurt sisaldust võnkeringis. Impedantsi vähendamiseks harmoonilistel sagedustel ja seega nende mahasurumiseks peab võnkeringi mahtuvus olema võimalikult suur. C/L vahekorra suurendamisega tõuseb anoodi võnkeringis tsirkuleeriv kõrgsagedusvool, mis põhjustab soojuskadude suurenemist võnkeringi takistuses ning väljundvõimsuse vastavat vähenemist. Seega võnkeringi parameetrite määramine kujuneb kompromisslahenduseks.

Tegelikus tööolukorras saavutatakse sobivaimad töötingimused harmooniliste sageduste mahasurumiseks võnkeringilt, mille Q täie koormuse all võrdub ca 12.



Joon. 142. Ergutusastme sidestusviise C-klassi võimendajaga. Lülitustes *a*, *b*, *c*, *d* on kasutatud mahtuvussidestuse meetodit, lülitustes *a* ja *c* on anoodtoide teostatud järjestikuselt, võretoide rööbitiselt k.-s. paispoolide KSP kaudu, *b* — anoodtoide on rööbitine, võretoide järjestikune; sidestuskondensaatori *C* väärtus pole kriitiline ja võib ulatuda 50...2000 pF. Lülitustes *e* ja *f* on sidestuseks kasutatud lülisidet.

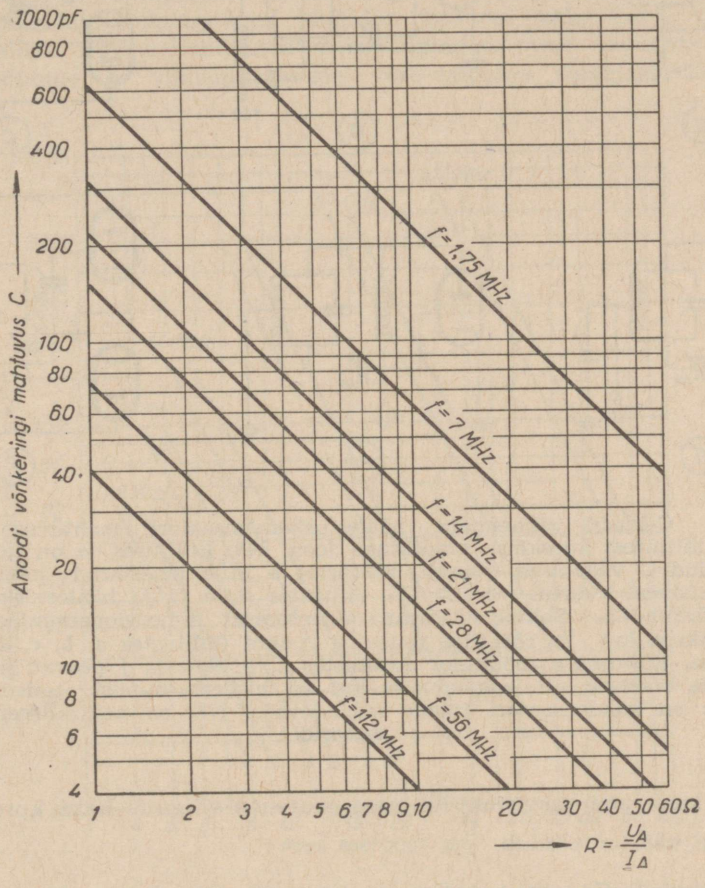
Väljudes sellest, et koormamatult võnkeringi Q oleks võimalikult kõrge ja koormamisel langeb 12-le, pole raske arvutada minimaalne häälestuskondensaatori mahtuvuse väärtus igale kasutatavale sagedusele. Optimaalseis töötingimustes toimiva C-klassi võimendaja anoodi koormustakistus on ligikaudu võrdeline alalise anoodpinge ja anoodvoolu suhtega.

Optimaalseis tingimustes töötamisel, kui anoodvoolu kestuse ajaline nurk (2Θ) võrdub 120 elektrilise kraadiga, koormatud võnkeringi $Q = 12$ ja anoodi kasutegur $\eta_A = 70\%$, kujuneb võnkeringi mahtuvus

$$C = \frac{4520 \cdot I_A}{f U_A} \quad \text{(pF)},$$

milles f — sagedus megahertsides, U_A — anoodi toitepinge voltides, I_A — anoodi toitevool mA. Joonisel 143 on toodud graafiliselt C väärtused ama-

töör-sagedusastmikele, sõltuvalt võimenduslambi alalisvoolu takistusest (U_A / I_A). Andmed on kehtivad otseselt ühelambilise lihtlülituse kohta. Poolitatud võnkeringides vastastakt-lülitustes tuleb C väärtused kohandada järgmiselt (joon. 144):

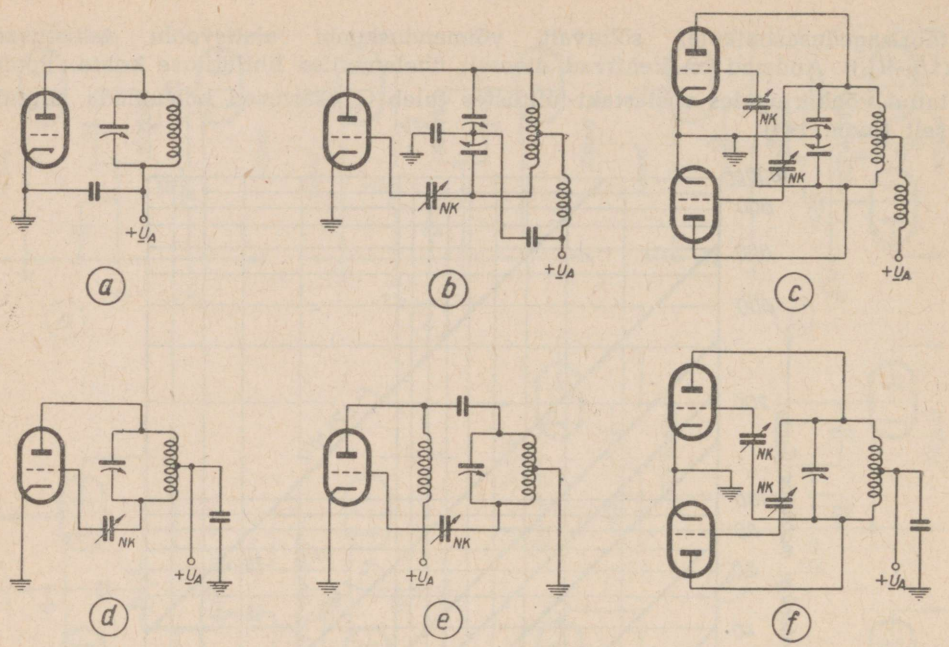


Joon. 143. Graafik häälestuskondensaatorite mahtuvuse määramiseks amatöörsagedusastmikel sõltuvalt võimenduslambi alalisvoolu takistusest. Graafiku koostamisel on arvestatud võnkeringi hindeteguri Q väärtusena 12.

ühelambilises (*b*) ja vastastakt-lülituses (*c*) lõhestatud staatoriga kondensaatori kummagi sektsiooni mahtuvus tuleb valida $\frac{C}{2}$;

ühelambilises poolitatud võnkeringiga (*d*, *e*) ja vastastakt-lülituses lõhestamata staatoriga kondensaatori puhul (*f*) tuleb kondensaatori mahtuvus valida $\frac{C}{4}$;

vastastakt-lülituse puhul on koormustakistus ühelambilise lülitusega võrreldes alati kaks korda suurem, seepärast peab üldine C olema kaks korda



Joon. 144. C-klassi võimendaja häälestuskondensaatori mahtuvuse määramine sõltuvalt lülitusest kooskõlas graafikuga joon. 143. Lülituses *a* on kehtivad graafikus toodud *C* väärtused otseselt, lülitustes *b* ja *c* lõhestatud häälestuskondensaatori sektsiooni väärtus võrdub $C/_2$, lülitustes *d*, *e* ja *f* häälestuskondensaatori väärtus võrdub $C/_4$. Selline häälestuskondensaatori dimensioneerimine on kehtiv nii järjestikuse kui ka rööbitise toiteviisi puhul (lülitustes *a*, *b*, *c*, *d*, *f* on toide järjestikune, lülituses *e* rööbitine). Lülitustes *a*, *b*, *d*, *e* ja *f* peavad häälestuskondensaatorite rootorid nii maandusest kui ka häälestusnupust isoleeritud olema, lülituses *c* on kondensaatori rootor maandatud. NK on neutraliseerimiskondensaatorid.

väiksem; kuna aga vastastakt-lülituses suureneb võimsus kaks korda, siis üldmahtuvuse väärtus võrdub $\frac{C}{4}$;

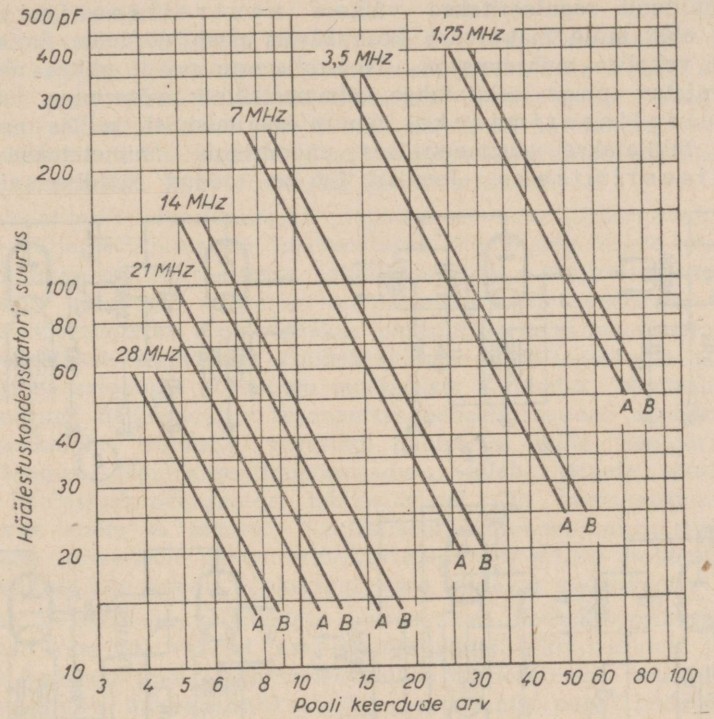
rööbitiste lampide puhul koormustakistus väheneb vastavalt lampide arvule ja *C* valitakse lampide arvu kordselt suurem kui üksiklambi puhul;

moduleeritud võimendajana toimimisel valitakse kondensaatori väärtused harmooniliste sageduste paremaks mahasurumiseks 1,5 ... 2 korda suuremad;

omaergutusega ostsillaatorite mahtuvus valitakse parema stabiilsuse säilitamiseks 3 ... 4 korda suurem.

Võnkeringide poolid arvutatakse üldvalemite alusel (B21). Joonisel 145 on toodud graafik, mille järgi saab kindlaks määrata 40 mm läbimõõduga alusele mähitud pooli keerdude arvud vastavalt amatöör-sagedusastmikele, kui on teada häälestuskondensaatori suurus. Poolid tuleb mähkida ühtlaste keerdude vahekaugustega.

Kondensaatorite valikul tuleb arvestada tegelikke tööpingeid, et vältida võimalikku dielektriku läbilöömist. Hargnemata võnkeringide puhul tegelikud tööpinged võrduvad toitepingetega. Kesk-haruühendiga toite, vastastakt-lülituste ja lõhestatud staatoriga kondensaatori puhul ulatuvad tööpingete amplituudid toitepingete kahekordsete väärtusteni. Moduleeritud C-klassi võimendaja tööpinged on kõikidel juhtudel kaks korda kõrgemad. Astmetevaheliste sidestuskondensaatorite tööpinged tuleb arvutada ergutusastme anoodpinge ja võimendusastme võre-eelpinge summast 50 ... 100% kõrgematena.

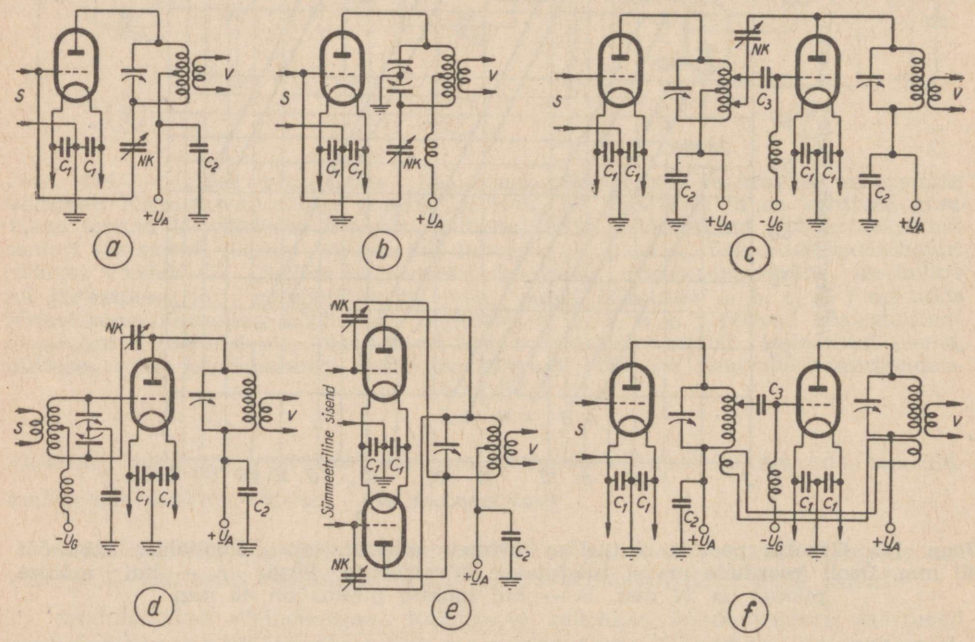


Joon. 145. Graafik poolide ehituslike andmete määramiseks. Poolialuse läbimõõt 40 mm. Pooli keerdude arvud tuletatakse kõverjoonte järgi: A — kui mähise pikkus on 27 mm, B — kui mähise pikkus on 40 mm.

5) Võimendaja neutraliseerimine. Eri varivõre-saatelampide rakendamisega lihtsustub märgatavalt väikese võimsusega saatjate ehitus, sest väga väikeseks viidud võre ja anoodi vaheline mahtuvus pole suuteline ostsilleerimist esile kutsuma. Madalsagedusvõimendajaks ettenähtud võimsustetroodides ja pentoodides, näit. 6F6, 6L6, 6V6, pole võre ja anoodi vaheline mahtuvus siiski küllaldasel määral alla viidud ($C_{GA} \approx 0{,}2 \ldots 0{,}5$ pF), mistõttu nende kasutamisel kõrgsagedusvõimendajana tuleb erilist tähelepanu juhtida sellele, et ehituslikult ei tekiks magnetilisi ega elektrostaatilisi sidestusi võre- ja anoodringide vahel. Väljade kaudu sidestuse vähendamiseks ase-

tatakse võre- ja anoodringi vahele hea elektrijuhtivusega metallist varjestusplaat või pannakse poolid varjestustopsidesse ning vajaduse korral asetatakse võimenduslamp ise (kui lamp on klaaskestas) metallsilindrisse.

Trioodide juures varjestusest üksi ei jätku, vaid kasutatakse erimenetlust, nn. neutraliseerimist. Selleks juhitakse anoodringist võreringi, või ümberpöördult — võreringist anoodringi, võre ja anoodi vahelise mahtuvuse kaudu anoodringist võreringi tagasikanduva vooluga vastufaasis ja võrdse amplituudiga vool tagasi, mis tasakaalustab täielikult kahjuliku tagasiside mõju. Lülituslikult teostatakse neutraliseerimine sümmeetrilise võnkeringiga, mis on tarvilik vastufaasis pinge tekitamiseks. Neutraliseerimispinge amplituud reguleeritakse väikese neutraliseerimiskondensaatori abil, mille mahtuvuse keskväärtus peab võrduma ligikaudu võre ja anoodi vahelise mahtuvusega. Neutraliseerimisviisi, milles neutraliseerimiseks vajatav pinge tekitatakse sümmeetrilises võreringis, nimetatakse võreneutraliseerimiseks; neutraliseerimisviisi, milles neutraliseerimispinge tekitatakse sümmeetrilises anoodringis, nimetatakse anoodneutraliseerimiseks. Joonisel 146 on toodud tüüpilisemaid neutrali-



Joon. 146. Neutraliseerimislülitusi: *a*, *b*, *e* — anoodneutraliseerimine, *c*, *d* — võreneutraliseerimine, *f* — induktiivne neutraliseerimine lülisidega. NK — neutraliseerimiskondensaatorid; C_1 — kütte šuntkondensaatorid 0,01 μF; C_2 — anoodi ja varivõre šuntkondensaatorid 0,001 ... 0,002 μF; C_3 — sidestuskondensaatorid 0,001 μF.

seerimislülitusi. Lülitustes *a* ja *b* on kasutatud anoodneutraliseerimist, lülitustes *c* ja *d* — võreneutraliseerimist, lülituses *e* on vastastakt-võimendajas kasutatud samuti anoodneutraliseerimist. Lülituses *f* on neutraliseerimine

teostatud induktiivselt, milles lüliside kaudu juhitakse võimendaja anoodringist vastufaasis pinge võreringi, kusjuures tagasikantava pinge amplituud reguleeritakse lüliside väärtuse muutmise teel.

Võreneutraliseerimine on palju kapriissem ega võimalda nii täpset tagasiside tasakaalustamist kui anoodneutraliseerimine. Peale selle anoodneutraliseerimise lülitus ühel sagedusel kord välja neutraliseerituna püsib suuremal või väiksemal määral ka teistel sagedustel, võreneutraliseerimine aga vajab sageduse muutmisel järelneutraliseerimist. Täiuslikem ja püsivaim kõigist neutraliseerimisviisidest on vastastakt-lülituses kasutatav sümmeetriline neutraliseerimisviis, mis on väga stabiilne ja säilitab tasakaalu kogu pooliga kaetaval sagedusastmikul.

Induktiivset neutraliseerimisviisi kasutatakse peamiselt väga kõrgeil sagedusil, kus neutraliseerimiskondensaatorite kaudu võnkeringi sissetoodavad mahtuvused halvavad võnkeringi normaalse toimimise ja seega tavalised neutraliseerimisviisid pole lubatavad. Kuid ka induktiivne neutraliseerimine püsib ainult ühel sagedusel, millel neutraliseerimine teostati. Teistele sagedustele üleminekul tuleb võnkering järelneutraliseerida.

Neutraliseerimise sooritamiseks lülitatakse neutraliseeritavalt astmelt anoodpinge välja. Ergutusaste häälestatakse õigele sagedusele ja ergutusvõimsus juhitakse neutraliseeritava astme võreringi. Neutraliseeritava astme võreringis asuv võrevoolu mõõteriist on parimaks neutraliseerimise indikaatoriks. Neutraliseerimiseks reguleeritakse neutraliseerimiskondensaatorit ja samal ajal pööratakse anoodringi kondensaatorit edasi-tagasi üle resonantspunkti, jälgides seejuures võrevoolu mõõteriista näitamist. Neutraliseerimata olekus anoodringi häälestamisel resonantssagedusele muudab anoodringist võreringi tagasikanduv võimsus võreringi häälestust, mille tagajärjel tekib võrevoolu langus. Neutraliseerimisprotseduuri tuleb jätkata senikaua, kui anoodringi häälestuskondensaatori häälestamisel üle resonantspunkti võrevoolu tugevus enam ei muutu. Neutraliseerimiskondensaatori reguleerimist tuleb teostada isoleeritud peaga kruvikeerajaga või erilise isoleerainest abinõuga, et vältida käe kaudu võnkeringi sisse viidavat mahtuvust.

Suurema võimsusega võimendaja juures saab neutraliseerimise indikaatoriks edukalt kasutada väikest taskulambipirni, mille kontaktidele joodetakse paari-kolme keeruga pool. Lähenedes sellise indikaatoriga neutraliseeritava astme anoodringile, hakkab indikaatorlamp resonantsi puhul hõõguma. Õige neutraliseerimise korral, mil anoodringi ja võreringi vahel vahetut võimsuse ülekandumist ei tohi olla, jääb lamp kustunuks igas häälestuskondensaatori asendis.

Neutraliseerimise lõplikuks kontrolliks on tarvis jälgida, kas võrering pole neutraliseerimisega häälestusest välja läinud. Selleks tuleb võrering uuesti täpselt resonantssagedusele välja häälestada ja indikaatoriga veelkordselt kontrollida, kas neutraliseerimine jäi püsima.

Võib juhtuda, et võimendusaste ei lase ennast täielikult neutraliseerida, mis avaldub selles, et neutraliseerimis-kondensaatori optimaalses asendis jääb anoodringi minimaalne võimsus alles. Seesugune nähtus osutab väliste magnet- ja elektriväljade olemasolule sisend- ja väljundringi vahel. Säärase side vähendamiseks on tarvilik väljund- ja sisendringi poolid asetada üksteise suhtes täisnurga alla ning neutraliseerimisringide juhtmed teha lühi-

kesteks, sirgjoonelisteks. Kui ruumi puudusel poolid peavad asetsema üksteisega lähestikku, tuleb nad üksteisest varjestada vaheseintega, tarbe korral asetades vähemalt ühe neist (harilikult võrepooli) varjestustopsi.

6) Võimendaja reguleerimine ja häälestamine. Reguleerimisega seatakse võimendaja õigesse tööolukorda, millega tagatakse maksimaalne väljundvõimsus kõrge kasuteguri juures ja millega kindlustatakse ühtlasi saatja stabiilne ja häirevaba töö ning lampide pikk tööiga.

Võimendaja reguleerimine seisab ergutusastme väljundi õiges sobitamises võimendusastme sisendringiga ja võimendaja väljundi õiges sobitamises tarbijaga, mis teostatakse võimendaja juures rea mõõtmistega võimendajasse tavaliselt sisse ehitatavate (võrevoolu ja anoodvoolu milliampermeetrid) kontrollmõõteriistade abil.

Ergutuse reguleerimisega taotellakse maksimaalset võimendusastme võrevoolu minimaalse ergutusastme anoodvoolu juures, mida saavutatakse siis, kui ergutusastme optimaalne koormusimpedants on õigesti sobitatud võimendaja võreimpedantsiga. Mahtuvusliku sidestuse puhul juhtub harva, et mõlemad impedantsid on ligikaudu võrdsed. Sagedamini on impedantsid erinevad, mispuhul nende sobitamist teostatakse võnkeringi haruühendite kaudu: kui võreimpedants on väiksem ergutusastme optimaalsest koormustakistusest, ühendatakse võreühendus võnkeringi külge haruühendina, nagu on näidatud joonisel 142 *a*, kui aga võreimpedants on suurem anoodi koormustakistusest, ühendatakse ergutusastme anood haruühendina vastavalt joonisele 142 *b*.

Impedantside sobitamine vastastakt-lülituste puhul on analoogiline eelnevaga, eri nõudeks on ainult, et haruühendid lülitataks sümmeetriliselt, arvates võnkeringi keskelt (joon. 142 *c*, *d*).

Impedantside sobitamine lüliside abil (joon. 142 *e*, *f*) on paindlikum, võrreldes mahtuvusliku sidestusega, sest lüliside suurte puisteväljade tõttu pole sidestus kriitiline. Vajaduse korral võib lüliside keerde nihutada sidestatavast poolist vajalikule kaugusele, millega saavutatakse optimaalne impedantside sobitus. Peale selle võimaldab lüliside teostada sidestust ka siis, kui konstruktiivseil põhjusil võnkeringid on asetatud üksteisest eemale. Lüliside rakendamisel tuleb ergutusaste dimensioneerida ohtramalt, et katta puisteväljadest tingitud kadusid.

Kõik reguleerimised sooritatakse õigete küttepingete ja võre-eelpingete juures täie ergutusvõimsusega. Esialgseid proove, katseid ja häälestamist on soovitav teostada madaldatud anoodpingetega. Kui proovid osutuvad rahuldavaiks ja võnkeringid resonantssagedusele on õigesti häälestatud, võib üle minna normaalsele anoodi tööpingele.

Koormamata olekus resonantssagedusele häälestamisel peab anoodvool langema trioodide juures vähemalt viiekordselt. Väiksem voolulangus osutab kas liiga väikesele ergutusvõimsusele või puudulikule impedantside sobitamisele või/ja võnkeringi suurtele endakadudele (väikesele Q). Võimsustetroodide ja -pentoodide (kui konstantse anoodvooluga lampide) juures on anoodvoolu langus resonantssagedusel märgatavalt väiksem. Võimendaja anoodringi sidestamisel tarbijaga anoodvool resonantssagedusel tõuseb ja voolulangus muutub seega vähem tähelepandavaks. Sidestust tuleb muuta seni, kuni lambi anoodvool resonantssagedusel vastab lambi andmete tabelis

näidatud normaalväärtusele. Kuna väljaspool resonantssagedust anoodvool ületab mitmekordselt lambi lubatava anoodi kaovõimsuse, siis tuleb võimendaja häälestamist teostada oskuslikult ja kiiresti (parem madaldatud anoodpinge all!). Vastasel korral värvub anood lambis eralduva liiga kõrge soojuse tagajärjel, mis tõsiselt ohustab lambi kasulikku tööiga.

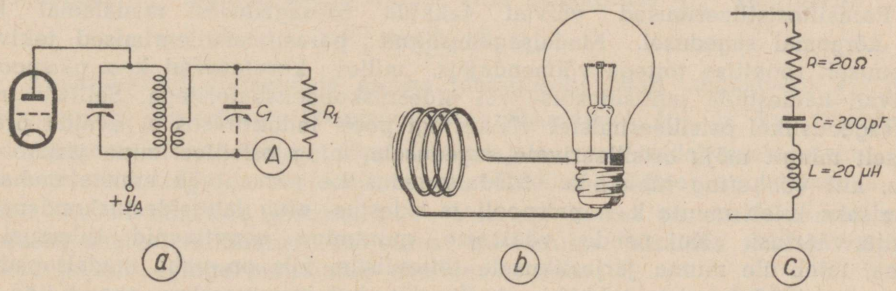
Kui koormus on puhttakistuslik, siis sidestuse muutmisel väljund-võnkering järelhäälestamist ei vaja. Reaktiivse kallakuga koormused, nagu seda sageli on toitejuhtmetega antenni süsteem, kannavad võnkeringi tagasi peale takistuse veel reaktantse, nõudes võnkeringi vastavat järelhäälestamist.

Katsete lõpul tuleb kontrollida, kas võimendaja annab välja ettenähtud võimsust. Selleks sidestatakse väljundringiga kunstlik koormus — kunstlik antenn[1], mis koosneb normaalkoormusele vastavast takistusest ja sellele järjestikku lülitatud k.-s. voolumõõtjast. Õige sidestuse korral, mil võnkering on häälestatud resonantssagedusele ja anoodvool võrdub normaalväärtusega, on väljundvõimsus

$$P_v = I^2 R \text{ (vatti)}.$$

Ligikaudu saab väljundvõimsuse proovi teostada kunstliku koormuse asendamisel valgustuslambiga, mis peab olema oma võimsuselt vastav võimendajalt oodatavale võimsusele. Lambi hõõgumise heledus, võrreldes valgustusvõrku lülitatud samasuure võimsusega lambi heledusega, on väljundvõimsuse määrajaks.

Joonisel 147 on toodud kasutatavamaid kunstliku antenni tüüpe: *a* ja *b* on rakendatavad saatja võimsuse määramisel, *c* — antenni asendamisel vas-



Joon. 147. Kunstlikke antenne: *a* — paari-kolme keeruga pool, millega järjestikku on ühendatud takisti R_1 ja k.-s. ampermeeter, vajaduse korral häälestatakse pool kondensaatoriga C_1 resonantssagedusele; *b* — valgustuslamp kunstliku antennina; *c* — standardne kunstlik antenn, mis oma elektrilistelt väärtustelt vastab tavalisele vastuvõtuantennile ja kasutatakse vastuvõtja reguleerimisel.

tuvõtja häälestamise korral. Joonisel 147 *b* kujutatud kunstlik koormus on ühtlasi lihtsaks ja küllalt tundlikuks k.-s. võimsuse indikaatoriks, kui valgustuslamp asendada väikese 2-voldise taskulambipirniga.

Üldist väljundvõimsuse hinnangut saab teha võimenduslambi toitevõim-

[1] Standardne kunstlik antenn koosneb järjestikku lülitatud 20-oomilisest takistusest, 200-pikofaradilisest mahtuvusest ja 20-mikrohenrilisest induktiivsusest.

suste võrdlusel väljundringi häälestamisel resonantssagedusele koormuseta ja normaalse koormuse all. Kui anoodi toitepinge on $\underline{U}_A$ volti ja $\underline{I}_{A_1}$ — anoodvool amprites koormuseta, $\underline{I}_{A_2}$ — anoodvool amprites koormatuna, siis

$$P_v = \underline{P}_2 - P_1 = \underline{U}_A(\underline{I}_{A_2} - \underline{I}_{A_1}) \text{ (vatti).}$$

Võimendaja anoodi kasutegur η_A arvutatakse

$$\eta_A = \frac{P_v}{\underline{P}_A} = \frac{P_v}{\underline{U}_A \underline{I}_A},$$

milles P_v — väljundvõimsus vattides, $\underline{P}_A$ — anoodi toitevõimsus vattides.

7) Parasiitostsilleerimised (-võnkumised). C-klassi võimendaja töörežiim ja lülitus loovad soodsa olukorra kahjulike ostsilleerimiste tekkimiseks väljaspool töö- ja harmoonilisi sagedusi. Sääraseid kahjulikke ostsilleerimisi, mis pole kontrollitavad tavalisel viisil, nimetatakse parasiitostsilleerimisteks. Parasiitostsilleerimiste kahjulikkus avaldub selles, et kasulik väljundvõimsus väheneb parasiitostsilleerimiste ülalpidamiseks kuluva võimsuse arvel, et võimendaja töö muutub ebastabiilseks, et võimendaja häälestamine ja käitumine muutuvad ebamääraseks ja et võimenduslamp kuumeneb liigselt.

Mitte alati ei omanda parasiitvõnkumised suuri, töö sagedusega võrreldavaid amplituudväärtusi ja sel puhul nad ei kutsu ka esile tähelepandavaid muudatusi võimendaja käitumises. Kuid tugev võtmeplagin telegraafisaates ja liiga laiad külgribad ning häired moduleeritud saates peaaegu alati juhivad tähelepanu parasiitostsilleerimiste olemasolule.

Parasiitostsilleerimised võivad tekkida töösagedusest madalamal kui ka kõrgemal sagedusel. Madalsageduslikud parasiitostsilleerimised tekivad peamiselt rööbitise toitega võimendajais, milles kasutatavad k.-s. paispoolid võivad häälestuda lahtisidestus- või sidestuskondensaatoritega. Sellistel madalsageduslikel ostsilleerimistel võnkeringi pooli induktiivsus ei avalda praktiliselt mingit mõju ostsilleerivale sagedusele ning ostsilleerimine jätkub ka siis, kui võnkering lühistada. Madalsageduslike parasiitvõnkumiste mahasurumiseks tuleb muuta k.-s. paispooli ja sidestus- ning lahtisidestuskondensaatorite väärtusi. Kui nende väärtuste muutmine soovitavaid tulemusi ei anna, tuleb üle minna järjestikusele toiteviisile, mis on vaba madalsageduslike parasiitvõnkumiste tekkimisest. Ka siis, kui ergutusastme anoodtoide on teostatud rööbiti, kuid võimendaja võretoide on järjestikune, ilma k.-s. paispoolita, ei saa seda liiki parasiitvõnkumisi tekkida, sest võre on parasiitsageduse suhtes maandatud võrepooli kaudu.

Parasiitvõnkumised võivad tekkida töösagedusest kõrgemail sagedusil, kui neutraliseerimise otstarbel anoodi võnkeringi pool on kõrgsageduse suhtes keskelt maandatud (joon. 146 *a*) või kui sidestamiseks kasutatakse võnkeringi haruühendeid. Neil juhtudel parasiitostsilleeriva võnkeringi moodustavad haruühendi ja maapotentsiaali all asuv pooli osa juhuslike parasiitmahtuvustega. Seda liiki võnkumisi saab vältida haruühendite ümbertõstmisega ja varjestamisega. Lõhestatud staatoriga häälestuskondensaatoritega lülitused on sellest pahest vabad.

Ülikõrgsageduslikud parasiitvõnkumised tekivad peamiselt vastastakt-

lülituste puhul, mida eriti soodustavad risti asetsevad neutraliseerimiskondensaatorid. Parasiitvõnkeringid moodustuvad sellistel juhtudel neutraliseerimiskondensaatoritest ja ühendusjuhtmetest. Õnneks ei esita ülikõrgsageduslike parasiitvõnkumiste mahasurumine eriti suuri raskusi: tarvitseb ainult võre ja anoodi ühendusjuhtmete pikkust vastastikku muuta ja säärased võnkumised tavaliselt kaovad. Kui parasiitvõnkumised tekkisid neutraliseerimisringides, kaovad võnkumised siis, kui neutraliseerimisjuhtmetesse lülitada järjestikku väikesed 6...15 keeruga silindrikujulised paispoolid. Samu paispoole võib kasutada ka võre- ja anoodringide ühendusjuhtmetes, s. o. vahetult võres ja anoodis.

Kuna parasiitvõnkumised kõrgsageduslikes võimsuse võimendajates on võimalikud, siis koos võimendaja reguleerimisega ja proovimisega tuleb alati kindlaks teha nende olemasolu ja avastamisel võtta tarvitusele abinõud nende mahasurumiseks.

c) C-klassi moduleeritud võimendaja. C-klassi moduleeritud võimendajat kasutatakse koos madalsageduse võimsuse võimendajaga, nn. modulaatoriga, genereeritud võimsuse moduleerimiseks anoodpinge moduleerimise meetodil.

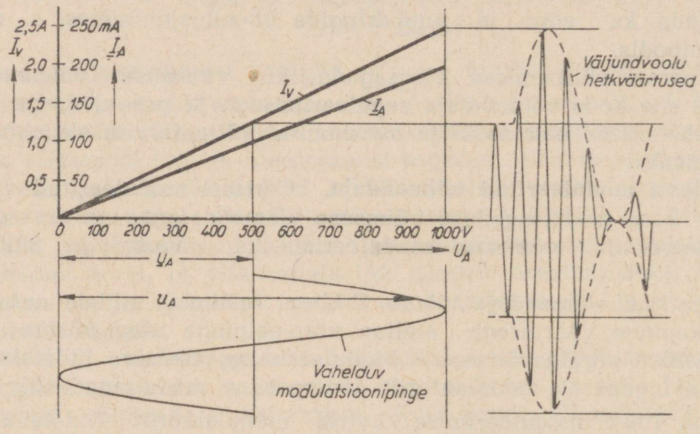
Moduleeritud võimendaja töötab C-klassi režiimis, millele antakse kahekordse lõikepinge väärtusega alaline võre-eelpinge ning püsiva suurusega kõrgsageduslik ergutusvõimsus. Moduleerimisprotsessis liidetakse alalise anoodi toitepingega $\underline{U}_A$ modulaatorilt genereeritav madalsageduslik pinge U_m. Täieliku ehk 100% moduleerimise korral modulaatorilt liidetava pinge U_m väärtus peab võrduma toitepingega ning moduleeritava võimendaja üldine anoodpinge U_A muutub seega nullist kuni kahekordse $\underline{U}_A$ väärtuseni:

$$U_A = \underline{U}_A \pm U_m.$$

Moduleeritud võimendaja õigeks töötamiseks peab anoodvool $\underline{I}_A$ ning väljundringis tsirkuleeriv kõrgsageduslik väljundvool I_v, ja kui moduleeritud võimendaja on ühtlasi lõppvõimendajaks, mis toidab saateantenni, siis ka antennivool I_{ANT} muutuma rangelt võrdeliselt üldise anoodpingega U_A nagu see on näidatud joonisel 148. Vastasel korral on ebalineaarsed moonutused saates vältimatud, kusjuures moonutuste sisaldus vastab väljundvoolu ja anoodpinge muutumise ebalineaarsusele.

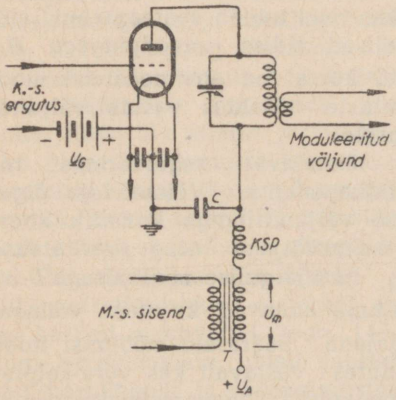
Lineaarsuse saavutamiseks vajavad täiendavat reguleerimist nii võre-eelpinge, ergutusvõimsus kui ka väljundimpedants. Võimendaja õigetesse töötingimustesse seadmiseks sidestatakse väljundringiga kunstlik koormustakistus (joon. 147 *a*) järjestikku k.-s. voolumõõtjaga ning sooritatakse rida $\underline{I}_A$ ja I_v mõõtmisi anoodi toitepinge $\underline{U}_A$ järkjärgulise muutmisega 0-ist kuni 2 $\underline{U}_A$. Mõõtmisandmed graafikusse kantuna annavad kujutuse võimendaja õigest töötamisest moduleeritud võimendajana. Sääraseid mõõtmisi tuleb sooritada mitu, iga mõõtmiste seeria järel muutes vastavalt kas võre-eelpinget, ergutusvõimsust või anoodi koormusimpedantsi. Lineaarseimaks osutunud tingimustele tuleb võimendaja lõplikult kohandada. Ideaalse võimendaja juures peaksid mõõtmistulemused kujunema sirgjoonelisteks, kuid tegelikult tuleb alati arvestada väiksemaid kõrvalekaldumisi, mis on lubatavad 5...10% piirides.

Moduleeritud võimendaja, mille lülitus on toodud joonisel 149, moodustab modulaatorile püsiva koormustakistuse, mille väärtus anoodvoolu lineaarsel muutumisel vastavalt anoodpingele võrdub $R = \frac{U_A}{I_A}$ või üldkujul $R = \frac{\Delta U_A}{\Delta I_A}$. Joonisel 148 toodud juhul selle takistuse väärtus $R = \frac{U_A}{I_A} = \frac{500}{0{,}1} =$ $= 5000$ oomi.



Joon. 148. C-klassi moduleeritud võimendaja tööprotsessi kujutus.

Kuna modulatsiooni tippudel nii anoodpinge kui ka anoodvool on kaks korda suuremad oma vastavatest väärtustest moduleerimata olukorras, siis moduleeritud võimendusastme tippvõimsus peab võrduma neljakordse moduleerimata väljundvõimsusega. Selle lisavõimsuse peab moduleerimise tippudel



Joon. 149. C-klassi moduleeritud võimendaja lülitus. Moduleerimisprotsessis liidetakse anoodi toitepinge U_A modulaatori väljundpingega U_m. Kõrgsagedustspaispool KSP ja kondensaator C moodustavad tõkestusfiltri kõrgsagedusvooludele modulatsioonitrafosse T pääsemiseks.

andma modulaator. Moduleeritud võimendaja keskmine väljundvõimsus kujutab täieliku moduleerimise puhul efektiivvõimsust ja võrdub siinuselise moduleerimispinge juures 1,5-kordse moduleerimata, s. o. kandevlaine võimsusega.

Järelikult peab modulaator olema suuteline andma täieliku moduleerimise puhul madalsageduslikku lisavõimsust 50% moduleeritud võimendaja anoodi toitevõimsusest moduleerimata olukorras. Kui näiteks moduleeritud võimendaja anoodi toitepinge $\underline{U}_A = 500$ voldiga moduleerimatult, mille juures anoodvool $\underline{I}_A = 100$ mA, võrdub toitevõimsus $\underline{P}_A = \underline{U}_A \underline{I}_A = 500 \cdot 0{,}1 = 50$ vatiga. Täielikuks moduleerimiseks peab modulaator andma lisavõimsust $P_m = 0{,}5\,\underline{P}_A = 25$ vatti. Üldiselt moduleerimiseks vajatava madalsagedusliku võimsuse väärtus P_m muutub modulatsioonitegur m ruuduga ja võrdub

$$P_m = \frac{m^2}{2} P_v \quad \text{(vatti)}$$

milles m — modulatsioonitegur, P_v — moduleerimata k.-s. väljundvõimsus. Keskmine moduleeritud väljundvõimsus $P_{Kesk} = P_v \left(\frac{m^2}{2} + 1\right)$ vatti. Moduleerimise juures suureneb keskmine väljundvool (näiteks antennis) $\sqrt{\frac{m^2}{2} + 1}$ korda, võrreldes väljundvooluga moduleerimata olukorras. Täieliku moduleerimise puhul tõuseb väljundvool seega $\sqrt{\frac{1}{2} + 1} = \sqrt{1{,}5} = 1{,}225$ korda. Samas vahekorras suurenevad ka väljundpinged. Moduleeritud võimendusastme anoodringi lülitatud alalisvoolu mõõteriist ei näita modulaatorilt liidetud lisavõimsust ja jääb moduleerimisel püsima, sest lineaarsel moduleerimisel on anoodvoolu tõusud ja langused sümmeetrilised ja vastastikku tasakaalustuvad. Vahelduvvoolu mõõteriist anoodi toiteringis näitab siiski toitevoolu efektiivväärtust samuti kui väljundringi lülitatud k.-s. voolumõõtja.

Moduleerimise lineaarsuse säilitamiseks on oluline, et anoodi toitepinge ja võre-eelpinge allikais endis ei tekiks nimetamisväärset pingelangust, see tähendab, et toiteallikate sisetakistus ja nendega järjestikku ühendatud lülituselemendid, nagu trafod, paispoolid, peavad evima minimaalset alalisvoolu takistust.

Arvestades seda, et moduleeritud võimendaja anoodpinge tõuseb moduleerimistippudel kahekordse alalise toitepinge väärtuseni, valitakse anoodi liigse kuumenemise vältimiseks alalise toitepinge väärtus keskmiselt 25% väiksem kui tavalises C-klassi töörežiimis moduleerimata olukorras toimival võimendajal.

Anoodi kasutegur on moduleeritud võimendaja juures mõnevõrra väiksem kui moduleerimata võimendaja juures ja olenevalt lambi võimsusest võrdub keskmiselt 60%. Moduleeritud võimendajana on ühevõrra hästi kasutatavad nii trioodid kui ka tetroodid ja pentoodid. On arusaadav, et trioodid vajavad samuti kui tavalise C-klassi võimendajagi juures neutraliseerimist.

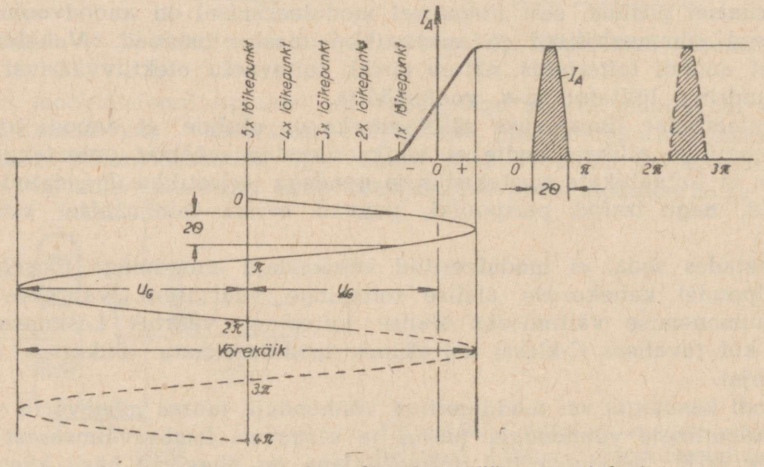
11. Sageduspaljundaja.

Sageduspaljundajaks nimetatakse C-klassi võimendajat, mille anoodring on häälestatud mitte põhi-, s. o. ergutussagedusele, vaid ühele kõrgematest harmoonilistest sagedustest. Lülituselt sageduspaljundaja sarnaneb üldiselt hariliku C-klassi võimendajaga, erineb viimasest ainult eriliiki töörežiimi poolest, mis soodustab väljundvõimsuse arendamist harmoonilistel

sagedustel. Kuna sageduspaljundaja anoodring on häälestatud erinevale sagedusele, võrreldes võreringiga, siis neutraliseerimine osutub trioodide kasutamisel liigseks.

Sageduspaljundamist kasutatakse võimsuse genereerimiseks kõrgematel sagedustel, kui seda võivad anda kristallitüüritavad ostsillaatorid, sest sageduse tõustes muutub kristallide valmistamine mitte ainult raskemaks, vaid kristallide mõõdete vähenemisel on nende valmistamine praktiliselt isegi võimatu. Peale selle on kõrgsageduslikud kristallid mehaaniliselt väga õrnad, purunedes juba suhteliselt väikeste käsitatavate võimsuste juures. Seepärast on kujunenud normaalseks kasutada saatja esiastmes suhteliselt madalsageduslikku kristallitüüritavat ostsillaatorit. Sel teel saavutatakse kõrgsageduse stabiilsus mitte ainult kristalli põhisagedusel, vaid ühtlasi ka kõrgemail harmoonilistel sagedustel. Kristallitüüritavale ostsillaatorile järgneb suurem või väiksem arv sageduse paljundusastmeid, mille arv sõltub sageduse paljundamise ulatusest.

Sageduspaljundaja toimimispõhimõte seisab selles, et sellise kõrge võreeelpingega töötava võimendaja, nagu seda on C-klassi võimendaja, anoodvoolu kuju on väga rikutud. Lähem analüüs näitab, et säärane rikutud vool sisaldab endas peale põhisageduse praktiliselt kõiki harmoonilisi sagedusi, mille amplituud langeb järk-järgult sageduse tõusuga, s. o. harmooniliste järjekorra arvuga: teise harmoonilise amplituud on kolmandast suurem, kolmanda harmoonilise amplituud on neljandast suurem jne. Võimendaja anood-

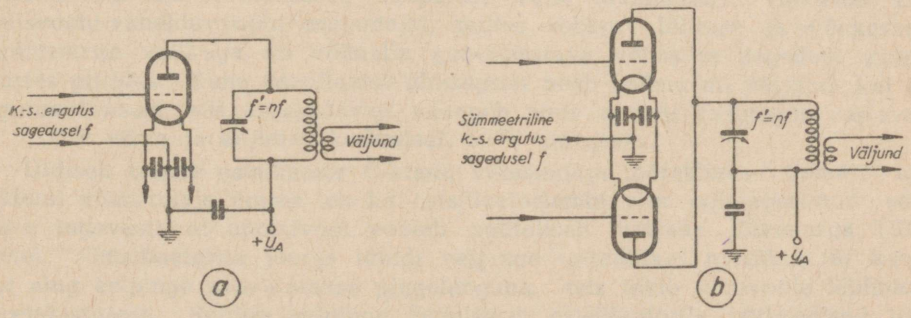


Joon. 150. Sageduspaljundaja tööprotsessi kujutus.

ringi häälestamisel ühele neist harmoonilistest sagedustest kujuneb võnkeringi impedants sellel sagedusel maksimaalseks ning võnkeringis keskendub võimsus praktiliselt ainult sellele sagedusele.

Sageduspaljundaja tööprotsess sarnaneb üldiselt C-klassi võimendaja tööprotsessiga (joon. 150), sest anoodvoolu ja -pinge hetkväärtused jäävad endisteks. Kuna aga sageduspaljundaja anoodringis kasutatav sagedus on võreringi rakendatava põhisageduse mitmekordne, siis keskmine voolutugevuse väärtus kasutataval harmoonilisel sagedusel on lühema voolamisaja tõttu

väike. See tähendab, et sageduse kahekordistaja puhul voolab kasulik anoodvool ainult põhisageduse poole ajanurga $\left(\frac{2\Theta}{2}\right)$ kestel, kolmekordistajal kolmandiku ajanurga kestel $\left(\frac{2\Theta}{3}\right)$ jne., ning ülejäänud põhisageduslik anoodvoolu võimsus muutub kahjulikuks võimsuseks, mis kulub lambis ja põhjustab lambi liigset kuumenemist. Energiakao hoidmiseks lambis madalana või, teiste sõnadega, anoodi kasuteguri tõstmiseks on tarvilik anoodvoolu voolamisaega (2Θ) piirata, mida teostatakse võre-eelpinge tõstmisega. Praktiliselt töötavad kõik sageduspaljundajad 4...5-kordse lõikepinge väärtusega võre-eelpingega $\underline{U}_G$, mis tingib ühtlasi ka ergutuspinge U_G vastavat tõstmist, et välja kutsuda endiselt anoodi küllastusvoolu võrepinge positiivsetel amplituudväärtustel. Anoodvoolu kuju säärases töörežiimis sarnaneb pigem kitsaste püstkülikutega. Neis tingimustes töötades läheneb sageduspaljundaja anoodi kasutegur tavalise C-klassi võimendaja kasutegurile. Kuna aga seejuures väheneb toitevõimsus, siis langeb vastavalt ka väljundvõimsus. Sageduse kahekordistaja juures võrdub väljundvõimsus keskmiselt poole normaalse C-klassi väljundvõimsusega, kolmekordistaja juures on väljundvõimsus tavaliselt veelgi väiksem. Endise anoodi kasuteguri säilitamiseks peab ergutusvõimsus tõusma keskmiselt kaks korda. Töönurga suurendamisega saab väljundvõimsust tõsta, kuid ainult anoodi kasuteguri vähendamise ja seega lambi suurema koormamise arvel.



Joon. 151. Sageduspaljundaja lülitusi: *a* — harilik lülitus, *b* — vastastakt-paljundaja lülitus.

Väljundpinge reguleeritavuse soodustamiseks peab väljundringi Q ja ühtlasi L/C suhe olema võimalikult kõrged. Sama on kehtiv ka võreringi kohta, kuna sellega lihtsustub ergutusastme koormusimpedantsi sobitamine paljundusastme võreimpedantsiga, sest et kõrgendatud võre-eelpinge tagajärjel on võreimpedants märgatavalt suurem. Õigeks sobitamiseks lülitatakse ergutusastme anood tavaliselt võnkeringi külge haruühendina või kasutatakse lülisidestust, mispuhul L/C suhe pole kriitiline ja võib olla tunduvalt madalam (joon. 151 *a*).

Sageduse kahekordistamisel suurema väljundvõimsuse saavutamiseks kasutatakse vastastakt-sageduspaljundaja lülitust (puš-puš), mis on toodud joonisel 151 *b*. Vastastakt-paljundaja lülituse sisend on süm-

meetriline nagu sümmeetrilise C-klassi võimendajagi juures, kuid paljunduslampide anoodid on lülitatud anoodringi rööbiti. Sellise lülitusega toidetakse anoodringi anoodvoolu pulssidega kahekordse, s. o. teise harmoonilise sagedusega.

Kuna tavaliste vastastakt-lülituste anoodringis paarisharmoonilised tasakaalustuvad, siis pole vastastakt-lülitused kõlblikud sageduspaljundamiseks paarissagedusil, kuid on sobivad paaritute harmooniliste sageduste, nagu 3. ja 5. harmoonilise genereerimiseks.

Lampide valik sageduspaljundajas, nagu üldse C-klassi võimendajas, pole kriitiline. Kuigi kõrge võimendusteguriga lambid töötavad madalama võreeelpingega, on ergutuseks vajatav võimsus võrdse väljundvõimsuse saavutamiseks siiski lambi võimendustegurist sõltumata. Tetroodide ja pentoodide ergutusvõimsuse tarvidus on üldiselt väiksem kui trioodidel ja neilt saavutatav võimsuse võimendus on vastavalt suurem.

E. OSTSILLAATORID.

I peatükk.

ÜLDISELT.

1. Ostsillaatorite iseloomustus.

Iga võimendajat saab rakendada töösse iseseisva vahelduvvoolu-generaatorina, kui väljundringist juhtida sisendringi tagasi õiges faasilises vahekorras ning vajalikul määral võimendatud võimsust. Nagu on käsiteldud varem (D8c), lakkab võimendaja toimimast võimendajana ja muutub tavalises mõistes ostsillaatoriks siis, kui väljundringist tagasikanduv võimsus on faasis sisendringi võimsusega ja oma väärtuselt on küllalt suur, et iseseisvalt katta võreringi kadusid, mida võimendaja juures pidi teostama ergutusaste. Seega ostsillaator toimib omaergutuse põhimõttel, ilma välise mõjutuseta. Loomulikult peab nii väljundvõimsuse genereerimiseks kui ka võrekadude katteks vajatav võimsus endiselt tulema väljastpoolt, anoodi toitevooluallikast. Seepärast võib ostsillaatorit vaadelda kui alalisvoolu-vahelduvvoolu muundajat, milles sobiva lülituse ja võnkeringi parameetrite valikuga on võimalik genereeritava võimsuse sagedust muuta suurtes piirides. Kuna ostsillaator üheaegselt peab andma nii väljund- kui ka ergutusvõimsust, siis arusaadavalt väheneb tema anoodi kasutegur vastavalt 10...20% võrra ja kujuneb keskmiselt 50% suuruseks.

Üldiselt toimib ostsillaator C-klassi võimendaja töörežiimis. Samuti kui C-klassi võimendaja juures, on ka ostsillaatorlambi võre eelpingestatud seevõrra tugevasti, et anoodvool voolab suhteliselt väikese lõikenurga (2Θ) kestel. Ostsillaatorite juures eraldi eelpinge toiteallikat harilikult ei kasutata ning eelpinge saavutatakse pingelanguna, mis tekib võrevoolu läbimisel võretakistusest. Selline eelpinge reguleerib ostsillaatorile optimaalsed töötingimused automaatselt, millega ergutuspinge väärtused ei kujune kriitilisteks.

2. Sageduse stabiilsus.

Tingituna raadiosaatjate arvu tohutust tõusust, mis on viinud ruumi küllastumiseni elektromagnetilistest lainetest, esitatakse ostsillaatorile eriti ranged nõuded genereeritava võimsuse sageduse säilitamise alal, et sellega vähendada miinimumini saatjate vastastikuseid häirimisi. Kuna ostsillaatorit rakendatakse samuti peaaegu kõigis amatöörvastuvõtjates, siis stabiilse töö kindlustamiseks evib ostsillaatori sageduse säilitamise vajadus vastuvõtjates samasugust tähtsust. Seepärast seisab ostsillaatori projekteerimise peaprobleem mitte niivõrd suure võimsuse genereerimises, kuivõrd kõrge sageduse stabiilsuse tagamises.

Praktikas on kujunenud normaalseks koostada saatja mitmeastmelisena, milles esimeseks astmeks on väikese võimsusega, kuid kõrge sageduse stabiilsusega ostsillaator, mis hoiab rangelt konstantsena järgnevate astmete sageduse, kus toimub võimsuse võimendamine. Vastuvõtjate juures, kus on tegemist väikeste võimsustega, jätkub harilikult lihtsast, ilma võimendajata ostsillaatorist.

Ostsillaatori sageduse mittesoovitavat muutumist ehk s a g e d u s e t r i i v i m i s t põhjustavad peamiselt järgmised tegurid:

temperatuuri muutumine,
anood-, võre- ja küttepinge väärtuste muutumine,
koormuse muutumine,
võnkeringi elementide mehaaniline vibreerimine.

Temperatuuri tõusmine ostsillaatori töötamisel kutsub esile nii lambi elektroodide kui ka võnkeringi elementide (pooli, kondensaatori) mehaanilise paisumise, millest tingituna suurenevad üldiselt nii lambi elektroodidevahelised mahtuvused kui ka pooli induktiivsus ja häälestuskondensaatori mahtuvus. Kuna kõik loeteldud elemendid koondatuna määravad võnkeringi resonantssageduse, siis arusaadavalt ostsillaatori töötamisel, vähemalt esimeste tundide kestel, kui tekkiv soojushulk hajuva soojushulgaga pole veel täielikult tasakaalustatud, langeb ostsillaatori töösagedus pidevalt. Sõltuvalt temperatuuri tõusust vähendatakse sageduse triivimist praktiliselt järgmiste abinõudega:

ostsillaatori sageduse kontrollimise teel kristalliga, kui saatja töötamine võib piirduda üksikute kristalli sagedustega (B54d);

kristalli või kogu ostsillaatori paigutamisega t e r m o s t a a t i, s. o. erilisse soojuskindlasse kappi, kus termomeetri ja releede abil hoitakse püsiv kõrgendatud temperatuur;

sagedust kompenseerivate kondensaatorite (B13) lülitamisega rööbiti ostsillaatori võnkeringiga; kompenseeriva kondensaatori õige valikuga, mille mahtuvus langeb temperatuuri tõusuga, on võimalik võnkeringi parameetrite muutumist sõltuvalt temperatuuri tõusust praktilistes piirides täielikult kompenseerida;

väikese L/C suhtega ehk „k õ r g e C-ga" võnkeringi koostamisega.

Toitepingete muutumised kutsuvad esile lambi sisetakistuse (R_i) ja võre sisendtakistuse (R_g) muutumise, mis, asetsedes rööbiti võnkeringiga, kutsuvad vastavalt esile ka resonantssageduse muutumise. Sellise pahega võitlemisel võetakse tarvitusele järgmised abinõud:

koostatakse võnkering võimalikult suure Q-ga; Q väärtuse säilitamiseks lülitatakse lambi anood ja võre võnkeringi haruühenditena;

dimensioonitakse võnkering kõrge C-ga, millega vähendatakse võnkeringi impedantsi ja sobitatakse võnkering paremini lambi sisetakistusega ning võre sisendtakistusega, mis on suhteliselt madalad; võnkeringi suure C korral pääsevad väikesed C muutused vähem mõjule ning sageduse stabiilsus tõuseb;

valitakse nõrk sidestus väljundiga, mille tagajärjel koormuse muutused peegelduvad ostsillaatori võnkeringi ainult nõrgalt tagasi;

valitakse suur ostsillaatori võretakistus, mis hoiab võre-eelpinge kõrgena ja nõrgendab anoodvoolu;

töötatakse madaldatud anoodpingetega, mille tagajärjel lamp töötab alakoormatuna ning lambis arenev soojushulk kujuneb madalaks;

kasutatakse ostsillaatori juures hästi stabiliseeritud toitepingeid, s. o. anoodi- ja küttepinget.

Võnkeringi elementide mehaaniline vibreerimine kutsub esile võnkeringi mahtuvuste muutumise ja seega sageduse perioodilise muutumise. Mehaanilise ebastabiilsuse vähendamiseks peavad nii võnkeringi elemendid kui ka ostsillaatori üldine konstruktsioon mehaaniliselt tugevad olema. Vajaduse korral tuleb ostsillaator kinnitada erilisele mehaanilisi tõukeid absorbeerivale alusele.

Lõpuks, iga liiki sageduse triivimise ulatus ostsillaatoris sõltub sidestuse väärtusest anood- ja võreringi vahel, kui ostsillaator toimib tagasiside põhimõttel: mida väiksem on ostsilleerimiseks vajalik side, seda väiksemaks kujuneb sageduse triivimise ulatus. Seepärast on ostsillaatori projekteerimisel peale eeltoodud nõuete täitmise oluline sobiva lülitusviisi valik, millega oleks võimalik sidestuse väärtust valida soovi kohaselt.

II peatükk.

OSTSILLAATORI PÕHITÜÜPE JA LÜLITUSI.

Praktiliselt on rakendamist leidnud väga palju erinevaid ostsillaatori lülitusi, mida kasutatakse vastavalt kas lülituslikele eritingimustele, sagedusastmikele, võimsusele või nõutavale sageduse stabiilsusele. Allpool käsitellakse ostsillaatori lülitusi vastavalt nende toimimispõhimõtetele.

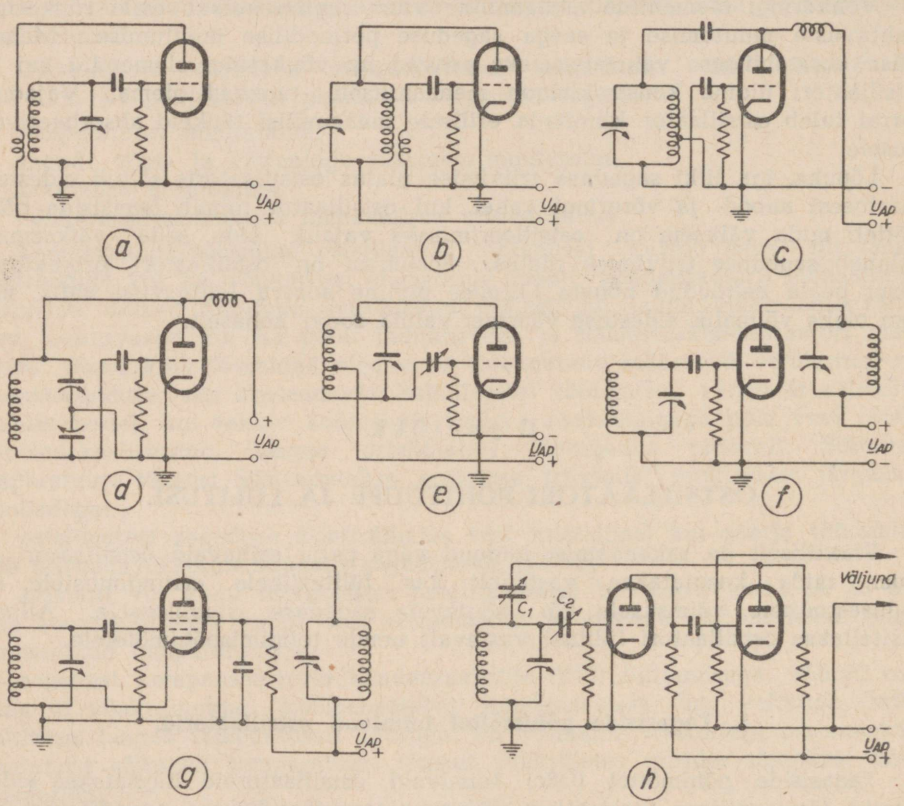
3. Tagasiside põhimõttel toimivad ostsillaatorid.

Tagasiside põhimõttel (D8c) toimivaid ostsillaatoreid liigitatakse sidestusviisi järgi, millega teostatakse võimsuse tagasikandumine anoodringist võreringi:

induktiivse tagasisidega ostsillaatorid,
mahtuvusliku tagasisidega ostsillaatorid,
elektronilise tagasisidega ostsillaatorid.

a) Induktiivse tagasisidega ostsillaatorid. Tüüplülitused on toodud joonisel 152 *a*, *b*, *c*. Lülitustes *a* ja *b* kantakse võimsus anoodringist võreringi induktiivse sidestusega anood- ja võreringi poolide vahel, mille juures tagasisidestuse väärtust saab muuta poolidevahelise sidestuse muutmisega. Lülituses *a* määratakse ostsillaatori sagedus häälestatava võreringiga, lülituses *b* — häälestatava anoodringiga. Nende lülituste juures on oluline poolide õige mähkimise suund ja õige ühendamine. Vastasel korral kujuneb ostsilleerimiseks vajalik positiivne tagasiside negatiivseks ning ostsilleerimist ei teki. Joonisel on toodud õige ühendusviis mähiste vastassuunalise mähkimisviisi korral. Kui poolid on mähitud ühesuunaliselt, tuleb ühe mähise otsad lülitusse ühendamisel ringi vahetada.

Lülituses *c*, mida nimetatakse induktiivseks kolmpunkt-lülituseks, teostatakse sidestus üheainsa pooli kaudu, milles katoodi haruühendi ümbertõstmisega on võimalik muuta sidestuse suurust. Katoodi haruühendi lähendamisel võrele sidestus väheneb, lähendamisel anoodile — sidestus suureneb.



Joon. 152. Tagasiside põhimõttel töötavaid ostsillaatori põhilülitusi: *a* — häälestatud võrega tagasiside, *b* — häälestatud anoodiga tagasiside, *c* — induktiivne kolmpunkt-lülitus, *d* — mahtuvuslik kolmpunkt-lülitus, *e* — ultraaudion, *f* — häälestatud anood-võre, *g* — elektronsidestus, *h* — juhtostsillaator.

b) Mahtuvusliku tagasisidega ostsillaatorid. Tüüplülitused on toodud joonisel 152 *d*, *e*, *f* ja *h*.

Lülitus *d*, mida nimetatakse mahtuvuslikuks kolmpunkt-lülituseks, sarnaneb töötamispõhimõttelt induktiivse kolmpunkt-lülitusega, mille juures sidestuse väärtust muudetakse võnkeringisse järjestikku lülitatud kahe kondensaatori mahtuvuse vastastikuse muutmisega. Katoodi ja võre vahel asuva kondensaatori mahtuvuse suurendamine kutsub esile sidestuse vähenemise, kondensaatori mahtuvuse vähendamine kutsub esile sidestuse suurenemise; katoodi ja anoodi vahel asuva kondensaatori mahtuvuse mõju sidestusele on vastupidine.

Lülituses *e*, mida nimetatakse ultraaudioniks, reguleeritakse sidestuse väärtust kas anoodi toitepinge haruühendi ümbertõstmisega, nagu induktiivse kolmpunkt-lülituse juures, või võrekondensaatori mahtuvuse muutmisega, nagu mahtuvusliku kolmpunkt-lülituse juures.

Häälestatud anoodi ja häälestatud võrega lülituses, mis on toodud joon. 152 *f*, toimub tagasiside puhtmahtuvuslikult võre ja anoodi vahelise mahtuvuse kaudu. Tagasisidet saab reguleerida kas võreringi või anoodringi häälestamise muutmisega väga kitsastes piirides. Ostsilleerimissageduse määrab see võnkering, mille Q on kõrgem. Seepärast koostatakse võrering sageli võrdlemisi suurekaolisest (madala Q) paispoolist, mis häälestub omamahtuvusega võrdlemisi lamedalt kaetava sagedusastmiku madalsageduslikus otsas. Sel puhul on ainsaks ostsilleerimissageduse määrajaks kõrge Q-ga anoodi võnkering. Häälestatud anoodi ja häälestatud võrega lülituses saab ostsilleerimine tekkida ainult siis, kui anoodring on häälestatud veidi kõrgemale sagedusele kui võrering: anoodring evib sel puhul induktiivsuslikku kallakut ning tagasiside on positiivne.

Joon. 152 *h* on toodud kaheastmeline juhtostsillaator, milles kahelt lambilt saadava väga kõrge võimenduse tõttu ostsilleerimiseks vajatav side võib olla väga väike. Tegelikult teostatakse tagasiside kahe väga väikese, 1...2 pF kondensaatori C_1 ja C_2 kaudu, mistõttu võnkeringi parameetrid jäävad muutmatuks nii lampide kui ka koormuse elektriliste suuruste muutumisel. Seetõttu on säärasel mahtuvusliku sidestusega juhtostsillaatoril väga kõrge sageduse stabiilsus.

c) Elektronilise tagasisidega ostsillaator. Lülitus on toodud joonisel 152 *g*. Siin saavutatakse sageduse kõrge stabiilsus varivõrepentoodi rakendamisega, milles varivõre elimineerib suurel määral nii anoodpinge kui ka väljundringi koormuse muutumisest sõltuvad mõjutused ostsilleerivale süsteemile, mille moodustavad kolmpunkt-lülitusena lambi võre, katood ja maapotentsiaalil asetsev varivõre. Mõjutuse vähendamise täiustamiseks pentoodi summutusvõre maandatakse. Kasutatavas kolmpunkt-lülituses teostub sidestus kogu katoodvoolu läbiminekuga võnkeringi pooli sidestusosast, millest on tuletatud ka elektronilise sidestuse nimetus. Sidestuse suurust saab muuta katoodi haruühendi ümbertõstmisega võnkeringi poolil. Ostsilleerimissageduse konstantsuse taotlemiseks valitakse side võimalikult väike, s. o. lähendatakse katoodi haruühend maapoolsele otsale. Kõrge Q-ga poolide puhul saavutatakse kompromiss-side pooli $^1/_5$ keerdude arvuga, mida ülikõrgeil sagedusil suurendatakse kuni $^1/_4$...$^1/_3$-ni. Ostsillaatori väljund sidestatakse anoodringiga. Sageduse stabiilsuse tõstmiseks kasutatakse mõnikord häälestamata väljundringi (takistussidestuses või paispoolsidestuses).

Toodud lülitustest tagavad sageduse kõrget stabiilsust kaks viimati-käsiteldud lülitust eriti siis, kui ühtlasi võetakse tarvitusele abinõud toitepingete stabiliseerimiseks ja temperatuuri mõjude vähendamiseks.

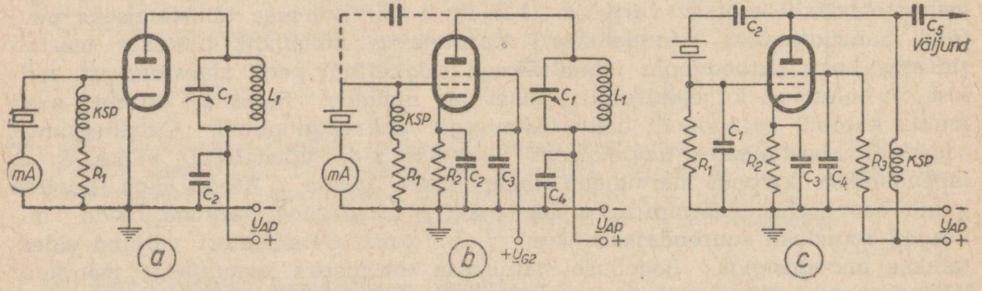
Kõiki käsiteldud lülitusi saab töösse rakendada väga erinevail sagedusastmikel, kaasa arvatud helisageduslik astmik. Ülikõrgeil sagedusil, millistel tuleb tõsiselt arvestada lampide elektroodidevahelisi mahtuvusi ja elektronide läbivusaega, pole kõik lülitused ühevõrra hästi rakendatavad. Kõlblikemaiks lülitusiks neil sagedustel osutuvad ultraaudion, induktiivne kolmpunkt-lülitus ja häälestatud anood-võre-lülitus.

4. Kristalliga tüüritavad ostsillaatorid.

a) Üldiselt. Kuna õige lõikega piesoelektriline kristall käitub kui kõrge Q-ga võnkering, tagavad kristalliga tüüritavad ostsillaatorid väga kõrget sageduse stabiilsust. Kristall-ostsillaatori ainsaks puuduseks on ta ostsilleerimine ainult ühel resonantssagedusel, mis nõuab terve sagedusastmiku katmisel iga sageduse jaoks omaette kristalli.

Ostsilleerimisel läbib kristalli anoodringist tagasikanduv vool, mis tekitab kristalli kuumenemist. Omakorda paisutab kuumenemine kristalli mõõteid ja põhjustab kristalli resonantssageduse triivimist. Seepärast on soovitav kasutada erilõikelisi kristalle, mille temperatuuri tõus sagedust mõjutab vähe (B54d). Eriti rangete sageduse stabiilsuse nõuete puhul paigutatakse kristall termostaati. Igal juhul on tarvilik rakendada kristall töösse alakoormatuna, kasutades nõrgemat sidet ja madalamat anoodpinget mitte ainult sageduse stabiliseerimise, vaid ühtlasi ka kristalli säästmise huvides. Suure võimsuse läbimisel võib kristalli mehaaniline võnkumine areneda niivõrd intensiivseks, et kristall puruneb. Eriti ohtlikud on suured võimsused kõrgemaile sagedusile lihvitud kristallidele, mille mõõted on väikesed. Mõistlikuks kristalli läbiva voolu tugevuse piiriks amatöörpraktikas on 50 ... 100 mA, sõltuvalt kristalli tüübist, mida saab kindlaks teha kristalliga järjestikku lülitatava mõõteriistaga (k.-s. mõõteriist).

b) Kristall-ostsillaatori põhilülitusi. Joonisel 153 on toodud kolm kristall-ostsillaatori põhilülitust. Joonisel 153 *a* on kujutatud triood-kristall-ostsillaatori lülitus, milles kristalli säästmise mõttes piiratakse anoodi toitepinget maksimaalselt 250 voldiga. Saadav väljundvõimsus võrdub sõltuvalt trioodi võimsusest keskmiselt 5 vatiga.

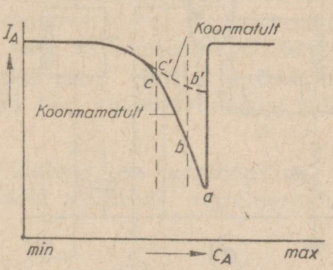


Joon. 153. Kristalliga tüüritavate ostsillaatorite põhilülitusi: *a* — triood kristall-ostsillaatorina; lülituslikke andmeid: $C_1 = 100$ pF, $C_2 = 0{,}001$ μF või suurem, R_1 suurus sõltub kasutatavast trioodist ja võrdub madala μ-ga trioodi juures 10 000 ... 25 000 oomi, kõrge μ-ga trioodi juures 2500 ... 10 000 oomi, kõrgsageduse voolumõõtjat järjestikku kristalliga võib asendada väikese taskulambipirniga; *b* — tetrood või pentood kristall-ostsillaatorina; lülituslikke andmeid: C_1 — 100 pF, C_2 — 0,01 μF, C_3, C_4 — 0,001 μF või suuremad, R_1 — 10 000 ... 50 000 oomi, R_2 — 250 ... 500 oomi; c — ultraaudion-kristall-ostsillaator; lülituslikke andmeid: R_1 — 25 000 ... 50 000 oomi, R_2 — 1000 oomi, R_3 — sõltuvalt lambist, 6F6 jaoks — 75 000 oomi; C_1 — 50 ... 100 pF, C_2 — 0,001 ... 0,01 μF; C_3, C_4 — 0,01 μF, C_5 — keskmiselt 100 pF.

Joonisel 153 *b* on toodud tetrood- või pentood-kristall-ostsillaatori lülitus. Arvestades seda, et võimsuse väljund on piiratud kristalli ohustava võimsusega, osutuvad kõrge võimsusvõimendusega lambid, nagu jugatetrood ja võimsuspentood, kristall-ostsillaatorina eriti sobivaiks. Vastavalt sellele võimaldavad tetroodid ja pentoodid võrdse kristallis häviva võimsuse juures rakendada trioodiga võrreldes kõrgemaid anoodi toitepingeid, kusjuures ka väljundvõimsused kujunevad vastavalt suurematekst. Lampide varivõredele antakse filterkondensaatori kaudu kõrgsageduse suhtes maapotentsiaal, pentoodidel maandatakse summutusvõred. Sellega väheneb anoodkoormuse tagasimõjutus võreringi ning ostsillaatori sageduse stabiilsus tõuseb. Varivõrepingete väärtused valitakse kristall-ostsillaatorina töötamisel keskmiselt 50% anoodi toitepingest, s. o. madalamatena kui lampide töötamisel võimendajana. Katoodtakistus koos filterkondensaatoriga pole tarvilik, kui anoodi toitepinge ei ületa 250 volti. Võib juhtuda, et lambi võre ja anoodi vaheline mahtuvus osutub ostsilleerimiseks vajalikuks tagasisideks liiga väikeseks, eriti madalamail sagedusil. Neil juhtudel tuleb võre ja anoodi vahelist mahtuvust täiendada välise 1 ... 2 pF lisamahtuvusega.

6F6-tüüpi pentoodilt saadav väljundvõimsus 250 ... 300-voldise anoodi toitepinge juures võrdub keskmiselt 4 ... 5 vatiga, jugatetrood 6L6 400-voldise anoodi toitepinge juures arendab väljundvõimsust keskmiselt 10 vatti.

Joonisel 153 *c* on toodud ultraaudion-kristall-ostsillaatori lülitus, mis eelmistest erineb sellega, et tal häälestatav võnkering puudub täielikult. Võnkeringi asendab kristall, tagasiside suurust reguleeritakse kondensaatoriga C_1. Ostsilleerimise tekkimise eeltingimuseks ultraaudion-kristall-ostsillaatori lülituses on, et katoodi ja anoodi vaheline üldine reaktants eviks mahtuvuslikku kallakut. Selle saavutamiseks on tarvilik, et ostsillaatori väljund oleks sidestatud järgneva võimendusastmega mahtuvuslikult ning et katoodi ja anoodi vahelised mahtuvused koos k.-s. paispooliga ning sidestuskondensaatori kaudu järgneva võimendusastme sisendringist ülekantavate reaktantsidega moodustaksid üldise võnkeringi, mis häälestuks kristalli resonantssagedusest madalamale sagedusele. Pentoodi või tetroodi asemel võib



Joon. 154. Kristall-ostsillaatori anoodvoolu muutumine sõltuvalt võnkeringi häälestamisest koormamata ja koormatult. Kõvera lõik b-c tagab ostsillaatori stabiilse töö.

ultraaudion-kristall-ostsillaatori lülituses kasutada ka trioode. Anoodi toitepinged tuleb ultraaudion-lülituses piirata 250 ... 300 voldiga, et vältida kristalli purunemise ohtu.

c) Kristall-ostsillaatori häälestamine. Kristall-ostsillaatori õiget häälestamist saab teostada anoodringi lülitatava milliampermeetri abil. Häälestamata olukorras on anoodvool püsiv. Võnkeringi viimisel kristalli resonantssagedusele tekib anoodvoolus järsk langus (joon. 154). Seejuures pole

languse kõver sümmeetriline, vaid on järsk ainult väiksema sageduse poolsel küljel, kuna vastasküljel ta on kallaklik. Kuigi ostsillaator töötab maksimaalse anoodi kasuteguri ja väljundvõimsusega anoodvoolu maksimaalse languse punktis *a*, osutub see punkt töötamiseks siiski kriitiliseks ning koormuse muutmisel võib ostsilleerimine katkeda. Seepärast on sobivaimaks töökohaks lõik *b-c*, millisel töötades väljundvõimsus on küll väiksem, kuid töö on kindlam. Anoodringi koormamisel väheneb voolulangus vastavalt koormusele. Koormuse suurenemisega väheneb tagasiside ja ühtlasi kristallile kanduv võimsus.

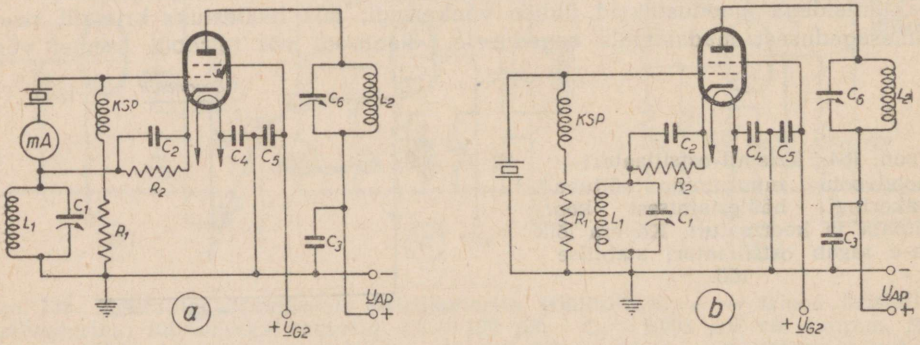
Kristalli töötamises võivad häireid esile kutsuda kristallihoidja plaatide puudulik kontaktpind, halvasti lihvitud ning ebapuhtad kristallihoidja plaadid, liiga tugev anoodringi sidestus koormusel ja ebaküllaldane tagasiside.

5. Sageduspaljundajad kristall-ostsillaatorid.

Kristall-ostsillaatori kõrge sagedusstabiilsuse tõttu leiavad õige laialdast rakendamist sageduspaljundajad kristall-ostsillaatorid, milledest rohkem levinud on nn. tri-tet-ostsillaator ja võre-anood-ostsillaator.

a) Tri-tet-lülituses (joon. 155 *a*) moodustavad katood, võre ja varivõre elektroniliselt sidestatud triood-ostsillaatori süsteemi, milles anoodina toimiv varivõre omab k.-s. suhtes maapotentsiaali. Katoodi võnkering L_1 C_1 on häälestatud kristallisagedusest tunduvalt kõrgemale sagedusele, kusjuures C_1 toimib pigem väljundi regulaatorina kui häälestusorganina. Kristalli koormuse vähendamiseks on soovitav töötada võimalikult väikese C_1 väärtusega.

Anoodring moodustatakse lambi tetroodi-osaga, millest on tuletatudki lülituse nimetus tri-tet. Anoodring häälestatakse kas kristallisagedusele või harmoonilistele sagedustele, kusjuures suurem väljundvõimsus saavutatakse



Joon. 155. Sageduspaljundaja kristall-ostsillaatori lülitusi: *a* — tri-tet-lülitus, milles on rakendatud tetrood või pentood. Lülituslikke andmeid: C_1, C_6 — 200 pF, C_2, C_3, C_4, C_5 — 0,001 ... 0,01 µF, R_1 — 20 000 ... 100 000 oomi, R_2 — 400 oomi; katoodpooli andmeid 40 mm pooli alusel 25 mm mähise pikkusel: 1,75 MHz kristallile 30 keerdu, 3,5 MHz kristallile 9 keerdu, 7,0 MHz kristallile 6 keerdu; C_6 väärtus põhisagedusel 75 ... 100 pF, teisel harmoonilisel umbes 25 pF; KSP — kõrgsagedus-paispool 2,5 mH. *b* — võre-anood-ostsillaatori lülitus; lülituslikud andmed samad mis tri-teti juures.

põhi- ja paaris-harmoonilistel (teisel, neljandal jne.). Teisel harmoonilisel sagedusel saadav võimsus peaaegu võrdub põhisagedusel saadava võimsusega; nii näiteks 500-voldise anoodpinge juures on mõlemad võimsused keskmiselt 15 vatti.

Sisemise varjestuse tõttu (varivõre kaudu) muutub kristallisagedus sõltumatuks anoodringi häälestamise ja koormuse muutumisest, millega sageduse stabiilsus tõuseb.

Tri-teti häälestamiseks seatakse katoodringi kondensaatori C_1 mahtuvus umbes kahele kolmandikule maksimaalsest, misjärel vastavalt häälestatakse anoodringi kondensaator C_6 kas põhisagedusele või harmoonilisele sagedusele, millistele sagedustele häälestamisel tekib järsk anoodvoolu langus. Seejärel sidestatakse anoodring koormusega ning parandatakse täiendavalt anoodringi kondensaatori C_6 asendit anoodvoolu miinimumile. Koormatuna on anoodvoolu langus väiksem. Pärast seda reguleeritakse katoodringi kondensaator C_1 parajaks (nagu varem mainitud) lubatavale kristalli koormusele, mille indikaatoriks on kristalliga järjestikku lülitatav k.-s. milliampermeeter või vastava voolutarvitusega taskulambipirn. Põhisagedusel kord väljareguleeritud katoodkondensaatori asend on paras ühtlasi ka harmoonilistel sagedustel töötamiseks.

Lülitus on ühevõrra hästi rakendatav nii tetroodidele kui ka pentoodidele. Viimasel juhul tuleb summutusvõre, kui ta on lambist eraldi välja viidud, vahetult maandada või väljundvõimsuse suurendamiseks anda talle umbes 50-voldine positiivne pinge. Kuigi tavalised madalsageduslikud võimsustetroodid (6L6, 6V6) ja -pentoodid (6F6) on head töötamiseks harmoonilistel sagedustel, on nende võre ja anoodi vaheline mahtuvus siiski liiga suur põhisagedusel, mis võib põhjustada lambi kontrollimata võnkumisi kristallist sõltumata. Sellest pahest on vabad kõrgsageduse saatetetroodid ja -pentoodid, mille C_{GA} on viidud alla vajaliku miinimumini.

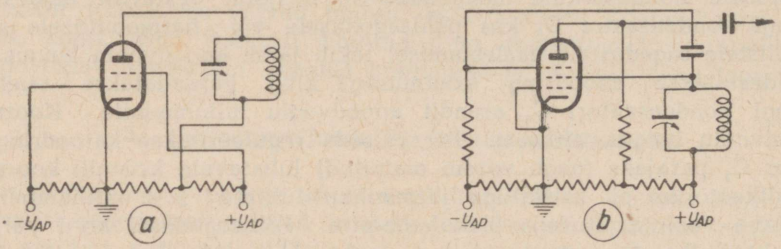
b) Võre-anood-ostsillaator (joon. 155 *b*) erineb tri-tetist ainult sellepoolest, et temas kristall ühendatakse võre ja maanduse vahele vahetult ning et katoodi võnkering $C_1 L_1$ häälestatakse põhisagedusest, s. o. kristallisagedusest madalamale sagedusele. Ta annab suurt väljundvõimsust põhisagedusel ja paarituil harmoonilistel (kolmandal, viiendal jne.). 400 V anoodpingega ja 250 V varivõrepingega arendab jugatetrood 6L6 väljundvõimsust põhisagedusel kuni 15...20 vatti.

Võre-anood-ostsillaatori häälestamine üldiselt on analoogiline tri-tetiga, erinevuseks on, et harmoonilistel sagedustel väljundi reguleerimist teostatakse katoodringi kondensaatori abil.

6. Eri liiki ostsillaatorid.

Ostsilleerimise tekitamiseks kasutatakse rida erilülitusi, mille iseloomustajaks harilikult on suur harmooniliste sageduste sisaldus väljundis. Seepärast leiavad seesugused lülitused rakendamist peamiselt neil juhtudel, kui on tarvilik genereerida erikujulisi mittesiinuselisi väljundeid või kasutada teatud genereeritavaid harmoonilisi sagedusi üheks või teiseks otstarbeks.

a) Dünatron-ostsillaator. Dünatron-ostsillaatoris kasutatakse negatiivse takistuse nähtust, mis ilmneb elektronlampide juures intensiivse sekundaarse emissiooni puhul. Sekundaarset emissiooni saab esile kutsuda niihästi trioodis kui ka tetroodis, kui anoodile anda madalam toitepinge, võrreldes võrega, tetroodi juures varivõrega (C5b). Eriti hästi on selleks rakendatavad varivõretetroodid. Sellises režiimis töötamisel, kui pinged on sobivalt valitud, avaldub negatiivne takistus selles, et anoodpinge tõstmisega langeb anoodvool ja ümberpöördult — anoodpinge langemisega tõuseb anoodvool. Kui anoodringi lülitada võnkering (joon. 156 *a*), areneb võnkeringis resonantssage-



Joon. 156. Negatiivse takistusega ostsillaatoreid: *a* — dünatron-ostsillaator, *b* — transitron-ostsillaator.

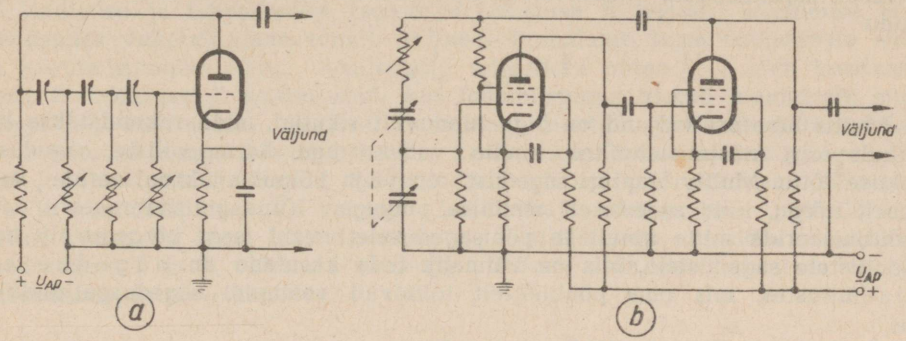
dusel ostsilleerimine. Lülitus paistab silma oma lihtsuselt, sest võnkering ei vaja mingeid haruühendeid. Dünatroni saab kasutada sagedustel kuni 10 . . . 15 MHz, peamiseks kasutusalaks on mõõtmistehnika.

b) Transitron-ostsillaator. Transitron-ostsillaator, milles kasutatakse pentoodi, toimib negatiivse takistuse põhimõttel, mis tekib varivõre ja summutusvõre vahel siis, kui summutusvõrele anda negatiivne eelpinge. Sellises töörežiimis varivõrelt anoodile lähtuvad elektronid pöörduvad summutusvõre negatiivse elektrivälja mõjul varivõrele tagasi, mille tagajärjel varivõrevool tugevneb. Kui varivõreringi lülitada võnkering ning sidestada varivõre summutusvõrega (joon. 156 *b*), areneb võnkeringis resonantssagedusel võnkumine. Üldistelt omadustelt sarnaneb transitron dünatroniga, evides väga kõrget sageduse stabiilsust.

c) Takistus-mahtuvuslikud ostsillaatorid. Takistus-mahtuvuslikus ostsillaatoris tavaline *LC* võnkering asendatakse takistuste-mahtuvuste kombinatsiooniga, milles sagedus määratakse valemiga $f = \frac{1}{2\pi RC}$. Muutes sellises lülituses R ja C väärtusi, on võimalik muuta sagedust suures ulatuses samuti kui võnkeringi puhul.

Takistus-mahtuvuslikus ostsillaatoris tekib võnkumine anoodringist võimsuse tagasikandumisega võrele õiges faasilises vahekorras. *RC* kombinatsiooni ülesandeks on tekitada ostsilleerimise alalhoidmiseks vajalik vahelduvate anoodpingete 180° nihutamine faasis ning nende juhtimine võrele, sest ostsilleerimine areneb ainult siis, kui tagasiside on positiivne. Kuna kindla *RC* väärtuste juures faasinihe on 180° ainult ühel häälestussagedusel, siis kujunebki see sagedus ostsilleerivaks sageduseks, kõigil teistel sagedustel on nihkenurk erinev, millistel sagedustel samal ajal areneb degenereerimine. *RC* väärtuste muutmisega muutub vastavalt ka ostsilleerimissagedus.

Joonisel 157 on toodud kaks takistus-mahtuvusliiku ostsillaatori lülitust, milles *a* kujutab ühelambilist seadet. Sobiva tagasiside valikul kujuneb ostsillaatori väljund rangelt siinuseliseks, küllaldaselt kõrge sageduse stabiilsusega. Kasutatakse madalsageduslike pingete generaatoreis (1 Hz ... 50 kHz), samuti televisiooni- ja raadiolokatsiooni-seadmete pulssgeneraatoreis.

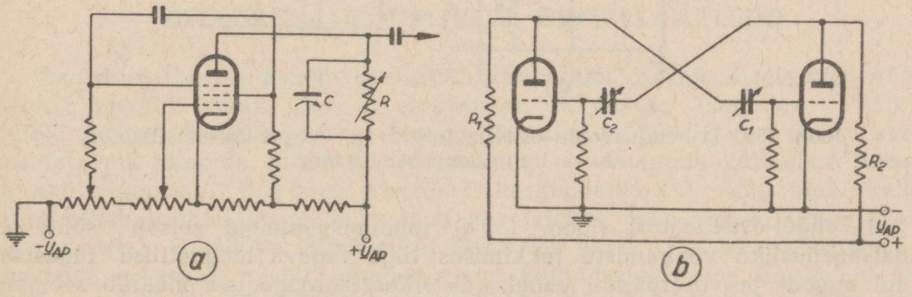


Joon. 157. Faasinihke põhimõttel töötavaid takistus-mahtuvuslikke ostsillaatoreid: *a* — ühelambiline lülitus, *b* — kahelambiline lülitus, milles teine lamp toimib faasinihutajana.

d) Lahendusvoolu-ostsillaatorid. Lahendusvoolu-ostsillaatoreis kontrollivad võnkumissagedust mitte häälestusringid, vaid kondensaatori kriitilise laadimise ja lahendamise voolu või pinge muutuste pöördväärtused. Seesuguste ostsilleerimiste tekkimise eelduseks on tingimuste loomine kondensaatori ühtlase kiirusega laadimiseks ning kondensaatori kiireks lahendamiseks hetkel, kui laadimispinge on tõusnud ettenähtud väärtuseni.

Lahendusvoolu-ostsillaatorid sisaldavad õige tunduval määral harmoonilisi sagedusi, väljundi kuju meenutab pigem saehamba lõiku kui sinusoidi. Genereeritav sagedus on ebastabiilne, kuid laseb end hästi välise sünkroniseerimispingega kontrollida.

Joonisel 158 *a* toodud lülituses toimub tagasiside negatiivse takistuse põhimõttel analoogiliselt transitroniga. Ostsilleerimissagedus määratakse anoodringi lülitatud *RC* väärtustega, s. o. kondensaatori laadimise kiirusega takistuse *R* kaudu. Sobiva suurusega lülituselementide valikuga on võimalik väljundile anda soovikohast kuju.



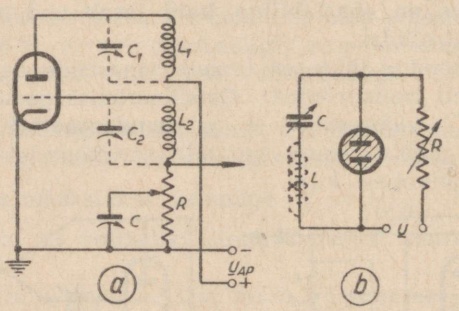
Joon. 158. Lahendusvoolu-ostsillaatoreid: *a* — varivõrepentoodi lülitus, *b* — multivibraatori lülitus.

Joonisel 158 *b* on toodud multivibraatori lülitus, mis kujutab endast kaheastmelist takistussidestuses võimendajat ja milles väljundpinge sidestatakse tagasi sisendisse. Kuna kumbki lamp tekitab 180° faasinihke, evib teiselt lambilt esimesele lambile juhitud pinge õiget faasi pideva ostsilleerimise säilitamiseks. Multivibraatori ostsilleerimissagedus määratakse ligikaudu

$$f = \frac{1}{R_1C_1 + R_2C_2}.$$

Multivibraatori väljund on õige tunduvalt rikutud, mida rakendatakse kasulikult eriti mõõtmistehnikas kindla vahekorraga harmooniliste sageduste rohkuse tõttu. Multivibraatori sagedust on väga hõlpus sünkroniseerida suhteliselt nõrga, kuid sageduselt stabiilse pingega. Kuna multivibraatorit saab sünkroniseerida mitte ainult ta põhisagedusele, vaid isegi kõrgematele harmoonilistele sagedustele, siis on võimalik teda kasutada nn. sagedusjaotaja-lülitustes, mis oma põhimõttelt toimivad vastupidi sageduspaljundajatele.

Sagedusjaotajad võimaldavad vähendada põhisagedust tervetes lihtarvulistes vahekordades, s. o. 1:2, 1:3, 1:4 jne. Neid kasutatakse juhtudel, kui on vaja toota seesuguse kõrge stabiilsusega madalsageduslikke voole, mida tavalised meetodid neil sagedusil ei võimalda. Sääraseid ülikõrge stabiilsusega madalsageduslikke voole rakendatakse standardkellade, kronomeetrite käivitamiseks, standard-madalsagedusgeneraatoreis mõõtmise otstarbeks ja tarbe korral eri-raadioseadmeis. Teatavasti arendavad õigelõikelised kvartskristall-ostsillaatorid sageduse stabiilsust keskmiselt 0,001%, mis säilib ka jaotatud sageduste suhtes. Kui näiteks kristall-ostsillaatori põhisagedus $f = 1$ MHz ja saavutatav stabiilsus on 0,001%, siis jaotatud sagedusel $f = 10$ Hz kujuneb võimalik sageduse triivimine ainult 0,0001 Hz, mis tähendaks 1-tsüklilist triivimist maksimaalselt 2 t. 46 min. 40 sek. jooksul. Selliselt stabiliseeritud standardkella etteminek või tahajäämine kujuneks aasta jooksul maksimaalselt ainult 5 min. 15 sek., millist täpsust pole võimalik saavutada ühegi teise senituntud meetodiga.



Joon. 159. Lahendusvoolu-ostsillaatoreid: *a* — pendel-ostsillaator, *b* — huumlamp-ostsillaator.

e) **Pendel-ostsillaatori** (joon. 159 *a*) toimimispõhimõte seisab suhteliselt madalsageduslike võnkumiste tekkimises liiga tugeva magnetilise tagasiside puhul anood- ja võreringide vahel. Ostsilleerimissageduse määrab sel juhul võrekondensaatori *C* laadimise ja lahendamise aeg võretakistuse *R* kaudu. Ostsilleerimine saab tekkida ainult siis, kui võnkeringi L_2C_2 (või L_1C_1) ost-

silleerimise põhisagedus on kõrge võrreldes pendelsagedusega, s. o. kondensaatori C laadimise ja tühjenemise sagedusega. Pendel-ostsillaatoreid rakendatakse saehambakujuliste genereeritavate pingete tõttu televisiooniseadmeis kallutuspinge generaatoreina.

f) Huumlamp-ostsillaatoris (joon. 159 *b*) tekib ostsilleerimine kondensaatori C laadimise ja lahendamise tagajärjel takistuse R kaudu. Laadimise ja lahendamise vahetalitajana toimib lülituses huumlamp tema omapäraste süüte- ja kustumispingete tõttu. Alalisvoolu toiteallika pinge $\underline{U}$ laeb kondensaatorit C takistuse R kaudu seni, kui laadimispinge ulatub huumlambi süütepinge U_s väärtuseni. Seejärel huumlamp muutub juhtivaks ja kondensaatoris varutud laeng lahendub lambi kaudu kuni lambi kustumispingeni U_k, mil katkeb lambi juhtivus. Seega ostsilleerimispinged piirduvad süütepinge U_s ja kustumispinge U_k vahega. Laadimisaja kestus, mis praktiliselt on tsükli kestuseks, kuna lahendamisaeg on laadimisajaga võrreldes väga lühike, määratakse C ja R väärtuste valikuga. Säärase tsükliliselt areneva laadimis-lahendamisprotsessi sagedus

$$f = \frac{1}{RC \log \frac{\underline{U} - U_k}{\underline{U} - U_s}} \text{ (Hz).}$$

Huumlamp-ostsillaatori ostsilleerimispinged sisaldavad lõpmata arvu harmoonilisi sagedusi ja sarnanevad saehambakujulise kõveraga. Ostsillaatorit rakendatakse eeskätt katoodkiirtetoru kallutuspinge generaatorina.

Kui lülitada kondensaatoriga järjestikku induktiivsus L (joonisel 159 *b* näidatud punktiirina), ümarduvad ostsilleerimispinges teravikud, vahelduvpinge kuju läheneb sinusoidile ning ostsilleerimissageduse määrajaks kujuneb LC korrutis

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}.$$

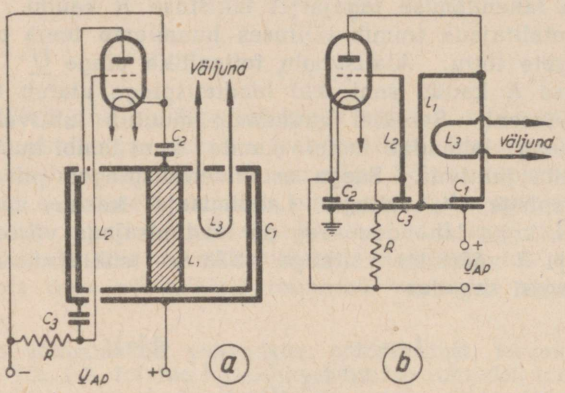
III peatükk.

ÜLIKÕRGSAGEDUSLIKUD OSTSILLAATORID.

Sageduse tõustes paneb tavalise lülitustehnika rakendamisele piiri võnkeringide kadude tohutu tõus ja elektronide läbivusaeg lampides. Vastavalt sellele muutub koos sageduse tõusuga järjekindlalt nii lülitustehnika kui ka kasutatavate lampide ehitus ja töötamisviis, et saavutada küllaldasi tulemusi ka neil sagedusil. Ülikõrgeil sagedusil keskendatud LC võnkeringid üldiselt asendatakse liinilõikudega, lampidena kasutatakse peamiselt erikonstruktsiooniga trioode. Sageduse järjekordsel tõusmisel ultra- ja superkõrgsageduste piirkonda ei osutu needki abinõud enam küllaldasteks ning liinilõigud asendatakse omakorda õõnesliinidega, tavalised elektronlambid kas magnetronidega või läbivusaja lampidega.

7. Pott-ostsillaator.

Pott-ostsillaatoris moodustab võnkeringi kõrge juhtivusega metallist (vasest, alumiiniumist) valmistatud, erilise ehitusviisiga kahest silindrist koosnev pott (joon 160). Elektriliselt kujutab pott keskendatud *LC*-võnkeringi, milles



Joon. 160. Keskendatud *LC*-pott-ostsillaatori lülitus: *a* — üldkuju, *b* — ekvivalentne lülitus. Lülituselemendid: L_1 C_1 — pott-võnkering, L_2 — tagasiside-varras, L_3 — väljundaas, C_2, C_3 — kondensaatorid, mille moodustavad potist vilgukivikihiga isoleeritud plekiribad; R — võretakistus 10 000 oomi. Anoodpinge plussklemm on ühendatud poti külge ja on maandatud.

induktiivsus on koondatud peamiselt poti keskel olevasse sambasse ning mahtuvus samba otsketaste külge kinnitatud silindrite vahele. Sellise ehitusviisiga vähendatakse õige tunduvalt kõrgsageduskadusid (B54b), mille tagajärjel võnkeringi Q kujuneb väga kõrgeks.

Joonisel 160 on ostsillaator kujundatud tagasiside-lülituses, kuid samahästi on rakendatav ka kolmpunkt- ja ultraaudion-lülitus. Kui võnkeringile rööbiti lülitada muudetava mahtuvusega kondensaator, saab genereeritavat sagedust teatud määral muuta. Väljundvõimsus tuuakse võnkeringist välja juuksenõela-taolise poolikkeeruga. Lampideks on sobivad sagedusastmikul 60 kuni 300 MHz töötamiseks kas tõrutrioodid (tüüp 955) või erikonstruktsiooniga kõrgsageduslikud võimsustrioodid.

8. Kahejuhtmelise liinilõiguga ostsillaatorid.

Kahejuhtmelise liinilõiguga ostsillaatoreis kasutatakse võnkeringina pool- või veerandlaine pikkusega liine, mis valmistatakse vasktorudest. Resonantssagedust muudetakse kas lühishaagi või lühiskondensaatori ümberpaigutamisega piki liini või muudetava mahtuvusega kondensaatori lülitamisega liini juhtmete vahele, mispuhul sageduse muutmine toimub kondensaatori muutmisega. Viimasel juhul tuleb liini pikkust märgatavalt lühendada, et resonantssagedus asuks ettenähtud ribas. Kondensaatori lülitamine vähendab võnkeringi Q-d ühelt poolt liini pikkuse ja seega L-i vähendamise, teiselt poolt kondensaatori kadude sissetoomise tagajärjel. Kadude vähendamise huvides on soovitav kondensaator lülitada mitte liini lahtisesse otsa, vaid haruühendina keskele.

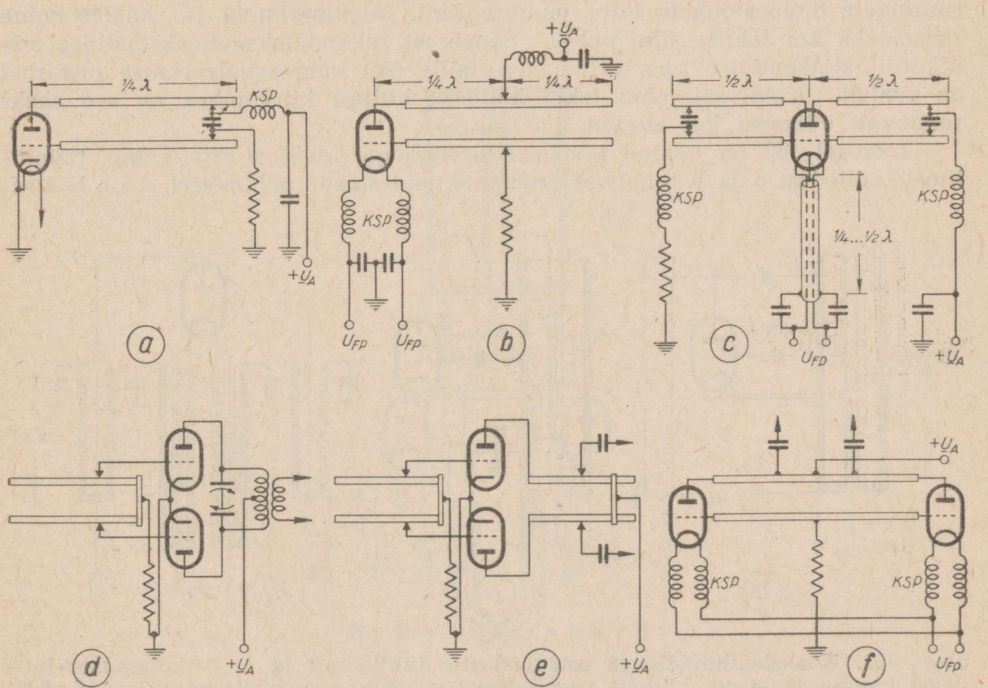
Ülikõrgeil sagedusil esitab tõsiseid raskusi katoodi maandamise probleem, sest nii katoodi ühendusjuhe kui ka temaga mahtuvuslikult seotud kütteniidi ühendusjuhtmed evivad induktiivsust. Küsimus lahendatakse sellega, et katoodi või kütteniidi juhtmeisse lülitatakse k.-s. paispoolid, mille juhtme pikkus dimensioonitakse ligikaudu poole laine pikkusega, või paigutatakse katoodi või kütteniidi ühendusjuhtmetega järjestikku poole laine pikkusele vastavad häälestatavad liinilõigud. Õigete suuruste valikul juhtmete komplektides tekkivad seisevlained toovad katoodi või kütteniidi uuesti maanduse suhtes nullpotentsiaalile, s. o. samale potentsiaalile, millisel on võnkeringi liini lühistatud ots.

Joonisel 161 on toodud rida kahejuhtmelise liinilõiguga ostsillaatorite tüüplülitusi. Lülituses *a* liin lühistatakse pingesõlmes kondensaatoriga, mis tarbe korral võib olla muudetava suurusega, võimaldades ühtlasi resonantssageduse suhteliselt väikest muutmist.

Lülituses *b* on kasutatud poole laine pikkust lahtise otsaga liini, millel anoodi ja võre toitepunktid on nihutatud pinge sõlme.

Lülitus *c* on ette nähtud moodsate mitmejuhtmeliste elektroodidega trioodi rakendamiseks. Otsese küttega katoodi on lülitatud koaksiaalliini lõik, mille pikkus reguleeritakse nii, et katood asetseks nullpotentsiaali all.

Lülitustes *d*, *e* ja *f* on kasutatud kahte vastastakti lülitatud lampi. Seesugused lülitused on ülikõrgsagedusil eriti soovitavad, sest sellega tõuseb



Joon. 161. Kahejuhtmelise liinilõiguga ostsillaatoreid: *a*, *b*, *c* — ühelambilisi lülitusi, *d*, *e*, *f* — vastastakt-lülitusi.

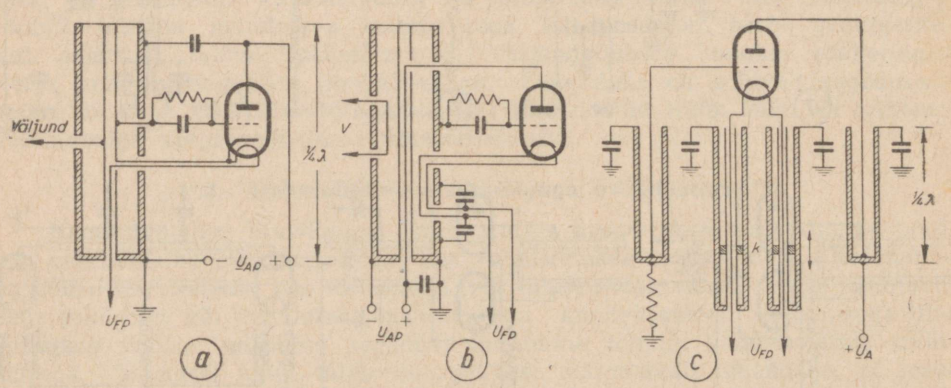
mitte ainult anoodi kasutegur ja väljundvõimsus, vaid lihtsustub ka häälestamine ja reguleerimine.

Lülitused *d* ja *e* erinevad teineteisest vaid sellepoolest, et esimesel juhul on kasutatud liinilõiku ainult võreringis, teisel juhul — nii võre- kui ka anoodringis. Arvestades seda, et liinilõikude kõrge *Q* säilib kuni ülikõrgsagedusteni, on lülituse *e* kasutamine sagedusastmikus 60...200 MHz eelistatavam tavaliste trioodide rakendamisel, tõrulampide puhul saavutatakse rahuldavaid tulemusi isegi kuni 400 MHz.

9. Koaksiaalliinilõiguga ostsillaatorid.

300 MHz sagedusastmikus kiirguskaod vähendavad õige märgatavalt lahtiste liinilõikude *Q*-d, kui neid liinilõike kasutada võnkeringidena, sest neil sagedusil kujuneb liinide vahekaugus lainepikkusega võrreldes küllaltki tähelepandavaks. Seepärast neil ja veelgi kõrgemail sagedusil on õigustatud ainuüksi koaksiaalliinilõikude kasutamine võnkeringidena, milles väljad on piiriteldud liini väliskestaga ja seega kiirgumine on vähendatud miinimumini. Kuna koaksiaalliinil välised väljad puuduvad, siis on võimalik liini ennast kasutada ühtlasi ostsillaatori alusplaadina, millele saab kinnitada nii lambi kui ka muud lülituselemendid, säilitades seejuures ühendusjuhtmed lühikestena. Koaksiaalliini saab edukalt rakendada ka madalamail sagedusil, kuid suuremate dimensioonide tõttu muutub liini reguleerimine ja häälestamine raskemaks kui lahtise liini puhul. Seepärast rakendatakse koaksiaalliini mõnikord neljakandilise r e n n l i i n i n a, mille üks külg reguleerimise otstarbel on avatud. Kuigi sel juhul tekib lahtisest küljest kiirgumine, on see siiski tunduvalt väiksem kui avatud liini juures.

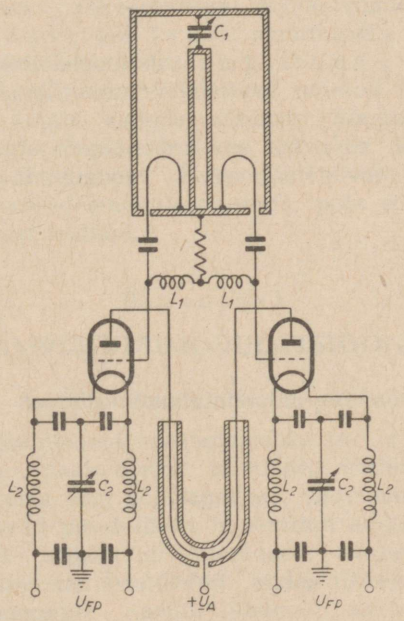
Joonisel 162 on toodud koaksiaalliinilõiguga ostsillaatorite kolm tüüplülitust, milledest *a* ja *b* toimivad kolmpunkt-sidestuse põhimõttel, *c* on hääles-



Joon. 162. Koaksiaalliinilõiguga ostsillaatorite lülitusi: *a* ja *b* — kolmpunkt-lülitused kaudse ja otsese küttega trioodidele vastavalt, c — häälestatud anood-võrelülitus, milles trioodi küttejuhtmetesse on paigutatud veerandlaine-pikkused reguleeritavad koaksiaalliinilõigud.

tatud anood-võre põhimõttel. Liinilõikude pikkused vastavad teoreetiliselt veerandlaine pikkusele, kuid lambi koormuse tagajärjel kujunevad liinilõigu tegelikud pikkused väiksemateks. Liinilõikude pikkust ja seega resonantssagedust saab reguleerida *lühisidekolviga*, millist meetodit kasutatakse ka küttejuhtmetesse lülitatud liinilõikude häälestamiseks (joon. 162 *c* — k). Kuigi häälestatud anood-võre-lülitust on hõlpsam reguleerida ning ehitada, pole ta stabiilsus nii kõrge kui kolmpunkt-lülituses, anoodringi väljade tagasimõju tõttu võreringile. Mõningail juhtudel on väikese reguleeritava tagasiside-kondensaatoriga lambi anoodi ja võre vahel võimalik tõsta sageduse stabiilsust ja ühtlasi tõsta töötamissagedust, kompenseerides faasinihet, mis seesugustel kõrgetel sagedustel ilmneb elektronide läbivusaja tõttu. Siiski hästireguleeritud lülitus *c* võib tõrutrioodide või eri kõrgsagedustrioodide rakendamisel toimida sagedusteni kuni 800 MHz. Mitmejuhtmelise anoodiga ja võrega trioodide puhul saab sagedust tõsta kuni 1500 MHz, kui lülitada igale juhtmele omaette liinilõik, millega vähenevad niihästi juhtmete induktiivsused kui jaguneb vastavalt ka elektroodidevaheline (C_{GA}) mahtuvus.

Et häälestatud anood-võre-lülitustes sageduse stabiliseerijaks on kõrgema Q-ga võnkering ja kuna koormus sidestatakse tavaliselt anoodringiga, siis kujuneb võreringi Q alati kõrgemaks. Madalamail sagedusil võib seepärast anoodringis liinilõigu asendada keskendatud LC võnkeringiga ilma anoodi kasuteguri märgatava languseta.



Joon. 163. Koaksiaalliinilõiguga ostsillaatori vastastakt-lülitus.

Joonisel 163 on toodud vastastakt-lülitus, mis erineb sellepoolest, et võrering on koondatud ühisesse metallkonstruktsiooni kahest veerandlainelisest liinilõigust, mida on võimalik häälestada kitsais piirides kondensaatoriga C_1. Võreringi liinilõik omab suhteliselt suuri mõõteid ja on sidestusaasa meetodil väga nõrgalt sidestatud lampide võredega, millega säilitatakse väga kõrge Q ja suur sageduse stabiilsus. Võreringi paispoolid L_1 reguleeritakse oma väärtustelt maksimaalsele võrevoolule.

Samuti on sümmeetriline anoodringi liinilõik, millele on kompaktsuse mõttes antud hobuseraua kuju.

Kütteringi on lülitatud kõrgsageduspaispoolid L_2, mis häälestatakse resonantssagedusele kondensaatoritega C_2. Lülitus on sobiv eriti kõrgematel anoodpingetel töötamiseks, s. o. suuremate võimsuste puhul.

F. MODULEERIMINE JA TASTIMINE.

I peatükk.

MODULEERIMINE.

1. Üldiselt.

Moduleerimiseks nimetatakse protsessi, millega saatjas genereeritud kõrgsageduslik võimsus muudetakse ülekantava signaali rütmis. Moduleerimise vaheaegadel saatjast väljakiirguv konstantse väärtusega võimsus kujutab endast kandevlainet ehk kandevsagedust, mis on tarvilik ainult selleks, et temas moduleerimisprotsessi kestel tekitatud muutused üle kanda vastuvõtjani, kus neist muutustest restaureeritakse moduleerimiseks kasutatud signaalide algkuju.

Raadiotelefonilises saates on moduleeriva signaali algkujuks helisageduslikud õhuvõnkumised, mis mikrofoni abil muundatakse amplituudilt ja sageduselt vastavaks vahelduvvoolu võimsuseks. Kuna mikrofoni väljundvõimsus on suhteliselt väga nõrk, siis võimendatakse ta enne moduleerimiseks rakendamist vajalikul määral.

Moduleerimisprotsessis rakendatakse signaalvõimsust kas kandevlaine amplituudi, sageduse või faasi muutmiseks, millele vastavalt eritellakse kolme moduleerimismeetodit: amplituud-, sagedus- ja faasmodulatsiooni. Amplituudmodulatsiooni meetod on levinenuim ja seda kasutatakse eranditult kõigis sagedusastmikes, kõrgsagedused kaasa arvatud. Üli-, ultra- ja superkõrgsageduslikes astmikes kasutatakse nii amplituud- kui ka sagedusmodulatsiooni. Faasmodulatsioon, mille füüsikaline protsess mitmeti sarnaneb sagedusmodulatsiooniga, pole seni sidepidamise otstarbel üldisemat rakendamist leidnud.

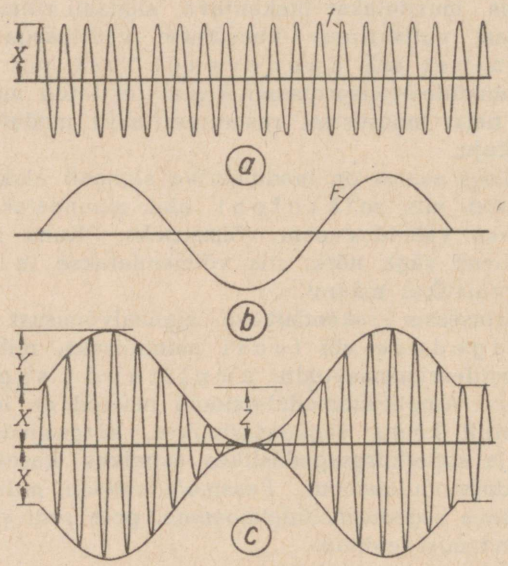
II peatükk.

AMPLITUUDMODULATSIOON.

2. Amplituudmodulatsiooni põhimõte.

Õige amplituudmodulatsiooni eeltingimuseks on, et kandevlaine amplituud moduleerimata olukorras peab olema täielikult ühtlane ning moduleerituna peab kandevlaine säilitama oma põhisageduse. Soovimatuid kandevlaine amplituudi muutusi põhjustavad puudulikult filtreeritud anoodi ja võre alalisvoolu toitepinged. Säärased amplituudi muutused avalduvad vastuvõtjas nn. võrgumürana, kuna nad sisaldavad endas filtreerimata jäänud võrguvoolu vahelduvat komponenti. Samuti lubamatu on kandevlaine algsageduse muutumine ehk triivimine moduleerimisel, mis kutsub esile koos amplituudmodulatsiooniga ühtlasi ka sagedusmodulatsiooni. Säärane segamodulatsioon

põhjustab ruumis saatelainete vastastikuseid häireid ning avaldub amplituudmodulatsiooni põhimõttel toimivas vastuvõtjas õige tõsiste moonutustena. Amplituudmoduleeritud üheastmelises saatjas on sagedusmodulatsioon vältimatu, sest moduleerimisprotsess peab toimuma ostsillaatoris endas. Moduleerimisprotsessi vältel muutuvad moduleeritava astme võnkeringi parameetrid, mis määravad resonantssageduse senikaua, kuni moduleeritavasse astmesse juhitava ergutusvõimsuse sagedust ei stabiliseerita väljaspool. Seepärast eraldatakse saatjas konstantse kandevlaine sageduse genereerimise ja moduleerimise ülesanded teineteisest: esimene ülesanne pannakse ostsillaatorile, teine moduleeritud võimendajale. Moduleeritud astme tagasimõju vältimiseks ostsillaatorile paigutatakse nende vahele minimaalselt üks, tavaliselt aga mitu võimendusastet, mis toimivad kas võimendajana põhisagedusel või sageduspaljundajana.



Joon. 164. Moduleerimisprotsessi graafiline kujutus: *a* — moduleerimata kandevlaine, *b* — moduleeriv signaal, *c* — 100% moduleeritud kandevlaine.

Graafiliselt on moduleerimisprotsess näidatud joonisel 164, kus *a* kujutab moduleerimata kandevlainet amplituudiga X ja sagedusega *f*, *b* — moduleerivat signaali sagedusega *F*, ja *c* — moduleeritud lainet.

Modulatsioonitegur näitab kandevlaine amplituudi muutumise ulatust protsentides ja väljendatakse (joon. 164 *c* järgi)

$$m = \frac{Y + Z}{2X} \cdot 100 \ (\%)$$

ning sümmeetrilise moduleerimise puhul, mil amplituudi tõus (Y) võrdub amplituudi langusega (Z),

$$m = \frac{Y}{X} \cdot 100 \ (\%).$$

Sümmeetrilise moduleerimise säilitamiseks, mis on tarvilik, et ülekantavas moduleerivsignaalis ei tekiks ebalineaarseid moonutusi, võib modulatsioonitegur tõusta maksimaalselt 100%. Kuna vastuvõtja väljundpinge ühtlase kandevlaine juures on võrdeline modulatsioonitegiuriga, siis kandevlaine kasutamise seisukohalt on soovitav moduleerida saatjas kandevlainet võimalikult täielikult. Lihtne arvutus näitab, et 100% moduleeritud 25-vatise võimsusega kandevlaine oma töövõimelt võrdub täpselt 50% moduleeritud 100-vatise võimsusega kandevlainega[1]. Samal ajal aga võimsam kandevlaine tekitab asjatult suuremaid häireid ruumis.

Moduleeritud kandevlaine võrrandi lähem vaatlus näitab, et moduleeritud laine amplituud omab maksimaalset väärtust, kui sin $2\pi F = +1$, ja minimaalset, kui sin $2\pi F = -1$. Täieliku moduleerimise korral kandevlaine vooluamplituud I_k muutub tsükliliselt $2I_k$ kuni 0 väärtuseni, mis on kehtiv ka pingeamplituudi kohta. Järelikult, kandevlaine võimsus modulatsiooni tippudel ulatub neljakordse moduleerimata võimsuseni, langedes negatiivsetel amplituudidel nullile.

Rööbiti eeltooduga vaadeldakse moduleerimist kui ebalineaarset protsessi, milles kandevlaine sagedus (f), segunedes moduleerimissagedusega (F), tekitab lisaks kandevsagedusele kaks uut sagedust, mis võrduvad mõlema sageduse summaga ($f + F$) ja vahega ($f - F$). Ebalineaarsus saavutatakse moduleeritava lambi tunnusjoonte ebalineaarsuse tagajärjel $I_A = \left(U_G + \frac{U_A}{\mu}\right)^{3/2}$. Neid uusi sagedusi (joon. 165) nimetatakse vastavalt ülemiseks ja alumiseks külgsageduseks.[2] Võimsuse jaotuse seisukohalt jääb moduleerimisel kandevsageduse võimsus endiseks, püsivaks, kuid moduleerimisel lisanduv võimsus paikneb külgsagedustesse. Sümmeetrilise 100% moduleerimise puhul võrdub külgsagedustesse paiknenud võimsus poole ja kummagi külgsageduse võimsus üksikult veerandi kandevsageduse võimsusega (pinge ja vool — poole kandevsageduse pinge ja vooluga vastavalt).

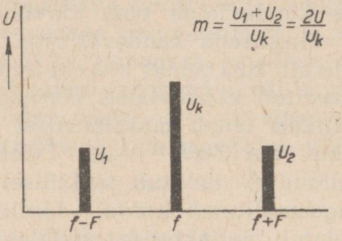
Tegelikult ei toimu moduleerimine üheainsa moduleeriva sagedusega, vaid praktiliselt terve muutuva sageduse spektriga.[3] Seepärast liituvad

[1] See on kehtiv, kui vastuvõtjas kasutatakse lineaarset detektorit, nagu see moodsates vastuvõtjates suuremalt osalt ongi; teise astme kõverikul toimiva (kvadraatse) detektori juures annab võimsam kandevlaine väikest lisaparemust.

[2] Komplekslainet võib alati vaadelda kahel viisil: üks vaatlusviis on laine amplituudi muutumise järgi aja suhtes, teine — sagedusspektri järgi, s. o. erisuguste siinuseliste komponentide järgi, millest laine koosneb. Mõlemad vaatlusviisid on asendatavad. Antud sagedusspektrist ülekandmine vastavasse amplituudi — aja funktsiooni on lihtne, kuna sagedusspektri eri komponendid arusaadavalt peavad liituma ja andma komplekslaine ajaliselt muutumise kõvera. Vastupidine protsess sagedusspektri leidmiseks antud amplituudi — aja kõvera järgi on keerukam, kuigi see on lahendatav matemaatiliselt Fourier' analüüsiga. Selle põhimõte seisab selles, et siinuselise laine ruut omab igal ajahetkel alati positiivset keskväärtust, kuid erinevate sagedustega siinuslainete korrutis annab õigesti valitud ajavahemiku kestel nullise väärtuse. See õigesti valitud ajavahemik on harilikult täisperioodi mitmekordne, mis vastab mõlema siinuslaine sageduste vahele.

[3] Erandi moodustab vaid moduleeritud telegraafisaade, milles kandevsagedus moduleeritakse üheainsa moduleerivsagedusega ja seda ka ainult siis, kui moduleerivsageduse pinge on kujult puhtsiinuseline.

kandevsagedusega moduleerivatele sagedustele vastavad külgsagedusribad, mis heliliste saadete puhul ulatuvad madalamaist kuni kõrgeimate helisagedusteni. Vastavalt sellele moduleeritud kandevsagedus haarab oma külgsagedusribadega tervet sageduskanalit, mille laius võrdub mõlema külgsagedusriba kõrgeimate sageduste summaga. Kui kõrgeimaks moduleerivsageduseks on 4500 Hz, siis sageduskanali laius kujuneb 9,0 kHz; moduleerides kõrgeima sagedusega 15 000 Hz, kujuneb sageduskanali laius 30 kHz. Suure arvu saatjate häirevabaks paigutamiseks piirab ruumi nappus sageduskanalite laiuse[1], teiselt poolt aga tingib kõrgekvaliteediline heliülekanne laia sageduskanali kasutamist.



Joon. 165. Amplituudmoduleeritud võnkumise sageduste spekter: f — kandevlaine sagedus, f—F — alumine külgsagedus, $f+F$ — ülemine külgsagedus, U_K — kandevlaine pinge amplituudväärtus, U_1, U_2 — külgsageduste pinge amplituudväärtused.

Amplituudmodulatsioonil eritellakse kolme moduleerimise põhiliiki: anoodmodulatsiooni, võremodulatsiooni ja katoodmodulatsiooni, vastavalt sellele, millisesse ringi moduleeritud võimendajas rakendatakse moduleerimisvõimsus.

3. Anoodmodulatsioon.

a) Üldiselt. Anoodmodulatsiooni puhul toimib moduleeritud võimendaja C-klassi töörežiimis, kusjuures väljundvõimsus peab olema rangelt võrdeline anoodpinge ruuduga (D 10 c). Säärase võrdelisuse säilitamine on tarvilik ebalineaarsete moonutuste vältimiseks moduleeriva signaali ülekandel, sest et iga algkujulise signaali muundamisel elektriliseks signaaliks on tegemist võimsuse muundamisega. See on kehtiv nii mikrofoni, helipea kui ka ikonoskoobi juures. Näiteks mikrofoni signaalipinge või -voolu tõustes kahekordselt suureneb väljundvõimsus neljakordselt, s. o. võrdeliselt pinge või voolu ruuduga.

Selle tingimuse täitmiseks peab moduleeritud võimendaja olema eelpingestatud vähemalt kahekordse lõikepingega, mille juures anoodvoolu lõikenurk (2Θ) võrdub keskmiselt 120°-ga kandevlaine anoodi toitepinge väärtuse juures. Kõrgsageduslik võre-ergutus peab olema küllaldane, et anoodi kasutegur säiliks konstantsena, hoolimata anoodi toitepinge kõikumisest nullisest kuni kahekordse anoodi alalise toitepinge väärtuseni. Sobivaimaks õige võre-eelpinge kindlustamise meetodiks on anda ligikaudu lõikepinge väärtusega alaline eelpinge eri toiteallikast, mida täiendatakse võretakistuses võrevoolu tagajärjel tekkiva pingelanguga.

[1] Kehtiva rahvusvahelise konventsiooni kohaselt on ringhäälingute sageduskanalite laiuseks Euroopas määratud 9 kHz.

Anoodi alalise toitepinge muutmiseks nullisest kuni kahekordse väärtuseni vajaliku moduleerimisvõimsuse, mille keskväärtus 100% moduleerimise puhul võrdub 50% moduleeritud võimendaja anoodi toitevõimsusega $\left(P_m = \frac{I_A U_A}{2}\right)$, peab modulaator suutma anda moonutusvabalt. Lisaks sellele peab modulaator katma ühtlasi ka kaod modulatsioonitrafos, mis on tarvilik selleks, et sobitada modulaatori optimaalne koormustakistus õigesti moduleeritud võimendajaga. Sobitamisega kooskõlastatakse moduleeritud võimendaja anoodi alalisvoolu takistus $\left(Z_m = \frac{U_A}{I_A}\right)$ modulaatori kui madalsageduse võimsuse võimendaja optimaalse koormustakistusega (Z_A), kusjuures modulatsioonitrafo ülekandesuhe

$$\ddot{u} = \sqrt{\frac{Z_A}{Z_m}}.$$

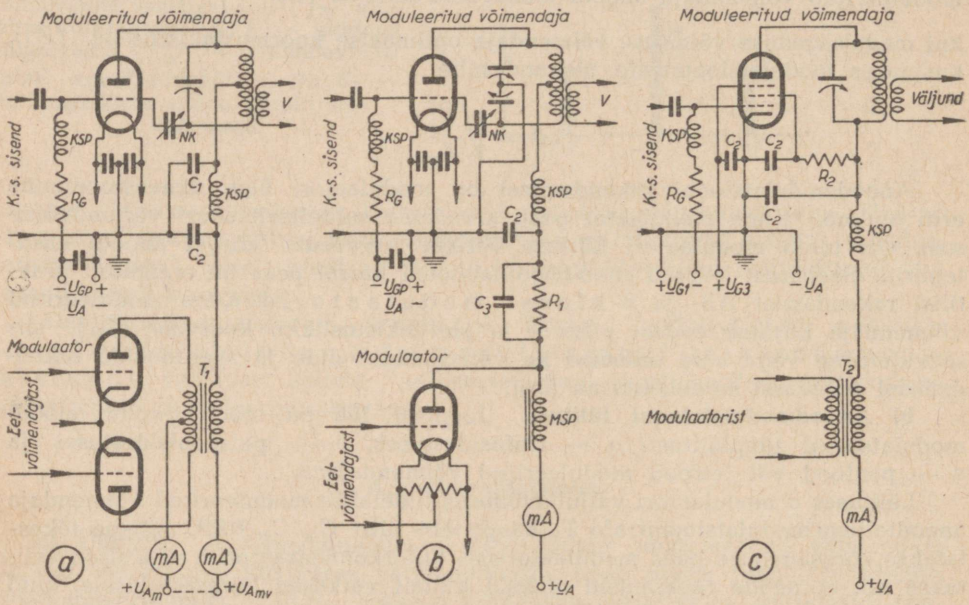
Anoodmodulatsiooni rakendamisel on modulaatori õige dimensioonimine eriti oluline. Kuna modulaator peab arendama suhteliselt suuri väljundvõimsusi, siis tuleb modulaatori lülituse valikul arvestada kõrget anoodi kasutegurit. Seepärast leiavad anoodmodulatsiooni korral peaaegu eranditult praktilist rakendamist AB- ja B-klassi modulaatorid. Kuna moduleeritud võimendaja kujutab endast püsivat ja puhttakistuslikku koormust (Z_m), siis saavutatakse väga häid tulemusi ka võimsustetroodide ja -pentoodide rakendamisel AB-klassi modulaatorina (D6).

b) Anoodmodulatsiooni lülitusi. Joonisel 166 on toodud kolm anoodmodulatsiooni tüüplülitust: *a* — trafosidestuses, *b* — paispoolsidestuses ja *c* — pentood või tetrood moduleeritud võimendajana.

Lülituses *a* modulaatori väljundvõimsus liidetakse moduleeritud võimendaja anoodtoitega modulatsioonitrafo T_1 kaudu läbi filtri C_1, C_2, KSP, millega tõkestatakse kõrgsageduse pääs modulaatorisse. Filterkondensaatorite väärtused valitakse nii, et nende reaktantsid oleksid küllalt väikesed kõrgsagedusele, kuid suured modulatsioonisagedusele. Moduleerimisel helisagedustega on nende sobivateks suurusteks 500 ... 2000 pF. Nii moduleeritud võimendaja kui ka modulaatori õigesse töörežiimi seadmiseks ja töö kontrollimiseks paigutatakse mõlema anoodi toitejuhtmesse voolumõõtja. Moduleerimise puhul õigesti seatud moduleeritud võimendaja anoodi milliampermeetri osut peab jääma püsima. Osuti kõikumine osutab ebalineaarsete moonutuste tekkimisele ja juhib tähelepanu kas ebaküllaldasele modulaatori väljundvõimsusele, k.-s. ergutusvõimsusele või ebaõigele võre-eelpingele. Modulaatori anoodvoolu milliampermeetri osuti näitamine sõltub modulaatori töörežiimist ja on ühtlasi modulatsiooniprotsendi indikaatoriks, kui modulaator toimib AB- või B-klassi võimendajana. Kui moduleeritud võimendaja ja modulaator toituvad ühisest anoodi toiteallikast ja mõlema toitepinge on võrdne, ühendatakse toitejuhtmete otsad milliampermeetrite ees kokku (joonisel 166 *a* näidatud punktiirina). Erilist tähelepanu tuleb juhtida täiuslikule neutraliseerimisele, kui moduleeritud võimendajas kasutatakse trioodi ja kui ergutusvõimsus antakse, nagu tavaliselt, väljundi sagedusel.

Paispoolsidestuses moduleeritud võimendajas (lülitus *b*) toidetakse moduleeritud võimendaja ja modulaatori anoodringe ühisest vooluallikast. Mo-

dulaatori anoodringi sidestamine moduleeritud võimendajaga toimub modulatsiooni-paispooli (MSP) kaudu, mille impedants peab olema küllalt suur madalamail moduleerimissagedustel. Sellises lülituses saab modulaatorina kasutada ainult A-klassi harilikku võimendajat, mille väljundpingest (ja ühtlasi võimsusest) ei jätku moduleeritud võimendaja täielikuks moduleerimiseks. Seepärast lülitatakse moduleeritud võimendaja anoodi toitejuhtmesse, vahetult modulatsiooni-paispooli järele, pingelangu takistus R_1, mille suurus valitakse selliselt, et moduleeritud võimendaja alaline anoodpinge



Joon. 166. Anoodmodulatsiooni tüüplülitusi: *a* — trafosidestuses moduleeritud võimendaja, *b* — paispoolsidestuses moduleeritud võimendaja, *c* — pentood või tetrood moduleeritud võimendajana. Lülituselemente: NK — neutraliseerimiskondensaator, KSP — kõrgsagedus-paispool, MSP — madalsagedus-paispool, T_1, T_2 — modulatsioonitrafod, filterkondensaatorid C_1 — 500 pF, C_2 — 1000 pF, C_3 — vähemalt 0,01 μF, R_G — võretakistus, R_1, R_2 — pingelangu takistused.

võrduks täpselt modulaatori väljundpinge amplituudiga. Pingelangu takistus R_1 šunditakse kondensaatoriga C_3, mille ülesandeks on läbi lasta modulatsioonisagedused. Ta suurus valitakse nii, et temas ei tekiks nimetamisväärset pingelangu madalaimal modulatsioonisagedusel. Anoodi toitejuhtmesse lülitatud milliampermeeter loomulikult ei tohi näidata moduleerimisel voolukõikumisi.

Paispoolsidestuses moduleerimine evib väikest kasutegurit; seepärast võib tema praktiline rakendamine küsimusse tulla väga väikeste võimsuste puhul, mil anoodi toitevoolu säästmine ei oma olulist tähtsust.

Lisaks vaadeldud rööbitise toitega paispoolmodulatsioonile on võimalik teostada anoodmodulatsiooni moduleeritud võimendaja ja modulaatori jär-

jestikku lülitamise teel. Lülitus lihtsustub seega, et langeb ära modulatsioonipaispool. Seda kasutatakse väikeste võimsuste puhul eriti siis, kui on saadaval kõrge anoodpinge.

Moduleeritud pentood- ja tetroodvõimendajas (lülitus c) rakendatakse moduleerimisvõimsus korraga nii anood- kui ka varivõreringi. Pentoodide juures antakse summutusvõrele sel puhul nõrk positiivne pinge. Varivõre juhtmesse lülitatava pingelangu takistuse R_2 väärtus arvutatakse normaalse varivõrevoolu ja varivõrepinge suuruste järgi moduleerimata olukorras $\left(R_2 = \frac{U_A - U_{G2}}{I_{G2}}\right)$. Sääraselt moduleeritud võimendajalt modulaatorile esitatav koormustakistus võrdub anoodi toitepinge jagatisega anood- ja varivõrevoolu summale. Modulaatorilt nõutav väljundvõimsus vastab alalise anoodpinge korrutisele anood- ja varivõrevoolu summaga.

Kõrge kasuteguri saavutamiseks kasutatakse pentood- ja tetroodvõimendaja moduleerimiseks samuti kui trioodigi puhul AB- ja B-klassi modulaatorit.

4. Võremodulatsioon.

Võremodulatsiooni puhul rakendatakse moduleeritud võimendaja töösse B-klassi režiimis nagu lineaarnegi võimendaja. Kuid alaline võre-eelpinge valitakse võremoduleeritud võimendajal suurem, tema optimaalne väärtus asetseb poolteise- ja kahekordse lõikepinge suuruste vahel. Mõlema võimendaja tööprotsessi oluliseks vaheks on see, et lineaarses võimendajas säilitatakse konstantsena alaline võre-eelpinge, millega liitub muutliku suurusega kõrgsageduslik ergutus, võremoduleeritud võimendajas säilitatakse konstantsena nii alaline võre-eelpinge kui ka kõrgsageduslik võre-ergutus, kuid muutub alalise võre-eelpingega liituv modulatsioonipinge. Mõlemal juhul hoitakse püsivana anoodi toitepinge. Sellistes töötingimustes võrdub väljundvõimsus modulatsioonipinge ruuduga. Täieliku moduleerimise puhul muutub väljundvõimsus nullist kuni neljakordse kandevlaine võimsuseni. Kuna anoodtoite keskmine väärtus jääb moduleerimisel püsivaks — anoodi toitejuhtmesse lülitatud a.-v. mõõteriista osut ei kõigu, siis toimub väljundvõimsuse muutumine anoodi kasuteguri pideva muutumise arvel nullist kuni teoreetiliselt võimaliku maksimumini 78,5%. Kandevlaine tingimustes võrdub anoodi kasutegur poole maksimaalse tegeliku kasuteguriga, s. o. 30 ... 39%. Sellest järeldub, et moduleeritud võimendajana üks ning sama lamp arendab anoodmoduleerituna ligikaudu neli korda suuremat väljundvõimsust kui võremoduleerituna toimides. Seega on lambi kasutamine anoodmodulatsiooni puhul märgatavalt parem.

Võremoduleeritud võimendaja õige töösse seadmine on tunduvalt raskem kui anoodmoduleeritud võimendaja puhul, sest lineaarse moduleerimise saavutamiseks on nii alalise võre-eelpinge, moduleerimispinge kui ka k.-s. ergutuse ja anoodi koormuse väärtused kõik kriitilised. Kuna võremoduleeritud võimendaja juures muutuvad kogu aeg ka lambi iseloomustussuurused (μ, R_i), siis on võimatu saavutada temalt seevõrra ranget moduleerimise lineaarsust, kui saadakse anoodmodulatsioonilt.

Moduleerimiseks vajatav võimsus, mida peab andma modulaator võre-

ringi kadude katteks, on suhteliselt väike. Tegelikult dimensioonitakse modulaatori võimsus siiski suuremana, sest tavaliselt lülitatakse moduleeritud võimendaja võreringi kas otseselt või trafo kaudu rööbitine koormustakistus, et ühtlustada väga suurtes piirides muutuvat lambi võreringi takistust, mis on ühtlasi modulaatori anoodi koormustakistuseks. Samal põhjusel peab modulaator evima väga head pingereguleerimist, mis dikteerib madala sisetakistusega võimsustrioodi kasutamist modulaatorina A-klassi lülituses.

Võre-eelpinge on teostatav ainult võre-eelpinge toiteallikaga, millelt nõutakse suurt pinge konstantsust, madalat takistust ja seega sõltumatust koormusest. Võre-eelpinge tekitamine võretakistusega pole lubatav, kuna võrevoolu pidev muutumine kutsuks esile võre-eelpinge vastava muutumise, mis töötab vastu modulatsioonipingele. Heaks eelpinge toiteallikaks on kas akumulaatorpatarei (väiksema võimsuse puhul ka värske anoodpatarei) või stabiliseeritud võrgualaldaja.

Hea pingereguleerimine on nõutav ka k.-s. ergutusastmelt, mis dimensioonitakse samadel põhimõtetel kui B-klassi lineaarse võimendaja ergutusaste.

Võremoduleeritud võimendaja töösse reguleerimist on hõlpsam teostada katoodtoru-ostsilloskoobiga, kuid ka tavaliste mõõteriistade abil on võimalik saavutada rahuldavaid tulemusi.

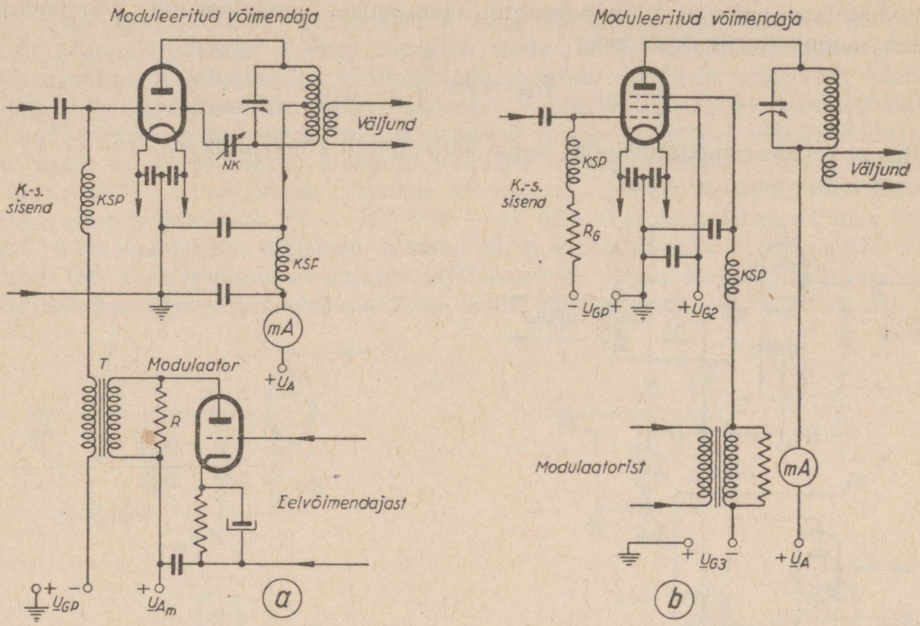
Selleks seatakse algul alaline võre-eelpinge ligikaudu lõikepunktile ning võreringi juhitakse maksimaalne k.-s. ergutus. Selle järel muudetakse anoodkoormust seni, kui anoodvool tõuseb anoodringi häälestatult resonantssagedusele, kahekordse normaalse kandevlaine puhul tarvitatava anoodvoolu väärtuseni. Viimane määratakse lambi normaalse anoodi toitevõimsuse järgi säärase arvestusega, et kandevlaine toitevõimsus võrduks keskmiselt 66% normaalsest anoodi toitevõimsusest, s. o.

$$I_A' = 0{,}66\,\frac{P_A}{U_A}.$$

Samal ajal märgitakse ära antennivoolu tugevus. Seejärel vähendada k.-s. ergutust seni, kui anoodvool hakkab just langema. Suurendada alalist võre-eelpinget, jättes k.-s. ergutus ja anoodi koormus endiseks, kuni anoodvool langeb parajale kandevlaine anoodvoolu väärtusele. Samal ajal peab ka antennivool langema poolele varemmärgitud väärtusele. Kui antennivool osutus suuremaks, tuleb suurendada koormust ja vähendada ergutust, kui väiksemaks — vähendada koormust ja suurendada ergutust. Katset tuleb seni korrata, kuni on loodud õiged töötingimused, eeldusel, et anoodpinge reguleerimine on hea. Modulatsioonipinget lülitades peab moduleeritud võimendaja toimima õigesti.

Joonisel 167 *a* on toodud võremoduleeritud võimendaja tüüplülitus.

Summutusvõre modulatsioon sarnaneb tööreţiimilt täielikult võremodulatsioonile ja kujutab õieti võremodulatsiooni varianti, milles võreringi ülesanded on jaotatud kahe võre — juhtvõre ja summutusvõre vahel. Summutusvõre modulatsiooni puhul juhitakse juhtvõreringi konstantse väärtusega k.-s. ergutusvõimsus ja antakse konstantne võre-eelpinge, summutusvõrele juhitakse moduleerimisvõimsus. Summutusvõre modulatsiooni puhul on nii k.-s. ergutus- kui ka moduleerimisvõimsused suhteliselt väga väikesed. Võrede ülesannete lahutamise tõttu on moduleeritud võimendaja reguleerimine



Joon. 167. Võremodulatsiooni tüüplülitusi: *a* — võremodulatsioon trioodiga, *b* — summutusvõre-modulatsioon pentoodiga.

märksa lihtsam, kusjuures on võimalik 90...95% modulatsioon väga väikese moonutuste sisaldusega.

Summutusvõre moduleeritud võimendaja reguleerimine toimub analoogiliselt tavalise võremoduleeritud võimendaja reguleerimisele. Tüüplülitus on toodud joonisel 167 *b*.

5. Katoodmodulatsioon.

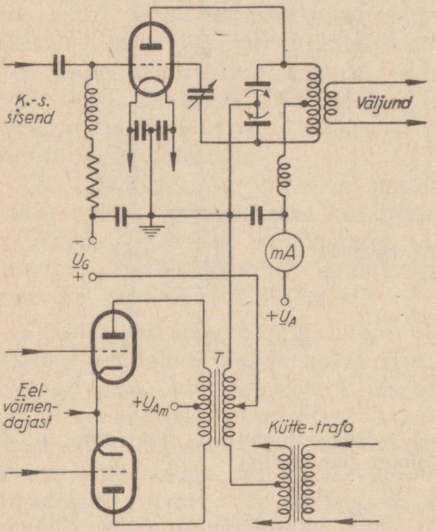
Katoodmodulatsioon, mille põhilülitus on toodud joonisel 168, kujutab endast kombineeritud anood- ja võremodulatsiooni meetodeid, evides nende vahepealset anoodi kasutegurit. Moduleerimisvõimsus lülitatakse katoodringi, mille tagajärjel muutuvad moduleerimisel üheaegselt nii võre- kui ka anoodpinge. Kui moduleeritud võimendajas kasutatakse otsese küttega lampi, siis on tarvilik kütta teda eraldi küttemähisest, et vältida võimalikke häireid teiste võimendusastmetega, kuna katoodring asub modulatsiooni pingete all. Samuti tuleb piirata kütte šuntkondensaatorite väärtused 1000...2000 pF-ga.

Reguleerides modulatsioonitrafo keskmise haruühendi asendit, on võimalik anda katoodmodulatsioonile kas anoodmodulatsiooni või võremodulatsiooni iseloomu: haruühendi ülesnihutamisel tõuseb anoodmodulatsiooni osatähtsus, allaviimisel — võremodulatsiooni osatähtsus. Lõpuks haruühendi paigutamisel trafo sekundaarmähise otstesse toimub vastavalt kas puhtakujuline anood- või võremodulatsioon.

Modulatsioonitrafo ülekandesuhte määramisel moduleeritud võimendaja esitab modulaatorile koormuse

$$Z_m = m \frac{U_A}{I_A},$$

milles m — anoodmodulatsiooni tegur väljendatud kümnendikena, U_A ja I_A anoodi toitepinge ja -vool.



Joon. 168. Katoodmodulatsiooni lülitus, milles kasutatakse C-klassi režiimis töötavat moduleeritud võimendajat.

Katoodmoduleeritud võimendaja reguleerimine ja õigetesse töötingimustesse seadmine toimub võremoduleerimise kohta toodud näpunäidete järgi.

6. Lisaseadmed.

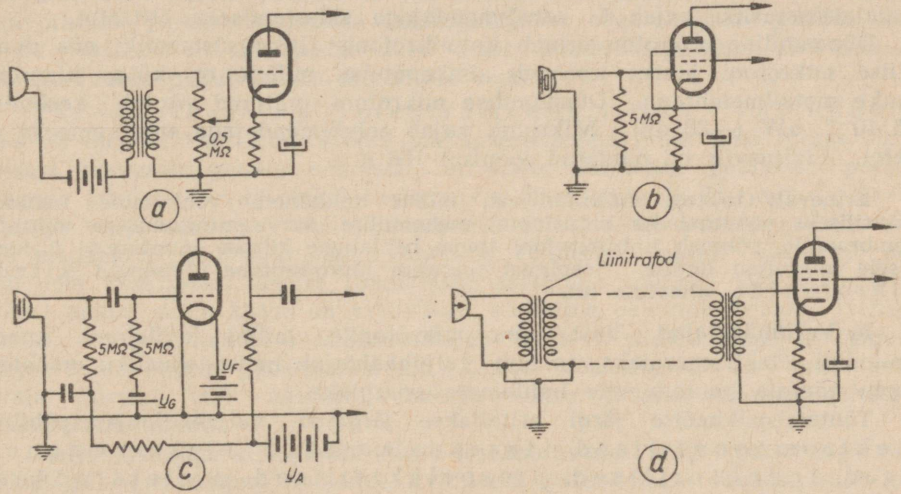
Helisageduste moduleerimisel vajalike lisaseadmete all mõeldakse mikrofone ja eelvõimendajaid.

a) Mikrofonid. Mikrofoniks nimetatakse mehaanilis-elektrilist seadet, mis muundab helisageduslike õhuvõnkumiste võimsuse vastavaks elektri vahelduvvoolu võimsuseks. Mitut liiki ja tüüpi mikrofonide võrdlusel eritellakse järgmisi põhilisi omadusi:

1) Väljundvõimsus, mis peale mikrofoni liigi ja tüübi sõltub heliallika võimsusest, kaugusest ja helisagedusest. Väljundvõimsus antakse kas mikrovattides või detsibellides, mille aluseks võetakse tavaliselt 6 mW.

2) Sageduste ülekanne — mikrofoni omadus üle kanda sagedusi helisagedusliku spektri kitsamas või laiemas ulatuses. Sõnalise saate ülekandeks piisab, kui mikrofon suudab ühtlaselt üle kanda sagedusi astmikus 200 ... 4000 Hz, kuigi ülekande kvaliteet tõuseb märgatavalt sagedusastmiku laienemisega. Kvaliteetseks muusikaliseks saateks peab mikrofon suutma ühtlaselt üle kanda sagedusi 20 ... 10000 Hz. Ülekantavas sagedusastmikus tekkivad kõrvalekaldumised määratakse harilikult detsibellides, arvates keskmisest tasemest.

S ü s i m i k r o f o n. Süsimikrofon koosneb söepuruga täidetud ja harilikult süsimembraaniga kaetud kapslist, mida läbib mikrofoni patarei vool. Süsimembraani mõjutamisel helilainetega muutub vastavalt mikrofoni takistus ning selle järeldusel ka mikrofonivool. Vooluringi lülitatud transformaatori sekundaarmähise klemmidel indutseeritavad pinged juhitakse eelvõimendajasse ja sealt modulaatorisse. Heakvaliteediliste süsimikrofonide väljundpingete väärtused 50 ... 100-oomise takistuse klemmidel on keskmiselt 0,1 ... 0,3 volti, mis vastab võimsusele 200 ... 900 μW (—11 dBJ). Transformeerimisel üles kujuneb 0,1-megaoomise takistuse klemmidel pingeamplituud 3 ... 10 volti. Joonisel 169 *a* on toodud süsimikrofoni lülitusviis. Peale kapsel-süsimikrofonide kasutatakse veel plokk-süsimikrofone, mille väljund on 2,5 μW (—34 dB).



Joon. 169. Mikrofoni ühendusviise eelvõimendajaga: *a* — süsimikrofon, *b* — kristallmikrofon, *c* — kondensaatormikrofon, *d* — lint- ja dünaamiline mikrofon; liinitrafosid kasutatakse juhul, kui mikrofoni kaabli pikkus ületab 20 m.

K r i s t a l l m i k r o f o n. Kristallmikrofonis muundatakse helilainete võnkumised vahelduvvoolu elektrivõimsuseks p i e s o e l e k t r i l i s e l toimel. Mikrofonis kasutatakse kahte kokkukleebitud senjett- (rošell) soola kristalli, mis on väliselt kaetud õhukeste metallkatetega. Kristalli pinna mõjutamisel helilainetega tekivad metallkatetel vastavad elektripinged, mis kaabli kaudu juhitakse eelvõimendajasse. Kristallmikrofonilt arendatavad pinged ulatuvad 0,002 ... 0,18 voldini, mis ülekantuna võimenduslambi 5-megaoomisele võretakistusele vastab 6000.10^{-6} ... 6.10^{-6} μW (—60 ... —90 dB). Joonisel 169 *b* on toodud kristallmikrofoni lülitusviis.

K o n d e n s a a t o r m i k r o f o n. Kondensaatormikrofon kujutab endast kahest plaadist koosnevat kondensaatorit, mille plaatide vahel on umbes 0,025 mm paksune õhkdielektriku kiht. Uks plaatidest on paigalseisev, teine, õhuke plaat moodustab mikrofoni membraani. Kondensaatori plaatidele on läbi suure takistuse rakendatud alaline pinge. Helilainete mõjul hakkab membraan võnkuma, mis kutsub esile kondensaatori mahtuvuse muutuse

ja seega ka laadimisvoolu muutuse, mille tagajärjel takistuse klemmidel tekib vastav vahelduvpinge. Lineaarsete moonutuste vältimiseks ja väljundi säilitamiseks ehitatakse esimene võimendusaste mikrofoniga kokku.

Kondensaatormikrofonilt genereeritavad pinged on suhteliselt väga väikesed, keskmiselt 0,01 V, mis vastab võimsusele $37{,}5 \cdot 10^{-6}$ μW (—82 dB). Kondensaatormikrofoni sagedusspektri ülekanne on väga ulatuslik ja ühtlane. Lülitusviis eelvõimendajaga on toodud joonisel 169 *c*.

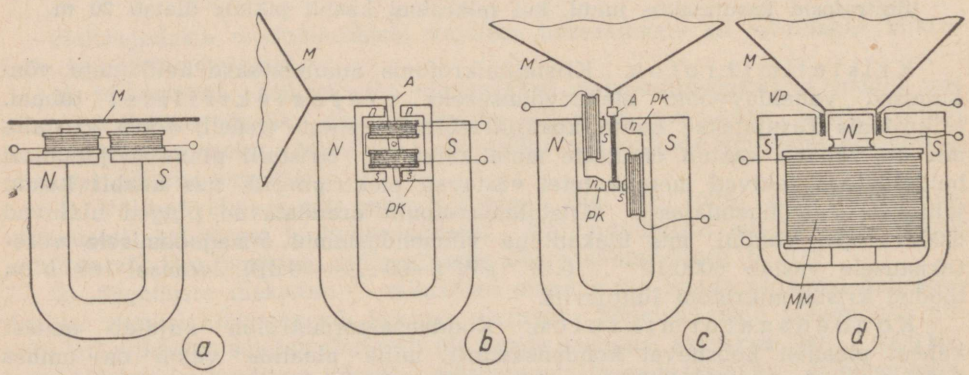
Lint- ja dünaamiline mikrofon. Lintmikrofon koosneb väga õhukesest lainelisest duralumiin-lindist, mis asub tugeva püsivmagneti õhupilus. Õhuvõnkumiste mõjul hakkab vastavalt võnkuma ka lint, milles magnetvälja lõikumise tagajärjel indutseeruvad vahelduvpinged. Lintmikrofoni väljund on suhteliselt väga väike, keskmiselt $1{,}2 \cdot 10^{-6}$ μW (—97 dB), ning olles madalatakistuslik, vajab ta eelvõimendajaga sidestamiseks eritrafot.

Dünaamiline mikrofon erineb lintmikrofonist liikuvsüsteemilt, mis dünaamilise mikrofoni juures koosneb võnkepoolist, millele on külge kinnitatud õhuke metallmembraan. Dünaamilise mikrofoni väljund võrdub keskmiselt $9{,}5 \cdot 10^{-6}$ μW (—88 dB). Mikrofon vajab eelvõimendajaga sidestamiseks eritrafot. Lülitusviis on näidatud joonisel 169 *d*.

Erinevalt teistest mikrofonidest, milles helilainete võnkumine muundub elektriliseks võnkumiseks helilainete mehaanilise surve muutumisega mikrofoni membraanile, põhineb lintmikrofoni toime helilainete kiiruse muutumise ülekandmisele mikrofoni lindile. Seepärast tuntakse lintmikrofone üldisemalt kiirusmikrofonide nimetuse all.

b) Valjuhääldajad. Vastandina mikrofonile, milles helilainete energia muundati elektrienergiaks, toimub valjuhääldajas helisagedusliku vahelduvvoolu energia muundumine helilainete energiaks.

Töötamispõhimõtte järgi eritellakse järgmisi valjuhääldaja põhiliike: elektromagnetilised, tasakaalustatud elektromagnetilised, induktorilised, piesoelektrilised ja elektrodünaamilised, milledest tähtsamad on kujutatud joonisel 170.



Joon. 170. Valjuhääldajate põhiliike: *a* — elektromagneetiline, *b* — tasakaalustatud elektromagnetiline, *c* — induktoriline, *d* — elektrodünaamiline. Tähised: A — ankur, M — membraan, MM — ergutusmähis, PK — pooluseking, VP — võnkepool.

Elektromagnetiline valjuhääldaja (*a*) koosneb püsivmagnetist, mille pooluste otstesse, väikese jääkmagnetismiga rauast alustele on kinnitatud elektromagneti poolid. Poolide südamike kohal asub samuti väikese jääkmagnetismiga rauast õhuke membraan. Poolid on ühendatud omavahel selliselt, et elektrivoolu läbimisel kummaski poolis tekkiv magnetväli kas tugevdab või nõrgendab püsivat magnetvälja, vastavalt läbiva voolu suunale. Üldise magnetvälja muutumise tagajärjel pinguli olev membraan kas paindub oma keskasendist magnetpoolustele lähemale või pingutuse vähenemisel eemaldub magnetpoolustest, tekitades õhus vastava helilainetuse.

Kaasajal elektromagnetilisi süsteeme nende väikese ülekantava võimsuse ning märgatavate moonutuste tõttu heliülekandel valjuhääldajana enam ei kasutata, vaid nende kasutamine on jäänud standardseks telefonidena telefonivõrkudes ja peatelefonidena raadiojaamades. Peatelefonide poolide alalisvoolu takistus on keskmiselt 2000 oomi, nende impedants 1000-hertsilise vahelduvvoolu puhul ulatub üle 20 000 oomi.

Tasakaalustatud elektromagnetilises valjuhääldajas (*b*) on poolid asetatud väikese jääkmagnetismiga rauast ning erilise ehitusviisiga poolusekingadele sääraselt, et voolu läbimisel poolidest poolusekingade kõrvuti olevad otsad magneetuvad ühenimeliselt, kusjuures polaarsus muutub voolu suunaga. Selle tulemusena deformeerub püsivmagnetilt tekitatud magnetväli poolusekingade vahelises ruumalas, millele vastavalt paikneb oma keskpunkti ümber ruumalasse asetatud väikese jääkmagnetismiga rauast ankur, mille külge on kinnitatud kooniline pabermembraan. Helisagedusliku voolu läbimisel poolidest hakkab ankur võnkuma samas helisagedusliku rütmis, andes pabermembraani kaudu võnkumised üle ümbritsevale õhule. Samuti võib nähtust vaadelda ankru magneetumisena vahelduva magnetvälja toimel.

Valjuhääldajate arengus kujutasid tasakaalustatud magnetsüsteemiga valjuhääldajad suurt sammu ülekande kvaliteedi parendamise suunas, kuid käesoleval ajal ka tasakaalustatud magnetsüsteemiga valjuhääldajaid peaaegu üldse enam ei ehitata. Selle peamiseks põhjuseks on piiratud ülekantav võimsus ja väike ülekande kasutegur.

Tasakaalustatud elektromagnetilisest valjuhääldajast välja arendatud induktoriline valjuhääldaja (*c*) erineb eelmisest ainult poolusekingade ja ankru ehitusviisilt ning poolide asetuselt, millega magnetvälja deformeerimisel liikuma pandud ankru liikumisulatus pole endiselt piiratud. Kuid suurt populaarsust see valjuhääldaja siiski ei omandanud, sest peagi ilmus välja moodne elektrodünaamiline valjuhääldaja.

Elektrodünaamilises valjuhääldajas (*d*) juhitakse helisageduslik vool võnkepooli, mis magneti õhupilus vabalt liikudes annab koonilise pabermembraani kaudu helivõnkumised üle ümbritsevale õhule. Magnetväli tekitatakse valjuhääldaja süsteemis kas elektromagnetiliselt alalise magneetimisvoolu läbilaskmisega ergutusmähisest või püsivmagneti abil. Kuna ergutusmähis, olles peaaegu terviklikult ümbritsetud rauast magnetringiga, kujutab endast suurt induktiivsust, siis kasutatakse teda raadiovastuvõtjate alaldusseadmetes filter-paispoolina.

Elektrodünaamilised valjuhääldajad võimaldavad kõrgema helikvaliteediga ülekannet, kui teised senitoodetud valjuhääldajad on suutelised olnud

andma. Töötamispõhimõttelt on elektrodünaamiliste valjuhääldajate heliülekanne moonutusvaba ja kuigi moonutused tekivad, siis ainult puuduliku ehitusviisi ja ehituseks kasutatava ebatäiusliku materjali tõttu. Kui magnetiline valjuhääldaja annab ühesuguse puuduliku kvaliteediga üle niihästi hea- kui ka halvakvaliteedilist saadet, siis dünaamiline valjuhääldaja reageerib väga teravalt ülekande headusele. Seepärast on heakvaliteedilise valjuhääldaja olemasolu õigustatud ainult tõeliselt kõrgekvaliteedilise saate ülekandmiseks.

Elektrodünaamiliste valjuhääldajate võnkepoolid on madalatakistuslikud, harilikult 3...5 oomi. Seepärast sobitatakse nad vooluallikaga alati sobitustrafode kaudu.

Peale loeteldud valjuhääldajate kasutatakse veel kristall-valjuhääldajaid ja -peatelefone, mis toimivad piesoelektrilisel nähtusel. Nende muundusmehhanism koosneb rošell-soola plaatide paarist, millele on kinnitatud pabermembraan. Helisagedusliku voolu rakendamisel hakkavad plaadid võnkuma; võnkumised kantakse edasi ümbritsevale õhule membraani kaudu.

Vaatamata oma lihtsusele ja odavusele pole kristall-valjuhääldajad kunagi suuremat populaarsust omandanud. Seda põhjustab nende võnkumisamplituudi piiratus, mis avaldub madalama helisagedusriba lõikamises ning väikeses koormumises.

c) Eelvõimendajad. Eelvõimendajaks nimetatakse telefonisaatjas mikrofoni ja modulaatori vahele lülitatavat võimendajat, mille ülesandeks on võimendada nõrka mikrofoni võimsust modulaatori normaalseks ergutuseks vajaliku määrani. Amatöörsaatjates kuulub eelvõimendaja ülesandesse veel sisendite segustamine, kui kasutatakse mitut sisendit, ja võimendatavate signaalide tugevuse reguleerimine. Eelvõimendaja ehitatakse harilikult modulaatorist eraldi, välja arvatud juhud, kui kasutatakse võremodulatsiooni, mispuhul moduleerimisvõimsuse tarvitus on tavaliselt seevõrra väike, et seda suudab täielikult katta eelvõimendaja väljundaste. Eelvõimendaja sidestatakse modulaatoriga sobitustrafode abil 200- või 600-oomise liini kaudu, mille pikkus on vabalt valitav.

Eelvõimendajalt nõutava võimenduse suurus tuletatakse vajatava väljundvõimsuse ja mikrofoni võimsuse suhtena (ehk dB), mida täieliku moduleerimise kindlustamiseks harilikult suurendatakse 2...3-kordselt. Võimendusastmete arvu määramisel lähtutakse mikrofoni sisendastmest ning võimendatud pinge järk-järgulise tõusuga valitakse igasse järgnevasse astmesse vajaliku võimsusega lamp ning sobiv sidestusviis. Vahepealsed astmed kujunevad harilikult takistussidestuses pingevõimendajateks. Esimene, mikrofonile järgnev aste, koostatakse harilikult varivõrepentoodist, mis suudab moonutusteta käsitada nõrku sisendpingeid. Järgnevais astmeis, kaasa arvatud süsimikrofoni sisendaste, rakendatakse tavaliselt vastava võimsusega trioode, mille kasutamist õigustavad trioodide ulatuslikumad ning sirgjoonelisemad võrekäigud.

Eelvõimendaja projekteerimisel tuleb silmas pidada järgmisi põhinõudeid:

1) ebalineaarsete moonutuste vähendamist miinimumini,
2) lineaarsete moonutuste piiramist vajalikul määral,
3) endamürade mahasurumist,
4) vajaliku väljundvõimsuse kindlustamist.

Ebalineaarsete moonutuste vähendamine oleneb õigest lambi tüübi vali-

kust igasse astmesse ja lampide õigesse töörežiimi seadmisest. Lambi tüübi valikul väljutakse sellest kaalutlusest, et lamp suudaks sisenevaid pingeid käsitada tagavaraga, ilma lambi tunnuskõvera sirgjoonelisest osast välja ulatumata. Õige töörežiimi seadmine peab võimaldama lambi tunnuskõvera optimaalset kasutamist.

Lineaarsete moonutuste piiramine oleneb sellest, kas eelvõimendaja on määratud ainult sõnaliseks või ühtlasi muusikaliseks ülekandeks. Esimesel juhul piisab, kui võimendaja ülekanne on ühtlane sagedusastmikul 100 ... 4000 Hz. Muusikalise ülekande puhul on nõuded tunduvalt rangemad. Praktiline väljaehitus kujuneb helikvaliteedi nõude ja majanduslike võimaluste kompromissiks: ühtlase võimenduse kindlustamine astmikul 60 ... 7500 Hz on märgatavalt lihtsam kui astmikul 30 ... 10000 Hz. Kõrgem kvaliteet tähendab väiksemat astmevõimendust, s. o. rohkem võimendusastmeid ja täiuslikumaid ning kulukamaid lülituselemente.

Endamürad tekivad võimendajas halvasti filtreeritud anoodi toitepingest, vahelduvvoolu magnetiliste ja elektrostaatiliste väljade mõjutusest lampide võrejuhtmetesse kas küttejuhtmestiku või toiteseadme kaudu ja ebatäiuslikust lahtisidestusest astmete vahel. Endamürade mahasurumine on tarvilik sellisel määral, et nad ei häiriks saadet isegi nõrgemail helipassaažidel. Mida nõrgemad on signaalipinged, seda suurem on neile väliste väljade mõju oht, mida suurem on võimendus, seda raskem on vältida astmetevahelisi sidestusi. Seepärast mikrofonijuhtmed, esimeste võimendusastmete lampide võre ja anoodi ühendusjuhtmed, sisendtrafod jne. peavad olema hästi varjestatud. Samuti tuleb klaaskatetega võimenduslambid asetada maandatud varjestustopsidesse, metall-lampide kestad lambipesades maandada. Samal ajal tuleb vahelduvvoolu küttejuhtmed viia lähestikku, paaris, eemale lampide võre ja anoodi ühendusjuhtmetest, asetatuna vastu metallšassiid ja võimalikult šassii servadel, nurkades. Peale selle üks küttejuhtmeist või toitetrafo küttemähise keskpunkt tuleb maandada. On soovitav toiteseade paigutada eraldi šassiile, eemale võimendajast, millega märgatavalt väheneb vahelduvvoolu väljade oht. Lahtisidestussüsteem peab olema täiuslikult teostatud, eriti suure võimendusega võimendajates (joon. 37).

Võimendaja väljundvõimsus peab olema dimensioonitud tagavaraga, et kindlustada saatja täielikku moduleerimist ka siis, kui lampide ja lülituselementide omadused ajajooksul halvenevad.

7. Telefonisaatja töökontroll.

Telefonisaatja juures on olulisemaks nõudeks õige moduleerimisprotsessi kindlustamine, mis ei piirdu mitte ainult modulaatori ja moduleeritud võimendaja õigesse töörežiimi seadmisega, vaid mis nõuab ühtlasi moduleerimise pidevat kontrolli saatja töötamise ajal.

Õige moduleerimisprotsessi all tuleb mõista täielikku ja lineaarset moduleerimist ning moduleeritud laines parasiitsageduste puudumist. Täielik moduleerimine on tarvilik selleks, et maksimaalselt ära kasutada genereeritud kandevlaine võimsust moduleerimisvõimsuse väljasaatmisel. Kuid täieliku moduleerimisega on alati seotud ülemoduleerimise oht, mis peale ebalineaar-

sete moonutuste tekitab ka häirivaid külgribasid ja seega lubamatut ruumi ülekoormamist niigi piiratud sagedusastmikel.

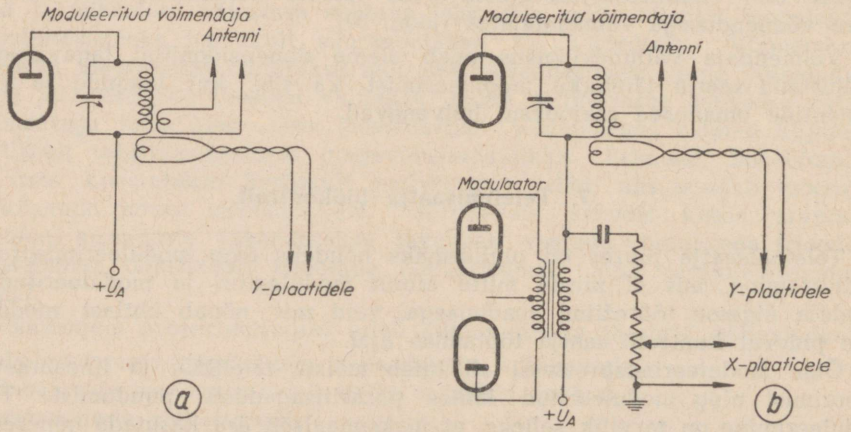
Ebalineaarne moduleerimine avaldub vastuvõtjas ebalineaarsete moonutustena, parasiitsagedused tekitavad ruumis häireid ja võivad vastuvõtupunktis saate muuta arusaamatuks.

Moduleerimise õiget seadmist ja kontrolli saab teostada alaliste kontrollmõõtmistega, mille kohta eespool on antud üldpõhimõtted, ning töö tegeliku kontrollimisega kohapealse vastuvõtja abil. On lubamata moduleeritud saatjaga välja tulla ruumi enne, kui saatja seadmine ja reguleerimine kunstlikul antennil töötamisega pole lõplikult viimisteldud. Arvestades seda, et kohapealne vastuvõtja, toitudes harilikult saatjaga ühisest vooluvõrgust ja asudes saatja väljade otseses mõjutuses, ei saa anda lõplikku hinnangut moduleeritud saatja tööst, on väga soovitav omada saatja juures enda toitega lihtsat varjestatud kontrollvastuvõtjat — monitori (joon. 173), mis annab täiesti objektiivse kujutuse saatja tööst.

Kindlaimaks moduleeritud saatja töö kontrolli abinõuks on katoodtoru-ostsilloskoop, mis annab täiusliku ja piltliku kujutuse saatja moduleerimisest. Katoodtoru-ostsilloskoobi abil on võimalik kindlaks määrata modulatsiooni protsenti, lineaarsust, parasiitvõnkumisi, mürasid jne. ning ühtlasi avastada esinevate puuduste põhjused.

Moduleerimise kontrolli teostatakse katoodtoru-ostsilloskoobiga kahel meetodil: kandevlaine üldkuju ja modulatsiooni trapetsi jälgimisega. Esimesel juhul peab horisontaalse kallutuspinge andma ostsilloskoop, vertikaalne pinge juhitakse ostsilloskoopi antenniga või saatja väljundringiga sidestatud pooli abil. Teisel juhul võetakse nii vertikaalne kui ka horisontaalne kallutuspinge saatjast: vertikaalne, samuti kui esimeselgi juhul — moduleeritud k.-s. pingega antennist, horisontaalne — m.-s. pingega modulatsioonitrafo sekundaarmähisest, läbi kondensaatori ühendatud pingejagaja kaudu. Joonisel 171 on näidatud vastavad lülitusviisid.

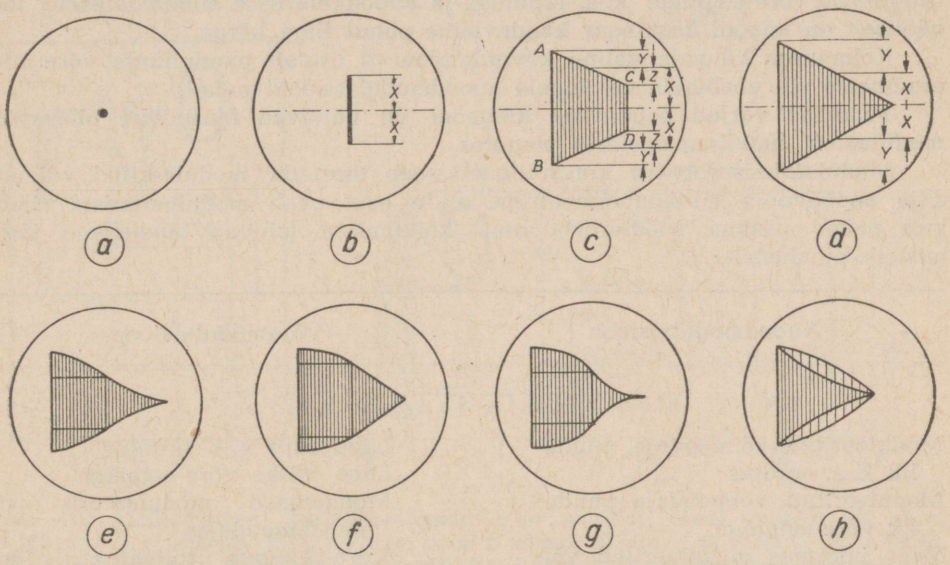
Moduleeritud laine kuju esimesel meetodil jälgides näeme, et amplituud-



Joon. 171. Ostsilloskoobi lülitusviise modulatsiooni kontrollimiseks: *a* — modulatsiooni üldkuju uurimiseks, *b* — modulatsiooni trapetsi uurimiseks.

väärtus muutub kandevlaine moduleerimisega. 100% moduleerimisel tõusevad amplituudväärtused kandevlaine kahekordse väärtuseni; samal ajal tekivad amplituudide vahedel langused keskteljeni (joon. 164 *c*). Eeldusel, et moduleerimine on sümmeetriline, kujuneb modulatsiooni protsent $m = \frac{Y}{X} \cdot 100$ (%), milles Y — amplituudi tõus (või langus) moduleerimisel ja X — kandevlaine kõrgus moduleerimatult.

Trapetsmeetod annab veelgi täpsema pildi moduleerimisprotsessist, mille mustrid on toodud üksikjuhtudena joonisel 172. Ergutamatult tekib ekraanile



Joon. 172. Katoodtoru-ostsilloskoobi modulatsioonitrapetsi mustreid: *a* — ergutuseta, *b* — ainult kandevlaine, *c* — lineaarne modulatsioon 62%, *d* — lineaarne modulatsioon 100%, *e*, *f* — ebalineaarne 100% modulatsioon, *g* — ebalineaarne ülemodulatsioon (üle 100%), *h* — 100% modulatsioon m.-s. faasinihkega.

ainult valguspunkt (*a*), moduleerimata kandevlaine annab ekraanil vertikaaljoone, mille pikkus on 2X (*b*). Moduleerimisel areneb joonest trapets (*c*), milles sümmeetrilise moduleerimise puhul amplituudi tõus Y võrdub langusega Z. Modulatsiooni protsent kujuneb joonlõikudest $m = \frac{AB - CD}{AB + CD} \cdot 100$ [1]. Täielikult moduleerimisel muutub trapets kolmnurgaks (*d*), ülemoduleerimisel tekib kolmnurga kesktipu pikendusena valgusjoon (*g*).

Trapetsi, resp. kolmnurga küljed on lineaarsel moduleerimisel sirgjoonelised; külgede kõverused osutavad ebalineaarsust. Joon. *e* kolmnurga kesktipu väljavenimine näitab, et väljundvõimsuse muutumine pole lineaarne ma-

[1] Ebalineaarsuse puhul tuletatakse keskmine *m* järgmiselt:

$$m_1 = \frac{Y}{X} \cdot 100, \quad m_2 = \frac{Z}{X} \cdot 100 \text{ ning } m = \frac{m_1 + m_2}{2}.$$

dalatel anoodpingetel. Põhjuseks on kas k.-s. ergutusvõimsuse kontrollimata pääs moduleeritud võimendaja anoodringi astmetevaheliste kahjulike sidestuste tagajärjel või moduleeritud võimendaja endaergutus puuduliku neutraliseerimise tõttu. Kui võtta maha anoodi toitepinge, jääb sel puhul ostsillaatori ekraanile vertikaalne joon, mis saatja õigel toimimisel peab muutuma punktiks.

Kolmnurga külgede seesmine kõverdumine kolmnurga laial otsal juhib tähelepanu moduleeritud võimendaja ebaõigele võre-eelpingele või puudulikule ergutusvõimsusele või mõlemale korraga. Võremoduleerimise puhul osutab see võre-eelpinge k.-s. ergutuse ja anoodkoormuse sobitamatusele, tõenäoliselt on anoodi kasutegur kandevlaine puhul liiga kõrge.

Kolmnurga külgede väline kõverdumine (*f*) osutab puudulikule võre k.-s. ergutusele või ebaõigele eelpingele anoodmodulatsiooni puhul.

Tumedad varjud kolmnurga külgedel (*h*) näitavad faasinihke olemasolu modulaatori madalsageduslikes pingetes.

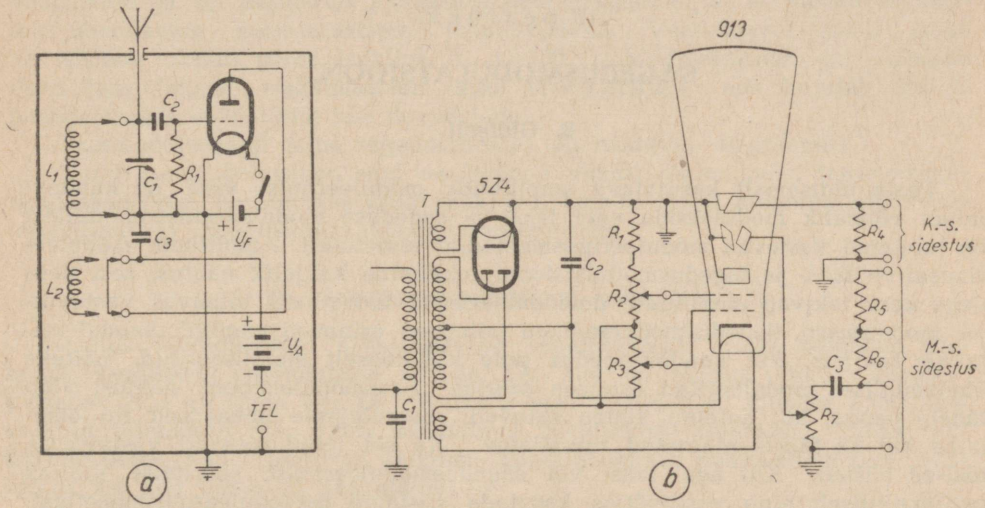
Moduleerimisprotsessi kontrollimist saab teostada moduleeritud võimendaja anoodvoolu milliampermeetriga, mille osut peab moduleerimisel täielikult paigal püsima. Mõõteriista osuti kõikumised juhivad tähelepanu järgmistele puudustele:

Anoodmodulatsioon	Võremodulatsioon
Mõõteriista langev hälve.	
Moduleeritud võimendaja puudulik k.-s. ergutus	Liiga suur k.-s. ergutus
Moduleeritud võimendaja puudulik võre-eelpinge	Liiga väike võre-eelpinge
Väär koormus moduleeritud võimendaja anoodringis	Moonutused modulaatoris või eelvõimendajas
Moduleeritud võimendaja lampide ülekoormamine	Võre-eelpinge toiteallika liiga suur takistus
	Anoodi toitealaldaja väljundkondensaatori liiga väike mahtuvus
Moduleeritud võimendaja anoodi toitealaldaja väljundkondensaatori liiga väike mahtuvus	Anoodringi puudulik koormus
	Liiga kõrge anoodi kasutegur kandevlaine tingimustes
Mõõteriista tõusev hälve.	
Ülemoduleerimine (liiga suur moduleerimispinge)	Ülemoduleerimine (liiga suur moduleerimispinge)
Moduleeritud võimendaja puudulik neutraliseerimine	Moonutused madalsagedusvõimendajas
Parasiitvõnkumised moduleeritud võimendajas	Regenereerumine puuduliku neutraliseerimise tõttu
	Võre-eelpinge liiga kõrge

Kui B-klassi (AB-klassi) modulaator toitub moduleeritud võimendajaga ühisest anoodi toitealaldajast, siis ei tohi võimendaja anoodvoolu näitav milli-

ampermeeter moduleerimisel kõikuda. Kui kõikumine tekib, on alaldaja pingereguleerimine puudulik.

Tunduvaid häireid võib põhjustada ka k.-s. sattumine m.-s. võimendajasse, mis avaldub heliriketena või võib muutuda m.-s. võimendaja pidevaks undamiseks, vaatamata sellele, et eelvõimendaja koos modulaatoriga, kuid moduleeritud võimendajale lülitamata, on täiesti stabiilne. Selle pahe vältimiseks tuleb hästi varjestada mikrofon, mikrofoni juhtmed ja eelvõimendaja; on soovitav mikrofoni juhtmesse lülitada k.-s. paispool, millega tõkestatakse kõrgsageduse pääs eelvõimendajasse.



Joon. 173. Modulatsiooni kontrollseadmeid: *a* — monitor, osad: $C_1 = 50$ pF, $C_2 = 100$ pF, $C_3 = 2000$ pF, $R_1 = 0{,}5$ MΩ; pool L alusel 40 mm: 1,75 MHz — 66 keerdu, 7 MHz — 14 keerdu, 14 MHz — 5 keerdu; *b* — katoodtoru-ostsilloskoop, osad: $C_1 = 0{,}01$ μF, $C_2 = 2$ μF, $C_3 = 0{,}01$ μF, $R_1 = 0{,}15$ MΩ, $R_2 = 0{,}05$ MΩ, $R_3 = 0{,}025$ MΩ, $R_4 = 5$ MΩ, $R_5 = 6$ MΩ, 6 vatti, $R_6 = 2$ MΩ, 2 vatti, $R_7 = 1$ MΩ, T — võrgutrafo 2 × 350 V.

Joonisel 173 on toodud moduleerimise kontrolliks kasutatavate seadmete lülitusi: *a* — monitor, *b* — katoodtoru-ostsilloskoop. Monitor kujutab endast ühelambilist vastuvõtjat, mis koos toitepatareidega on terviklikult paigutatud metallist varjestuskasti. Häälestamist erinevail sagedusastmikel teostatakse kas poolide L vahetamisega või ümberlülitamisega. Modulatsiooni kontrolliks kasutatakse peatelefone. Monitori sidestuseks saatjaga harilikult jätkub telefoni ühenduspuksidest; sidet võib tarbe korral suurendada 5 ... 10 cm antenniga. Sama monitori saab kasutada ka telegraafitöö kontrollimiseks, missugusel juhul tuleb anoodringi puksidesse, mis telefonitöö kontrollil on lühistatud, asetada tagasiside-pool L_2. Tagasiside-pooli keerdude arv kujuneb keskmiselt 30 ... 50% L_1 keerdude arvust. Monitori küttepingeks jätkub ühest 1,5 V kuivelemendist, anoodpingeks 5 taskulambi kuivpatareist.

Lihtsas katoodtoru-ostsilloskoobis kasutatakse madala toitepingega katoodtoru, mida toidetakse alaldajaga vahelduvvooluvõrgust. Katoodkiirte

vihu intensiivsust ja fookusesse seadmist teostatakse vastavalt reostaatide R_3 ja R_2 abil.

Ostsilloskoobis endas puudub horisontaalplaatide kallutuspinge generaator, seepärast on ta kõlblik ainult modulatsiooni trapetsi uurimiseks. Ostsilloskoopi on sisse ehitatud kõrgeoomiline pingejagaja takistustega R_5, R_6, mis võimaldab modulaatori väljundi vahetut külgelülitamist.

III peatükk.

SAGEDUSMODULATSIOON.

8. Üldiselt.

Peale üldisemalt kasutatava amplituudi moduleerimise viisi on kandevlainet võimalik moduleerida veel faasi ja sageduse moduleerimisega, millest on tuletatud vastavad moduleerimismeetodite nimetused. Amplituudi moduleerimisel on faas- ja sagedusmodulatsiooni tekkimine kahjulik nähtus, sest nendega koos tekivad amplituudi demoduleerimise menetlusel toimivas vastuvõtjas moonutused. Sagedusmodulatsiooni nähtused esinevad amplituudmoduleeritavais saatjais, kui kandevsagedus pole küllaldaselt stabiliseeritud, näiteks ühelambilises moduleeritud astmega saatjas. Faasmodulatsiooni nähtusi võib tähele panna, kui antenni kaudu satuvad vastuvõtjasse üheaegselt nii otselaine kui ka faasis nihutatud ruumilaine. Ka sel juhul tekivad vastuvõtjas tõsised häired. Kui aga faas- või sagedusmoduleerimist sooritada saatjas puhtakujuliselt ning vastuvõtjas kasutada vastavat demoduleerimismenetlust, kujuneb vastuvõtt loomulikult häiretuks.

9. Faasmodulatsiooni põhimõte.

Faasmoduleerimisel muutub kõrgsagedusvõnkumiste, s. o. kandevsageduse voolu ja pinge faas modulatsioonisageduse rütmis, kusjuures maksimaalset faasinihkenurka nimetatakse *faasideviatsiooniks*. Tsükliliselt arenev faasimuutumine kutsub esile kandevlaine sageduse muutumise, samuti kui amplituudmodulatsiooni juures amplituudi muutmine põhjustas kandevlaine sageduse muutumise. Matemaatiline analüüs näitab, et faasmoduleerimisel tekib lõpmatul arvul külgsagedusi, mis asetsevad kandevsageduse suhtes sümmeetriliselt ning mille amplituudi väärtused muutuvad faasideviatsiooniga. Moduleerimisel jääb kandevlaine amplituud madala modulatsiooniteguri puhul praktiliselt konstantseks, muutub vastavalt ainult faas. Faasmoduleerimise teostamisel tuleb amplituudmoduleeritav kandevsagedus liita teise samasageduselise, kuid 90° võrra faasis nihutatud moduleerimata võnkumisega.

Joonisel 174 on kujutatud faasmoduleerimise füüsikaline protsess võrreldуna teiste moduleerimisviisidega. Joonisel diagrammis *a* on kujutatud moduleerimata kandevlaine, mille amplituud aja muutudes jääb püsivaks. Samuti säilib moduleerimata kandevlaine sagedus f_0 (*g*). Kandevlaine ampli-

tuudmoduleerimisel siinuselise moduleerimissignaaliga, mille sagedus on *F* (*b*), muutub vastavalt kandevlaine amplituud (*c*) ning sagedusspektris (*h*) tekivad kandevsagedusele f_0 lisaks kaks uut sagedust.

Sama kandevlaine (*e*) faasmoduleerimisel sama moduleerimissagedusega *F* (*b*) areneb moduleeritud laines (*d*) faasinihkumine, mis moduleerimissignaali positiivsel pooltsüklil avaldub faasi ettejõudmisena (s. o. moduleeritud laine tsüklid algavad varem) ja moduleerimissignaali negatiivsel pooltsüklil faasi hilinemisena (s. o. moduleeritud laine tsüklid algavad hiljem). Seejuures faasi ettejõudmine ja hilinemine on võrdeline moduleerimissignaali hetkväärtusega ja on kujutatud joonisel lainediagrammide (*d*, *e*) vastavaid tsükleid ühendavate horisontaalsete joonlõikudena. Vaadeldaval juhul faasideviatsioon ulatub poole tsüklini, s. o. 180°. Modulatsiooni on võimalik tõsta faasinihkena maksimaalselt kuni terviktsüklini, mis kujutab ühtlasi maksimaalselt võimalikku faasideviatsiooni.

Faasmoduleeritud laine sagedusspekter on näidatud diagrammis *i*.

Kuigi faasmodulatsioon seni on leidnud vähest rakendamist faasmoduleeritud saadetena, kasutatakse teda siiski kui abinõu teiste moduleerimisviiside (amplituud- ja sagedusmodulatsiooni) teostamiseks.

10. Sagedusmodulatsiooni põhimõte.

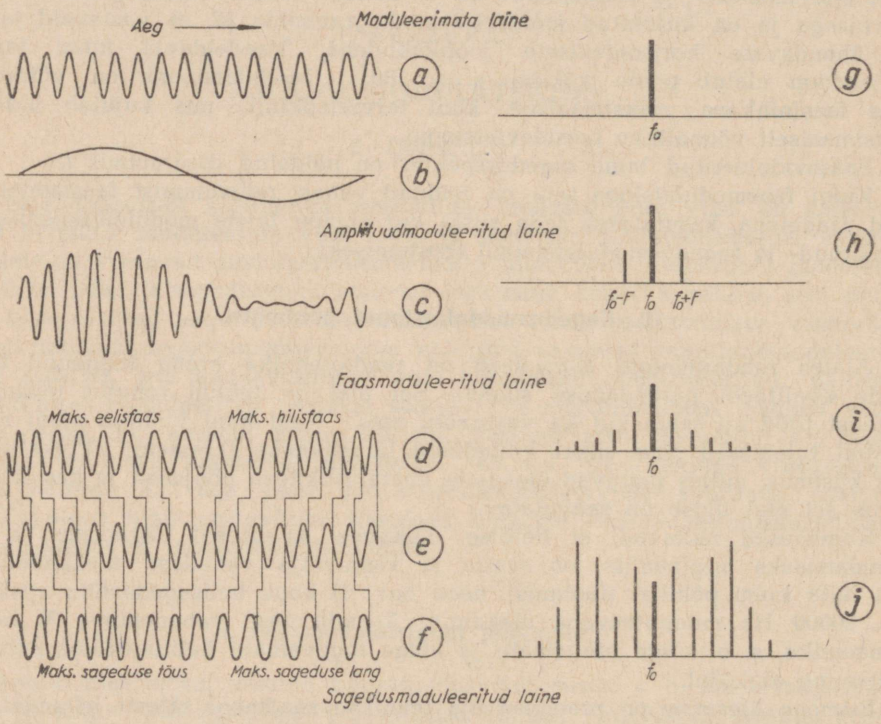
Alates raadiotelefoni algaastaist on raadiotehnika areng kulgenud ülekande kvaliteedi parendamise suunas. Sel alal on tehtud tohutut uurimiskatselist tööd nii saate kui ka vastuvõtu osas. Kuid kuni viimase ajani saavutatud tulemused pole siiski küündinud täiuslikkuse tasemeni. Võiks tekkida küsimus, milles peituvad ülekande ebatäiuslikkuse põhjused ja kas täiuslikkus sel alal üldse on saavutatav.

Kogemused näitavad, et helilise ülekande kvaliteedi tõstmiseks, s. o. lähendamiseks originaalile, on saatja ja vastuvõtja vahelises ülekandelülis vaja täita kolm põhilist tingimust, need on: 1) kogu helisagedusliku spektri 16 ... 20000 Hz moonutusvaba ülekanne, 2) müradest vabanemine, 3) helidüünaamika, s. o. kõige nõrgemate ja kõige tugevamate helitugevuste suhete säilitamine algkujul.

Esimene ülesanne on praeguse aja tehnilise seadmega täiesti lahendatav, kuid kahele viimasele paneb piiri kasutatav ülekande süsteem — amplituudmodulatsioon. Nimelt moduleerimissageduste riba laienemisega suureneb moduleeritud laine kanali laius ja koos sellega vastavalt ka mürade märgatav tõus ülekandes. Teatavasti tekivad mürad saatjas ja vastuvõtjas endis elektronide liikumiskiiruse ebaühtluse tagajärjel võnke- ja vooluringides, lülituselementides, lampides jne., mis avalduvad eriti siis, kui seadme tundlikkus on suur. Kuid märgatavalt suuremaid häireid põhjustavad vastuvõtjas peale selle veel tööstuslikud ja atmosfäärilised mürad ja teistel naaberkanaleil töötavad saatjad, millest pole vaba ükski saade peale kohaliku. Praktiliselt kannavad kõik mürad ja häired amplituudilist iseloomu ja suurenevad võrdeliselt ülekande sageduskanali laiusega.

Peale selle panevad mürad ja häired piiri ka kolmanda nõude, s. o. helidünaamika täitmisele. Nimelt saab heliline, eriti aga muusikaline ülekanne kõigi muude võrdsete tingimuste täitmisel täiuslik olla ainult siis, kui ette-

kandes esinevad helitugevused kõigis oma nüanssides säilitatakse kuni valjuhääldajani. Teatavasti ulatub orkestri poolt kontsertsaalis tekitatavate kõige tugevamate ja kõige nõrgemate helitugevuste suhe kümne miljonini (70 dB), mis nõuaks saatja kandevlaine moduleerimist samas suhtelises vahekorras. Kuna aga saatja endamürad helitugevuste originaalsuhte säilitamisel ületaksid märgatavalt nõrgemad helipassaažid, ollakse sunnitud saatjas helidünaamilist spektrit kärpima 20 ... 40 dB, mis arusaadavalt vähendab ülekande loomulikkust.



Joon. 174. Eri moduleerimisviiside ja moduleeritud laine sagedusspektrite võrdlus: *a* — kandevlaine f_0, *b* — moduleerimissignaal *F*, *c* — 100% amplituudmoduleeritud laine, *d* — faasmoduleeritud laine, *e* — moduleerimata kandevlaine, *f* — sagedusmoduleeritud laine, *g* — moduleerimata laine sagedusspekter, *h* — amplituudmoduleeritud laine sagedusspekter, i — faasmoduleeritud laine sagedusspekter, *j* — sagedusmoduleeritud laine sagedusspekter.

Seega kvaliteedi tõstmiseks amplituudmodulatsiooni menetlusel kasutatavad abinõud tõstavad ülekande süsteemis mürasid ja häireid, mis, nagu selgub, panevad piiri ülekande täiuslikkusele.

Võrdlemisi hiljuti tarvitusele võetud sagedusmodulatsioon tõotab olla vaba amplituudmodulatsiooni juures esinevaist puudustest. Nimelt säilitatakse sagedusmodulatsiooni juures saatelaine amplituud konstantsena, kusjuures muudetakse ainult kandevlaine sagedust modulatsiooni signaali rütmis.

Kui võrrelda sagedusmodulatsiooni ja amplituudmodulatsiooni füüsikalist protsessi, siis moduleerimissignaali tugevuse muutumine avaldub sagedusmoduleeritud kandevlaine sageduse muutumise ulatusena, mis amplituudmodulatsiooni juures vastab kandevlaine amplituudi väärtuse muutusele. Samuti avaldub moduleerimissignaali sagedus sagedusmoduleeritud laine sageduse muutumise kiirusena, mis amplituudmodulatsiooni juures vastab amplituudi muutumise kiirusele.

Joonisel 174 on kujutatud sagedusmoduleerimise füüsikaline protsess, milles kandevlaine (e) sagedus f_0 muudetakse moduleerimissageduse F (*b*) rütmis ja mille tulemusena moduleeritud laine (*f*) kujutab tihedamalt või hõredamalt asetsevaid tsüklite rühmi. Moduleerimissignaali positiivse pooltsükli kestel asuvad kandevlaine tsüklid tihedamalt, millele vastab kandevsageduse tõus; moduleerimissignaali negatiivse pooltsükli kestel on kandevlaine tsüklid hõredamalt ja sellele vastab kandevsageduse langus. Lineaarsel sagedusmoduleerimisel selline kandevsageduse muutumine peab jääma võrdeliseks moduleerimissignaali tugevuse muutumisega. Sagedusmoduleeritud laine sagedusspekter on toodud diagrammis *j*.

Võrreldes sagedusmodulatsiooni (*f*) graafilist kujundumist faasmodulatsiooniga (*d*), selgub, et nad teineteisega õige lähedaselt sarnanevad. See on ka arusaadav, kuna kandevlaine sageduse tõstmisega teatud kindla suuruse võrra kaasneb pidevalt arenev faasi ettejõudmine, mis kestab senikaua, kuni jätkub sageduse tõus.

Kuigi sagedusmoduleeritud laine sisaldab ühtlasi ka faasmodulatsiooni ja ümberpöördult, ei tule sellest siiski aru saada nii, et sagedusmoduleeritud laine iseenesest ongi juba faasmoduleeritud laine või ümberpöördult. Vaadeldes moduleeritud lainet *f*, selgub, et see kujutab moduleerimissignaaliga (*b*) moonutamatult moduleeritud sagedusmoduleeritud lainet ning samal ajal tõsiste moonutustega sama moduleerimissignaaliga (*b*) faasmoduleeritud lainet.

Sageduse muutumise maksimaalset ulatust ühes suunas, s. o. kandevsageduse maksimaalset suurenemist ja vähenemist nimetatakse sagedusmodulatsiooni juures sagedusdeviatsiooniks Δf ja väljendatakse tavaliselt kilohertsides. Seega kandevsageduse f_0 muutumisel suurenemise ja vähenemise suunas maksimaalselt kuni f_{max} ja f_{min} väljendub vastavalt sagedusdeviatsioon $\Delta f = f_{max} - f_o$ ehk $\Delta f = f_o - f_{min}$. Sümmeetrilisel moduleerimisel on sageduse suurenemise ja vähenemise ulatused võrdsed, s. o. $\Delta f = f_{max} - f_o = f_o - f_{min}$.

Sagedusmodulatsiooni juures ei esine modulatsiooniteguri mõistet, sest sagedusdeviatsioon ei ole piiratud, nagu amplituudmodulatsiooni juures moduleerimine on piiratud maksimaalselt 100%.[1] Sagedusdeviatsiooni piirid on pigem praktilist laadi: ühelt poolt kasutamiseks määratud sageduskanali laius, mille võtab enda alla kandevlaine koos oma külgribadega, teiselt poolt saatja sagedusdeviatsiooniline käsitusvõime, mis oleneb saatja lülitusest.

Sagedusmoduleerimisel kandevlainesse lisavõimsust ei paigutata, nagu

[1] Moduleerimise maksimaalne teoreetiline piir saavutatakse siis, kui sagedusdeviatsioon Δf võrdub kandevsagedusega f_o, s. o. kui kandevsagedus muutub maksimaalse modulatsiooni hetkedel nullise sagedusega vooluks — alalisvooluks, mis on tegelikult mõeldamatu.

amplituudmoduleerimisel, mistõttu sagedusmoduleeritud laine amplituud jääb konstantseks. Seega avaneb lihtne võimalus vabaneda peaaegu täielikult amplituudilistest müradest, kui amplituudmoduleeritud tipud, mis laine levikul saatjast vastuvõtjani ja vastuvõtja eelvõimendajas lainega liitusid, vastuvõtjas enne detekteerimist maha lõigata.

Kuna sagedusmoduleerimisel moduleerimissignaali amplituudide ülekandesuhe on praktiliselt piiramata ja mürade mahasurumine täiuslik, siis pole sagedusmoduleerimise menetluse rakendamisel raskusi ka helidünaamika säilitamises originaalkujul.

Samuti kui amplituud- ja faasmoduleerimiselgi, tekib sagedusmoduleerimisel põhisageduse ümber külgribade spekter. Seejuures spektri sagedused muutuvad koos moduleerimissagedusega (joon. 174 *j*). Lisaks harilikule põhi- ja modulatsioonisageduste summale ja vahele tekivad sagedusmoduleerimisel külgsagedused veel modulatsioonisageduste harmooniliste sageduste summana ja vahena. Säärane olukord on tingitud õige faaside vahekorra säilitamise vajadusest kandevsageduse ja külgribade vahel, et hoida väljundvõimsus püsivana. Selle tulemusena on sagedusmoduleeritud laine märgatavalt laiem, võrreldes amplituudmoduleeritud lainega. Laia sageduskanali tõttu pole sagedusmodulatsioon rakendatav kesk- ja kõrgsageduslikes astmikes, kus ruum on niigi küllastatud, vaid ta kasutamine on õigustatud kõrgemais sagedusastmikes.

Sagedusmoduleeritud laine sageduskanali laiust määratakse **modulatsiooni-indeksiga** mf, mis kujutab endast maksimaalse sageduse deviatsiooni Δf suhet modulatsioonisagedusse F, $m_f = \frac{\Delta f}{F}$, kusjuures modulatsioonisageduse all sel puhul mõeldakse kõrgeimat modulatsioonisagedust. Kui näiteks sagedusdeviatsioon on 50 kHz ja kõrgeim modulatsioonisagedus 10 kHz, siis võrdub modulatsiooni-indeks $m_f = 50/10 = 5$. Külgsageduste arv üksiku modulatsioonisageduse juures tõuseb sagedusdeviatsiooniga. Kui modulatsiooni-indeks ulatub 5-ni, muutuvad külgsagedused väljaspool maksimaalset sagedusdeviatsiooni niivõrd nõrkadeks, et sageduskanali laiuseks praktiliselt võib võtta kahekordse sagedusdeviatsiooni väärtuse, vaadeldud juhul seega 100 kHz.

Sagedusmoduleerimisel on olulisemaiks tingimusteks, et säilitataks võrdelisus ehk lineaarsus sageduse deviatsiooni ja moduleeritava signaali amplituudi vahel ja et kandevlaine amplituud jääks moduleerimisel konstantseks. Viimane tingimus seab saatja võnkeringidele ja antennile eri nõude, et nende häälestusteravus oleks küllaldaselt lame suhteliselt laia sagedusspektri ühtlaseks käsitamiseks, kuna vastasel korral tekivad ülekantavas modulatsioonisageduste ribas lineaarsed moonutused. Sama nõue on kehtiv ka vastuvõtja kohta.

Võrreldes amplituudmodulatsiooniga evib sagedusmodulatsiooni süsteem rea paremusi, millest on olulisemad:

1) Üsna tunduv mürade vähenemine vastuvõtjas. Kõik elektrilised mürad, vaatamata päritolule, kujutavad endist amplituudmoduleeritud võnkumisi. Sattudes koos soovitavate võnkumistega amplituudi demoduleerimise menetlusel toimivasse vastuvõtjasse, põhjustavad nad selles märgatavaid häireid, millest pole täielikult vabad isegi kohalikud saated. Kui vastuvõtjas

kasutada säärast demoduleerimise meetodit, mis ei reageeri amplituudi muudatustele, siis vabaneb vastuvõtt müradest; mürad võivad tekkida ainult siis, kui nad põhjustavad säärase faasinihke, mis avaldub vastuvõetavas signaalis sagedusmodulatsioonina. Võrdse kandevlaine võimsuse juures paraneb sagedusmodulatsiooni puhul signaali/mürade suhe vähemalt 100 korda (20 dB), võrreldes amplituudmodulatsiooniga. Vastuvõtt on praktiliselt müra- ja kahinavaba isegi rasketes müratingimustes, mis annab võimaluse säilitada ülekandel helidünaamikat algkujul.

2) Kandevlaine võimsus ei muutu moduleerimisega, järelikult moduleerimiseks ei kasutata võimsust. Sagedusmoduleerimine toimub saatja esimestes astmetes, kus võimsused on suhteliselt väga väikesed. Moduleeritud astmele järgnevad sageduspaljundus- ja võimsuse võimendusastmed, mis töötavad soodsates C-klassi tingimustes. Sellega tagatakse ühtlane kõrge anoodi kasutegur, ühtlasi langevad ära raskused kriitiliste ergutusvõimsuste, eelpingete, koormuste reguleerimisega, vabanetakse kulukatest, kapriissetest modulaatoritest.

3) Vaatamata laiemale moduleeritud laine sageduskanalile ei teki sagedusmodulatsiooni puhul naaberkanalitel ja isegi ühistel kanalitel toimivatelt saatjatelt vastastikuseid häireid vastuvõtjas seni, kuni saatelainete väljatugevused pole üksteisega ligikaudu võrdsed. Kui saatjate väljatugevused suhtuvad üksteisesse kuni 2 : 1, võtab tugevam signaal vastuvõtjas kontrolli endale ning teised saatjad muutuvad vastuvõetamatuks. Sagedusmoduleeritud saatjate rakendamine on ruumi kasutamise praegustes tingimustes piiratud ülikõrgete ja kõrgemate sagedusastmikega. Kuna sellistel sagedustel kasutatavate antennide mõõted kujunevad väikesteks, siis lihtsustub saatjate eraldamine suunatud vastuvõtuantennide kasutamisega veelgi.

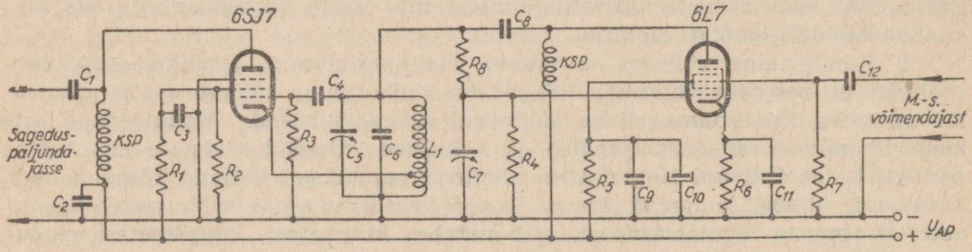
11. Sagedusmodulatsiooni lülitusi.

Lihtsaimal viisil on võimalik teostada sagedusmodulatsiooni, kui ostsillaatori võnkeringile lülitada rööbiti kondensaatormikrofon. Mikrofoni mõjutamisel helilainetega muutub vastavalt mikrofoni mahtuvus, mis ostsillaatori võnkeringis asudes kutsub esile kandevlaine vastava sageduse muutumise. Siiski pole selline moduleerimisviis laialdasemat kasutamist leidnud. Praktilistest moduleerimisviisidest on levinenumad reaktants-modulaatori ja faasimuundus-modulaatori meetodid.

Joonisel 175 on toodud sagedusmoduleeritud ostsillaatori ja reaktantsmodulaatori lülitus. Ostsillaatoris on kasutatud elektronsidestuses varivõrepentoodi 6SJ7, modulaatoris heptoodi 6L7. Ostsillaator häälestub sagedusele 7 MHz, millele järgnevad sageduspaljundusastmed sageduse tõstmiseks 56 MHz või 112 MHz.

Modulaatorlamp 6L7, olles lülitatud rööbiti ostsillaatori võnkeringiga, avaldub võnkeringile muutliku suurusega induktiivsusena kolmandale võrele juhitava madalsagedusliku pinge hetkväärtuste rütmis, mille tulemusena ostsillaatori põhisageduses tekib sagedusmoduleerimine. Induktiivsusliku iseloomu avaldumine modulaatori 6L7 anoodringis seletub järgmisega. Rööbiti võnkeringiga $L_1C_5C_6$ on lülitatud järjestikune vooluring, mille moodustavad kon-

densaator C_7 ja takistus R_8. Kondensaator C_7 asetseb ühtlasi modulaatori juhtvõre ringis. Kuna R_8 takistus on C_8 reaktantsiga võrreldes suur, siis on vooluringi läbiv vool praktiliselt faasis võnkeringi pingega. Samal ajal kondensaatori C_7 klemmidel on pinge voolust 90° võrra faasis taha nihutatud (B33). Modulaatori anoodringi k.-s. vool, asudes võrele rakendatud k.-s. pingega faasis, järelikult hilineb 90° võrra kondensaatorit C_7 läbivast voolust ja ühtlasi 90°



Joon. 175. Sagedusmoduleeritud ostsillaator (6SJ7) koos sagedusmodulaatoriga (6L7). Lülituselementide andmeid 7 MHz ostsillaatorsagedusel: C_1, $C_8 = 250$ pF, C_2, C_3, C_9, C_{11}, $C_{12} = 0{,}01$ μF, C_4, $C_5 = 100$ pF; $C_6 = 150 \ldots 200$ pF, $C_7 = 3 \ldots 30$ pF trimmer, $C_{10} = 8 \ldots 10$ μF; R_1, $R_8 = 0{,}05$ MΩ, $R_2 = 0{,}025$ MΩ, $R_3 = 0{,}1$ MΩ, R_4, $R_7 = 0{,}5$ MΩ, $R_5 = 0{,}03$ MΩ, $R_6 = 300$ Ω, KSP — k.-s. paispool 2,5 mH, L_1 — 7 MHz pool 25 mm alusel, mähise pikkus 25 mm, mähis 1 mm traadist 10 keerdu, haruühend 3. keerult maapoolsest otsast. Ostsillaatorile järgnevad sageduspaljundusastmed. Modulaatorlambi 3. võrele juhitakse madalsageduslik pinge mikrofoni eelvõimendajast, pinge amplituudväärtus 3,5 volti, anoodpinge 250 volti.

võrra ka võnkeringi pingest. Voolu hilinemine pingest 90° võrra iseloomustab induktiivsust ja kuna säärane modulaatorist tekitatav hilinev vool läbib võnkeringi, siis modulaatorlamp ise avaldub võnkeringile lisainduktiivsusena. Hilineva voolu amplituud ja vastavalt sellele ka lisainduktiivsuse väärtus muutub modulaatorlambi võimendusega, mida saab kontrollida kolmandale võrele antava helisagedusliku pinge rütmis. Tulemuseks on võnkeringis genereeritava sageduse sagedusmodulatsioon.

Kui paigutada ümber lülituses C_7 ja R_8 asukohad ning C_7 reaktants valida suurena, võrreldes R_8 takistusega, jõuab modulaatori k.-s. anoodvool 90° võrra ette võnkeringi k.-s. pingest ja modulaatorlamp omandab võnkeringi suhtes mahtuvusliku iseloomu.

Vaadeldud lülitus kujutab endast tüüplülitust, millest on võimalik moodustada rida erinevaid variante. Nii näiteks võib modulaatoris 6L7 lamp asendada mõne teise lambiga, eeldusel, et anoodringis tekiks muutlik faasinihe. Samuti võib muuta ostsillaatori lülitust, eeldusel, et tagataks võimalikult suur sageduse stabiilsus ja et sagedus seega muutuks ainult modulaatori toimel. Käesoleval juhul on kasutatud modulaatorina 6L7 ta kahe juhtvõre tõttu, mis hõlbustab k.-s. ja m.-s. pingete iseseisvat käsitsemist. Teiste lambitüüpide rakendamisel modulaatorina tuleb tarvitusele võtta abinõud k.-s. pääsemise tõkestamiseks madalsagedusringi ja ümberpöördult.

Ostsillaatori sageduse stabiilsuse tõstmiseks on soovitav anoodi toiteks kasutada stabiliseeritud toitealaldajat.

Moduleeritud ostsillaator rakendatakse töösse suhteliselt madalal sagedu-

sel, käesoleval juhul 7 MHz, millega soodustatakse paremat sageduse stabiliseerimist. Ostsillaatorile järgnevad sageduse paljundusastmed, mille abil sagedus tõstetakse tegelikule töösagedusele. Ühtlasi tõuseb sageduse paljundamisega koos ka sagedusdeviatsioon. Kui 7 MHz juures sagedusdeviatsioon võrdub 1000 Hz, siis neljakordse sageduse kahekordistamise puhul 112 MHz-ni tõuseb sagedusdeviatsioon $2^4 = 16$ korda, s. o. 16 000 Hz.

Modulaatori tundlikkus, s. o. sageduse muutuse suhe võrepinge muutusesse tõuseb C_7 vähendamisega, R_8 püsivaks jäädes, ning võnkeringi L/C suhte suurendamisega. Kuna aga kandevsageduse stabiilsus väheneb L/C suhte suurenemisega, tuleb tõsta C väärtust selliselt, et oleks tagatud vajalik sagedusdeviatsioon koos moduleerimise lineaarsusega. Käesoleval juhul 7 MHz põhisagedusel toimides tagatakse 1000 Hz lineaarne sagedusdeviatsioon, s. o. 2000 Hz kanali laius, ostsillaatori võnkeringi mahtuvusega $C_5+C_6=200\ldots$ $\ldots 250$ pF.

Modulaatori eelvõimendaja kujuneb lihtsaks madalsagedusvõimendajaks, mille väljundpingest kuni 10 ... 15 volti jätkub täielikult suurte modulaatorlampide ergutamiseks. Moduleeritud ostsillaatorile järgnevad sageduspaljunduse ja võimsuse võimendusastmed koostatakse vastavalt üldistele põhimõtetele. Võimendusastmed tuleb hoolikalt neutraliseerida, et ei tekiks võimalikke faasinihkeid, mis kutsuvad esile moonutusi.

Sagedusmoduleeritud saatjas on oluline kontrollida lineaarsust ja sagedusdeviatsiooni. Käsiteldud modulaatori anoodvool peab jääma konstantseks seni, kuni lamp toimib esimese ja kolmanda võre tunnusjoonte sirgjoonelises osas. Anoodvoolu kõikumised, mis tekivad m.-s. pinge liigsel tõstmisel, osutavad ebalineaarsusele. Ebalineaarsuse tagajärjel kujunevad saate moonutused on lubatavad kuni 5% anoodvoolu kõikumise piirides. Ebalineaarsusega kaasnevat sageduse nihkumist saab kontrollida selektiivse vastuvõtjaga, kui saatjat moduleerida püsiva sagedusega madalsageduse pingega. Häälestatuna saatja kandevlainele ja tuikeostsillaatori[1] sisselülitamisel ei tohi vastuvõtjas tuikesageduse kõrgus muutuda moduleerimispinge muutmisel. Igal juhul tuleb moduleerimispinge hoida sellistes piirides, mis ei kutsu esile kandevsageduse muutumist. Pole oluline, et moduleerimise lineaarsuse kontrollimist sooritataks töösagedusel, samu tulemusi saavutatakse vastuvõtja häälestamisel ostsillaatorsagedusele.

Sagedusdeviatsiooni saab kontrollida samuti selektiivse vastuvõtjaga, kusjuures on ühtlasi tarvilik gradueeritud ja pidevalt muudetava sagedusega m.-s. generaator. Vastuvõtja häälestatakse, nagu eelmiselgi katsel, sagedusmoduleeritud saatja kandevsagedusele, kusjuures tuikeostsillaator on sisse lülitatud. Seejärel lülitada modulaatorisse m.-s. generaatorilt moduleerimispinge, hoides pinge väärtuse lineaarsuse piirides. Moduleerimissagedust madalaimast sagedusest pidevalt tõstes hakkab vastuvõtjas tuikesignaali tugevus langema ja kaob täielikult teatud sageduse juures, misjärel sageduse pideval tõstmisel muutub uuesti tugevaks. Madalsagedus, millel tuikesignaal kaob, korrutatuna 2,4-ga võrdub antud moduleerimistaseme juures sagedusdeviatsiooniga. Kui näiteks tuikesignaal kadus sagedusel 800 Hz, siis sagedusdeviatsioon

[1] Lähemalt tuikesageduse ja tuikeostsillaatori kohta jagu G p. 8, 10 ja jagu K p. 4.

võrdub 800 . 2,4 = 1920 Hz. Töösageduse, s. o. väljundsageduse deviatsioon loomulikult suureneb vastavalt sageduspaljundusele. Kui käesoleval juhul ostsillaatorsagedus võrdus 7 MHz, siis väljundsagedusel 112 MHz kujuneb sagedusdeviatsioon 1920 . 16 = 30,72 kHz.

Õigesti toimiva sagedusmoduleeritud saatja väljundis ei tohi sisalduda amplituudmodulatsiooni. Seda saab kindlaks teha antenni ampermeetriga, mille osut peab püsima paigal täielikul moduleerimisel; väiksemgi osuti kõikumine osutab amplituudi moduleerimisele.

Käsiteldud sagedusmoduleerimisviis, milles moduleerimine toimub vahetult ostsillaatoris, ei evi kõrget sageduskonstantsust. Seepärast kasutatakse eriti kõrgekvaliteedilisteks ülekanneteks ettenähtud saatjates faasimuundus-sagedusmoduleerimise meetodit, milles kandevsagedus stabiliseeritakse kvartskristalliga juhitavas ostsillaatoris. Stabiliseeritud kandevsageduse moduleerimine toimub faasmodulatsiooni põhimõttel, mis seejärel muundatakse sagedusmodulatsiooniks.

Faas- ja sagedusmodulatsiooni meetodid erinevad teineteisest põhimõtteliselt sellega, et sagedusmodulatsiooni puhul külgsageduste amplituudid tõusva modulatsioonisagedusega vähenevad, kuid faasmodulatsiooni puhul on külgsageduste amplituudid sõltumatud modulatsioonisagedusest (püsiva faasideviatsiooni juures). Teiste sõnadega, vahe puhtakujulise sagedus- ja faasmodulatsiooni vahel seisab selles, et sagedusmodulatsiooni juures sagedusdeviatsioon kujutab endast modulatsioonisignaali amplituudi funktsiooni, kuid faasmodulatsiooni juures sagedusdeviatsioon on ühtlasi ka modulatsioonisignaali sageduse funktsiooniks.

Kui modulatsioonisignaali eelvõimendajasse asetada sagedusega muutuv R ja C lüli, on võimalik saavutada seda, et amplituudid suureneva sagedusega vähenevad pöördvõrdeliselt sagedusega, mille tulemusena eelvõimendaja väljund kujuneb sagedusest sõltumatuks. Sääraselt faasmoduleeritud võnkumine ei erine enam millegagi sagedusmoduleeritud võnkumisest. Sellise modulatsiooni muundusprotsessi eeltingimuseks on, et faasmoduleerimisel faasdeviatsioon piirataks madalana, et hoiduda kaasneva amplituudmodulatsiooni tekkimisest. Loomulikult on sellistes tingimustes faasimuundus-meetodiga saavutatav sagedusdeviatsioon väga väike, keskmiselt 15 ... 20 Hz, mida saab suurendada faasmoduleeritud algsageduse suurearvulise paljundamise teel. Ülikõrgsageduslikus sagedusastmikus töötamiseks tavaliselt valitaksegi alg-ostsilleerimissagedus suhteliselt madalana, keskmiselt 200 kHz, kusjuures 12 ... 13 sageduse kahekordistusastmega saavutatakse vajalik sagedusdeviatsioon kuni 100 kHz.

Faasimuundus-sagedusmoduleerimise meetodit rakendatakse praktiliselt kõigis üliskõrgsageduslikus astmikus töötavates ringhäälingu saatjates, sest ta võimaldab teostada väga kõrgekvaliteedilist ülekannet, võrreldes teiste moduleerimismeetoditega. Helilisel ülekandel saavutatavaiks paremusteks on, et vastuvõtupunktis saade on praktiliselt müravaba, ülekantavate helisageduste astmik on ulatuslikum, haarates kuuldesageduslikku spektrit terviklikult. Mürade vähenemise ja modulatsiooniteguri mõiste puudumise tagajärjel on helidünaamika, s. o. tugevate ja nõrkade helitugevuste ulatuse loomulik ülekanne piiramatu. Kuid tingituna laiemast sageduskanalist on sagedusmoduleeritud saadete rakendamine piiratud ülikõrgete ja veelgi kõrgemate sagedus-

astmikega, mis sõltuvalt seesuguste lainete levimisomadustest annavad saadetele ainult kohapealse tähtsuse.

Käsiteldud kolme moduleerimis-põhiviisi lähem vaatlus võimaldab ennustada, et tulevikus kohapealseks helileviks, mis haarab enda alla nii ringhäälingut kui ka televisiooni helisaadet, hakatakse kasutama peamiselt sagedusmodulatsiooni. Amplituudmoduleeritud saatjate arv selle tagajärjel väheneb, mis tähendab väiksemat ruumi ülekoormamist ning saatjate otstarbekamat paigutamist heliülekande märgatava tõusu suunas. Järelejäävail amplituudmoduleeritud saatjail lasub siis ainult üldtähtsuslike kauglevi ülesannete teostamine.

Samal ajal leiab sagedusmodulatsioon kaugelt laiemat rakendamist muudeks tehnilisteks ülesanneteks, kus teised moduleerimismeetodid annavad halvemaid tulemusi või pole rakendamiseks otstarbekad.

IV peatükk.

TASTIMINE.

12. Tastimise põhimõte ja iseloomustus.

Tastimiseks nimetatakse saatja väljundvõimsuse muutmist nullisest väärtusest normaalväärtuseni tastimissageduse rütmis. Harilikes telegraafisaatjais teostatakse tastimist võtme abil morsemärkide rütmis, kusjuures tastimissagedus sõltub operaatori saatekiirusest. Keskmiste saatekiiruste juures kujuneb tastimissagedus keskmiselt 20 Hz. Seega tastimine kujutab kandevlaine moduleerimist 100-protsendiliselt keskmise moduleerimissagedusega 20 Hz. Kuigi füüsikaline protsess tastimisel sarnaneb tavalise amplituudmoduleerimisega[1], erinevad tastimissignaalid moduleeritavaist helisageduslikest signaalidest oma kujult: tastimissignaalid koosnevad püstkülikulistest voolupulssidest, helisageduslikud moduleerimissignaalid aga koosnevad siinuselistest võnkumistest ja nende harmoonilistest. Teatavasti sisaldavad püstküliku-kujulised signaalid endas lõpmatut arvu harmoonilisi sagedusi, millest tingituna tastimissignaali algul ja lõpul tekib ka moduleeritavas kandevlaines peale tastimise algsageduse (näiteks 20 Hz) lõpmatu arv harmoonilisi sagedusi. Seega moduleerimisel puhtakujulise püstküliku-taolise signaaliga kattuks harmoonilistest sagedustest kogu kasutatav raadiosageduste astmik. Samal ajal 20 Hz siinuseline moduleerimissagedus tekitaks kandevlaines ainult kaks algsagedusest 20 Hz kaugusel asuvat külgsagedust. Saatja võnkeringide elektrilise inertsi tõttu kõrgemad harmoonilised sagedused tegelikult hävivad, kuid hoolimata sellest kujunevad kandevlaine külgribad siiski väga laiadeks, mis häirib märgatavalt teiste, isegi kaugemail sageduskanalitel toimivate saatjate tööd.

Säärane kõrge harmooniliste sageduste sisaldus telegraafisaates avaldub väga lühiajaliste voolupulsside näol teistes saadetes *võtmehäiretena*.

[1] Põhimõtteliselt võib morsemärkide saateks kasutada mitte ainult amplituudmoduleerimise, vaid samahästi ka faas- või sagedusmoduleerimise menetlust.

Arusaadavalt tuleb võtmehäireid kui kahjulikku nähtust piirata miinimumini, mille loogiliseks lahenduseks on signaali kuju ümardamine, s. o. lähendamine siinuskõverale, sobivate filtrite lülitamise teel. Tegelikult sellisele signaali kuju muutmisele paneb piiri signaali loomulikkuse vähenemine, mis võib muuta signaali eriti suurte saatekiiruste puhul kui mitte arusaamatuks, siis vähemalt raskesti loetavaks. Eraldatakse teravaid ja lamedaid morsesignaale, millest esimesed on filtreerimata ja sisaldavad suurel määral harmoonilisi, teised — tugevasti filtreeritud ja seega vaid vähese harmooniliste sisaldusega. Teravad signaalid on kergesti loetavad, kuid lamedate signaalide vastuvõtt nõuab operaatorilt suurt pingutust, eriti suure kiirusega ja nõrkade signaalide puhul. Seepärast piirdutakse tastimissignaali keskmise filtreerimisega, mis ei tekita nimetamisväärseid häireid signaalide vastuvõtul teistes sageduskanalites ja ühtlasi ei halva oma signaalide loetavust vastuvõtupunktis. Kui saatmine toimub erinevail saatekiirusil, on soovitav, et tastimissignaali filtreerimine oleks reguleeritav.

Peale selle nõutakse telegraafisaatjatelt, et tastimisel ei tekiks saatesageduse muutumist. Saatesageduse muutumine võtme allavajutamise ja tõstmise hetkedel võib põhjustada nõrka sageduse triivimist, mis vähendab signaalide loetavust. Eriti oluline on saatesageduse stabiilsuse säilitamine siis, kui raadiojaamas saatja ja vastuvõtja toimivad pool-duplekstöö põhimõttel. Pool-duplekstööks nimetatakse raadiojaama selliselt kujundatud tehnilist sisustust, mille juures vastuvõtmine on võimalik mitte ainult saadete järjekordsetel vaheaegadel, vaid ka saatmise ajal üksikute morsemärkide pausidel. Sellega luuakse võimalus silmapilkselt juhtida tähelepanu vastasjaamale, kui näiteks vastuvõttes tekkisid vead, vastuvõttu segasid häired jne., mis võimaldab märgatavalt tõsta töö kiirust ja kindlust. Tuleb tõsiselt soovitada igas raadiojaamas sisustuse korraldamist pool-duplekstööks. Pool-duplekstööd sooritatakse tavaliselt eraldi saate- ja vastuvõtuantennidel. Tarbe korral lühistatakse automaatselt võtmerelee abil antennisisend vastuvõtjas võtme allavajutamise kestel. Peale pool-duplekstöö eraldatakse veel duplekstööd, mida teostatakse kahe vastasjaama vahel kahel teineteisest erineval saatesagedusel. Sel juhul kasutatakse kas ühist või saatjale ja vastuvõtjale eraldi kahte antenni. Vastuvõtja plokeerimisohu vältimiseks oma saatja poolt paigutatakse vastuvõtja sisendisse oma saatesagedusele häälestatud terava eraldusvõimega ribatõkestusfilter.

Saatesageduse triivimise põhjuseks tastimisel on toitepingete kõikumine tingituna koormuse vahelduvast muutumisest. Võiks arvata, et koormuste muutumine väheneb, kui tastimist sooritada väikseima võimsusega, s. o. ostsillaatorastmes. Pealegi lihtsustub ostsillaatori tastimisega ühtlasi ka pool-duplekstöö. Kuid vaatamata sellele pole ostsillaatori tastimine siiski soovitav suure sageduse triivimise tõttu. Normaalseks tastimiskohaks saatjas on kas üks vahepealne või lõppvõimendusaste. Arvestades kõrgemaid toitepingeid ja suuremaid voolusid, teostatakse võimendusastmete tastimine enamikel juhtudel releede kaudu. Sellega mitte üksi säästetakse võtmekontakte, vaid mis on veelgi tähtsam, kõrvaldatakse operaatori töölaualt kõrgepinge oht.

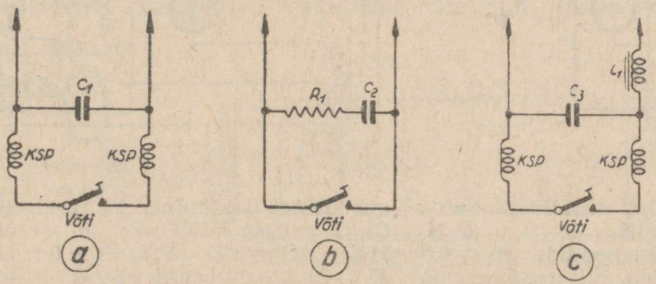
Põhimõtteliselt teostatakse tastimist kahel viisil, kas toitevõimsuse vahetu lülitamise-katkestamise või võimenduslampide alalise võre-eelpinge muutmise teel. Kuid viimase tastimisviisiga kaasneb tavaliselt suuremal või väiksemal

määral järellaine ilmumine, mis tekib sel põhjusel, et tastimispausidel lülitatava alalise eelpinge väärtus pole küllaldane võimendusastmete anoodvoolu ja ühtlasi lõppastme väljundi täielikuks allaviimiseks — lukustamiseks. Tulemuseks on, et signaal väljub antennist ruumi ka signaalide pausidel, mis avaldub vastuvõtupunktis pigem signaali nõrgenemisena ja tugevnemisena kui tekkimisena ja katkemisena. Säärane järellaineline saade võib kujuneda loetamatuks siis, kui järellaine on suhteliselt tugev ja kui laine levimisomadused on eriti soodsad. Peale selle võib järellaine tekkida veel tastitava astme või sellele järgnevate võimendusastmete puuduliku neutraliseerimise tagajärjel ja kõrvaliste sidestuste kaudu, mispuhul saatevõimsus kandub antenni väljaspool võtmekontrolli. Kohaseks eelpingega tastimiseks tuleb pidada säärast tastimisrežiimi, millisel lõpplambi anoodvool ei katke täielikult signaalipausidel, vaid näitab jääki umbes 5% normaalväärtusest. Sel teel kaob praktiliselt järellaine, kuid ühtlasi kaovad ka võtmehäired.

13. Tastimislülitusi.

a) **Sädemefiltrid.** Voolu katkestamisel tekib toitevooluringi induktiivsusest tingituna võtmekontaktide vahel alati säde ja see põhjustab vooluringis võnkumise, mis kutsub esile väljundi moduleerimise või kiirgub vahetult ruumi. Esimesel juhul on saatesignaalid häiritud korrespondeerivas vastuvõtjas, teisel juhul avalduvad häired iseloomustavate võtmeplaksudena naabruse vastuvõtjates kogu raadiosageduslikul astmikul. Sama nähtus esineb ka releekontaktides voolu katkestamise hetkedel. Lisaks tekkivaile häireile korrodeeruvad kontaktid sädeme mõjul, mis omakorda soodustab veelgi sädeme tekkimist, eriti kestust. Selle pahe vältimiseks lülitatakse võtme või relee vooluringi võimalikult kontaktide lähedale madalläbivus- või summutusfilter (joon. 176 *a* ja *b*). Filtreerimisomadustelt on madalläbivusfilter võimekam, kuigi rahuldavaid tulemusi saavutatakse ka summutusfiltriga, eriti väikeste tastimisvoolude puhul.

b) **Viivitusfiltrid.** Tastimisvoolu teravikest tekitatavate häirete mahasurumiseks, s. o. teravike ümardamiseks, kasutatakse viivitusfiltreid, mis kujutavad endist samuti madalläbivusfiltrit, kuid on arvestatud madalale tas-

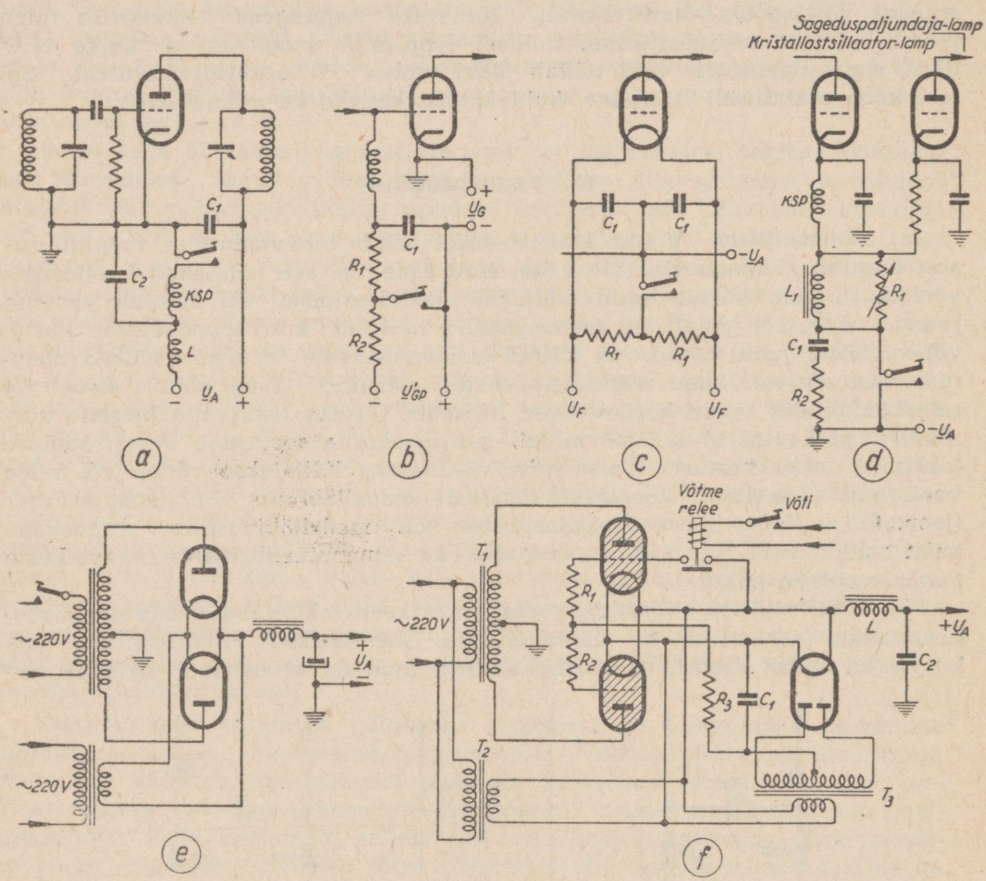


Joon. 176. Sädeme- ja viivitusfiltreid: *a* — sädemefilter, osad: KSP = 2,5 ... 100 mH, $C_1 = 0{,}001 \ldots 0{,}1$ μF; *b* — summutusfilter, osad: $R_1 = 200 \ldots 1000$ Ω, $C_2 = 0{,}05 \ldots 0{,}5$ μF; *c* — viivitusfilter koos sädemefiltriga, osad: KSP = 2,5 ... 100 mH, $C_3 = 0{,}05 \ldots 0{,}5$ μF, $L_1 = 1 \ldots 30$ H.

timissagedusele. Viivitusfiltri LC väärtused sõltuvad tastitava voolu tugevusest ja kontaktidevahelisest pingest. Kui tastimisvool on nõrk, kuid pinge kõrge, kujuneb L suureks, C väikeseks, näiteks $L = 30$ H, $C = 0{,}05$ μF, kuid tugeva voolu ja madala pinge puhul muutuvad LC väärtused vastupidisteks, näiteks $L = 1$ H, $C = 0{,}5$ μF.

Joonisel 176 *c* on kujutatud viivitusfilter L_1 C_3 koos sädemefiltriga.

Väga väikeste voolude tastimisel, eeskätt võre-eelpingete tastimise meetodil, annab küllaldasi tulemusi summutusfilter, mida eespool on käsiteldud sädemefiltrina (joon. 176 *b*).



Joon. 177. Tastimislülitusi: *a* — anoodringi tastimine, lülituselemendid: KSP = = 2,5 ... 100 mH, $L = 1 \ldots 30$ H, C_1, $C_2 = 0{,}001 \ldots 0{,}1$ μF; *b* — võreringi tastimine, lülituselemendid: $R_1 = 0{,}01$ MΩ, $R_2 = 0{,}05$ MΩ, $C_1 = 0{,}1 \ldots 1$ μF; *c* — katoodtastimine, lülituselemendid: $R_1 = 25$ Ω, $C_1 = 0{,}01$ μF; *d* — katoodtastimine üheaegselt 1. ja 2. astmes, lülituselemendid: $L_1 = 5$ H, $R_1 = 0{,}01$ MΩ, $R_2 = 400$ Ω, $C_1 = 0{,}5$ μF; *e* — toitealaldaja tastimine; *f* — anoodpinge tastimine tiratronõgvendajatega, lülituselemendid: R_1, $R_2 = 0{,}025$ MΩ, $R_3 = 0{,}05$ MΩ, $C_1 = 0{,}1 \ldots 0{,}5$ μF, trafo T_3 toitub trafost T_2 madalpinge-mähise kaudu.

c) Anoodringi tastimine. Anoodringi tastimist (joon. 177 *a*) on võimalik läbi viia igas saatja astmes. Samuti on võimalik tastimist teostada ka varivõreringis. Tastimiskohaks valitakse toitepinge-allika negatiivne klemm, mis tavaliselt on maandatud. Kuna võti asub signaali pausidel kõrgepinge all, tuleb pidada soovitavaks teostada tastimist relee kaudu, et kaitsta operaatorit ähvardavast kõrgepinge ohust.

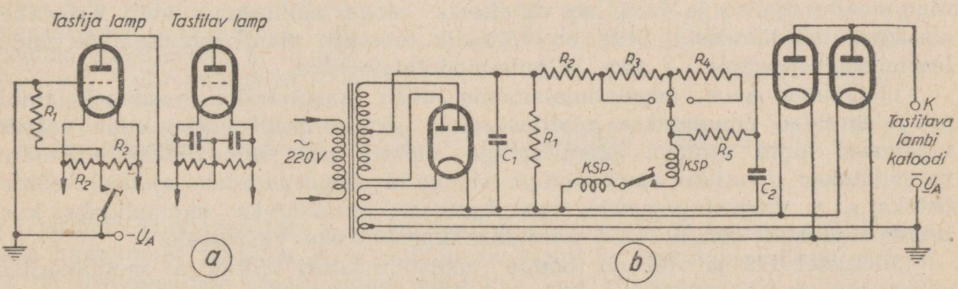
d) Võre-eelpinge tastimine. Võre-eelpinge tastimist rakendatakse nii juhtvõre- kui ka summutusvõreringis. Selleks suurendatakse võre-eelpinget seevõrra, et ta väärtus ületaks võre ergutuspinge amplituudi, mille juures tastitava astme anoodvool langeb nullile. Võtmekontaktide lühistamisel liigne võre-eelpinge vähendatakse normaalväärtusele. Võtmeringi lülitatavate filtritega, mis võre-eelpinge tastimisel koosnevad harilikult R_1 C_1, välditakse võtmehäirete tekkimine (lülitus *b*).

Sama lülitus on kõlblik ka summutusvõre tastimiseks, kui kasutatavas võimsuspentoodis summutusvõre on eraldi välja toodud ja kui ta mõju on küllaldane anoodvoolu täielikuks allaviimiseks. Anoodvoolu allaviimiseks vajatav lisaeelpinge võetakse harilikult pingejagaja kaudu eelpinge toitealaldajast, mille kõrgendatud väärtused tuleb jaama projekteerimisel ette näha.

e) Katoodtastimine. Katoodtastimisel katkestatakse üheaegselt nii anood kui ka võrering (lülitus *c*). Lülituses *d* toimub tastimine üheaegselt ostsillaatori ja sageduspaljundaja (või võimendaja) astmes. Mõlemal juhul on korralike filtrite lülitamine tarvilik.

f) Toitevoolu tastimine. Toitevoolu tastimisega elimineeritakse võtmehäired täielikult, sest alaldaja filtrid tekitavad tastimisvoolu ümardamise. Säärase tastimisviisi juures tuleb alaldaja filtri suurusi isegi piirata, et signaalide viivitus ei kujuneks liiga suureks. Lülituses *e* on toodud lihtne toitealaldaja tastimine toitevooluringis, lülituses *f* toimub tastimine tiratronide abil. Viimasel juhul on tiratronide eelpingestamiseks vajalik eraldi alaldaja, mida toidetakse eraldi trafost (T_3). Vaadeldavas lülituses toitub eelpinge alaldaja tiratronide küttetrafost (T_2). Sellisel juhul on võtmerelee kasutamine obligatoorne, sest tastimiskontaktid asetsevad kõrge pinge all. Lülitus on eriti otstarbekas suurema võimsusega saatja lõppastme tastimisel.

g) Tastimine elektronlambiga. Tastimine elektronlambiga on täiuslikemaid tastimisviise: võtmehäired välditakse täielikult, tastimine toimub ohu-



Joon. 178. Tastimine elektronlambiga: *a* — lihtlülitus, osad: $R_1 = 0{,}25$ MΩ, $R_2 = 25$ Ω; *b* — lülitus alaldajaga, osad: $R_1, R_5 = 0{,}5$ MΩ, $R_2, R_3, R_4 = 5$ MΩ, $C_1 = 2$ μF, $C_2 = 0{,}003$ μF, toitetrafo sekundaarpinge 2×325 V.

tult maandatud võtmega madala pinge all. Sellisel tastimisviisil lülitatakse tastitava lambi katoodringi madala sisetakistusega ja suure anoodvooluga triood või trioodid (näiteks VO-104, 6A3), mille üldine anoodvoolu tugevus peab vastama tastitava lõppastme anoodvoolule. Ainsaks olulisemaks puuduseks on, et anoodi toitepinge langeb tastivates lampides tekkiva pingelangu võrra (ca 90 ... 100 volti).

Joonisel 178 *a* toodud lülituses katkestatakse tastiva lambi katoodring katoodtastimise põhimõttel, lülituses *b* kasutatakse tastivaile lampidele eraldi võre-eelpinge alaldajat, mispuhul tastimine toimub tastivate lampide võres. Sama lülitus võimaldab ühtlasi ümberlüliti abil muuta tastimissignaalide viivitust vastavalt saatekiirusele.

V peatükk.

AEG- JA PULSSMODULATSIOON.

14. Aegmodulatsioon.

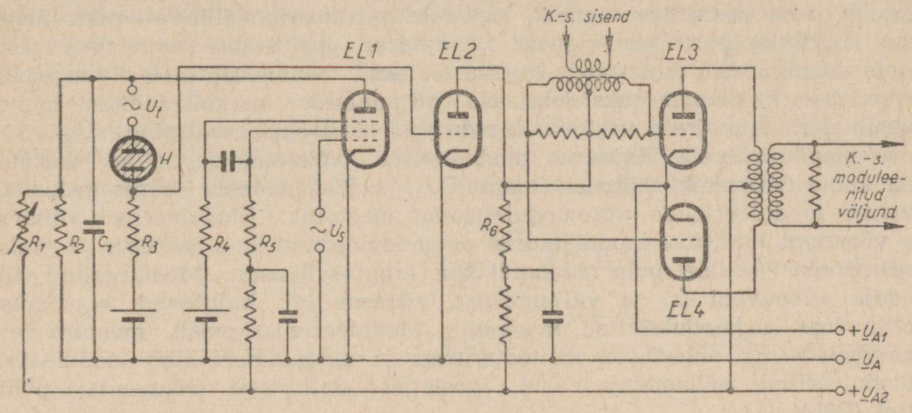
Moduleerimisprotsessi tehnilise täitmise järgi eraldatakse kahte moduleerimisviisi: aeg- ja pulssmodulatsiooni. Nende moduleerimisviiside arenemiskäik on kulgenud koos raadio uusimate rakendusaladega, nagu pilt-telegraaf, televisioon, radiolokatsioon, mille lahendamine tavaliste, helisaadetel kasutatavate moduleerimisviisidega pole teostatav.

Kuigi nõuded, mis esitatakse raadio saatjale ja vastuvõtjale helisaadete vahendamisel, on küllaltki kõrged, pole nad ometi võrreldavad nõuetega, mis raadioseadmeile pannakse eelmainitud moodsamate ülesannete täitmisel. Teatavasti pole inimkõrv nõudlik ülekande täiuslikkuse suhtes: arusaadavaks kõne ülekandeks piisab sagedusspektrist 200 ... 3000 Hz, muusikalist ülekannet sagedustel 60 ... 6000 Hz tuleb pidada suhteliselt heaks, ülekandes tekkivad faasimoonutused pole olulised, kuna inimkõrv neid ei taju, olles nendega harjunud kõikjal akustiliste vastukajadena. Pildi, eriti aga liikuva kujutise tõetruul ülekandmisel ja esemete kauguse ning asukoha määramisel ulatuvad moduleerimissagedused 2 ... 3 MHz, kusjuures moduleerimissignaalide algkuju ning nende ajalise ja faasilise vahekorra range säilitamine evib ülekandes esmajärgulist tähtsust. Seda on võimalik teostada ainult moodsamate moduleerimismenetlustega — aeg- ja pulssmodulatsiooniga.

Lihtsaimas neist, aegmodulatsioonis, mida kasutatakse peamiselt ainult pilt-telegraafis, muudetakse pilditastimisel järjekordsed piltpunktide valgustugevused algul vastava amplituudiga elektrivoolu signaalideks. Seejärel muundatakse muutliku amplituudiga signaalid amplituudidele ajaliselt võrdelisteks, s. o. valgustugevusele oma kestuselt vastavateks signaalideks, kusjuures signaalide amplituudid piiratakse konstantsele väärtusele.

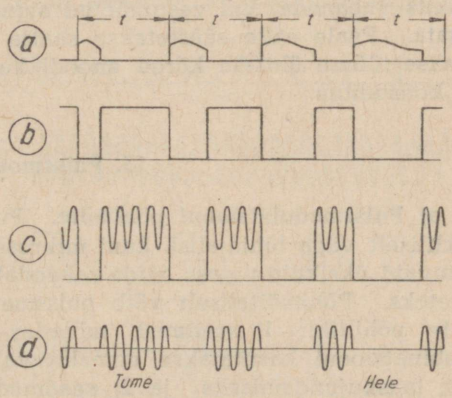
Joonistel 179 ja 180 on toodud aegmodulaatori lülitus ja moduleeritud signaalide vastav kujutus. Pildi tastimissignaalide amplituudide muundamine vastavateks aegsignaalideks toimub lülituse esimeses astmes. Kondensaator C_1 laetakse anoodpinge toiteallikast U_{A2} takistuse R_1 kaudu. Takis-

tuse R_1 väärtuse muutmisega reguleeritakse laadimisrežiimi. Kondensaatorile C_1 on lülitatud rööbiti kaks kallutuspinge generaatorit: 1) huumlamp H, millele rakendatakse järjestikku pildi tastimispinge U_t koos takistiga R_3 ja 2) pentood EL1 takistite R_4, R_5 ja kondensaatoriga C_2. Takistite R_4, R_5 ja



Joon. 179. Aegmodulaatori lülitus. Koosneb kolmest astmest: muundusastmest (EL1), milles signaalide amplituudid muundatakse vastavateks aegsignaalideks, modulaatorist (EL2) ja moduleeritud võimendajast (EL3, EL4).

kondensaatori C_2 komplekt lülitatuna pentoodi teisele ja kolmandale võrele genereerib konstantse sagedusega kallutuspinge, mille taktis muutub pentoodi anoodvool ja ühtlasi kondensaatori C_1 laadimispinge. Sama kondensaatori laadimispingega liitub pildi tastimispinge U_t. Summaarse laadimispinge arenemisel huumlambi süütepinge väärtuseni muutub huumlamp juhtivaks. Sel-



Joon. 180. Aegmoduleeritud signaalide kujutus: a — aegsignaalideks muundatud signaalide amplituudid, b — modulaatori väljundsignaalid, c — moduleeritud võimendaja anoodvool, d — aegmoduleeritud kõrgsageduslikud signaalid.

lele järgneb kondensaatori C_1 lahendamine huumlambi ja takistuse R_3 kaudu. Kuna huumlambi juhtivus, s. o. süütamise algus ja kustumine sõltub pingest, siis on tastimispinge amplituudiga võrdeline nii kondensaatori lahendamise kui ka R_3 klemmidel huumlampi läbivast voolust tekkiva pingelangu kestus: suurema amplituudi puhul on lahendamise kestus pikem, väiksema amplituudi

puhul lühem (joon. 180 *a*). Takistuses R_3 arenev pinge (*a*) kantakse üle modulaatorlambi EL2 võrele, mille anoodringis R_6 klemmidel tekkiv pinge on võrepingest (b) 180° võrra faasis nihutatud. Seega väikese amplituudiga pildi tumeda tastimispunkti signaalile vastab modulaatori anoodis lühike negatiivne ja pikk positiivne signaal, heledale tastimissignaalile — pikk negatiivne ja lühike positiivne signaal. Seejuures positiivsete signaalide resp. pingete amplituudid muutuvad konstantseteks. Muundusprotsessi sageduse konstantsuse kindlustamiseks juhitakse piltpunktide tastimisseadisest muunduslambi EL1 tüürvõrele vastava sagedusega sünkroniseerimispinge U_s.

Võimendusastmele järgnevas moduleeritud võimendajas, milles kasutatakse kahte vastastakt-lülituses lampi EL3 ja EL4, toimub kõrgsagedusliku võimsuse moduleerimine võremodulatsiooni meetodil. Moduleeritud võimendaja võreringi juhitakse modulaatorist aegmoduleeritud m.-s. võimsus ja eraldi ostsillaatorist (joonisel pole näidatud) k.-s. ergutusvõimsus. Moduleeritud võimendaja anoodvool (*c*) ja väljundringi võimsus (*d*) kujutavad konstantse amplituudiga aegmoduleeritud signaali. Moduleerimissignaali moonutusteta ülekandmiseks on sidestused muundusastme ja modulaatori ning modulaatori ja moduleeritud võimendaja vahel teostatud alalispinge võimendaja põhimõttel (D8b).

Vaadeldud lülitus kujutab vaid ühte aegmoduleerimise võimalikku lahendust. Igal juhul on aegmoduleerimisel algsignaalide amplituudi muundamiseks vastavaks aegsignaaliks tarvilik tekitada püsiva sagedusega kallutuspinget, millel võib olla kas saehamba, kolmnurga või isegi siinuseline kuju.

Aegmodulatsiooni paremuseks signaalide ülekandmisel on tunduv häirete vähenemine saatja ja vastuvõtja vahelises ülekandelülis (ruumis), milliseid häireid muidu põhjustavad tööstuslikud ja atmosfäärilised häired ning laine levimisega kaasnevad feedingud. Kuna kõik loeteldud häireliigid kannavad ühist, pigem amplituudilist laadi, siis on võrdlemisi hõlpus neist vastuvõtupunktis vabaneda, kui vastuvõetud signaalide amplituudide ebaühtlused maha lõigata. Peale selle säästetakse saatja väljundvõimsust ning lõppaste rakendatakse töösse ühtlase kõrge anoodi kasuteguriga, kuna signaalide amplituud on konstantne.

15. Pulssmodulatsioon.

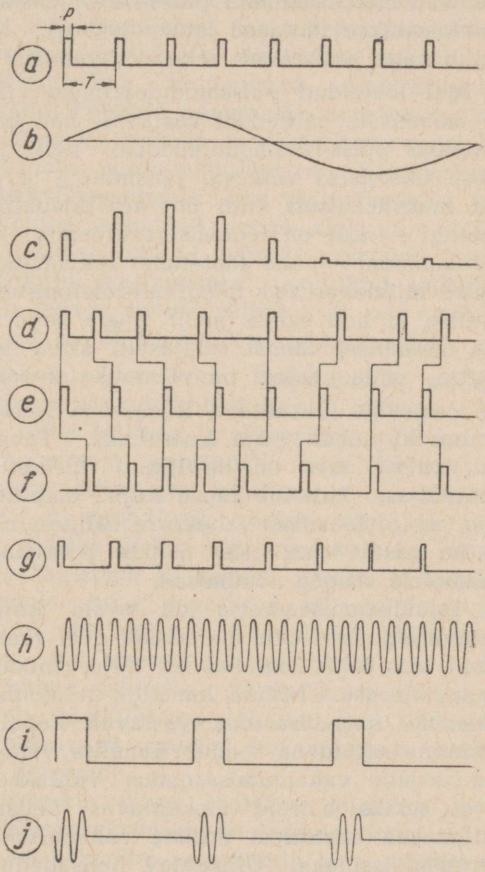
a) Pulssmodulatsiooni põhimõte. Pulssmoduleerimisel saadab saatja välja tsükliliselt väga lühiajalisi, kuni mikrosekunditesse (s. o. 1/1 000 000 sekundit) ulatuvaid üksikuid pulsse, mida rakendatakse väga paljudeks erinevateks ülesanneteks. Põhimõtteliselt võib pulssmenetlusel toimivaid seadmeid jaotada kahte põhiliiki: 1) seadmed, milledes saatja poolt väljasaadetud pulsside kombinatsiooni kasutatakse eemalasuvais vastuvõtupunktides tajutava kompleksi taaskujundamiseks, ja 2) seadmed, milledes saatja poolt väljasaadetud pulsse kasutatakse vastuvõtupunktis koos kolmandatelt esemetelt tagasipeegeldunud pulssidega nende esemete asukoha või kauguse määramiseks, viimasel juhul on vastuvõtupunkt harilikult saatja vahetus läheduses.

Esimest liiki põhimõtet kasutatakse pilditelegraafis, televisioonis, mitme kanaliga telefoniühenduses, lennukite navigeerimis- ja pimesilennu- ning maandumisseadmeis jne. Teist liiki põhimõtte rakendamisega on välja aren-

datud täiesti omaette laialdane raadiotehnika ala — raadiolokatsioon, mis sai alguse ioniseeritud õhukihtide kõrguse määramisest, kuid mis tänapäeval haarab loendamatuid kasutusalasid.

Pulssmodulatsioon, samuti kui aegmodulatsioongi, ei kujuta endast iseseisvat modulatsioonimeetodit, vaid teiste põhimeetodite tehnilist rakendamist pulsside väljasaatmiseks. Järelikult võib pulsside väljasaatmist saatjast teostada kas amplituud-, faas- või sagedusmoduleerimise menetlusel.

Vastavalt sellele eritellakse järgmisi menetlusi: **pulss-amplituudmodulatsiooni**, **pulss-faasmodulatsiooni**, **pulss-sagedusmodulatsiooni** ning lisaks neile aegmodulatsioonile sarnanevat **pulss-laiusmodulatsiooni**. Seejuures pulssmoduleerimist võidakse



Joon. 181. Pulssmodulatsiooni liikide graafiline kujutus: *a* — pulsid, *b* — moduleerimissignaal, *c* — pulss-amplituudmodulatsioon, *d* — pulss-faasmodulatsioon, *e* — moduleerimata pulsid, *f* — pulss-sagedusmodulatsioon, *g* — pulss-laiusmodulatsioon, *h* — kandevlaine, *i* — pulsid, *j* — pulssmoduleeritud kandevlaine.

teostada kahel erineval viisil: kas saadetakse välja rida kindlas järjestuses üksteisele järgnevaid terviklikke **voolupulsse** või saadetakse välja selliste voolupulssidena kandevlaine vastavad lõigud **lainepulssidena**.

Joonisel 181 on need pulssmodulatsiooni viisid graafiliselt kujutatud. Diagrammis *a* on näidatud voolu- või pingepulsside kordumine horisontaalsel ajateljel. Pulsi kestus *p* pulsiperioodi *T* suhtes on harilikult väga lühike.

Nende suhe (p/T) võrdub keskmiselt 1 : 100, kuid võib olla ka suurem või väiksem. Pulsside arvu sekundis nimetatakse pulsside kordumissageduseks ehk pulss-sageduseks. Analoogiliselt põhimoduleerimisviisidele (joon. 174) kujuneb pulssmoduleerimise menetlus joonisel 181 *c*, *d* ja *f* vastavalt pulss-amplituud-, pulss-faas ja pulss-sagedusmodulatsiooniks. Erandi moodustab pulss-laiusmodulatsioon (joon. 181 *g*), milles moduleerimissignaal moduleeritakse pulsside laiusena ehk kestusena.

Pulssmodulatsiooni menetlusel võidakse saatmiseks kasutada niihästi terviklikke voolupulsse kui ka lainepulsse (*j*), kuid praktilist rakendamist on leidnud peamiselt lainepulsside kasutamine. Viimasel juhul saavutatakse pulssmoduleerimine kas sel teel, et moduleeritud pulsse (*c*, *d*, *f* või *g*) kasutatakse moduleerimata pulsside (*i*) asemel kandevlaine moduleerimiseks või moduleeritakse ühtlased lainepulsid (*j*). Kuigi mõlemad viisid on võimalikud, osutub neist praktiliselt rakendatavamaks esimene.

Igal loeteldud pulssmoduleerimise viisil on oma iseloomustavad tehnilised omadused, milledele vastavalt nad leiavad rakendamist. Nii näiteks kasutatakse pulss-faasmodulatsiooni neil juhtudel, kui on tarvis eraldada pulsse üksteisest väikeste faasinihete järgi (sest faasideviatsioon saab ulatuda maksimaalselt kuni ühe terviktsüklini, s. o. 360°), pulss-sagedusmodulatsiooni — kui on tegemist suuremate sageduslike erinevustega, pulss-laiusmodulatsiooni — ühe saatelaine rakendamisel mitme kanaliga saadeteks (üheaegsed mitmekordsed telegraafi-telefonisaated, ühisel saatelainel televisioonkujutise ja heli saade jne.). Peale selle võimaldab pulssmodulatsioon teostada ühendusepidamist salajaselt, kuna temas liituvad väga paljud muutlikud tegurid, mida pealegi on võimalik teha pidevalt varieeruvaks.

Vastavalt ülekantava kompleksi iseloomule võib pulsside kuju ja vaheldumine kujuneda väga keerukaks. Tavaliselt vahelduvad järjekorras mitut liiki pulsid, mis on tarvilikud ülekantava kompleksi taaskujundamiseks vastuvõtjas. Pulsside täpse kuju, amplituudide väärtuse ja ajalise kujundamise, s. o. faasilise vahekorra säilitamine on tingimata tarvilik nii saatjas kui ka vastuvõtjas, mis esitab pulssmodulatsiooni põhimõttel toimivatele seadmetele ranged nõudmised.

Televisiooniseadmeis on peale kujutise piltpunktide valgustugevusele vastava signaali vaja üle kanda veel raami-, rea-, vahe- ja sünkroniseerimispulsid, mis kõik, omades eri kuju, moduleeritakse kindlas järjestuses saatja kandevlainesse. Mitme kanaliga telefonisaatjate juures jaotatakse kogu moduleeritav sagedusastmik vastavalt kanalite arvule, kusjuures pulsside ülekandmine sarjadena toimub kanalite vahel kindlas ajalises järjestuses. Pulsside sarjade vaheldumissagedus valitakse küllalt kõrge, näiteks 10 000 Hz, et ei tekiks häireid ülekantavas helisagedusspektris. Helipulsside sarjad eraldatakse üksteisest eriliste vahepulssidega, mis on ühtlasi ka sünkroniseerimispulssideks. Ülekantav helisagedus moduleeritakse kanaleis endis tavaliselt pulss-laiusmodulatsiooni põhimõttel, millega säilitatakse saatelaine amplituud püsivana, vältides seega ülekandeprotsessis lisanduvaid amplituudhäireid. Sama menetlust rakendatakse ka moodsamates pilt-telegraafiseadmetes, kusjuures ajaliselt muundatud piltpunktide algul ja lõpul moduleeritakse kandevlainesse lühikesed, ühtlase kestuse ja amplituudiga pulsid.

Raadiolokaatoreis kasutatavate pulsside viimistlus on tavaliselt lihtsam.

kuid väga keerukaks muutub neis alg- ja peegeldatud pulsside elektriline analüüs ja tegelik rakendamine kas suuna, kauguse või aja määramiseks.

Pulssmoduleerimisel kasutatavad modulaatorid ja moduleeritud võimendajad ei erine palju oma töötamispõhimõttelt ja lülituselt varem käsitelduist, moduleerimise probleem seisab peamiselt vajalike pulsside genereerimises ja nendele sobiva kuju andmises — vormimises.

b) Pulss-tehnika. Pulsside saatmise ja vastuvõtu tehnika olulisemaid ülesandeid on pulsside genereerimine ja nendele sobiva kuju andmine saatjas ning nende taastamine ja käsitsemine vastuvõtupunktis. Esimesel juhul on tegemist pulsside vormimise ja segustamisega, teisel juhul nende eraldamise ja valikuga. Allpool käsitleme mõningaid sellekohaseid tüüplülitusi, mis oma põhimõttelt sageli on sarnased nii saatjas kui ka vastuvõtjas.

1) Pulsside vormimine. Pulssmenetlusel saatmiseks kasutatavad pulsid võivad olla väga mitmesuguse kujuga. Peale siinuselise voolu leiavad kasutamist trapetsitaoline, püstkülikuline, kolmnurkne, saehambakujuline vool ning neist tuletatud liitvoolud. Pulsside generaator koostatakse selliselt, et ta väljund oma üldkujult läheneks rohkem moduleeritava pulsi kujule. Lahkumineku tasandatakse erilistes vormimislülitustes. Samalaadseid vormimislülitusi rakendatakse ka vastuvõtuseadmeis, kus vastuvõetavast moduleeritud signaalist taandatakse moduleerimispulsid nende algkujul, ühtlasi elimineerides signaaliga ülekandeprotsessis liitunud häired; vajaduse korral genereeritakse kohapeal pulsside algkuju taastamiseks tarvilikud täiendus-pulsid. Need vormimislülitused võib jagada kolme rühma: 1) piiramislülitused, 2) teritusülitused ja 3) segustuslülitused.

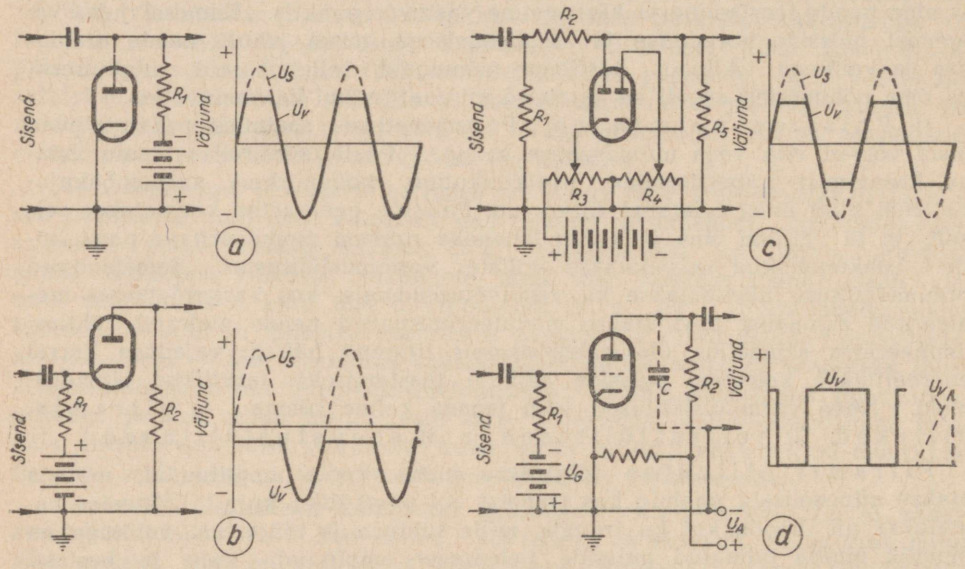
Piiramislülitustes lõigatakse maha voolu amplituudid, millega antakse siinuselisele voolule kas trapetsi või püstküliku kuju. Lülitustes kasutatakse nii dioode kui ka trioode, mille lülituse ja töörežiimi valikuga on võimalik muuta tuletatud pulsside polaarsust, amplituudi, kuju ja kestust. Joonisel 182 on toodud näiteid piirajate lülitustest. Lülituses *a* on rööbitine dioodpiiraja eelpingestatud selliselt, et anoodvool voolab vaid siis, kui sisendpinge U_s positiivse amplituudi väärtus ületab negatiivse eelpinge väärtuse, mis on lülitatud dioodi anoodile takistuse R_1 kaudu. Voolu kulgemise ajal diood kujutab lühist sisendpingele, mille tagajärjel väljundpinge U_v omandab positiivses osas trapetsi kuju. Järjestikuse dioodpiiraja lülituses *b* voolab dioodis vool samuti ainult siis, kui sisendpinge amplituud ületab takistusega R_1 järjestikku lülitatud eelpinge väärtuse. Järjestikuse lülitusega tuletatava väljundpinge kuju sarnaneb püstkülikuga rohkem kui rööbitises lülituses. Mõlemas lülituses võib polaarsust muuta, kui vahetada ümber dioodi elektroodid ja eelpingepatarei klemmid.

Lülituses *c* on rakendatud kahekordne diood rööbitise piirajana, kusjuures kummagi dioodi anoodide eelpingestamine on reguleeritav. Kuna kumbki diood käsitab sisendpinge vastasnimelisi amplituude, siis tuletataval väljundpingel on vastavalt sisendpinge amplituudile ja eelpinge väärtusele kas trapetsi või püstküliku kuju.

Trioode saab rakendada töösse piirajana niihästi lõikepunkti kui ka küllastuspunkti režiimis või korraga mõlemas. Lõikepunktil töötamisel katkeb anoodvool, kui sisendpinge ületab lõikepunkti väärtuse. Küllastuspunktil töötamisel küllastub anoodvool positiivse sisendpinge tagajärjel ja väljund-

pinge amplituud muutub lapikuks. Viimasel juhul peab sisendpinge amplituudväärtus 20 ... 30-kordselt ületama eelpinge väärtuse, et muuta siinusekujulist pinget püstkülikuliseks.

Lülituses *d* tunnusjoone keskelt eelpingestatud trioodile antakse kõrge siinuseline sisendpinge. Kuna anoodvool voolab ainult positiivsete pooltsükli osade vältel, millistel ta ühtlasi küllastub, on väljundpingel ilmne püstküliku kuju.

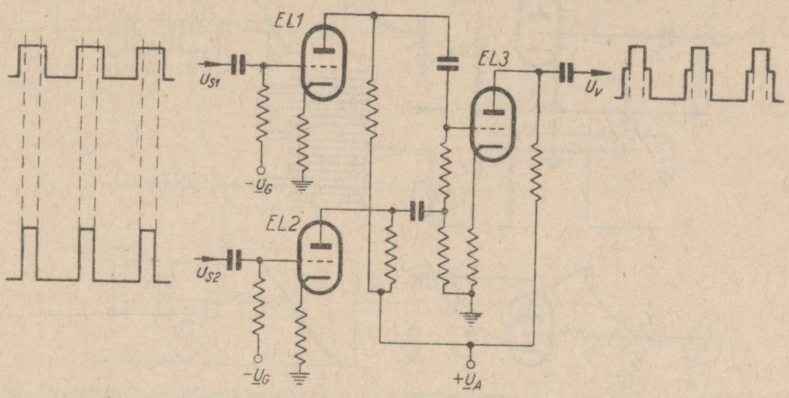


Joon. 182. Siinusekujulise pinge vormimine trapetsi või püstküliku kujuliseks pingeks piiramislülituste abil: *a* — rööbitine dioodpiiraja, *b* — järjestikune dioodpiiraja, *c* — kahekordne rööbitine dioodpiiraja, *d* — trioodpiiraja.

Piiramislülitusi saab kasutada ühtlasi ka muukujuliste pulsside genereerimiseks ning ebasoovitavate voolukujude t e r i t a m i s e k s. Kui lülituses *d* triood eelpingestada üle lõikepunkti ning anoodi ja maanduse vahele lülitada kondensaator *C*, tekitab võrele antav püstkülikuline positiivne pingepulss anoodringis saehambataolise voolupulsi. Pulsside vaheajal on negatiivse võrepinge tõttu anoodvool katkenud ja siis kondensaator laadub aeglaselt anoodtakistuse R_2 kaudu. Järsu esiküljega positiivse võrepulsi ilmumisel tekib kondensaatori laadimispinge arvel järsk anoodvoolu voolamine, millega koos langeb järsult ka väljundpinge. Kui eelpinget vähendada nullisele väärtusele ja võrele rakendada negatiivsed pingepulsid, võtab anoodvool kolmnurksete voolupulsside kuju. Sel puhul voolab anoodvool võrepulsside vaheaegadel, kuid negatiivsete võrepulsside vältel eelpingestatakse lamp üle lõikepunkti väärtuse ning anoodvool katkeb. Kondensaatori *C* laadimine-tühjenemine tekitab viivituse anoodvoolu järskudes muutustes, mille tagajärjel väljundpinge võtab võrdhaarse kolmnurga kuju.

Erinevate pulsside liitmiseks kasutatakse saatjates erilisi segustuslülitusi, millest näide on toodud joonisel 183. Lülitus koosneb kolmest lambist, mil-

lest EL1 ja EL2 toimivad eri amplituudidega ja eri kestusega (baasidega) pulsside võimendajatena, EL3 — võimendatud pulsside segustajana. Väljundis saadavad liitpulsid, mis kujutavad mõlemate pulsside koondväärtust, rakendatakse saatja kandevlaine moduleerimiseks.



Joon. 183. Pulsside segustuslülitus. Vasakul — sisendpulsid Us_1 ja Us_2, paremal — väljund-liitpulsid.

2) Pulsside eraldamine ja valik. Pulsside eraldamist ja valikut kasutatakse pulssmoduleeritud signaalide vastuvõtul selleks, et rakendada saatjas kandevlainesse moduleeritud eri liiki pulsid vastavalt oma ülesandele. Vastuvõtul eraldatakse pulsse nende polaarsuse, amplituudi, kuju ja kestuse järgi, s. o. samadel põhimõtetel, millistel nad saatjas vormiti ja segustati.

Diooderaldaja sarnaneb lülituselt dioodpiirajaga (joon. 182 *a*, *b*, *c*), ainsa vahega, et toime on vastupidine. Polaarsuse valik põhineb dioodi ühesuunalisel juhtivusel, mida arvestades lülitatakse diood selliselt, et ta laseks läbi vajaduse järgi kas positiivsed või negatiivsed pulsid.

Pulsside eraldamiseks amplituudi järgi diood eelpingestatakse nii, et läbi pääsevad ainult need pinged, mille amplituud ületab alalise võre-eelpinge väärtuse.

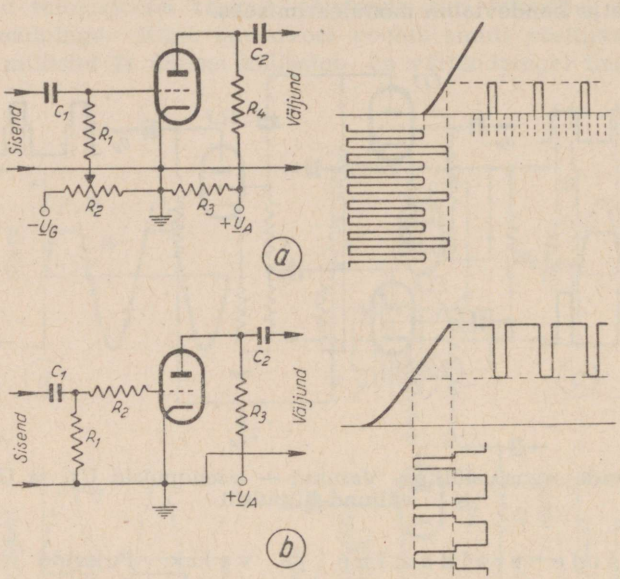
Samu põhimõtteid rakendatakse ka trioodide kasutamisel pulsside eraldajatena amplituudi järgi, mille näitlikke lülitusi on toodud joonisel 184. Lülituses *a* on võre normaalselt eelpingestatud üle lõikepunkti väärtuse. Eelpinge väärtust ületava võrepinge amplituudi kestel voolab anoodvool, millele vastavalt ilmneb eraldatav pulss ka väljundpinges. Negatiivne pooltsükkel ning madalama pingega pulsid väljundis ei avaldu.

Lülituses *b* toimib triood pulsside eraldajana amplituudi järgi anoodvoolu küllastuse põhimõttel. Positiivsete võrepingete puhul anoodvool küllastub, kuid koos sellega suurenev võrevool tekitab võretakistustes lisa-võre-eelpinge, millega piiratakse anoodvoolu tõus püsivale tasemele, olenemata võrepinge väärtusest. Kuna see lülitus laseb läbi ainult negatiivseid pulsse, siis toimib ta ühtlasi ka polaarsuse eraldajana.

Pulsside eraldamist kuju ja kestuse järgi sooritatakse eri lülituste abil,

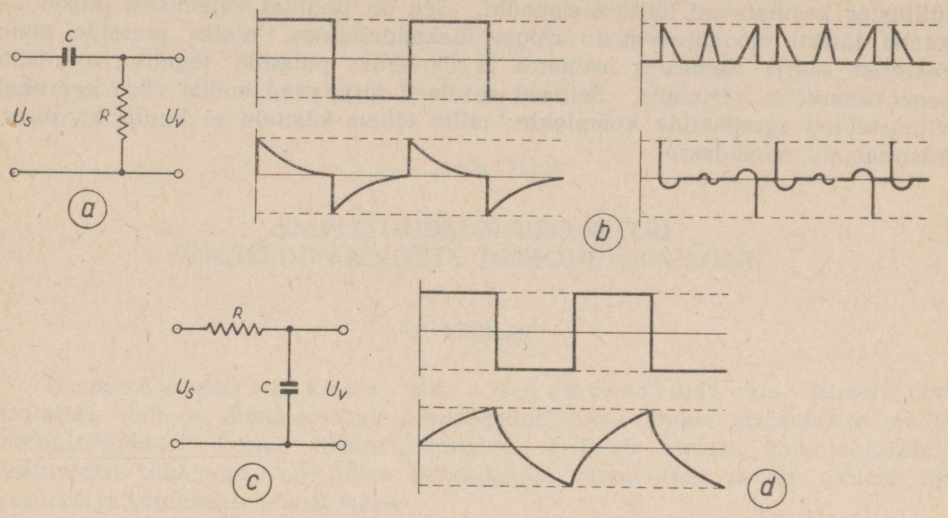
kusjuures eraldamisviise nimetatakse vastavalt elektriliseks diferentseerimis- ja integreerimismenetluseks.

Elektrilise diferentseerimise põhimõte seisab järgmises. Kui püstkülikuline pulss juhtida järjestikuse C ja rööbitise R filtrisse (joon. 185 *a*, *b*), siis lülitamise hetkel võrdub takistuse klemmidel arenev pinge sisendpingega, kuid kondensaatori laadimisega langeb pinge eksponentselt. Kui filtri RC ajakonstant on väike, kujuneb laadimiskestus samuti väga lühikeseks ning takistuse klemmidel arenev pinge kujutab väga teravat järsu esiküljega pulssi. Püstkülikulise võrepulsi jätkudes takistuses voolu enam ei voola ning pinge takistuse klemmidel langeb nullile. Säärane olukord kestab seni, kui saabub püstkülikulise võrepulsi tagumine külg, mil protsess kordub, ainsa erinevusega, et väljundpulss omandab vastupidise polaarsuse, kuna kondensaator tühjeneb.



Joon. 184. Pulsside eraldamislülitus: *a* — negatiivse võre-eelpingega amplituuderaldaja, osad: $C_1 = 0{,}1\ \mu F$, $C_2 = 0{,}5\ \mu F$, $R_1 = 1\ M\Omega$, $R_2 = 2000\ \Omega$, $R_3 = 50\,000\ \Omega$, $R_4 = 25\,000\ \Omega$; *b* — positiivse võrega amplituud-eraldaja, osad: $C_1 = 0{,}1\ \mu F$, $C_2 = 0{,}5\ \mu F$, R_1, $R_2 = 1\ M\Omega$, $R = 0{,}1\ M\Omega$.

Sisendpulsi esi- või tagaküljе tõusunurga vähendamisel väheneb vastavalt väljundpinge amplituud. Täisnurkse esiküljega sisendpulss tekitab järsu, amplituudilt võrdse väljundpingepulsi, kallakliku esiküljega sisendpulsi väljundpinge amplituud on vastavalt väiksem, kuid pulss ise on ajaliselt pikem. Järsu pulsi eraldamiseks peab RC ajakonstant olema sisendpulsi pooltsükli vältest tunduvalt lühem, vastasel korral muutub pulss lainekujuliseks. Seega diferentseerimislülitusega antakse sisendpulsi kujule vastav amplituudväärtus ja polaarsus. Joonisel 185 *b* on näidatud, kuidas erinevate kujudega pulssidest eraldatakse neile vastavad väljundpulsid.



Joon. 185. Pulsside eraldamispõhimõte kuju ja kestuse järgi: *a* — diferentseerimislülitus, *b* — püstkülikulistest ja kolmnurksetest pulssidest tuletatud eralduspulsid, *c* — integreerimislülitus, *d* — püstkülikulistest pulssidest tuletatud eralduspulsid.

Järjestikulisest takistusest ja rööbitisest mahtuvusest koosneva integreerimislülituse (joon. 185 *c*, *d*) toime seisab selles, et väga lühikese ajakonstandi puhul sarnaneb väljundpulsi kuju sisendiga, välja arvatud nõrk ümardumine esiküljel tingituna kondensaatori laadimisest. Väljundpinge amplituud on aga sisendpinge väärtusest tunduvalt väiksem. Suurendades ajakonstanti väärtuseni, mis on võrreldav sisendpulsi pooltsükli kestusega, suureneb väljundi amplituud, kuid ühtlasi muutuvad lamedaks nii pulsi esimene kui ka tagumine külg. Suurendades ajakonstanti selliselt, et ta oleks väga pikk võrreldes sisendpulsi pooltsükli kestusega, on võimalik pulsse kestuse või sageduse järgi üksteisest eraldada: pulsi kestuse pikenemisega suureneb kondensaatorisse laetav võimsus ja koos sellega tõuseb väljundpinge amplituud.

Pulss-tehnika erineb märgatavalt harilikust kõrgsagedustehnikast nii töötamispõhimõttelt kui ka lülituste väljaehituselt. Kui harilikes raadioseadmetes on tegemist jätkuvate kõrgsageduslike võnkumistega, siis pulss-põhimõttel toimivais seadmeis käsitatakse vaid üksikuid voolupulsse, mille summaarne kestus üldise tööajaga võrreldes on väga lühike. On arusaadav, et pulss-saate tingimustes töötav saatja võib arendada pulsside väljasaatmise hetkil tunduvalt suuremaid võimsusi kui jätkuva saate puhul tavalistes tingimustes, et säilitada keskmine väljundvõimsus. Normaalselt võrdub lampide töökestus pulss-saatel 0,1 ... 1,0% (võrreldes pulsi perioodiga). Nii näiteks võiks 100-vatise normaalse väljundvõimsusega saatelamp arendada pulss-saatel pulsi momendil 10 ... 100-kilovatist väljundvõimsust. Tavalised saatelambid seesuguseid võimsusi piiratud emissioonvoolude tõttu siiski arendada ei suuda ja seepärast kasutatakse pulss-saatjates erikonstruktsiooniga saatelampe.

Samuti kujunevad pulss-seadmeis erilaadseteks nii lülitusviisid kui ka

lülitustes kasutatavad lülituselemendid. See on tingitud vajadusest pulsid üle kanda täiesti moonutusvabalt kõigis ülekandelülides, alates pulsside generaatorist saatja esimestes astmetes ja lõpetades pulsside tegeliku rakendusega vastuvõtja väljundis. Sellised seadmed kujutavad endist väga keerukalt viimisteldud agregaatide komplekte, mille lähem käsitelu ei kuulu käesoleva käsiraamatu raamidesse.

G. DEMODULEERIMINE.

I peatükk.

AMPLITUUDMODULEERITUD VAHELDUVPINGETE DEMODULEERIMINE.

1. Üldiselt.

Demoduleerimiseks ehk detekteerimiseks nimetatakse protsessi, millega moduleeritud kõrgsageduslikust lainest eraldatakse moduleerimissagedus. Seega demoduleerimine kujutab endast moduleerimisele vastupidist toimingut, mis leiab rakendamist vastuvõtjas ja on ühtlasi iga vastuvõtja toimimise põhialuseks.

Samuti kui moduleerimine, kujutab ka demoduleerimine endast ebasümmeetrilist protsessi. Demoduleerimine võib toimuda vaid ebalineaarse voolujuhtivuse tingimustes rakenduspinge suhtes. Seadmeid või esemeid, mis evivad ebalineaarset voolujuhtivust ja mida kasutatakse demoduleerimiseks, nimetatakse detektoriteks. Praktiliselt kasutatakse detektoreina praegu elektronlampe, teatud liiki kristalle, nii looduslikke kui ka kunstlikke, ja vaskoksüüd-detektoreid.

Moduleeritud kõrgsagedusliku laine demoduleerimine on tarvilik kahel põhjusel. Esiteks on kõrgsageduslike võnkumiste sagedus niivõrd kõrge, et seda ei suuda jälgida madalsagedusliku võimsuse tegelikud tarbijad nagu peatelefon, valjuhääldaja, releed jne. oma suure massi ja vastavalt suure inertsi tõttu. Teiseks, kui seesuguseid kõrgsagedusvooludele reageerivaid voolutarbijaid leidukski, ei annaks nad siiski edasi madalsagedusi, millistega on kandevlaine moduleeritud, kuna võnkumiste jäädes sümmeetriliseks võrduvad positiivsed amplituudväärtused igal hetkel nii voolupaisudel kui ka -sõlmedel negatiivsete amplituudväärtustega ning nende üldine väärtus võrdub nulliga. Kui aga muuta moduleeritud laine ebasümmeetriliseks, siis ei tasakaalustu enam positiivsed amplituudid negatiivsetega, vaid nende väärtuste vahe avaldub moduleeritud sagedusena.

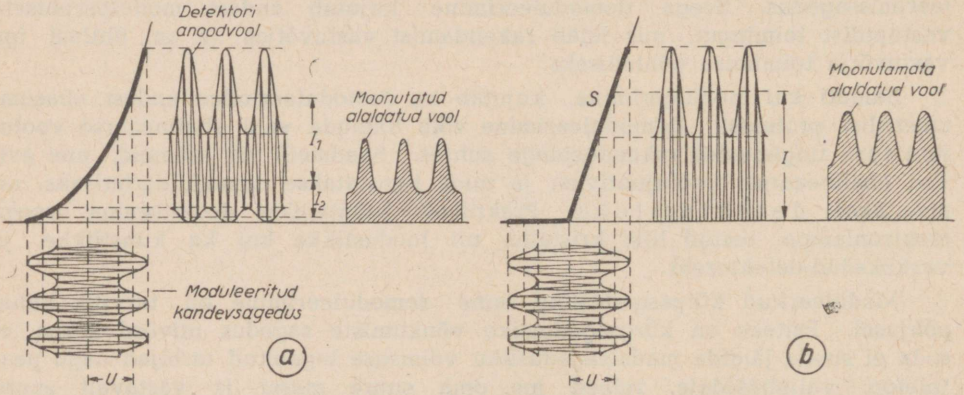
Kui rakendada puhas siinuseline vahelduvpinge ebalineaarse juhtivusega esemele — detektorile, siis tekivad seda eset läbivas voolus moonutused. Matemaatiline analüüs ja tegelikud katsed näitavad, et see moonutatud vool sisaldab peale algsageduse veel rea harmoonilisi sagedusi ja ühtlasi alalisvoolu komponenti, mille omavaheline suhe oleneb ebalineaarsuse iseloomust. Sellest järeldub, et ebalineaarse protsessi tulemusena toimub vahelduvvoolu muundumine alalisvooluks, mida nimetatakse vahelduvvoolu õgvendamiseks.

Sama nähtus esineb ka moduleeritud kõrgsagedusvooluga, kusjuures väljundis esinevad algsagedus ja tema harmoonilised, külgsagedused oma har-

moonilistega, nende omavahelised kombineeritud sagedused ja lisaks alalisvoolu komponent. Järelikult võib demoduleerimist ehk detekteerimist vaadelda õgvendamisena.

Alalisvoolu komponendi ilmnemine detekteerimisel ongi selleks põhjuseks, miks kõrgsagedusvool muutub ebasümmeetriliseks, sest ebasümmeetrilisus avaldub kas positiivsete või negatiivsete amplituudide ülekaalus, vastavalt alalisvoolu komponendi suunale. Moduleeritud lainet võib pärast detekteerimist vaadelda kui üksteisest lahutatud üksikute sümmeetriliste vahelduvvoolude kompleksi, mille endine sümmeetrilisus on rikutud detekteerimisel eraldunud alalisvoolu komponendi tõttu. Moduleerimisel saavutatud sümmeetrilisus oli tarvilik ainult selleks, et modulatsiooni sagedus kõrgsagedusliku lainena üle kanda saatjast vastuvõtjani. Pärast detekteerimist kandevlaine sageduse jäägid ja ta harmoonilised kui mittevajalikud filtreeritakse, samuti kõrvaldatakse detektori väljundist ka alalisvoolu komponent[1]. Järelejäänud modulatsioonisagedust rakendatakse kui kasulikku kas otseselt või otstarbekohaselt võimendatult.

Sõltuvalt detektori omadustest, s. o. missuguse reegli järgi muutub ta juhtivus, eraldatakse kahte liiki detekteerimist: kvadraatset ja lineaarset.



Joon. 186. Moduleeritud laine detekteerimine: *a* — kvadraatselt, *b* — lineaarselt.

K v a d r a a t - d e t e k t e e r i m i s e l (joon. 186 *a*) lahutatakse detekteerimis-kõverjoonega moduleeritud vool algteguriteks, milledes esinevad alalisvoolu komponent, moduleerimissagedus, tema teine ja kõrgemad harmoonilised sagedused. Moduleeritud sageduse teise harmoonilise ilmumine on ebasoovitav nähtus, kuna ta avaldub väljundis moonutusena. Sellest põhjustatud moonutuse suurus tuletub teise harmoonilise ja põhisageduse amplituudide suhtest moonutustegurina K, mis võrdub

$$K = \frac{m}{4}.$$

Moonutustegur K, olles võrdeline modulatsiooniteguriga m, ulatub 100% moduleerimisel 25%. Kui K hoida 5% piirides, ei tohi kvadraat-detekteerimisel vastuvõetavate lainete modulatsioon ületada 20%.

[1] Tarbe korral kasutatakse kandevlaine sageduse jääke teatud lülitusis, nagu regeneratiivne audion, positiivse tagasisidena võnkeringi sumbuvuse vähendamiseks, samuti rakendatakse alalisvoolu komponenti vastuvõtjas automaatseks tundlikkuse regulaatoriks (ATR).

Täiendavalt sellele ilmnevad kvadraat-detekteerimisel lisahäired veel modulatsioonisageduste summana ja vahena, kui kandevlaine on, nagu tavaliselt, korraga moduleeritud mitme sagedusega, s. o. terve modulatsioonisageduste spektriga.

Lineaar-detekteerimisel on ideaalsel juhul (joon. 186 *b*) modulatsioonisagedus moonutustest vaba. Kuigi praktikas ideaalset detektorit ei leidu ning detekteerimise tunnusköver kunagi ei esine puhtakujulise murdjoonena, leidub siiski detektoreid, mille tunnusköövera üleminekukoht omab ainult järsku köverust, mida küllaldaselt suurte detekteeritavate amplituudide puhul ei tule arvestada. Ideaalse lineaar-detektori puhul on demoduleeritud madalsagedusliku voolu amplituud I, kui U on kandevsageduse amplituud ja m modulatsioonitegur:

$$I = S \frac{m}{2} U .$$

Võrreldes kumbagi detekteerimisviisi nende tundlikkuse järgi selgub, et kvadraat-detekteerimine on märgatavalt tundlikum, sest väljundvool on võrdeline sisendpinge ruuduga, lineaar-detekteerimisel aga ainult pinge esimese astmega.

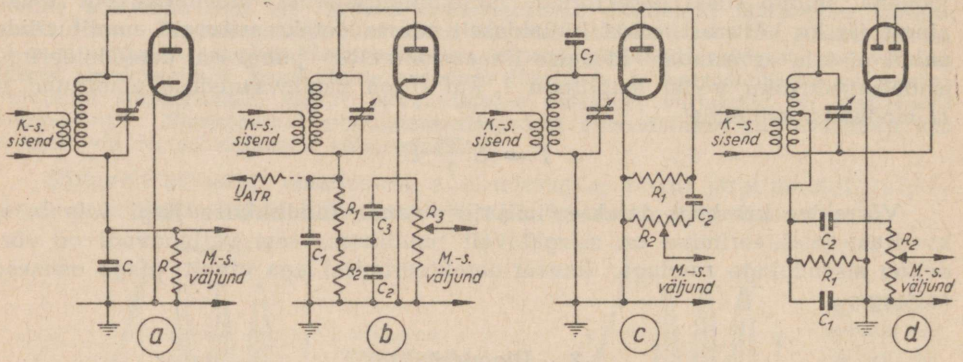
2. Diooddetektor.

Diooddetekteerimine on vanimaid detekteerimisviise ja ühtlasi esimene elektronlambi rakendusala. Vahepeal, pärast trioodi ja mitmevõreliste lampide leiutamist, tõrjuti diood detekteerimise ülesannetest välja võredetektori ja anooddetektori poolt, kuid tänapäeva superheterodüün-vastuvõtja võidukäiguga on diooddetektor kujunenud kohati asendamatuks. Selleks on olemas kaaluvaid põhjuseid. Küllaldaselt suurte, 5 . . . 10-voldiste kõrgsageduslike sisendpingete ja lülituselementide õige valiku juures on diooddetektor praktiliselt moonutusvaba, mida teiste detektorite kohta ei saa ütelda. Peale selle lahendab diooddetektor erilülituses vastuvõtja automaatse võimenduse reguleerimise probleemi, mis on tarvilik selleks, et vastuvõtja väljund säiliks ühtlasena, vaatamata vastuvõetavate signaalide erinevale väljatugevusele ja nende muutumisele vastuvõtuajal.

Kuid selleks, et diooddetektor toimiks moonutusvabalt, on tarvilik, et ta töötingimused oleksid valitud õigesti, eriti siis, kui vastuvõtjalt nõutakse kõrgekvaliteedilist ülekannet.

Joonisel 187 *a* toodud diooddetektori põhimõttelisest lülitusest nähtub, et häälestatud võnkering, mille klemmidele kandub k.-s. pinge, asetseb järjestikku dioodiga ja koormusringiga *RC*. Võiks arvata, et siis, kui k.-s. sisend puudub, võrdub anoodvool nulliga, kuid tegelikult see pole nii, sest osa kuumutatud katoodist väljakiirguvaid elektrone evivad anoodile saabumiseks küllaldast kiirust, vaatamata positiivse pinge puudumisele anoodil. Järelikult voolab dioodi välises vooluringis anoodvool, tekitades koormustakistuse R klemmidel pingelangu selliselt, et anood muutub katoodi suhtes negatiivseks. Selle alalise anoodpinge väärtus sõltub dioodi iseloomustussuurustest ja koormustakistuse R väärtusest ning võrdub keskmiselt —0,5 . . . —1 voldiga. Anoodvoolu täielikuks katkestamiseks on tarvis negatiivset anoodpinget tõsta kuni —0,9 . . . —1,5 voldini.

Kui lülitada detektorile k.-s. pinge, suureneb vastavalt anoodvool ning ühtlasi suureneb ka negatiivne pinge anoodil. 10-voldise efektiivväärtusega sisendpinge puhul võib anoodpinge ulatuda —12 voldini. Kuna selline negatiivne anoodpinge on võrdeline sisendpingega, siis ta leiabki otstarbekat kasutamist automaatse tundlikkuse kontrolli teostamiseks vastuvõtja eelvõimendusastmetes; detekteerimise otstarbeks on see tekkiv alaline negatiivne anoodpinge tarbetu kõrvalprodukt.



Joon. 187. Diooddetektori lülitusi: *a* — põhimõtteline lülitus; *b* — järjestikune diooddetektori lülitus, osad: $R_1 = 0{,}05$ MΩ, $R_2 = 0{,}2$ MΩ, $R_3 = 1{,}0$ MΩ, $C_1, C_2 = 100$ pF, $C_3 = 0{,}1$ μF; *c* — rööbitine diooddetektori lülitus, osad: $R_1 = 0{,}25$ MΩ, $R_2 = 1$ MΩ, $C_1 = 100$ pF, $C_2 = 0{,}1$ μF; *d* — täistee-diooddetektori lülitus, osad: $R_1 = 0{,}25$ MΩ, $R_2 = 1{,}0$ MΩ, $C_1 = 100$ pF, $C_2 = 0{,}05$ μF.

Dioodi koormustakistusega rööbiti lülitatud kondensaator C laeb end positiivsete pooltsüklite osade vältel, mil dioodi läbib anoodvool, ning tühjeneb, kui diood voolu ei juhi, säilitades seega negatiivse anoodpinge ühtlasena. Kui C on küllaldaselt suur, rakendub sisendpinge oma täie amplituudväärtusega dioodile, mistõttu püsiva kandevlaine tingimustes peaks anoodvool katkema. Tegelikult aga positiivsete amplituudide vaheaegadel lahendub kondensaatori C laeng koormustakistuse R kaudu ja seetõttu anoodvool väga lühikeste positiivsete amplituudväärtuste kestel siiski voolab. Mida lühem on dioodi vooluhtivuse kestus, seda kõrgem on detektori kasutegur η, seda lähem on õgvendatud pinge k.-s. amplituudväärtusele; tegelikes tingimustes võrdub õgvendatud pinge keskmiselt 70 ... 90% k.-s. sisendpingest.

Dioodi koormustakistuses R arenev vool kujutab võimsuskadu, mida peab katma häälestatud võnkering. Seda võimsuskadu võib vaadelda kui võimsust, mis hävib võnkeringile rööbiti lülitatud ekvivalentses takistuses ja mis võnkeringi üle kandudes kutsub esile võnkeringi Q vähenemise ja mida seepärast nimetatakse detektori sisendtakistuseks R_d. Vastavalt sellele detektori sisendvõimsus P_d kujuneb

$$P_d = \frac{U^2_{efks}}{R_d} \text{ (vatti)},$$

milles U_{efks} — k.-s. efektiivpinge.

Õgvendatud pinge $\underline{U}$ vooluringis võrdub

$$\underline{U} = \sqrt{2}\, U_{efks}\, \eta \text{ (volti)},$$

õgvendatud vool

$$I = \frac{U}{R} = \frac{\sqrt{2}\, U_{efks}\, \eta}{R} \text{ (amprit)}$$

ning tarvitatav võimsus $P_d = U\, I = \frac{2\, U_{efks}^2\, \eta}{R}$ (vatti).

Asendame $\frac{U_{efks}^2}{R_d} = \frac{2\, U_{efks}^2\, \eta}{R}$, millest $R_d = \frac{R}{2\eta}$. Siit selgub, et kõrge kasuteguri juures detektori sisendtakistus võrdub ligikaudu poole koormustakistuse väärtusega.

Eeltoodu on kehtiv kõrgete sisendpingete juures, mil a.-v. on võrdeline, s. o. muutub lineaarselt k.-s. sisendpingega. Väikeste, alla 1-voldiste sisendpingete puhul juhib diood voolu kogu tsükli vältel, mille juures detekteerimine kandub dioodi tunnuskõvera alumisse põlvikusse. Loomulikult lakkab endine võrdelisus sisendpinge ja anoodvoolu ning ühtlasi õgvendatud väljundpinge vahel ning detekteerimine muutub kvadraatseks. Ühtlasi langeb märgatavalt ka detektori sisendtakistus.

Moduleeritud sisendpinge puhul arenevad endisele kandevlaine väärtusele vastavas õgvendatud pinges muutused, mis kujutavad kasulikku detekteeritud madalsageduslikku pinget. See pinge vastab kandevlaine modulatsioonitegurile m, s. o. pingele, millega saatjas oli moduleeritud kandevlaine. Seega areneva madalsagedusliku modulatsioonipinge amplituudväärtus U_m modulatsiooniteguri m juures võrdub $U_m = \sqrt{2}\, U_{efks}\, \eta m$ (volti) ning efektiivväärtus $U_{efm} = U_{efks}\, \eta m$ (volti). 100% moduleerimisel muutub väljundpinge amplituudväärtus kandevlaine väljundpinge kahekordse ja nullise väärtuse vahel. Arvestades dioodi tunnuskõvera alumist põlvikut, peab k.-s. sisendpinge olema küllaldaselt suur, et vältida moonutusi kõrge modulatsiooniteguri juures. Väga väikeste sisendpingete puhul, näiteks 0,1 volti ja vähem, mil detekteerimine toimub tunnuskõvera alumises põlvikus, ulatuvad moonutused teisel harmoonilisel sagedusel 25% (G1). Kuid selleks, et tagada detektorile kõrged k.-s. sisendpinged, peab eelnev k.-s. võimendusaste olema suuteline sääraseid pingeid moonutusvabalt käsitama.

Teiselt poolt vähendatakse moonutuste sisaldust koormustakistuse R väärtuse tõstmisega, millega koos säilitatakse ühtlasena detektori sisendtakistus dioodi dünaamilise tunnuskõvera sirgemaks muutumise tagajärjel. Koos R tõstmisega tõuseb detekteerimise kasutegur η ja detektori sisendtakistus, mis tähendab kõrgemat eelmise astme võimendust ja selektiivsust.

Tüüpilisteks R väärtusteks on 0,5 ... 0,1 MΩ, keskmise väärtusega 0,25 MΩ, mille juures isegi 2 ... 3-voldistest sisendpingetest tekkivad moonutused on lubatavais piirides. Diooddetektori arvutusandmed selguvad dioodi tunnuskõverate sarjast. Tavaliste dioodide juures detekteerimise kasutegurid η ja sisendtakistused R_d, sõltuvalt koormustakistusest R, kujunevad järgmisteks:

R	η	R_d
0,25 MΩ	0,925	135000 Ω
0,1 MΩ	0,89	56000 Ω
0,01 MΩ	0,675	7400 Ω

Toodud andmeist nähtub, et väike koormustakistus $R = 0{,}01$ MΩ kujutab väga madalat koormust võnkeringile, annab väga väikese detekteerimise kasuteguri ning vähem sirgjoonelise dünaamilise tunnuskõvera tõttu põhjustab ühtlasi märgatavat ebalineaarset moonutust väljundis.

Diooddetektori tegelikus lülituses ei saa järgnevat madalsagedusvõimendajat ühendada dioodi koormustakistusele vahetult, sest koormustakistus asetseb ühtlasi õgvendatud pinge all. Seepärast detekteeritud m.-s. pinged juhitakse järgneva lambi võrele sidestuskondensaatori C_3 ja võre takistuse R_3 kaudu (joon. 187 *b*), kusjuures R_3 tavaliselt on ühtlasi tugevusregulaatoriks. Säärane C_3R_3 lülitamine muudab märgatavalt dioodi tööreziimi moduleeritud laine puhul. Nimelt R_3 asetsedes rööbiti koormustakistusega (lülituses *b* ainult rööbiti R_2), kujuneb koormustakistuse üldväärtus vahelduvvoolule R_{vv} väiksemaks, kui ta seda on alalisvoolule R_{av}. Selle tulemusena väheneb moduleeritud signaali detekteerimisel modulatsiooniprotsent, mida detektor on suuteline käsitama moonutusvabalt, vahekorras R_{vv}/R_{av}. See tähendab, et endise modulatsiooniteguri juures moonutuste protsent vastavalt suureneb.

Selle pahe leevendamiseks on olemas kaks võimalust: kas tõsta tunduvalt R_3 suurust, jättes koormustakistuse $R_1 + R_2$ väärtuse endiseks, või vähendada $R_1 + R_2$ suurust, jättes R_3 endiseks. $R_1 + R_2$ väärtuse vähendamine vahelduvvoolu suhtes pole võimalik (sest moonutuste vähendamise huvides piirati ta väärtus 0,25 ... 0,1 MΩ), teisiti on olukord, kui R_2 asendada kõrge induktiivsusega, keskmiselt 300 ... 500 H paispooliga, jättes R_1 väärtuseks umbes 50 000 oomi. Seda lahendusviisi tuleb pidada eriti otstarbekaks, kuid ta vajab väga kõrgeväärtusliku kalli paispooli valmistamist. Teiselt poolt, kui jätta $R_1 + R_2$ väärtus endiseks, ei saa siiski R_3 suurust tõsta rohkem kui 2 megaoomini järgneva pingevõimenduslambi puhul või 0,5 megaoomini järgneva võimsuslambi korral. Kui valida $R_1 = 0{,}05$ MΩ, $R_2 = 0{,}2$ MΩ, $R_3 = 1$ MΩ, langeb maksimaalselt käsitatav modulatsiooniprotsent detektoris

$$m_{max} = \frac{R_{vv}}{R_{av}} = \frac{\frac{(R_1 + R_2)R_3}{R_1 + R_2 + R_3}}{R_1 + R_2} = 0{,}8, \text{ s. o. } 80\%.$$

Kompromisslahenduseks on lülitada R_3 haruühendina R_1, R_2 ühenduspunkti, nagu on näidatud lülituses *b*. Sel puhul maksimaalselt lubatav modulatsiooniprotsent tõuseb

$$m_{max} = \frac{R_{vv}}{R_{av}} = \frac{R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3}}{R_1 + R_2} = 0{,}87, \text{ s. o. } 87\%,$$

mida tuleb pidada rahuldavaks.

Peale selle põhjustab vahelduvvoolu koormustakistuse vähenemine moduleeritud signaalide puhul modulatsiooniprotsendi üldise vähenemise, mis osaliselt kompenseerib moonutuste tekkimise suurenemist.

Rööbiti R_2-ga lülitatakse jääk-kõrgsageduspingete filtreerimiseks kondensaator C_2, mille väärtus tuleb valida nii, et ta reaktants oleks küllalt väike kõrgsagedusele, kuid küllalt suur kõrgeimatele madalsagedustele. Sobivaks C_2, samuti kui ka C_1 väärtuseks on 100 pF.

Ühtlasi selgub, kuivõrd ohtlik on eelmiste võimenduslampide automaat-

seks eelpingeks vajatav pinge võtta samalt dioodilt (lülituses *b* märgitud punktiirina ATR), millega märgatavalt väheneks vahelduvvoolu koormustakistus ja tõuseks vastavalt moonutuste protsent.

Kui on tarvilik, et detektori katood ja võnkering asetseksid maapotentsiaalil, kasutatakse rööbitist diooddetektori lülitust (joon. 187 *c*). Rööbitise lülituse puuduseks on see, et ta koormab häälestatud võnkeringi rohkem kui järjestikune lülitus ning et jääk-kõrgsageduse komponent kandub täielikult üle järgneva võimenduslambi võreringi, mille allasurumiseks on tarvilik viimisteldud madalläbivusfiltri lülitamine detektori väljundi ja m.-s. võimendusastme sisendi vahele.

Joonisel 187 *d* on toodud täistee-diooddetektori lülitus, milles mõlemad k.-s. pooltsüklid detekteeritakse. Lülituse oluliseks paremuseks on jääk-kõrgsagedusliku komponendi praktiliselt täielik kompenseerumine dioodi vooluringis, mistõttu filtreerimise vajadus väljundis langeb ära.

Kokku võttes on diooddetektori tundlikkus üldiselt madal, kuid samuti on madal moonutuste protsent. Diooddetektor koormab eelnevat võnkeringi märgatavalt, vähendades võnkeringi *Q*-d, kuid on võimeline käsitama seejuures suhteliselt suuri sisendpingeid, mida teised detektorid ei suuda.

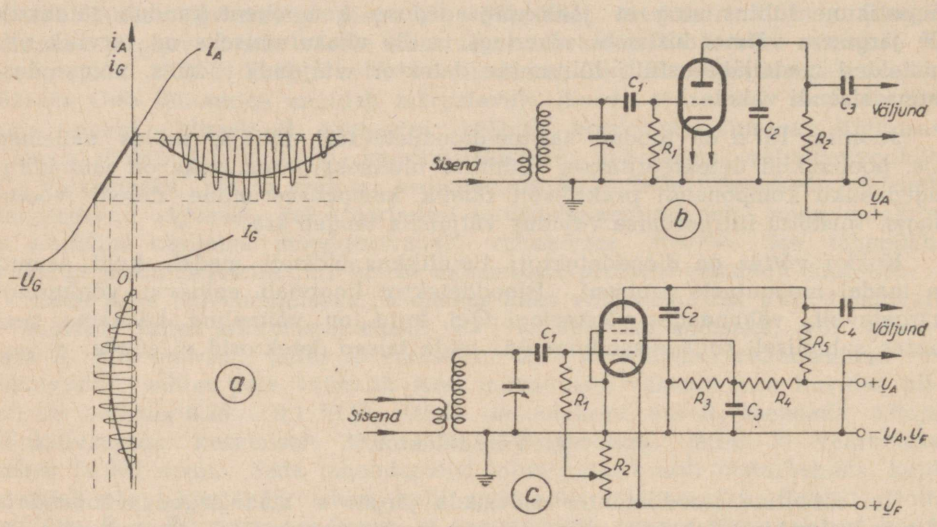
3. Võredetektor.

Kui rööbitine diooddetektor sidestada järgneva madalsagedusvõimendaja võimenduslambiga vahetult, siis mõlema lambi sisendringid liituvad ning lõpuks võib mõlemast lambist moodustada ühine lamp, millel on ühine katood ja mille võre on ühtlasi dioodi anoodiks. Sellisel teel tuletatud trioodi toime ei erine põhimõtteliselt kahe eraldi lambi toimest ning vastavas töörežiimis töösse rakendatuna teda nimetataksegi võredetektoriks ehk audioniks.

Võredetektoris (joon. 188) põhineb detekteerimine võrevoolu tagajärjel võretakistuses R_1 areneval pingelangul, mis kontrollib lambi anoodvoolu muutumist. Põhimõtteliselt toimib võredetektor kvadraat-detektorina, mida iseloomustavad väikesed sisendpinged ja võrevoolu voolamine praktiliselt kogu tsükli vältel. Võredetektori õigeks töötamiseks valitakse tööpunkt selliselt, et ta langeks ühte võrevoolu alguspunktiga, mil võrevoolu tunnusköver a kumerus on suurim. Enamikul lampidest asub see punkt nullise või nõrgalt positiivse võre-eelpinge piirkonnas. Selleks lülitatakse kaudse küttega lampidel võretakistus R_1 katoodile (lülitus *b*), otsese küttega lampidel ühendatakse võretakistus negatiivse ja positiivse küttejuhtme vahele lülitatud potentsiomeetri keskpunkti (lülitus *c*). Anoodpinge valitakse sääraselt, et nullise võre-eelpinge juures tööpunkt anoodvoolu-võrepinge tunnusjoonel asetseks sirgjoonelise osa keskel. See tähendab, et võredetektorina vajab lamp tunduvalt madalamat anoodpinget kui võimendajana töötamisel. Anoodpinge vähendamisega suureneb võrevool ja ühtlasi suureneb ka võrevoolu põlviku järskus, mis on oluline võredetektori tundlikkuse tõstmiseks.

Võredetektori töötamispõhimõte, mis on kujutatud joonisel 188 *a*, sarna-

neb diooddetektoriga nõrkade sisendpingete tingimustes. Ilma k.-s. sisendpingeta võrduvad nii võrevool kui ka pinge võretakistuse klemmidel praktiliselt nulliga. Kui võreringis ilmuvad k.-s. pinged, siis kanduvad nad võrekondensaatori kaudu detektorlambi võrele, kus nad õgvendatakse. Võrekondensaator on dimensioonitud nii, et ta eviks k.-s. suhtes väikest, m.-s. suhtes



Joon. 188. Võredetektor: *a* — töö-põhimõtte kujutus; *b* — kaudse küttega takistussidestuses võredetektori lülitus; *c* — otsese küttega k.-s. pentood võredetektorina, osad: R_2 — potentsiomeeter, mille abil reguleeritakse detekteerimiseks õige võreelpinge, R_3, R_4 — pingejagaja 0,02 + 0,05 MΩ, mille kaudu antakse varivõrele õige toitepinge, C_2 — kõrgsageduse filterkondensaator 100 ... 300 pF, C_3 — varivõre lahtisidestuskondensaator 1 μF.

suurt reaktantsi. Igal üksteisele järgneval positiivsel pooltsüklil kandub võrekondensaatori kaudu võrele uus laeng, mis kestab seni, kuni võrepinge väärtus võrdub k.-s. pinge amplituudiga. Kuna laengu lahendumine suure võretakistuse kaudu on piiratud, siis muutub võre järk-järgult negatiivsemaks, tööpunkt kandub vastavalt vasemale, õgvendatud võrevool langeb. Selline olukord kestab kogu aeg, kusjuures säilitatakse tasakaal võnkeringist võrele kanduva lisalaengu ja võretakistuse kaudu ärajuhitava laengu vahel. Detektori optimaalseks töötamiseks peavad võrekondensaatori ja võretakistuse väärtused olema õigesti dimensioonitud. See tähendab, nende ajakonstant ühelt poolt peab olema küllaldaselt suur, et k.-s. pinged pääseksid võrel täielikult mõjule, mis on tarvilik detektori toimimiseks kõrge kasuteguriga, teiselt poolt ei tohi ajakonstant olla liiga suur võrreldes kõrgeimate modulatsioonisageduste perioodiga, mis on tarvilik nende kandumiseks väljundisse. Praktiliselt valitakse võretakistuse väärtuseks 1 ... 2 MΩ, millele vastavalt

kujunevad võrekondensaatori suurused 100 ... 250 pF [1]. Suuremat tundlikkust annavad lambid, millel võrevool on suurem.

Võreringis detekteeritud m.-s. pinged võimendatakse trioodis ja kantakse üle anoodringi koormustakistusse R_2 (lülitus *b*). Jääk-kõrgsageduse filtreerimiseks on filterkondensaatori C_2 lülitamine tarvilik, mille suurus valitakse kompromissina k.-s. ja m.-s. nõuete seisukohalt; sobivaks suuruseks on 100 ... 300 pF. Suurema võimenduse saamiseks võib võredetektorit sidestada järgneva võimendusastmega transformaatoriliselt, eriti siis, kui anoodi toitepinge on piiratud, nagu see on harilikult patareivastuvõtjate juures. Kuid ülekande kvaliteedi seisukohalt pole transformaatoriline sidestusviis võredetektori juures parim moonutuste tõttu, mis tekivad reaktiivsuste tagasikandumise tõttu võreringi.

Kuna võredetektor toimib kvadraat-detekteerimise tingimustes võrevoolu tunnuskõvera põlviku järsumas osas, on ta detekteerimistundlikkus väga kõrge. Pealegi tõuseb tundlikkus veel seetõttu, et triood arendab üheaegselt märgatavat madalsageduse võimendust. Kuid ebalineaarsete moonutuste suur sisaldus on võredetekteerimisel paratamatu. Vastavalt k.-s. pingete suurusele nihkub kogu aeg tööpunkt, millega teatavais piirides automaatselt ühtlustatakse väljundpingete keskväärtus. Teiste sõnadega, võredetektori tundlikkus muutub pöördvõrdeliselt sisendi kandevlaine väärtusega, mille tagajärjel erinevate tugevustega kandevlainete kontrastsus väljundis automaatselt väheneb. Kuid sellist tundlikkuse automaatset reguleerimist tuleb piirata siiski suhteliselt nõrkade sisendpingetega: kõrgete sisendpingete puhul laadub võre seevõrra tugevalt, et võretakistus pole suuteline õigeaegselt laengut maha juhtima ning moonutuste sisaldus võib muuta vastuvõtu täiesti arusaamatuks.

Peale selle võimaldab võredetektor positiivse tagasiside rakendamisega vähendada mitte ainult detektorist võnkeringi kandunud ekvivalentset takistust, vaid ühtlasi ka võnkeringi enda kõrgsageduslikku takistust, mille tulemusena vastuvõtu tundlikkus tohutult tõuseb väga lihtsal teel.

Võredetektori tundlikkust saab veelgi tõsta, kui detekteerimiseks kasutatav triood asendada varivõrepentoodiga (lülitus *c*). Kuid, arvestades varivõrelampide väga kõrget sisetakistust, pole trafosidestuse rakendamine järgneva võimendusastmega sel juhul teostatav. Küsimusse võib tulla ainult väga kõrge, 300 ... 500 H induktiivsusega paispoolsidestus, kui anoodpinge säästmine on oluline.

---

[1] Võrekondensaatori optimaalne väärtus maksimaalse väljundpinge saavutamiseks arvutatakse vastavalt kohalikele tingimustele järgmise võrrandi abil:

$$C_G^2 = \frac{\sqrt{2}\,(R_G + R_{iG})}{(2\pi)^2 f F R_G R_{iG}^2},$$

milles C_G — võrekondensaatori mahtuvus faradites, R_G — võretakistus oomides, R_{iG} — võre sisetakistus oomides, f — kõrgsagedus hertsides, F — modulatsioonisagedus hertsides. Sellest nähtub, et R_{iG} vähendamisel, mis tekib kas k.-s. pingete suurendamisega või anoodpinge vähendamisega, peab suurenema C_G. Kui näiteks $R_G = 1\,\mathrm{M}\Omega$, $R_{iG} = 0{,}05\,\mathrm{M}\Omega$, $f = 1$ MHz ja keskmine $F = 1$ kHz, siis kujuneb

$$C_G^2 = \frac{\sqrt{2}\,(10^6 + 5 \cdot 10^4)}{(6{,}28)^2 \cdot 10^6 \cdot 10^3 \cdot 10^6 \cdot 25 \cdot 10^8}$$ ning $C_G = \sqrt{1{,}5 \cdot 10^{-20}}$ faradit ehk 123 pF.

4. Võimsusdetektor.

Tavaline võredetektor on kõlblik ainult nõrkade k.-s. sisendpingete detekteerimiseks ja kuna detekteerimine areneb võrevoolu tunnusjoone põlvikosas, siis optimaalsete tulemuste saavutamiseks eelpingestatakse võre teatavasti nõrgalt positiivselt. *Võimsusdetektori* töötamispõhimõte erineb võredetektori toimest sellepoolest, et detekteerimisel kasutatakse võrevoolu tunnusjoont ta sirgjoonelises osas, nagu lineaarsegi diooddetektori juures, kusjuures tunnusjoone põlvik ei mängi detekteerimisprotsessis olulist osa. Sellisel detekteerimisviisil on oluline, et sisendpinged oleksid võimalikult suured, sest detekteerimine areneb ainult sisendpingete positiivsete pooltsüklite vältel, mil voolab võrevool, kuna negatiivsed pooltsüklid ära lõigatakse (joon. 186 *b*). Võimsusdetektori optimaalne töötamispunkt asub ligikaudu anoodvoolu-võrepinge tunnusjoone lõikepunktis, seega on ta negatiivselt eelpingestatud. Selleks valitakse võrekondensaatori ja -takistuse väärtused keskmiselt 100 pF ja 0,25 MΩ. Kuna õgvendatud võrepinged on võimsusdetektoris märgatavalt kõrgemad kui harilikus võredetektoris, siis ebalineaarsete moonutuste vältimiseks anoodringis tuleb suurendada ühtlasi anoodpinget. Isegi tavaline väikese võimsusega pingevõimendustriood ei osutu piiratud anoodvoolu-võrepinge iseloomustuskõvera sirgjoonelise osa tõttu võimsusdetekteerimisel küllaldaseks. Seepärast kasutatakse võimsusdetektoriks harilikult normaalsete anoodpingetega võimsuspentoode ja -trioode. Suure väljatugevusega kohaliku saatja tingimustes lahendab võimsusdetektor lihtsa ühelambilise vastuvõtja probleemi, kuna ta suudab arendada väljundvõimsust sellises ulatuses, mida nõutakse kohalikult vastuvõtjalt.

Kokku võttes sarnaneb võimsusdetektor pigem lineaar- kui kvadraatdetektoriga. Seepärast on ta iseloomustavamaiks omadusteks suhteliselt väike moonutuste sisaldus väljundis, kuid ühtlasi madal tundlikkus nõrkade signaalide vastuvõtul.

5. Anooddetektor.

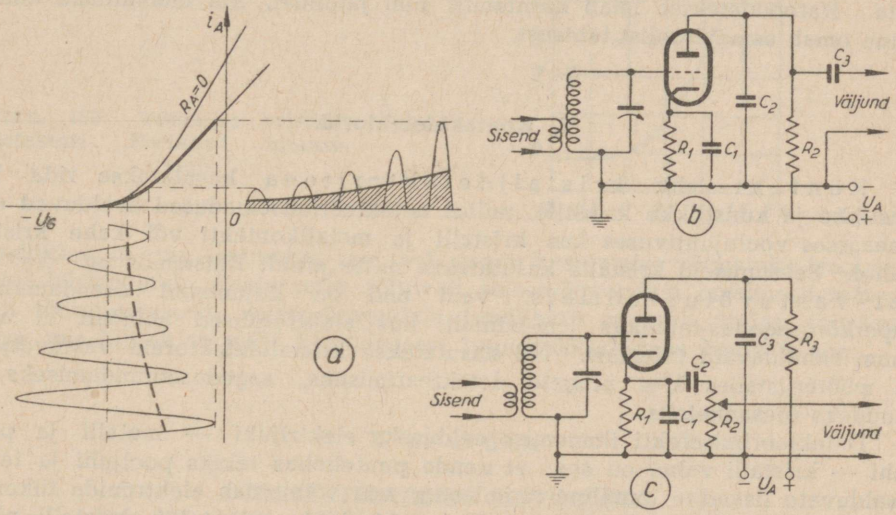
Anooddetektoris toimub k.-s. pingete detekteerimine anoodringis. Selleks eelpingestatakse detektorlamp küllaldaselt, et viia tööpunkt anoodvoolu-võrepinge tunnusjoone lõikepunkti (joon. 189 *a*). K.-s. pingete saabumisel võrele mõjutavad anoodvoolu ainult positiivsed pooltsüklid, mille tulemusena kandub anoodvoolu üle üldine modulatsiooni kontuurjoon. Väikeste kandevlaine pingete juures toimub detekteerimine siiski kvadraatselt, kuid küllalt suure anoodringi koormustakistuse puhul sirgub dünaamiline tunnusjoon, mille tagajärjel detekteerimine muutub lineaarseks praktiliselt kõigi sisendpingete suhtes.

Tundlikkuse suhtes asetseb anooddetektor diooddetektori ja võredetektori vahepeal. Kuna detekteerimisel võrevoolu ei teki, siis detektorist häälestatud sisendringi nimetamisväärset koormust tagasi ei kandu, mistõttu võnkeringi Q ja võimendus säilitatakse kõrgena, see tähendab, et nii detektori sisendisse saabuvad pinged kui ka detekteeritud väljundpinged on üldiselt kõrged. Anooddetektor käsitab võrdlemisi suuri sisendpingeid, mille amplituudväärtus võib ulatuda tunnusjoone lõikepunktist nullise eelpingeni; kõrge-

mad sisendpinged tekitavad võrevoolu, mis pole aga lubatav moonutuste vältimise eesmärgil.

Anooddetektori kasutegur sõltub lambi võimendustegurist, kuna lamp peale detekteerimise arendab ühtlasi ka teatud võimendust. Seepärast osutuvad kõrge võimendusteguriga trioodid ja varivõrepentoodid sobivamaiks anooddetektoreiks. Tingituna erilistest töötingimustest tõuseb anooddetektori sisetakistus märgatavalt, mis dikteerib järgneva võimendusastmega sidestamiseks takistussidestus-meetodit. Samal põhjusel pole trafosidestus sobiv, paispoolsidestus on rakendatav vaid siis, kui paispooli induktiivsus on küllaldaselt suur.

Joonisel 189 *b* on toodud anooddetektori põhimõtteline lülitus, milles eelpingestamine teostatakse katoodtakistuses R_1 automaatselt; katoodtakistuse



Joon. 189. Anood- ja katooddetektor: *a* — anooddetektori töötamispõhimõtte kujutus; *b* — anooddetektori lülitus, osad: $R_1 = 0{,}01 \ldots 0{,}1$ MΩ, $R_2 = 0{,}05 \ldots 0{,}25$ MΩ, $C_1 = 1$ μF või rohkem, $C_2 = 250 \ldots 500$ pF, $C_3 = 0{,}1$ μF; *c* — katooddetektori lülitus, osad: $R_1 = 0{,}15$ MΩ, $R_2 = 0{,}25$ MΩ, $R_3 = 0{,}025$ MΩ, $C_1 = 250$ pF, $C_2 = 0{,}1$ μF, $C_3 = 0{,}5$ μF.

suurus neis tingimustes sõltub lambi tüübist ja anoodtakistusest, keskmiseks väärtuseks on trioodidel 0,025 kuni 0,1 megaoomi, k.-s. pentoodidel 0,01 ... 0,02 megaoomi. Anoodtakistuse väärtus valitakse vastavalt 0,05 kuni 0,25 megaoomi. Jääk-kõrgsageduse filtreerimiseks lülitatakse anoodringi filterkondensaator keskmiselt 250 ... 500 pF. Anooddetektor leiab kasutamist juhtudel, kui on tegemist kõrgete sisendpingetega, näiteks kohaliku saatja vastuvõtjas või suure eelvõimendusega vastuvõtjas, kus tahetakse säilitada võnkeringidelt arendatud suurt selektiivsust.

6. Katooddetektor.

Katooddetektor, mille lülitus on toodud joonisel 189 *c*, toimib kombineeritud diood- ja anooddetektorina, evides ühelt poolt suurt sisendpingete käsitatavust madala moonutuste sisaldusega ja teiselt poolt koormamata eelnevat

võnkeringi. Selline katooddetektori toimimine põhineb 100% m.-s. vastusidel, mis tekib detektori katoodtakistuses R_1, sest katoodtakistus R_1 asub üheaegselt nii võre- kui ka anoodringis. Katoodtakistus on lahti sidestatud k.-s. suhtes kondensaatoriga C_1, mille väärtus on niivõrd väike, et ta m.-s. mõju ei avalda. Anoodringis asetsev takistus R_3 ja mahtuvus C_3 moodustavad lahtisidestusfiltri nii kõrgsagedusele kui ka madalsagedusele anoodpinge toiteallika suhtes.

Ilma signaalita on anoodvool väga väike, kuid ta tõuseb sisendpingega võrdeliselt nagu anooddetektorigi juures. Muutuvast anoodvoolust tingituna arenevad katoodtakistuse klemmidel m.-s. pinged, mis sidestuskondensaatori C_2 ja tugevusregulaatori R_2 kaudu kantakse väljundisse. Suure katoodtakistuse tõttu suudab detektor käsitada suuri sisendpingeid ilma võrevoolu tekkimiseta. Katooddetektor leiab kasutamist neil juhtudel, kui moonutuste allaviimine omab esmajärgulist tähtsust.

7. Kontaktdetektorid.

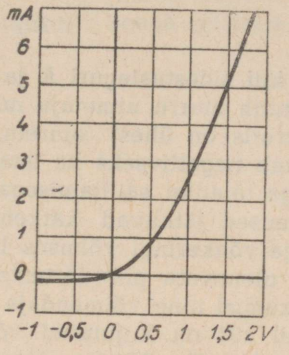
Kontakt- ehk kristalldetektoritena kasutatakse rida looduslikke ja kunstlikke kristalle, milles detekteerimisomadused avalduvad ebalineaarses voolujuhtivuses kas kristalli ja metallkontakti või kahe kristalli vahel. Seesuguseid kristalle kasutatakse mitte ainult lihtsamais nn. detektor-vastuvõtuseadmeis, vaid nad on kujunenud asendamatuiks superkõrgsagedus-tehnikas (cm-laineil), kus elektronilised abinõud ei anna enam rahuldavaid tulemusi. Nii kasutatakse kristalldetektoreid vastuvõtjates ja mõõteriistades k.-s. pingete detekteerimiseks, sagedusmuundamiseks ja muudeks ülesanneteks.

Detekteerimisefekti ilmnemise eelduseks elektrijuhi — metalli ja pooljuhi — kristalli vahel on see, et nende puutekohas tekiks pooljuhi ja temas sisalduvate lisandite iooniline ruumlaeng, mis võimaldab elektronide liikumist ainult ühes suunas. See puutekoha eralduskiht, mis tekib kristalli pinna oksüdeerumisel või muul keemilisel teel, on olulisim lüli detektori toimes, kuna temast oleneb detektori tundlikkus, stabiilsus, konstantsus ja muud omadused. Elektronide voolu läbiminekuks on tarvis, et puutekohas tekiks küllaldane pingelangus, mis saavutatakse kontaktpinna vähendamisega ja pooljuhi takistuse tõstmisega. Räni- (siliitsiumi) kristalli juures, mille kontaktimiseks kasutatakse 0,3 mm läbimõõduga lameda koonilise otsaga volframniiti, kujuneb eralduskihi mahtuvus väga väikeseks — 0,2 ... 0,3 pF. Kristalli puutekontakti takistus on keskmiselt 300 oomi.

Peale selle oleneb kontaktdetektori tundlikkus kasutatava kristalli liigist, tema koostise puhtusest, kontakti survest, mis on väga kriitiline, eralduskihi paksusest, mis samuti on kriitiline, ja temperatuurist. Metallkontaktiks kasutatava materjali liigil harilikult ei ole tähtsust, on vaid tarvilik, et see materjal oleks tugev, vetruv, ei korrodeeruks, s. o. et ta säiliks puhtana. Kristalldetektori koostamisel on tarvilik, et kristalli väline üleminekutakistus oleks väike, mida saavutatakse kristalli kittimisega vastavasse metallalusesse madala sulamistemperatuuriga metallisulami abil. Tüüpiline kristalldetektori tunnusjoon on kujutatud joonisel 190.

Levinenumaid detektoriks kasutatavaid kristalle on metallide väävel- ja hapnikühendid, nagu tinaläige, väävlistsink, karborund jt. Eriti hinnatavad oma suure tundlikkuse tõttu on superkõrgsagedus-tehnikas räni- ja germaaniumikristallid.

Peale kristallide kasutatakse kontaktdetektoritena veel miniatuurse ehitusega vaskoksüduul- ja seleen-õgvendajaid, mille paremuseks on suur stabiilsus ja töökonstantsus. Kuid nende suurimaks puuduseks on väike



Joon. 190. Tüüpilise kristalldetektori „Perikon" tunnusjoon.

tundlikkus ja suur mahtuvus, mis teeb nende kasutamise võimatuks isegi tavalistel lühilainetel. Peale selle sõltuvad seleen-õgvendaja omadused märgatavalt töötingimustest; seleen-õgvendaja tundlikkus muutub ühtlasi töö kestusega, mis lülitab ta välja kasutamisest isegi mõõteriistade õgvendajana.

II peatükk.

DETEKTEERIMISE ERIVORMID.

8. Regeneratiivdetektor.

Regeneratiivdetektor kujutab endast harilikku võredetektorit, milles rakendatakse positiivset tagasisidet[1] (D8c) selleks, et vähendada võnkeringi kõrgsagedustakistust, s. o. tõsta ta Q-d. Erinevalt ostsillaatorist, kus samuti rakendatakse positiivset tagasisidet, esineb regeneratiivdetektor eeskätt võimendajana, milles ergutuspinge saadakse eemalasuvalt saatjalt väljakiirgunud väljaenergiast vastuvõtuantenni kaudu. Regenereerimisega kantakse osa võimendatud võimsusest anoodringist tagasi võreringi, millega kaetakse võreringi kaod suuremal või vähemal määral, vastavalt tagasikanduvale võimsusele. Seejuures on välise ergutuspinge ülesandeks ainult võnkeringis areneva võnkumisprotsessi kontrollimine. Kui tagasikanduva võimsuse väärtus teha muudetavaks, s. o. sidestus reguleeritavaks, on võimalik tõsta võnkeringi Q väärtust ja koos sellega ergutuspinge võimendust väga suures ulatuses.

[1] Positiivset tagasisidet tuntakse ka reaktsiooni nimetuse all ja regeneratiivdetektoreid nimetatakse ühtlasi ka reaktsioondetektoreiks.

Sellist nähtust võib vaadelda kui lambi sisetakistuse muutumist sõltuvalt tagasisidest. Negatiivse tagasiside puhul, mil sidestustegur oli negatiivne, kujunes lambi sisetakistuse muutus

$$R'_i = \frac{R_i}{1 - k\mu}.$$

Positiivse tagasiside juures on sisetakistuse muutus arusaadavalt vastupidine, sest tagasikanduv võimsus on faasis võreringi võimsusega[1]. Sellest valemist

$$R'_i = \frac{R_i}{1 + k\mu}.$$

nähtub, et kui sidestusteguri k ja lambi võimendusteguri μ korrutis võrdub ühega, muutub murru nimetaja nulliks ja lambi sisetakistus lõpmata suureks; kui $k\mu$ korrutis on ühest suurem, muutub murru nimetaja negatiivseks ja seega muutub negatiivseks ka lambi sisetakistus. Esimesel juhul on tegemist ergutuspinge täieliku säilitamisega võnkeringis ilma kadudeta, s. o. kord alanud võnkumised jätkuvad katkematult. Teisel juhul kasvavad võnkumiste amplituud ja võnkeringi võimsus lambi ja võnkeringi omadustest ning toitevõimsusest olenevate piirväärtusteni, kusjuures ergutuspinge lakkab kontrollimast võnkumisi ning võimendaja muutub ostsillaatoriks.

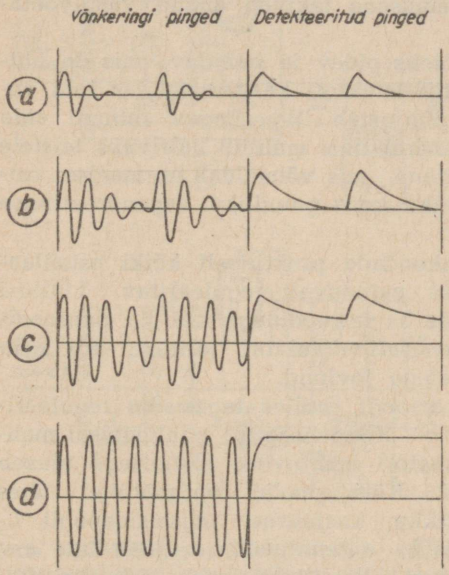
Joonisel 191 on kujutatud võnkumisprotsessi arenemine vastavalt sidestuse väärtusele. Graafikuist nähtub, et nõrga tagasiside puhul katkevad võnkumised võnkeringis koos ergutuspinge katkestamisega, kuid tugeva tagasiside puhul ergutuspinge katkestamisel võnkumised jätkuvad. Sidestuse tõstmisel üle k r i i t i l i s e piiri kaotab ergutuspinge täielikult kontrolli võnkumiste üle. Sellest järeldub, et moduleeritud signaalide vastuvõtul saab tagasisidet kasutada vaid kriitilise piirini, mil omavõnkumisi veel ei teki. Selline kriitiline tööpunkt arendab maksimaalset võimendust, kuid väga kõrge Q tõttu muutub võnkering üliselektiivseks ning mõjub diskrimineerivalt kandevlaine külgsagedustele, mistõttu tekivad tõsised lineaarsed moonutused ülekandes kõrgemate modulatsioonisageduste arvel.

Tagasiside üle kriitilise väärtuse reguleerimisel annab regeneratiivdetektor võimaluse vastu võtta moduleerimata signaale, mis harilikul detekteerimisviisil kanduvad väljundisse ainult alalisvoolu pulssidena ja seega jäävad kuulmatuks peatelefonides. Kuna ülekriitilise tagasisidega regeneratiivdetektori võnkumissagedus ei allu enam ergutuspinge kontrollile, siis tarvitseb vaid muuta ümberhäälestamisega detektori võnkeringi sagedust selliselt, et mõlemate võnkeringis toimivate pingete, s. o. ergutuspinge ja kohaliku ostsilleerimispinge sageduste vahe võrduks keskmistele helisagedustele — 400 ... 2000 Hz. Sel teel kaks erinevat sagedust moduleeruvad detektoris kui ebalineaarses elektronilises seadmes ja samas detekteerides avalduvad väljundis kuuldava helisagedusena, tuikesagedusena.

Eelnevast võiks jääda mulje, et tagasiside kasutamisel pole sugugi oluline, millise kvaliteediga võnkeringi osi, s. o. pooli ja kondensaatorit kasutatakse ja et tagasiside, s. o. negatiivse takistuse suurendamisega võidaks saada

[1] Kuigi valemis sidestuse väärtus k kannab positiivset märki, kujuneb ta arvestustel negatiivseks seetõttu, et lambis vahelduv anoodpinge on vastufaasis võrepingega; pluss- või miinusmärk näitavad ainult faasi, millega on teostatud tagasiside.

suurekaolise pooliga samu tulemusi kui väikesekaolisega. Seejuures ei tohi aga unustada seda, et saavutatav negatiivne takistus kujutab endast mitte üksi tagasiside reguleerimise funktsiooni, vaid sõltub ka signaalipingete amplituudist. Praktiliselt pole võimalik tagasiside väärtust kriitilisel reguleerimisel hoida täiesti ühtlasena: väiksemadki muudatused toitepingetes, temperatuuris jne. muudavad tagasiside kas ülekriitiliseks või alakriitiliseks. Suurekaoliste poolide puhul tuleb suurte k.-s. takistuste mahasurumiseks kasutada tagasisidet ohtramalt kui väikesekaoliste poolide juures; tugevama tagasisidestuse puhul kannatab aga reguleerimise täpsus. Seega on selge, et madala-



Joon. 191. Võnkumisprotsessi arenemine regeneratiivdetektoris sõltuvalt sidestustegurist k: a — võnkumised ilma tagasisideta, b — võnkumised nõrga tagasisidega, c — võnkumised keskmise tugevusega tagasisidega, d — ostsilleerimine ülekriitilise tagasisidega.

kaolisus on oluline ka regeneratiivlülituses tagasiside hõlpsama ohjeldamise ja lülituse korrapärasema toimimise huvides.

Madalama sagedusega signaalide vastuvõtul, mil võnkeringi induktiivsus on suhteliselt suur, on võnkumiste amplituudi juurdekasv aeglane. Esiteks sellepärast, et teatava ajaühiku vältel saab tekkida ainult väiksem arv võnkumisi, teiseks, et suur induktiivsus, sarnanedes võnkeringi suure inertsiga, aeglustab võnkumiste amplituudi juurdekasvu. Seega moduleeritud, eriti suurema sagedusega signaalid ei jõua oma mõjutusaja kestel võnkeringis esile kutsuda stabiilset võnkumisrežiimi. Sellega seletubki modulatsioonisageduste märgatav nõrgenemine, mis on eriti tähelepandav kõrgemate modulatsioonisageduste juures. Liigse tagasiside rakendamisel väheneb tunduvalt kõneülekande arusaadavus.

Olukord muutub märgatavalt, kui tagasiside kasutamisega siirduda kõrg- ja ülikõrgsagedusastmikesse. Võrdsel ajaühikul tsirkuleerib võnkeringis nüüd suhteliselt palju enam võnkumisi ja tänu võnkeringi väikesele induktiivsusele jõuab võnkumiste amplituud stabiilsele töörežiimile tunduvalt varem. Seepärast

tagasiside rakendamine kõrg-, eriti aga ülikõrgsagedusil evib väga suurt tähtsust, kuna ta annab suuri võimendusi ja võimaldab paremat heliülekande kvaliteeti.

Kui regeneratiivdetektor ühtlasi on vastuvõtja esimeseks astmeks, on väga oluline õige side valik antenniga. Teatavasti kujutab antenn endast võnkeringi, mis sidestatuna detektori võnkeringiga avaldub viimasele koormusena. Sellest tingituna muutub tagasiside reguleerimine märgatavalt antenniga sidestamisel: sagedustel, millistel antenn häälestub võnkeringiga, tuleb tagasiside väärtust tunduvalt tõsta, et ühtlasi katta ka antenni kaod. Kui tagasisidega genereeritav võimsus detektoris on piiratud, lakkab detektor neil sagedusil üldse ostsilleerimast, mille tulemusena tekivad augud vastuvõetavas sagedusastmikus.

Selleks, et tagasiside reguleerimine oleks pidev ja painduv, mis on ühtlasi esmajärguliseks tingimuseks regeneratiivdetektori käsitamisel, ei tohi antenni side olla liiga tugev. Peale selle põhjustab liiga tugev antenni side võnkeenergia kandumist antenni sellisel määral, mis muutub häirivaks teistele vastuvõtjatele. Paras antenni side on säärane, mis võimaldab normaalset ostsilleerimist üle terve kaetava sagedusastmiku koos paindliku regenereerimise reguleerimisega.

Regeneratiivdetektoris on võimalik rakendada praktiliselt kõiki ostsillaatori lülitusi, eeldusel, et tagasiside oleks painduvalt reguleeritav. Lülitusi võib koostada ühevõrra hästi nii trioodide ja tetroodidega kui ka pentoodidega. Joonisel 192 on toodud neli regeneratiivdetektori lülitust, mis oma lihtsuse ja töötamiskindluse poolest on enam levinud.

Lülituses *a* on kasutatud detektoriks trioodi, milles tagasiside reguleerimine toimub muudetava kondensaatoriga C_3. Kondensaatori minimaalsel mahtuvusel regenereerimist ei teki, kondensaatori mahtuvuse tõstmisega tõuseb pidevalt tagasiside kuni ostsilleerimiseni. Kõik poolid on mähitud ühes suunas, ühisel alusel, üksteisega lähestikku, kusjuures tagasisidepooli L_3 keerdude arv moodustab umbes 10...25%, antennipooli L_1 keerdude arv 10...30% häälestuspooli L_2 keerdude arvust. Positiivse tagasiside saavutamiseks on tagasisidepooli mähise polaarsus oluline: ühise mähkimissuuna puhul ühendatakse mähiste välimised otsad vastavalt lambi anoodile ja võrele.

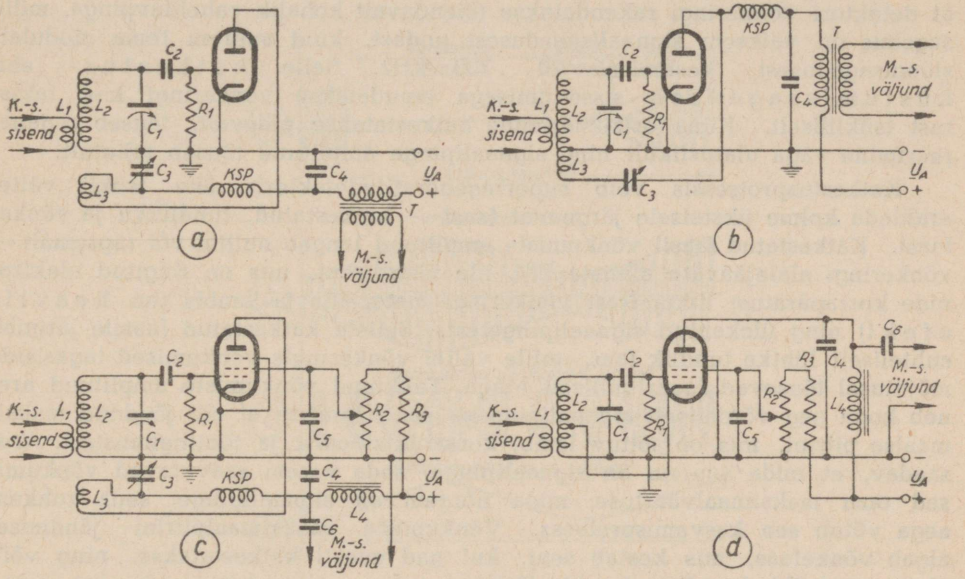
Lülitus *b* on analoogiline lülitusega *a*, vahe seisab ainult anoodtoites: lülituses *a* teostatakse toide järjestikku, lülituses *b* — rööbiti tagasisidepooli suhtes. Lülituse *b* paremuseks on, et tagasisidepool asub maapotentsiaalil ja kujutab õieti häälestuspooli pikendust. Kuna aga tagasiside reguleerimiskondensaator C_3 on k.-s. pingete all, siis tuleb ta rootor „käemõju" vältimiseks välisest regulaatornupust hästi isoleerida.

Lülituses *c* on kasutatud varivõrepentoodi, milles tagasiside reguleerimine toimub varivõre pinge muutmisega potentsiomeetri R_2 abil, millega järjestikku on lülitatud pingelange-takistus R_3. Muis üksikasjus lülitus sarnaneb eelmistega.

Lülitus *d* sarnaneb lülitusega *c*, ainsa vahega, et tagasisidestus teostatakse elektroniliselt häälestuspooli haruühendi kaudu induktiivse kolmpunkt-lülitusena, milles anoodina toimiv varivõre on kondensaatori C_5 kaudu maandatud. Sel puhul pooli tagasisidestuse keerdude arv, mis on haruühendi ja maan-

duse vahel, kujuneb väiksemaks; keskmiselt 10% häälestuspooli keerdude arvust annab paraja tagasisidestuse.

Regeneratiivdetektor kujutab endast lihtsaimat, kuid ühtlasi küllalt võimsat vastuvõtulülitust, mis oskuslikes kätes annab väga häid tulemusi. Selle saavutamise olulisemaks eelduseks on õigesti dimensioonitud ja sobitatud tagasiside. Niisama oluline on oskus tagasisidet maksimaalselt kasutada.



Joon. 192. Regeneratiivdetektori lülitusi: *a* — järjestikuse tagasiside-toitega mahtuvuslikult reguleeritava tagasisidega detektor, *b* — sama rööbitise toitega, *c* — varivõrepingega reguleeritava tagasisidega detektor, *d* — elektronsidestuses detektor. Üksikosad: L_1 — antenni sidestuspool; L_2 — võnkeringi häälestuspool; L_3 — tagasisidepool, lülituses *d* tagasiside saavutatakse L_2 haruühendusega; C_1 — häälestuskondensaator, $C_2 = 100$ pF, C_3 — tagasiside regulaator-kondensaator = 100 pF, $C_4 = 200 \ldots 300$ pF, $C_5 = 1$ µF, $C_6 = 0{,}1$ µF; $R_1 = 1 \ldots 3$ MΩ, $R_2 = 0{,}05$ MΩ, $R_3 = 0{,}05 \ldots 0{,}1$ MΩ; KSP = 2,5 mH; T — madalsagedustrafo, L_4 — m.-s. paispool 300...500 H; anoodpinge lülituses *a* ja *b* — 50 V, lülitustes *c* ja *d* — 100...250 V, varivõrel keskmiselt 30 V.

Kuna amatöörtöös tuleb vastu võtta nii moduleeritud kui ka moduleerimata signaale, siis on optimaalseks tagasiside reguleerimiseks punkt, kus ostsilleerimine parajasti algab, s. o. ostsilleerimislävi. Selles punktis töötades on peatelefonides kostev kahin kõige tugevam, mis näitab, et vastuvõtja arendab maksimaalset võimendust. Kinnipüütud signaali puhul tuleb käituda vastavalt: moduleeritud signaali puhul tagasisidet vaevalt märgatavalt vähendada, moduleerimata signaali korral samavõrra lisada. Neis tingimustes saavutatavad tulemused on optimaalsed, suuremad kõrvalekaldumised ühele või teisele poole vähendavad märgatavalt vastuvõtu tundlikkust.

9. Superregeneratiivdetektor.

Regeneratiivdetektoril piirab kriitiline tagasisidestuse väärtus vastuvõetavate signaalide võimendust, kuna üle selle kriitilise väärtuse minnes tõuseb kohalike võnkumiste amplituud niivõrd suureks, et matab kinni väga nõrgad väljastpoolt saabuvad signaalid.

Superregeneratiivdetektoris saadakse säärasest piiramisest üle sel teel, et detektori võnkeringi rakendatakse täiendavalt kohalik vahelduvpinge, mille sagedus on väiksem signaalisagedusest endast, kuid suurem tema modulatsioonisagedusest, keskmiselt 20...200 kHz. Selle *katkestus-* ehk *kustumissageduse* sisseviimisega muudetakse võnkeringi k.-s. takistust tsükliliselt. Kuna ostsilleerimine katkestatakse pidevalt, tõuseb regenereerimine väga ulatuslikult ning signaalipinge amplituud tõuseb tohutult.

Katkestusprotsessis võib superregeneratiivdetektoris ühe tsükli vältel eraldada kolme üksteisele järgnevat faasi — katkestatud, tundlikku ja võnkefaasi. Katkestatud faasil võnkumiste amplituud langeb nullini või täpsemalt — võnkeringi alalejäävate alaliste EMJ-ide väärtuseni, mis on tingitud elektronide korrapäratust liikumisest võnkeringi materjalis ja lambis (nn. *haavli-efekt*) ning ülekantud signaalipingetest. Sellele katkestatud faasile järgneb suhteliselt lühike tundlik faas, mille vältel võnkeringis võnkumised tagasiside mõjutusel tõusevad logaritmiliselt ajaga. Tekkinud võnkumiste amplituud areneb kogu aeg võrdeliselt signaalipingega seni, kuni ta ei ole jõudnud maksimaalse piirini, mis on sõltuv lambi konstruktsioonist ja töötingimustest. Arusaadav, et mida suurem on signaalipinge, seda varem saavutavad võnkumised oma maksimaalväärtuse, mida nõrgem on signaalipinge, seda rohkem aega võtab see kasvamisprotsess. Võnkumiste maksimaalpiirini jõudmisel algab võnkefaas, mis kestab seni, kui nad uuesti katkestatakse, ning võib alata uus tsükkel endises faaside järjekorras.

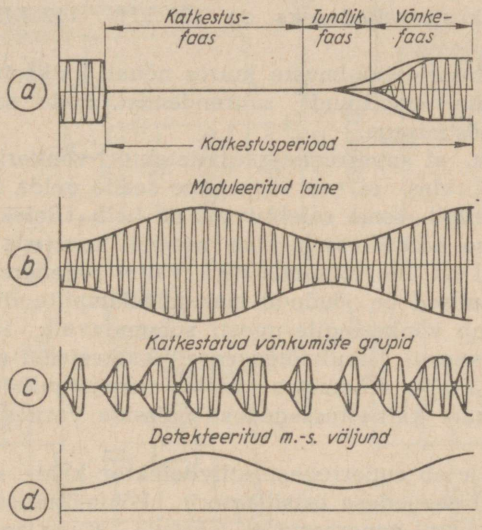
Kui võrrelda sääraseid üksikuid võnkumiste rühmi graafiliselt (joon. 193 *a*), siis selgub, et nad kõik evivad võrdset kuju, kuid on üksteise suhtes erinevate ajavahemikkude võrra nihutatud. Nõrgemate signaalide puhul jõuavad võnkumised oma amplituudväärtuseni hiljem kui tugevamate signaalide juures.

Tundliku faasi vältel paisuvad võnkumisamplituudini kõik signaalipinged, mis võnkeringi üle kantakse vaatamata nende tugevusele (joon. 193 *b*). Erandit ei kujuta seegi juhtum, mil signaalipinge on suhteliselt nõrgem võnkeringis endas genereeruvast ja muist häirivpingetest, sest ka neist põhjustatud võnkumised jõuavad amplituudväärtuseni. Vahe seisab ainult selles, et liiga nõrgad signaalipinged ei pääse võnkumistena esile ning vastuvõtja väljundis kostab vaid korrapäratu müra. Kui signaalipinge ületab mürapinge taseme, algab võnkeprotsess enne, kui eelmine võnkumiste rühm on jõudnud kustuda, mille tulemusena müra väljundis kaob. Võnkumiste alguse ettejõudmine ajas on moduleerimise korral võrdeline signaalipinge modulatsiooni amplituudiga. Kuna võnkumisfaasi kestus muutub vastavalt modulatsioonile, siis pärast võnkumiste rühmade õgvendamist detekteerimisel on ka väljundi keskväärtus võrdeline modulatsioonipingega. Vastuvõetava moduleeritud signaali tugevus oleneb ainult modulatsiooni sügavusest, kuid sugugi mitte kandev-

laine tugevusest. Isegi üsna nõrk signaalipinge on suuteline küllaldaselt summutama häirivpingeid.

Säärase käitumise järgi võib teha superregeneratiivdetektori kohta kolm järeldust:

Esiteks, et igasugune võnkeringi pinge, kas väljast sisse kantud või võnkeringis endas tekkinud, tugevusele vaatamata areneb võnkumisfaasi kestel võrdse amplituudväärtuseni, siis rakendatakse superregeneratiivdetektoris maksimaalselt automaatset tundlikkuse reguleerimist (ATR).



Joon. 193. K.-s. võnkumiste arenemine superregeneratiivdetektori võnkeringis: *a* — üksikfaaside kujutus katkestusperioodi kestel, *b* — moduleeritud laine, *c* — katkestatud võnkumiste rühmad, d — detekteeritud m.-s. väljund.

Teiseks, et detekteeritud väljund on võrdeline kandevlaine modulatsioonipingega, siis pole superregeneratiivdetektor kõlblik moduleerimata laine, näiteks telegraafisaate vastuvõtmiseks.

Kolmandaks, superregeneratiivdetektori vastuvõtu tundlikkus on tohutult suur, võrdlematu ühegi teist liiki detektoriga. Superregeneratiivdetektorilt saadavad võimendused on fenomenaalsed, sest detektorlamp, toitevõimsusega 1...2 vatti, arendab võimendust umbes $5 \cdot 10^8$ korda, kusjuures võimendus on mõeldud m.-s. väljund- ja k.-s. sisendvõimsuste suhtena, 100 MHz sageduse (3 m lainepikkuse) juures toimides. Teiste sõnadega, superregeneratiivdetektor võib arendada täielikku väljundvõimsust signaalipingetega alla 1 mikrovoldi. Säärane võimendus saavutatakse ühelt ainsalt lambilt.

Tuleb lisada, et nii ülikõrge tundlikkus kui ka täiusliik ATR-i toime kooskõlas eeltooduga on kehtiv ainult ülikõrgsageduste kohta. Madalamail sagedusil pole nad enam paikapidavad seni, kuni katkestussagedus pole suhteliselt küllalt madal, sest lühiajalise tundliku faasi vältel ei suuda võnkumised enam maksimaalse amplituudväärtuseni tõusta ja seega kõrget võimendust ning head ATR-i anda. Madalamail sagedusil sobiv katkestussagedus peaks olema

seevõrra madal, et satuks kuuldepiirkonda, mis loomulikult häiriks vastuvõttu ja seega pole lubatav. Suure tundlikkuse saavutamiseks on oluline õige katkestussageduse ja selle amplituudväärtuse valik. Igale signaalisagedusele vastab optimaalne katkestussagedus, mis näib olevat võrdeline signaalisagedusega. Ühelt poolt on võimendus seda kõrgem, mida suurem on signaalisageduse vahe, resp. suhe, sest signaali amplituudi arenemiseks maksimaalväärtuseni jätkub rohkem aega tundliku faasi kestel. Kuid teiselt poolt tõuseb ka katkestusaeg, mil võnkeringi takistus sõltub ainult võnkeringi enda Q-st. Optimum ei ole kriitiline, asudes suhete piirides 100 ... 500. 60 MHz sagedusribale sobivaks katkestussageduseks on 150 kHz, 112 MHz sagedusribale — 250 kHz.

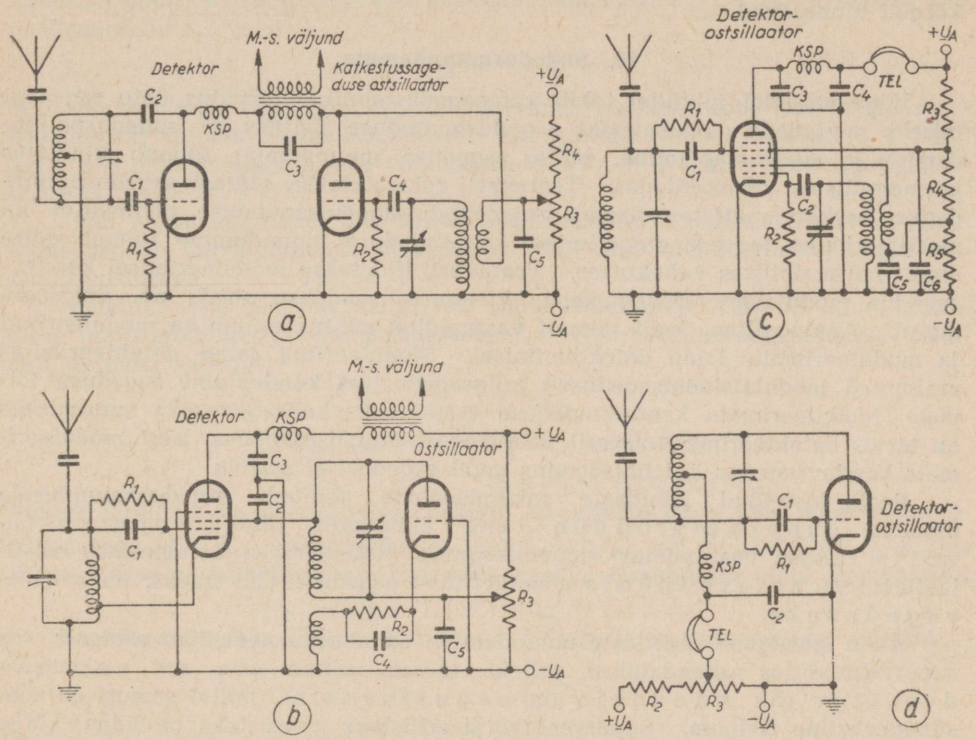
Kõigi muude võrdsete tingimuste juures nõuab katkestussageduse tõstmine ka katkestussageduse amplituudi suurendamist, mida saavutatakse anoodi toitepinge vastava tõstmisega.

Arvestades seda, et superregeneratiivdetektori võnkeringi Q muutub kogu aeg väga suurtes piirides, ei saa seesugune seade evida kõrget selektiivsust, vaid just ümberpöördult, tema selektiivsus on halb. Selektiivsust on võimalik tõsta, kui siinuselise katkestussageduse asemel kasutada püstküliku-kujulist sagedust. Sel puhul on ühe toimimistsükli vältel regenereerimist tarvis ainult niikaua, kui võnkumised on jõudnud maksimaalamplituudini. Regenereerimise edasijätkamine mõjub võnkeringile uuesti summutavalt. Kui tekitada regenereerimist järsult ja samuti järsult õigeaegselt katkestada, siis on summutusoht välditud. Kuid tavalistes seadmetes, milles esmajärgulist tähtsust omab lülituse lihtsus, keerukate katkestussageduse pulsside vormimisest harilikult loobutakse.

Lülituslikult kujutab superregeneratiivdetektor kahte seadet: regeneratiivdetektorit ja katkestussageduse ostsillaatorit. Põhimõtteliselt pole oluline, kuidas ühel või teisel juhul genereerimist tekitada. Kuna aga superregeneratiivdetektorit rakendatakse peamiselt ülikõrgsagedusil, siis kõlbavad detektoriks lülitused, mis hästi genereeruvad sellel astmikul. Parimaid neist on ultraaudion. Tunduvalt madalam katkestussagedus lülituse valikul erilisi nõudeid ei esita. Samuti pole oluline, kuidas katkestussagedust regeneraatorisse moduleerida, kõik tuntud moduleerimisviisid on kõlblikud. Eriliseks nõudeks on ainult see, et katkestussageduse amplituudväärtus, s. o. modulatsiooniprotsent oleks reguleeritav optimaalsete tulemuste saavutamiseks.

Joonisel 194 on toodud rida superregeneratiivdetektori tüüplülitusi. Lülituses *a* kasutatakse detektoris ultraaudion-lülitust, katkestussageduse ostsillaatoris lihtsat tagasiside-lülitust. Anoodpinge on ühine, reguleeritakse pingejagaja-potentsiomeetri abil. Lülituses *b* on detektor koostatud elektronsidestuses, katkestussageduse moduleerimine toimub varivõre-toite kaudu, modulatsiooni sügavus on eraldi reguleeritav potentsiomeetri (R_3) abil. Lülituses *c* täidab heptood mõlemaid, nii regeneraatori kui ka ostsillaatori ülesandeid. Kõrgsageduslik regenereerimine toimub selles lülituses lambi elektroodide-vahelise varjestuse ebatäiuslikkusest tingitud mahtuvusliku tagasisidestuse tõttu. Katkestussageduslik genereerimine toimub lambi võrede G_1 ja G_2 vooluringidesse lülitatud võnkesüsteemis induktiivse tagasisidega. Kõrgsagedusliku võnkumise moduleerimine katkestussagedusega teostatakse lambis elektroniliselt. Lülituse parajasse töörežiimi seadmisel on elektroodide toitepingete õigel va-

likul oluline tähtsus. Oktoodi rakendamine lülituses lihtsustab mõnevõrra toitepingete õiget reguleerimist. Lülitus *d* on huvitav oma lihtsuse poolest, kuna mõlemaid funktsioone täidab triood. K.-s. regenereerimine toimub ultraaudion-lülituses, katkestussagedus tekib tagasisidest, mida reguleerib võretakistuse-kondensaatori ajakonstant. Viimaste väärtused on kriitilised, kuna neist oleneb mitte ainult katkestussagedus, vaid ka katkestussageduse



Joon. 194. Superregeneratiivdetektori lülitusi. Lülitustes *a* ja *b* kasutatakse eraldi katkestussageduse ostsillaatorit; lülituses *c* täidab heptood nii kõrg- kui ka katkestussageduse ostsillaatori ülesandeid; lülituses *d* katkestussagedus tekitatakse võrekomplektiga C_1 R_1 ja määratakse nende ajakonstandiga. Kõigis lülitustes $R_1 = 2 \ldots 10$ MΩ, $C_1 = 50$ pF, teiste osade suurused olenevad kasutatavast signaalisagedusest.

amplituud. Kord õigesti väljareguleerituna võib säärane isekatkestav superregeneratiivdetektor oma lihtsusele vaatamata üllatavalt häid tulemusi anda.

Suure võimenduse tõttu on superregeneratiivdetektori omamüra märgatavalt suurem kui teiste regeneratiivdetektorite juures. Kõige tundlikumaks töö punktiks on koht, kus müra parajasti tugevaks muutub. Õigesti töötavas seadmes väheneb signaali häälestamisel müra tase vastavalt signaali tugevusele. Müra puudumine osutab kas puudulikule tagasisidele detektoris või ebaküllaldasele katkestuspinge amplituudile. Antenni koormus võib häälestatavas sagedusribas tekitada auke, millest ülesaamiseks tuleb vähendada antenni sidestust või muuta antenni dimensioone.

Kokku võttes, superregeneratiivdetektor on asendamatu väikestes kantavates seadmetes, millelt nõutakse lihtsust ja kompaktsust, eeskätt ülikõrgeil sagedusil. Ta puudusteks on nõrk selektiivsus ja häirete tekitamine teistes vastuvõtjates katkestussageduse väljakiirgumise tõttu. Nende puuduste vältimiseks lülitatakse talle ette k.-s. eelvõimendaja kas kõrgsageduse otselülitusena või superlülitusena. Eriti viimasel juhul temalt saadavad tulemused on kõrgelt hinnatavad.

10. Sagedusmuundamine.

Väga paljudel juhtudel tekib kõrgsagedustehnikas tarvidus ühte sagedust teiseks muundada. Lihtsaimaks sagedusmuunduse näiteks on sageduspaljundamine ja sagedusjaotamine, milles sageduse muundumine toimub kindlates harmoonilistes vahekordades. Teatavasti rakendatakse säärast sageduspaljundamist eeskätt saatjates. Samuti rajanevad sagedusmuunduse põhimõttel ka moduleerimine ja demoduleerimine, kus sageduse muundumine toimub mitte ainult harmoonilises vahekorras. Teatavasti liidetakse moduleerimisel kandevsagedus modulatsioonisagedustega, kusjuures saadakse uued, nn. külgsagedused. Analoogiline, kuid toimelt vastupidine nähtus esineb ka moduleeritud ja moduleerimata laine detekteerimisel. Moduleeritud laine detekteerimisel eralduvad modulatsioonisagedused külgsagedustest kandevlaine sageduse toimel. Moduleerimata kandevsageduse kuuldavaks helisageduseks muutmiseks on tarvis detekteerimisprotsessil liita kohapealne lisasagedus, sest moduleerimata kandevsagedus kui lihtsagedus muid sagedusi ei sisalda.

Peale loeteldud laialdaste rakendusalade põhineb sagedusmuundusele moodne superheterodüün- ehk üldisemalt tuntud supervastuvõtja, milles vastuvõetav signaalisagedus muundatakse kohapealses ostsillaatoris, nn. heterodüünis genereeritava sageduse abil uueks, nn. vahesageduseks.

Kuna igasugune sageduste muundamine on ebasümmeetriline protsess, siis supervastuvõtjas rakendatakse selleks töösse eriline aste, nn. esimene detektor ehk muundaja (ka segustusaste), millel samuti on ebasümmeetriline iseloom. Supervastuvõtja erilisteks voorusteks on väga kõrge võimendus ja selektiivsus, millega ei saa võistelda ükski teine vastuvõtja tüüp. Kõrge võimendus saavutatakse vahesagedusvõimendajas, mis konstantsel sagedusel, täpsemalt öeldes sagedusribal toimides on töösse rakendatud optimaalsetes tingimustes. Peale selle suureneb võimendus veel seetõttu, et vahesageduses kasutatakse peaaegu alati signaalisagedusest madalamat sagedust, millel võimendaja töötab üldiselt kõrgema kasuteguriga. Koos suure võimendusega, mis saavutatakse kõrge Q-ga võnkeringidega häälestatud võimendusastmetes, tõuseb vastavalt ka selektiivsus. Et vastu võetakse tervet sagedusastmikku ja et vahesagedus on püsiv, siis loomulikult peab ostsillaator- ehk heterodüünsagedus muutuma kindlas suhtes signaalisagedusega, milleks supervastuvõtjas kasutatakse erilist kokkujooksu-menetlust.

Põhimõtteliselt saab iga kahte sagedust $U_1 \sin \alpha t$ ja $U_2 \sin \beta t$ teineteisega liita, kui nad allutada ebasümmeetrilisele detekteerimisele. Detektori väljundis tekib neist terve rida uusi sagedusi: $0,\ \alpha \pm \beta,\ 2\alpha \pm 2\beta,\ 3\alpha \pm 3\beta \ldots$ $\ldots n\alpha \pm n\beta$, milledes teguriteks on täisarvud. Lähemal vaatlusel selgub, et

esimene liige kujutab nullise sagedusega alalist voolu (0), teine liige — mõlema sageduse summat ja vahet, kolmas liige — kahekordse esimese ja teise sageduse summat ja vahet jne. Nende uute sageduste amplituudid määrab kindlaks detektori tunnuskõvera kuju. Saadud sageduste spektrist eraldatakse filtritega need sagedused, mis on tarvilikud edaspidiseks kasutamiseks.

Supervastuvõtjas leiab kasutamist vahesagedusena f_i — algsageduste, s. o. kohaliku heterodüünsageduse ehk ostsillaatorsageduse f_{os} ja vastuvõetava signaalisageduse f_s vahe

$$f_i = f_{os} - f_s ,$$

sest võnkeringide kokkujooksu saab paremini teostada siis, kui ostsillaatorsagedus on kõrgem signaalisagedusest. Kui näiteks signaalisagedus $f_s = 1200$ kHz, siis tema muundamiseks vahesageduseks $f_i = 475$ kHz peab ostsillaatorsagedus $f_{os} = 1675$ kHz.

Jääb ainult selgitada, kas sellise sagedusmuundumisega kanduvad vahesagedusse üle ka modulatsioonisagedused f_m, mis moduleerimisel liideti signaalisagedusega.

Matemaatiline analüüs näitab, et sagedusmuundaja väljund, mille sisendisse juhiti moduleeritud signaalisagedus $f_s \pm f_m$ ja ostsillaatorsagedus f_{os}, sisaldab järgmisi sagedusi:

$$\begin{array}{llllll} 0 & f_s & f_{os} & f_m & f_s \pm f_m & \\ & 2f_s & 2f_{os} & 2f_m & 2f_s \pm f_m & f_s \pm f_{os} \\ & & & & 2f_s \pm 2f_m & (f_s \pm f_{os}) \pm f_m \end{array}$$

Sellest järeldub, et muundumisel kandub algsagedus koos oma modulatsioonisagedusega $f_s \pm f_m$ vahesagedusse $(f_s \pm f_{os}) \pm f_m$ või $(f_{os} \pm f_s) \pm f_m$, millest filtreeritakse välja võimendamiseks vahesagedusvõimendajas ainult sagedusriba

$$(f_s - f_{os}) \pm f_m \text{ või } (f_{os} - f_s) \pm f_m.$$

Sagedusmuundaja lülitusi käsitleme hiljem koos vastuvõtjate kirjeldustega.

III peatükk

SAGEDUSMODULEERITUD VAHELDUVPINGETE DETEKTEERIMINE.

11. Vastuvõtu põhimõte.

Faas- ja sagedusmoduleeritud signaalide detekteerimine tavaliste detekteerimisviisidega, mis on mõeldud amplituudmoduleeritud signaalide detekteerimiseks, pole võimalik, kuna nii faas- kui ka sagedusmoduleeritud signaalide amplituud jääb konstantseks.

Faasmoduleeritud signaalide vastuvõtul muundatakse algul faasmodulatsioon ümber amplituudmodulatsiooniks kohapealse abisageduse liitmise teel, mille sagedus võrdub faasmoduleeritud kandevsagedusega, kuid on viimasest vajaliku nurga võrra faasis nihutatud. Sellisel muundusmenetlusel saadud amplituudmoduleeritud signaal detekteeritakse seejärel harilike detektorite abil.

Sagedusmoduleeritud signaalide vastuvõtu seadmed koosnevad põhimõtteliselt kolmest osast: suure võimendusega ja ühtlase laia sagedusriba ülekandega eelvõimendajast, piirajast ja sagedusmodulatsiooni detektorist ehk diskriminaatorist.

Selleks et täielikult ära kasutada sagedusmodulatsiooni olulisimat paremust — mürade mahasurumist, on tarvis sagedusmoduleeritud signaal enne diskriminaatorisse juhtimist täielikult vabastada amplituudmodulatsioonist. Praktika ja katsed näitavad, et kõik mürad, mis liituvad modulatsioonina kandevlainesse, evivad amplituudmoduleeritud iseloomu. Selliste mürade hulka kuuluvad amplituudilised ebaühtlused, mis on tingitud elektronide kiirenduste erinevusest lampides ja võnkeringides ning toitepingete ebapuhtusest nii saatjas kui ka vastuvõtjas. Samuti omavad amplituudmoduleeritud iseloomu tööstuslikud ja atmosfäärilised väljahäired, mis liituvad väljakiirgunud saatelainega ruumis või vastuvõtuantennis. Praktiliselt teostatakse vastuvõetud sagedusmoduleeritud signaali vabastamist amplituudmodulatsioonist sel teel, et ta võimendatakse algul küllaldase amplituudväärtuseni (10 ... 20 V), misjärel ta juhitakse piirajasse, kus lõigatakse maha amplituudid keskmisele, kuid täiesti ühtlasele väärtusele. On loomulik, et selline amplituudide piiramine ei saa avaldada mingit kahjustavat mõju laines sisalduvale sagedusmodulatsioonile. Selleks et sagedusmodulatsioonis ei tekiks sagedusdeviatsiooni moonutusi, peab eelvõimendaja võimaldama laia sagedusriba ühtlast ülekandmist. Peale selle peab võimendaja võimendus olema seevõrra kõrge, et ka kõige nõrgemate vastuvõetud signaalidega võiks toimuda amplituudide piiramine. Harilikult saavutatakse säärane võimendus supertüüpi eelvõimendajas.

Piirajalt nõutakse, et ta toimiks ühevõrra hästi nii kiirete kui ka aeglaste amplituudide muudatuste suhtes, kuna just temast oleneb müradest vabanemise probleemi lahendamine. Diskriminaatori ülesandeks on sagedusdeviatsiooni muundamine lineaarselt amplituudiliseks väljundiks.

12. Sagedusmoduleeritud detektori lülitus.

a) Piiraja. Piirajas kasutatakse harilikult anoodi küllastamise põhimõttel toimivat varivõrepentoodi, milles madalad anood- ja varivõrepinged piiravad anoodvoolu voolamise suurte amplituudidega sisendpingete puhul. Joonisel 195 *a* on toodud tavaline piiraja lülitus. Lamp on eelpingestatud automaatselt võretakistuse R_1 ja kondensaatori C_1 abil. Pingejagaja R_2, R_3, R_4 kaudu antakse vajalikud pinged lambi anoodile ja varivõrele. Mida madalamad on toitepinged, seda madalamatel amplituudidel toimub signaalipingete piiramine, kuid ühtlasi on väiksemad ka k.-s. väljundpinged. Kondensaatorid C_2 ja C_3 on lülitatud lahtisidestuse otstarbeks ja on dimensioonitud 4 ... 5 MHz vahesagedusele, mida tavaliselt kasutatakse ülikõrgsagedustel töötavate sagedusmoduleeritud signaalide vastuvõtuks. R_1C_1 komplekti ajakonstant määrab ära piiraja reageerimise kiirete ja aeglaste amplituudimuudatuste suhtes. Pulssmürade[1] elimineerimiseks on sobivam väike ajakonstant, kuid liiga väike ajakonstant vähendab signaalipingete üldist taset, mida piiraja peab olema suuteline kons-

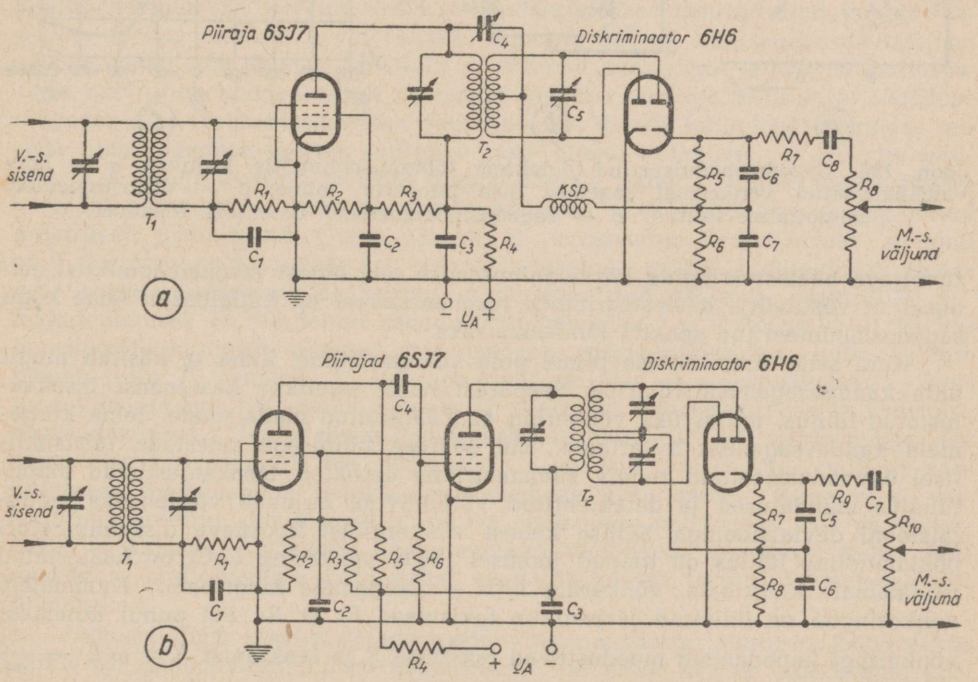
[1] Pulssmürade all mõeldakse väga lühiajalisi, kuid suhteliselt suureamplituudilisi häirepingeid, mida tekitavad kohalikud elektriseadmed.

tantse väljundi nõude täitmisel kõrvalekaldumatult käsitama. Suures ulatuses muutuvate signaalipinge amplituudide käsitamisel on suurem ajakonstant küll parem, kuid ta pole nii mõjuv kiiretel muutustel. Lülituses märgitud väärtused kujutavad kompromisslahendust.

Järjestikuses piiraja lülituses (joon. 195 *b*) on piiramise reageerimise küsimus lahendatud sel teel, et esimese astme võreringi (C_1R_1) ajakonstant on sobitatud pulssmüradele ning teise astme võreringi ajakonstant (C_4R_6) laiaulatuslikule signaalipingete tugevusele. Sellise lülitusega saavutatakse võrdlemisi suur väljundi konstantsus väga suurtes piirides kõikuvate sisendpingete amplituudide suhtes, sest teise lambi võrele saabuvate pingete amplituud on esimeses astmes osaliselt juba kärbitud. Mõlemad astmed on lihtsuse mõttes ja soovimatu regenereerimise vältimiseks omavahel ühendatud takistussidestuses.

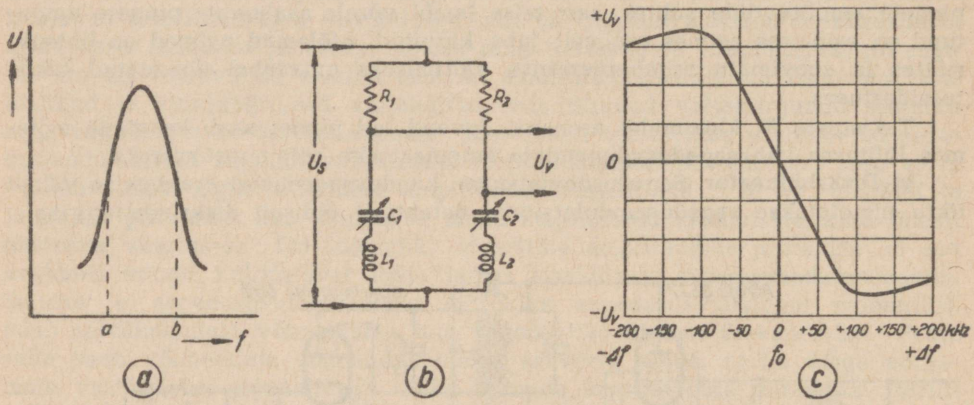
Takistuste R_1 klemmidel arenevat õgvendatud pinget saab kasutada mõlemas lülituses vahesagedusvõimendaja automaatseks eelpingestamiseks.

b) Diskriminaator. Sagedusdeviatsiooni kandevsagedusest eraldamise võime tõttu nimetatakse sagedusmodulatsiooni detektorit üldiselt diskriminaatoriks.



Joon. 195. Detektorite lülitusi sagedusmoduleeritud signaalide vastuvõtmiseks: *a* — üheastmelise piirajaga, *b* — kaheastmelise piirajaga. Üksikosade suurusi: lülituses *a*: R_1, R_5, R_6, $R_7 = 0{,}1$ MΩ, $R_2 = 2000\,\Omega$, R_3, $R_4 = 0{,}05$ MΩ, $R_8 = 1$ MΩ, C_1, C_8 $C_7 = 100$ pF, C_2, $C_3 = 0{,}1$ μF, $C_4 = 50$ pF, $C_8 = 0{,}01$ μF, KSP = 2,5 mH vahesagedusele 4...5 MHz; lülituses *b*: R_1, R_3, $R_4 = 0{,}05$ MΩ, $R_2 = 2000\,\Omega$, $R_5 = 4000\,\Omega$, $R_6 = 0{,}2$ MΩ, R_7, R_8, $R_9 = 0{,}1$ MΩ, $R_{10} = 1$ MΩ, C_1, C_5, $C_6 = 100$ pF, C_2, $C_3 = 0{,}1$ μF, $C_4 = 250$ pF, $C_7 = 0{,}01$ μF. Anoodpinge mõlemas lülituses 200 V.

Lihtsaimaks diskriminaatoriks võib olla harilik võnkering, mis häälestatakse mitte sissetuleva sagedusmoduleeritud laine kandevsagedusele, vaid ühele ta külgribale. Kandevsagedus asetseb sel puhul võnkeringi resonantskõvera ühel küljel (joon. 196 *a* punktides *a* või *b*). Säärastes tingimustes sagedusmoduleeritud signaal kutsub võnkeringi klemmidel esile modulatsioonisagedusele vastavad vahelduvpinged. Kui nüüd lülitada võnkeringi klemmidele tavaline detektor-õgvendaja, siis arenevad väljundis madalsageduslikud pinged. Järelikult saab sagedusmoduleeritud signaali vastu võtta ka hariliku vas-



Joon. 196. Sagedusmoduleeritud detektori töötamispõhimõtte kujutus: *a* — kõrvalehäälestatud võnkeringi sagedusi diskrimineeriv toime, *b* — diskriminaatori põhimõtteline lülitus, *c* — sagedusmoduleeritud detektori töökõver.

tuvõtjaga häälestusringide kõrvalenihutamise teel õigest resonantspunktist, eeldusel, et vastuvõtja häälestusringide resonantskõver on küllaldaselt lame kogu sagedusmoduleeritud spektri läbilaskmiseks.

Kuid seda liiki lülituse toime pole sümmeetriline, kuna ta käsitab ainult ühte kandevsageduse külgriba. Seepärast leiab tegelikku kasutamist tasakaalustatud lülitus, milles üks võnkering on häälestatud madalamale, teine kõrgemale kandevsageduse külgribale. Kui säärase lülitusega sidestada täistsüklilisel õgvendusmeetodil toimiv sümmeetriline detektor, tasakaalustuvad amplituudide muudatused ja detekteeritud väljundvool kujuneb võrdeliseks modulatsiooni deviatsiooniga. Sellise kahest võnkeringist koosneva diskriminaatori põhimõtteline lülitus on toodud joonisel 196 *b*, võnkering $L_1 C_1$ on häälestatud madalamale külgribale, võnkering L_2C_2 — kõrgemale külgribale. Kummalegi võnkeringile on lülitatud järjestikku takistused R_1 ja R_2. Sel puhul kummagi võnkeringi impedantsid moodustuvad takistuse R ja reaktantsi $X = \omega L - \frac{1}{\omega C}$ geomeetrilisest summast. Sagedusmoduleeritud sisendpinge U_s sageduse muutumisega muutub vastavalt ka reaktants X ja kui R on X-iga võrreldes üsna suur, siis võnkeringi klemmidel arenev pinge U_v on väikese nihkenurga tõttu praktiliselt võrdeline reaktantsiga X. Lülituse väljundis mõlema võnkeringi reaktantsid liituvad ja kuna kumbki neist käsitab eri külgriba, siis on resulteeriv pinge väljundis võrdeline moduleerimissagedusega. Kui väljundisse

lülitada balansseeritud täistee-detektorid, siis on nende summaarne õgvendatud väljund lineaarne modulatsioonipingega.

Joonisel 195 on toodud kaks enam levinud diskriminaatori lülitust koos piirajatega. Lülituses *a* kasutatakse erilise ehitusega vahesagedustrafot T_2 piiraja ja diskriminaatori vahel. Sekundaarmähise keskelt on välja toodud haruühend, mis on häälestuskondensaatori C_4 kaudu tagasi ühendatud trafo primaarmähise külge võimenduslambi anoodipoolsesse otsa. Mõlema diooddetektori koormusringid R_5C_6 ja R_6C_7 on ühendatud järjestikku; madalsageduslik väljund saadakse koormustakistuste klemmidelt läbi takistuse R_7 ja kondensaatori C_8 potentsiomeetri R_8 kaudu.

Trafo T_2 primaar- ja sekundaarringid on mõlemad häälestatud vahesageduse sagedusriba keskele. Detektoreile rakendatav pinge koosneb kahest komponendist: ühest, mis indutseerub induktiivse sidestuse kaudu sekundaarmähises, ja teisest, mis kantakse üle mahtuvuslikult sekundaari keskpunkti kondensaatori C_4 kaudu. Mõlema pinge faaside vahekord on selline, et resonantsi puhul õgvendatud koormusvoolud on amplituudilt võrdsed, kuid voolavad läbi takistuste R_5 ja R_6 vastupidistes suundades, mille tulemusena resulteeriv pinge madalsageduslikus väljundis võrdub nulliga. Kui kandevsagedus kaldub resonantsist kõrvale, tekib sekundaarmähises indutseeritud voolus faasinihe: ta kas jõuab ette või hilineb, sõltuvalt sellest, kas sagedusdeviatsioon evis langevat või tõusvat kallakut. Tekkinud faasinihke tagajärjel indutseeritud vool liitub kondensaatori C_4 kaudu saabuva vooluga selliselt, et sageduse langedes alla resonantssageduse suureneb ühe dioodi toitepinge võrreldes teisega ning sageduse tõustes suureneb teise dioodi toitepinge. Väljundis avalduv m.-s. pinge kujutab mõlema dioodi pingete vahet. Selline sagedusmodulatsiooni muundumise protsess amplituudiliseks m.-s. väljundiks on kujutatud graafiliselt joonisel 196 *c*, kust nähtub, et summaarne detekteeritud väljund evib vastassuunalist polaarsust resonantssageduse suhtes vastupidiselt arenevate sagedusdeviatsioonidega ning et detekteeritud väljundi amplituud U_v teatud ulatuses on võrdeline sagedusdeviatsiooniga Δf. Loomulikult on kasutamiskõlblik ainult detektori tunnuskõvera sirgjooneline osa, mille ulatus oleneb trafo T_2 primaar- ja sekundaarmähiste Q-st ja sidestustegurist. Sirgjooneline osa muutub ulatuslikumaks Q väärtuste vähendamisega ja sidestuse suurendamisega. Trafo dimensioonitakse harilikult nii, et sirgjoonelise osa otsad ulatuvad parajasti üle võimendaja sageduste riba servade, millega saavutatakse maksimaalne detekteerimisomaduste kasutamine. Kuna m.-s. väljund on võrdeline deviatsioonist sõltuva alalispinge muutusega, siis on otstarbekas maksimaalse väljundi saavutamiseks vähendada sageduste vahet tunnuskõvera sirgjooneliste otste vahel nii palju, kui on tarvilik lineaarsuse säilitamiseks.

Joonisel 195 *b* koos piirajaga toodud diskriminaatori lülituses kasutatakse kahte vahesagedustrafo T_2 sekundaarmähist, milledest üks on häälestatud kõrgemale, teine madalamale vahesageduse sagedusriba keskssagedusest. Nad mõlemad on sidestatud sümmeetriliselt primaarmähisega, mis on häälestatud keskssagedusele. Kandevsageduse kaldumisel muutuvad sekundaarmähistes indutseeruvate pingete amplituudid, kusjuures indutseeruv pinge on kõrgem selles mähises, mille resonantssagedus on lähem hetksagedusele. Detekteerimise tunnuskõver sarnaneb eelkäsiteldud keskpunkt-diskriminaatori tunnus-

kõveraga (joon. 196 *c*). Tunnuskõvera sirgjoonelise osa ulatus sõltub võnkeringide *Q*-st, sidestustegurist ning sekundaarringide häälestamisest. Deviatsiooniulatuse vähendamisel on tarvis suurendada võnkeringide *Q*-d ja vähendada sidestust.

Lülitus lihtsustub märgatavalt võimendusastmete vähenemise suhtes, kui diskriminaatori järel lülitada lihtne endakatkestusega superregeneratiivdetektor, mis tuleb häälestada kandevsagedusele resonantskõvera küljega. Samuti on võimalik rakendada kahte säärast detektorit vastastaktlülitusena, kusjuures üks detektoreist häälestatakse ühele ja teine teisele kandevsageduse külgribale.

H. RAADIOSEADMETE TOIDE.

Raadioseadmete toite all mõeldakse saatja ja vastuvõtja varustamist töötamiseks vajalike kütte, anoodi ja võrede toitevõimsustega. Üldiselt teostatakse toitmist kas kohapealseist vooluallikaist (kuivpatareid ja akumulaatorid) või elektrivõrgust. Kuivpatareide ja akumulaatorite kõrge alghinna ja teenindamiskulude tõttu kujuneb võrgust toitmine alati märksa odavamaks kui kohapealseist vooluallikaist toitmine. Ühtlasi on võrgust toitmine palju otstarbekam ja piiramatum. Kohapealseist toiteallikaist toitmine tuleb küsimusse peamiselt kantavais seadmeis ja juhul, kui see elektrivõrgu puudumisel osutub paratamatuks. Vooluvõrkudest on oma suure painduvuse, otstarbekuse ja lihtsuse tõttu eelistatuim vahelduvvooluvõrk. Allpool käsitellakse lähemalt toiteseadmete ehitusviise ja rakendamist.

I peatükk.

KÜTTETOIDE.

1. Küttetoite valik.

Välja arvatud juhud, mil kasutatakse patareiseadmeile valmistatud erilisi otsese küttega säästlampe, toimub nii vastuvõtja kui ka saatja lampide kütmine vahelduvvooluvõrgust, vastavalt lampide küttepingele dimensioonitud trafo kaudu. Trafo arvutatakse vastavalt lambi või rööbitiselt lülitatud lampide rühma võimsusele. Trafo küttemähise keskelt tuuakse harilikult välja haruühend, et tasakaalustada võrgumüra (C2); eriti on see tarvilik siis, kui trafost köetakse otsese küttega võimsuslampe.

Keskmise ning suure võimsusega saate- ja m.-s. lampide puhul kasutatakse harilikult igas võimendusastmes omaette küttetrafot, mis pikkade küttejuhtmete ja neis liigse pingelangu vähendamiseks monteeritakse lampide soklite lähedusse. Õigete küttepingete säilitamine on oluline, sest nii ülekui ka alaküte vähendab lambi tööiga, eriti tooriumiga kaetud kütteniidiga lampide juures.

Küttevoolu allikana alalisvooluvõrgu kasutamisel saab rakendada ainult erilisi kaudse küttega lampe, millede kütteniidid on dimensioonitud püsivale, harilikult 0,3-amprilisele voolule. Säärased lambid lülitatakse võrku järjestikku, kusjuures liigne osa võrgupingest küttevoolu konstantsuse säilitamiseks lülitamishetkedel langetatakse barretreis. Järjestikuse küttega lampide tüüpide vähesuse ja nende suhteliselt väikese võimsuse tõttu on alalisvooluvõrgu vahetu rakendamine alati seotud konstruktiivsete raskustega ja on saatjate juures piiratud väikeste saatevõimsustega ning vastuvõtjate juures nõrgendatud üldiste elektriliste omadustega. Probleemi lahendamine on võimalik voolumuundajate ja mootorgeneraatorite abil, mis aga kogu seadme muudavad raskepäraseks.

II peatükk.

ANOODTOIDE.

2. Üldised nõuded.

Nii saatja kui ka vastuvõtja lampide anoodtoiteks on kõlblik ainult alalisvool, sest igasugused toiteallikaist põhjustatud anoodvoolu muutused kanduvad vastuvõetavasse või saadetavasse signaali häiretena. Seepärast peab anoodtoiteks kasutatav vool olema võimalikult puhas alalisvool, kusjuures puhtuse nõue on seda rangem, mida madalama võimsustasemega on signaal; koos madalatasemelise signaaliga võimendatakse ka toitevoolu ebapuhtused, mis võimsuse suurenemisega võivad muutuda õige häirivateks.

Anoodtoite allikateks võivad olla:

1) kuiv- ja akumulaatorpatareid,
2) alalisvooluvõrk,
3) algvooluallikaist toituvad alalisvoolu väljundiga voolumuundajad ja mootorgeneraatorid,
4) vaakumlamp- ja gaaslamp-alaldajad,
5) metall-alaldajad,
6) vibraator-alaldajad.

K u i v p a t a r e i d tulevad küsimusse väikese võimsusega kantavais seadmeis ning vooluvõrkudest eemal asuvais vastuvõtupunktides. Samuti on võimsus piiratud ka akupatareide kasutamisel. Põhimõtteliselt on võimalik a k u p a t a r e i s i d anoodtoiteks rakendada kahel teel: kas kõrgepingelise patareina vahetuks toiteks või madalapingelise suure mahutavusega patareina voolumuundaja või vibraator-alaldaja kaudu. Viimast rakendusviisi tuleb kompaktsuse ja mugavuse mõttes otstarbekamaks pidada.

A l a l i s v o o l u v õ r g u rakendamine tuleb küsimusse samuti kahel teel: kas vahetu toitena või voolumuundaja või vibraator-alaldaja kaudu. Esimesel juhul on võimsused piiratud suhteliselt madala võrgupinge tõttu (110 või 220 volti). Teisel juhul võimsuse piiramist ei ole, kuid kogu seade kujuneb võrdlemisi ebakompaktseks, ebamugavaks.

Otstarbekaimaks lahenduseks tuleb pidada v a h e l d u v v o o l u v õ r g u kasutamist anoodtoiteks alaldajate kaudu. Sel puhul trafode abil võrgupinge transformeeritakse vajalikule kõrgusele, õgvendatakse[1] dioodlampidega, millest tulenev alaline pulseeriv vool *LC*-filtrite abil muudetakse puhtaks alalisvooluks.

Alaldajalt nõutakse head pingereguleerimist ja väljundi väikest vahelduvvoolu komponendi sisaldust. P i n g e r e g u l e e r i m i s e k s nimetatakse väljundpinge muutumist sõltuvalt koormusvoolu muutusest. Pingereguleerimine väljendatakse protsentides.

$$\text{Reguleerimise } \% = \frac{100\,(U_1 - U_2)}{U_2},$$

milles U_1 — pinge koormuseta, U_2 — pinge täiskoormusega.

Vahelduvvoolu komponendi sisaldus määratakse l a i n e l i s u s e g a, mis

[1] Kohati on hakatud meil õgvendamist nimetama ka suunamiseks ja õgvendajaid — suunajateks.

kujutab vahelduvpinge komponendi efektiivväärtuse suhet alalispingesse protsentides.

$$\text{Lainelisuse } \% = \frac{100\,U_{ef}}{U}.$$

3. Alaldaja.

Alaldajaks nimetatakse seadist, mille abil vahelduvvool muudetakse anoodtoiteks kõlblikuks alalisvooluks. Alaldaja koosneb ühesuunalise voolujuhtivusega õgvendajast ja temale järgnevast silumisfiltrist. Alaldajates kasutatavamaid õgvendajaid on vaakum- ja gaaslambid — dioodid. Lampide rakendamist õgvendajatena iseloomustavad järgmised suurused: sisemine pingelang täie koormusvoolu juures, maksimaalne vastupinge tippväärtus (C3b) ja maksimaalne tippvoolu väärtus.

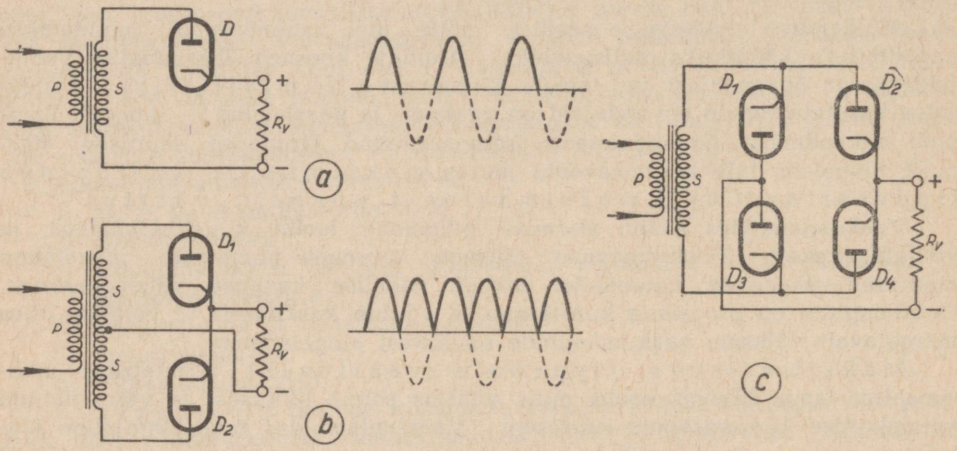
Vaakumlampides sõltub sisemine pingelang lambi konstruktsioonist ja voolutugevusest. Voolutugevuse tõusuga suureneb pingelang; pingelangu muutused vähenevad katoodi ja anoodi vahelise kauguse vähendamisega. Gaaslampides on pingelang konstantne ja võrdub keskmiselt 15 voldiga, olles märgatavalt väiksem vaakumlampide sisemisest pingelangust.

Maksimaalseks tippvoolu väärtuseks nimetatakse maksimaalset lampi läbivat voolu, mille väärtus sõltub lülitusest ja võib ulatuda mitmekordse koormusvoolu suuruseni. Vaakumlampides pole lühiajaline ülekoormamine seevõrra ohtlik kui gaaslampide juures, sest voolu tugevnemisel tõuseb ühtlasi ka sisemine pingelang, mis paneb piiri edaspidisele voolutõusule. Gaaslampidel seesugust piiramist konstantse sisemise pingelangu tõttu ei ole, mistõttu ülekoormustel voolutugevused ulatuvad ohtlikesse väärtustesse, mille tulemuseks on lambi hävimine. Peale selle on gaaslambid tundlikumad maksimaalse vastupinge tippväärtuse suhtes, mille ületamisel lambis tekib vastassuunaline kaar, mis põhjustab lambi hävingu. Vastassuunaline kaar võib tekkida ka gaaslambi alakütmisel. Seepärast on oluline gaaslambid töösse rakendada valmistaja poolt ettekirjutatud täpse küttepingega, mida tuleb mõõta vahetult lambi soklist. Samal põhjusel pole lubatav gaaslampidele anoodpinget lülitada enne, kui katood on kuumenenud keskmiselt 15 ... 30 sekundit. Juhul, kui gaaslamp pannakse töösse esmakordselt või pärast pikemaajalist seismist, tuleb katoodi kuumutada enne anoodpinge lülitamist keskmiselt 10 minutit. Väärkäsitsuse vältimiseks on soovitav gaaslampide kasutamisel ette näha vastavad aegreleed, mis lülitavad anoodpinge vajaliku aja möödumisel, arvates küttepinge lülitamishetkest.

Lülitusviisilt eritellakse kolme põhitüüpi alaldajaid: pooltsükli-alaldaja, terviktsükli- (täistee-) alaldaja ja sild-alaldaja.

Pooltsükli-alaldaja kujutab lihtsaimat alaldusseadist, milles õgvendatakse ühe dioodiga ainult vahelduvvoolu toitepinge ühed pooltsüklid, kuna teised pooltsüklid jäävad õgvendamata ja väljundisse ei kandu. Lülitusest (joon. 197 *a*) nähtub, et vool läbib dioodi ainult sel pooltsüklil, mil dioodi anood on positiivne. Vastavalt sellele kujuneb ka õgvendatud alalisvool, mis koosneb üksikuist pooltsükliliste ajavahemikkudega voolupulssidest. Sellises lülituses maksimaalne vastupinge tippväärtus võrdub 1,41-kordse rakenduspinge efektiivväärtusega.

Terviktsükli-alaldajas rakendatakse kahte dioodlülitust, milles kumbki diood käsitab erinevat vahelduvvoolu pooltsüklit. Selleks, et dioodidele vaheldumisi rakendada positiivsed anoodpinged, on tarvilik kahekordse rakenduspingega keskpunkti väljavõttega trafo sekundaarmähis (joon. 197 *b*). Kui mähise ülemine ots on positiivse pinge all, voolab vool läbi dioodi nr. 1, samal ajal on dioodi nr. 2 anood negatiivne ja voolu läbimine suletud. Järgneval pooltsüklil on mähise alumine ots positiivne, mille kestel voolu juhib



Joon. 197. Lamp-alaldaja põhilülitusi: *a* — pooltsükli-alaldaja, *b* — terviktsükli-alaldaja, *c* — sild-alaldaja. Paremal on vastavalt näidatud alaldatava voolu kujud, lülituses *c* saadav voolukuju sarnaneb lülituse *b* voolukujuga.

diood nr. 2, samal ajal on dioodi nr. 1 kaudu voolu läbipääs suletud. Mõlema dioodi väljundid lülitatakse rööbiti, kusjuures väljundi alalisvool koosneb samuti voolupulssidest, kuid pulsside sagedus on kaks korda suurem. Samuti on kaks korda suurem väljundisse kanduv võimsus, mis tähendab, et kumbki lamp arendab poole koormusvoolust. Dioodidele rakendatav maksimaalne vastupinge tippväärtus on kaks korda kõrgem kui pooltsükli-alaldajal.

Sild-alaldaja (joon. 197 *c*) kujutab terviktsükli-alaldajat, milles kasutatakse rakenduspingele vastavat ühekordset trafo sekundaarmähist nelja dioodi lülitamisega. Sild-alaldajas õgvendamine toimub järgmiselt. Kui trafomähise ülemine ots on positiivne, voolab vool läbi dioodi nr. 2 koormusse, mille läbides voolab dioodi nr. 3 kaudu mähise alumisse negatiivsesse otsa. Samal ajal voolu läbipääs dioodi nr. 1 kaudu on suletud. Järgneval pooltsüklil, mil mähise alumine ots on positiivne, voolab vool dioodi nr. 4 kaudu koormusse ja tagasi mähise ülemisse otsa dioodi nr. 1 kaudu. Maksimaalne vastupinge tippväärtus võrdub samuti kui pooltsükli-alaldaja juures trafo sekundaarmähise pinge amplituudväärtusega. Silda-lülitatud ristiasetsevad lampide paarid arendavad järjestikuselt poole koormusvoolust.

4. Alaldaja filtrid.

Filtri ülesandeks alaldajas on siluda õgvendatud voolu pulsid selliselt, et väljund kujutaks püsivat alalisvoolu. Filtris kasutatakse tavalisi *T*- või *π*-tüüpi madalläbivusfiltri rakke, mis koostatakse mahtuvustest ja induktiivsus-

test. Juhtudel, kui koormusvool on väike ja pingelang on lubatav, asendatakse induktiivsused takistustega.

Filtri toime põhineb mahtuvuse ja induktiivsuse energia varumise omadustel elektri- ja magnetväljades: tõusval veerandtsüklil kandub vooluenergia magnet- ja elektrivälja ülesehitamiseks, langeva veerandtsükli vältel muundub väljaenergia vooluenergiaks, täites voolupulsside vahelised lohud. Kui induktiivsuse ja mahtuvuse varumisvõime on küllalt suur, muutub pulseerivvool püsivaks alalisvooluks, mis on kõlblik raadioseadmeis lampide anoodtoiteks kasutamiseks. Harilikes tingimustes tuleb filtreerimist pidada täiesti rahuldavaks, kui väljundi lainelisus ei ületa 0,25%. Suure võimendusega mikrofoni eelvõimendajates peab lainelisuse protsenti[1] vähendama 0,1%-ni, et vältida väljundis võrgumüra.

Lainelisuse sagedus oleneb võrguvoolu sagedusest ja alaldaja tüübist. Peale algsageduse sisaldab lainelisus veel rea kõrgemaid harmoonilisi sagedusi, kuid sageduse suurenemisel tõusva madalläbivusfiltri silumisvõime tõttu ei kujuta harmooniliste sageduste mahasurumine mingisuguseid lisaraskusi. Pooltsükli-alaldajas võrdub lainelisuse algsagedus võrguvoolu sagedusega; terviktsükli-alaldajas on lainelisuse algsagedus kaks korda kõrgem, s. o. 50 Hz võrgusageduse puhul võrdub 100 Hz.

Alaldaja pingereguleeritavuse tõstmiseks, juhul, kui koormus on muutlik, nagu see on B-klassi m.-s. võimendajate ja telegraafisaatjate juures, lülitatakse alaldaja väljundisse püsiv kunstlik koormus, mis arvutatakse selliselt, et teda läbiks keskmiselt 5 ... 10% täiskoormuse voolust. Seega kujuneb ta takistus keskmiselt 20 ... 10-kordseks täiskoormuse takistusest. Kunstliku koormuse toime seisab selles, et ta piirab filterkondensaatorite laadimispinget, mis ilma koormuseta tõuseb vahelduva rakenduspinge amplituudväärtuseni.

Alaldajas kasutatavad filterkondensaatorid tuleb dimensioonida nii, et nende töötamispinge vastaks tegelikule tööpingele. Elektrolüütkondensaatorid on oma suure mahtuvuse ja väikeste mõõdete tõttu eriti sobivad alaldajas kasutamiseks, kuid nende kasutamine on võimalik ainult pingete juures efektiivväärtusega kuni 400 V (amplituudväärtusega 560 V). Kõrgemate pingete käsitamisel osutub otstarbekamaks õliga immutatud paberdielektrikuga kondensaatorite kasutamine, kuigi elektrolüütkondensaatorite järjestikune lülitamine on võimalik. Viimasel juhul peavad järjestikku ühendatavad kondensaatorid olema ühesuguste elektriliste andmetega ning nad tuleb šuntida üksikult tasakaalustustakistustega, keskmiselt 0,1 ... 2 MΩ. Sellise šunttakistustest koostatud pingejagajaga säilitatakse rakenduspinge kõigi kondensaatorite klemmidel võrdsena ka siis, kui aja jooksul ühe või teise kondensaatori elektrilised omadused võiksid muutuda, mis põhjustaks muidu kõigi järjestikuste kondensaatorite üksteisele järgnevat hävimist. Kuid järjestikusel lülitamisel tuleb arvestada, et kondensaatorite koondmahtuvus vastavalt vä-

[1] Lainelisuse protsenti saab kindlaks teha tundliku vahelduvvoolu voltmeetriga, parem lampvoltmeetriga, mis lülitatakse järjestikku suure mahtuvusega ning kõrge isolatsioonitakistusega kondensaatoriga alaldaja väljundklemmidele. Pealiskaudset hinnangut lainelisuse kohta on võimalik teha ka peatelefonidega, mis lülitatakse analoogiliselt voltmeetriga.

heneb. Elektrolüütkondensaatorite lülitamisel tuleb silmas pidada nende polaarsust.

Induktiivsuste dimensioonimisel (B21g) tuleb arvestada, et kõigi raudsüdamikega paispoolide induktiivsus, vaatamata õhupilule, sõltub läbiva alalisvoolu suurusest. Kuna alaldaja arvutatakse täiskoormusele, siis paispoolide induktiivsus arusaadavalt ei tohi täiskoormuse voolu all langeda alla nimiväärtuse.

Lülituslikult eraldatakse kahte liiki alaldaja filtreid: kondensaatorsisendiga ja paispoolsisendiga filtrid. Kuigi mõlemad filtrid annavad võrdseid tulemusi, sõltub ühe või teise liigi valik tegelikest töötingimustest: kondensaatorsisendiga filter annab kõrgendatud pinget, mis läheneb vahelduva rakenduspinge amplituudväärtusele, kuid muutub suurel määral koormusega; paispoolsisendiga filtrist saadav alalispinge on madalam, lähenedes vahelduva rakenduspinge keskväärtusele, kuid ta pole nii sõltuv koormusest. Seega kondensaatorsisendiga filter leiab rakendamist püsiva koormusega seadmeis, paispoolsisendiga filter muutliku koormusega seadmeis.

5. Kondensaatorsisendiga filter.

Kondensaatorsisendiga filtri lülitused on toodud joonisel 193 *a* ja 193 *b*: *a* — ühe sektsiooniga, *b* — kahe sektsiooniga filter. Ühe sektsiooniga filter on küllaldane lainelisuse vähendamiseks harilikes seadmeis, nii vastuvõtjais kui ka saatjais; kahe sektsiooniga filter on vältimatu, kui lainelisuse vähendamiseks esitatake erilised tingimused (suure võimendusega võimendajad, kõrgekvaliteedilised vastuvõtjad jne.).

Filter arvutatakse madalläbivusfiltri põhimõttel (B55b), kusjuures vajalikud mahtuvused ja induktiivsused kujunevad

$$C = \frac{0{,}318}{f_l R} \text{ (faradit) ja } L = \frac{0{,}318\,R}{f_l} \text{ (henrit)},$$

milles f_l — lõikesagedus hertsides, R — koormustakistus oomides.

Teoreetiliselt on lõikesageduseks pooltsüklilisel õgvendamisel võrgusagedus, terviktsüklilisel õgvendamisel kahekordne võrgusagedus, kuid tegelikult ei toimu lõikumine sääraste lihtsate filtrite juures küllalt järsult, mistõttu praktiline lõikesagedus tuleb võtta tublisti väiksem. Ühtlasi selgub, et kõrgema koormustakistuse puhul, mil voolud on nõrgemad, kujuneb paispooli induktiivsus suuremaks, madalama koormustakistuse puhul — paispooli induktiivsus väiksemaks, kondensaatorite mahtuvus suuremaks.

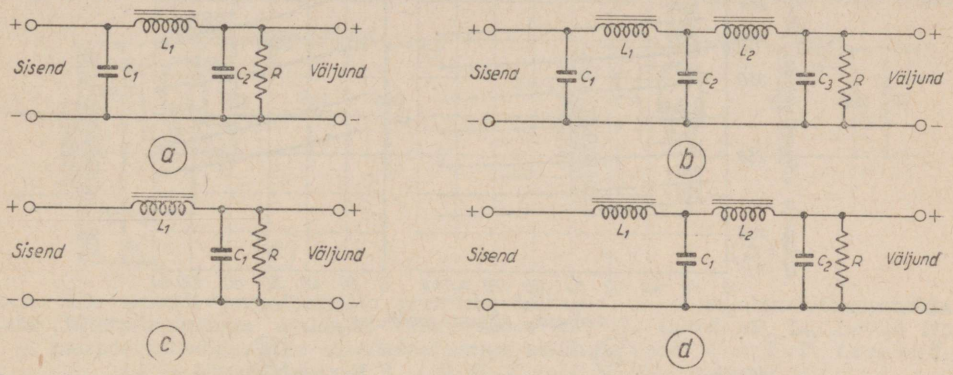
Näiteks, kui terviktsükli-alaldaja, mis toitub 50-hertsilisest vahelduvvooluvõrgust, peab andma anoodtoidet seadmele 500-voldise pinge juures 100 mA, kujunevad filtri *LC* väärtused järgmisteks. Koormustakistus $R = \frac{U}{I} = \frac{500}{0{,}1} = 5000\ \Omega$; teoreetiliseks lõikesageduseks käesoleval juhul oleks $2 \cdot 50 = 100$ Hz, kuid praktiliselt võetakse hea filtreerimise huvides lõikesagedus väiksem — 60 ... 80 Hz. Kui valida lõikesageduseks $f_l = 65$ Hz, kujunevad L ja C väärtused:

$$L = \frac{0{,}318 \cdot 5000}{65} = 24{,}5\ \text{H}, \quad C = \frac{0{,}318}{65 \cdot 5000} = 9{,}8\ \mu\text{F}.$$

Pooltsükli-alaldajas kujuneksid L ja C väärtused kaks korda suuremateks.

Praktilisteks filtri *LC* suurusteks täistsüklilisel alaldamisel on: ühe sektsiooniga filtris $L = 20 \ldots 30$ H, kumbki $C = 4 \ldots 16$ μF; kahe sektsiooniga filtris kumbki $L = 10 \ldots 20$ H, iga $C = 4 \ldots 8$ μF. Igal juhul paraneb filtreerimine *L* ja *C* väärtuste tõstmisega; odavamaks ja praktilisemaks teeks on *C* suurendamine. Juhul, kui alaldajat kasutatakse raadiovastuvõtja toiteks, asendatakse paispool sageli valjuhääldaja ergutusmähisega.

Kondensaatorsisendiga filtriga alaldaja esitab õgvendaja lampidele suured nõuded õgvendatud tippvoolu väärtuse suhtes, sest tippvoolu väärtus kujuneb



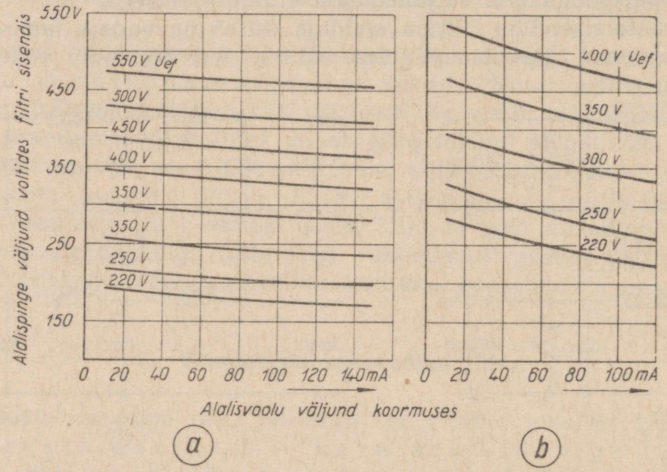
Joon. 198. Alaldaja filtreid: *a* — ühe sektsiooniga ja *b* — kahe sektsiooniga kondensaatorsisendiga filter; *c* — ühe sektsiooniga ja *d* — kahe sektsiooniga paispoolsisendiga filter.

harilikult mitmekordseks, võrreldes alalise väljundvooluga. Tippvoolu väärtus kujutab esimese filterkondensaatori (joon. 198 *a* ja *b*, kondensaator C_1) maksimaalset laadimisvoolu, mis on kõrge sellepärast, et kondensaatori laadimispinge ulatub rakenduspinge amplituudväärtuseni. Lampide andmete tabeleis piiratakse harilikult esimese kondensaatori väärtus 4 μF-ga, mis tähendab, et järgnevate kondensaatorite mahtuvused tuleb vastavalt suurendada. Suurema võimsusega lampidel märgitakse juurde maksimaalse tippvoolu väärtus, mida pole lubatud ületada. Praktiliselt tähendab see seda, et väljundvool ei tohi ületada 25% tippvoolust lambi kohta täistsüklilisel alaldamisel ja 12,5% pooltsüklilisel alaldamisel.

Kondensaatorsisendiga filtriga alaldaja väljundpinge tõuseb koormamatult või väikese koormusvoolu juures kuni rakenduspinge amplituudväärtuseni ($U_{max} = 1{,}41\,U_{ef}$). Täiskoormuse all väljundpinge langeb keskmiselt rakenduspinge keskväärtuseni ($U_{kesk} = 0{,}9\,U_{ef}$). Sellest nähtubki, miks kondensaatorsisendiga filtriga alaldaja pingereguleerimine on halb. Väljundpinge tegelikke väärtusi sõltuvalt koormusest saab lihtsaimal teel arvutada lampide väljundkõveraist, sest et muidu arvutus kujuneb väga keerukaks. Joonisel 199 on toodud säärased kõverjooned tarvitatavaima õgvendajalambi 5Z4 kohta nii kondensaator- kui ka paispoolsisendiga filtri puhul.

Näide. Leida 4-mikrofaradilise sisendkondensaatoriga kahesektsioonilise filtriga alaldaja väljundpinge, milles kasutatakse 2·300 V pingega trafot (arvutus B 56 c), paispooli L_1, mille takistus on 225 oomi, valjuhääldaja ergutusmähist L_2, mille takistus on 800 oomi, ja lampi 5Z4, kui koormusvool on 90 mA.

5Z4 tunnusköveraist (joon. 199b) selgub, et 90 mA koormusvoolu juures 300 V trafomähise alaldatud pinge võrdub 345 V. Pingelang L_1 klemmidel võrdub $\overline{IR} = 0{,}09 \cdot 225 = 20$ V ja L_2 klemmidel $= 0{,}09 \cdot 800 = 72$ V, kokku pingelang $20 + 72 = 92$ volti. Seega koormusse rakendatav pinge $\overline{U} = 345 - 92 = 253$ volti. Kondensaatorite C_2, C_3 väärtused on 8 μF. Alaldaja lülitus on toodud joonisel 200 *a*.



Joon. 199. Terviktsükli-õgvendajalambi 5Z4 õgvenduskõveraid: *a* — paispoolsisendiga filtri puhul ja *b* — 4 μF mahtuvusega kondensaatorsisendiga filtri puhul.

6. Paispoolsisendiga filter.

Paispoolsisendiga filtri lülitused on toodud joonisel 198 *c* ja *d*: *c* — ühe sektsiooniga, *d* — kahe sektsiooniga filter. Filtri L ja C väärtused arvutatakse lubatava lainelisuse protsendi järgi, mis kujunevad 50 Hz võrgusagedusel

ühe sektsiooniga filtri juures $\frac{120}{LC}$ %, ja

kahe sektsiooniga filtri juures $\frac{780}{L_1 L_2 (C_1 + C_2)^2}$ %,

milles L — henrides, C — mikrofaradites. Suurema lubatava lainelisuse puhul, kuni 5%, on õigustatud ühe sektsiooniga filtri rakendamine, väiksema lainelisuse puhul on kahe sektsiooniga filter majanduslikult odavam.

Arvutusest tuletatud induktiivsuse ja mahtuvuse jaotus paispoolsisendiga filtris sõltub sisendpaispooli nõutava induktiivsuse suurusest ja lubatavast filtri väljundimpedantsist.

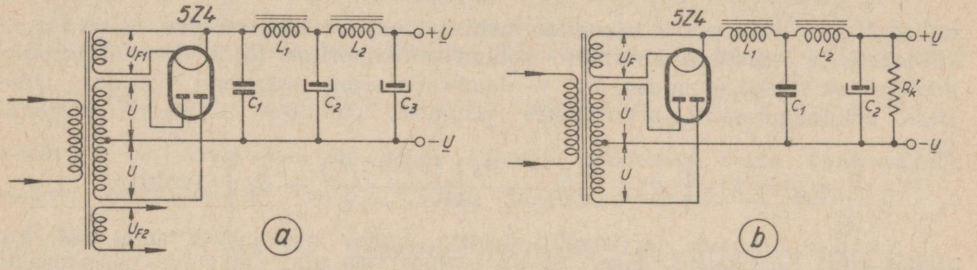
Õgvendaja tippvoolu väärtus ja alaldaja pingereguleerimine sõltuvad peaaegu täielikult sisendpaispooli induktiivsusest teatud koormustakistuse juures. Paispooli ülesandeks on tõsta voolu keskväärtuse suhet tippväärtusesse ning piirata a.-v. väljundpinge tõusmist üle v.-v. toitepinge keskväärtuse. Mõlemaks otstarbeks ta impedants vahelduvvoolu komponendile peab olema kõrge.

Seda sisendpaispooli induktiivsuse väärtust, mis piirab a.-v. väljundpinge

tõusu üle õgvendatud pinge keskväärtuse, nimetatakse kriitiliseks induktiivsuseks, mille suurus 50 Hz terviktsüklilisel alaldamisel võrdub ligikaudu

$$L_{kr} \approx 0{,}0012\ R_k \quad \text{(henrit)},$$

milles L_{kr} — kriitiline induktiivsus henrides, R_k — koormustakistus oomides. Alla kriitilise induktiivsusega sisendpaispooli puhul tõuseb väljundi alalispinge, sest filtri toimimine hakkab sarnanema kondensaatorsisendiga filtrile. Kriitilise induktiivsuse puhul on kummagi lambi tippvool keskmiselt ainult 10% kõrgem a.-v. üldisest väljundvoolust. Seda kriitilist induktiivsust võib tõsta



Joon. 200. Anoodi toitealaldajate praktilisi lülitusi: *a* — kondensaatorsisendiga kahe filtersektsiooniga alaldaja; osad: C_1=4 μF, C_2, C_3=8 μF, L_1, L_2=10 H; *b* — paispoolsisendiga kahe filtersektsiooniga alaldaja; osad: $C_1 = 2\,\mu F$, $C_2 = 4\,\mu F$, L_1 — õõtsuv-paispool 8 ... 40 H, L_2=14 H, R'_k =40 000 Ω.

kuni kahekordse väärtuseni, mida nimetatakse optimaalseks väärtuseks, mille juures väheneb veelgi tippvoolu ja keskvoolu väärtuste suhe, induktiivsuse edaspidine tõstmine ses suhtes lisaparanemist enam ei too.

Et kriitilise induktiivsuse väärtus muutub otseselt koormustakistusega, olles suur kõrge takistuse, s. o. väikese koormuse puhul ja muutudes väikeseks madala takistuse, s. o. suure koormuse juures, siis on otstarbekohane valida säärane sisendpaispool, mille induktiivsus muutuks pöördvõrdeliselt koormusega, koormuse muutumise piirides. Praktiliselt on see lahendatav üsna lihtsal viisil, sest õnneks iga raudsüdamikuga paispooli induktiivsus just muutubki soovitavas suunas koormusega; tarvitseb vaid soodustada induktiivsuse muutumist õhupilu kriitilise dimensioonimisega. Säärast muutuva induktiivsusega sisendpaispooli nimetatakse mõnikord õõtsuv-paispooliks. Kui näiteks alaldaja koormus tühikäigul koosneb ainult 20 000-oomilisest kunstlikust koormusest, langedes täie koormusega 2500 oomile, peaks sisendpaispooli induktiivsus vastavalt muutuma keskmiselt 20 kuni 5 henrini.

Filtri väljundkondensaatori mahtuvus valitakse vastavalt tingimustele, mida esitab koormus: alaldaja vahelduvvoolu impedants peab olema madal koormuses arenevatele vahelduvpingetele. Kui koormuseks on madalsageduse võimendaja, ei või kondensaatori reaktants ületada 15 ... 20% koormuse takistust või impedantsi, mis tähendab, et väljundkondensaator ei tohi omada väiksemat mahtuvust kui 8 ... 10 μF.

Filtri esimese lüli, s. o. $L_1\,C_1$ dimensioonimisel tuleb alati jälgida, et ta ei häälestuks õgvendatud voolu sagedusele, mis 50-hertsilise võrgusageduse terviktsüklilisel õgvendamisel võrdub 100. Resonantsi korral esineb mitte ainult filtreerimisele vastupidine nähtus, s. o. vahelduvvoolu komponendi esile-

toomine, vaid ühtlasi tõusevad ebatavaliselt maksimaalne vastupinge tipp-väärtus ja tippvool. 50-hertsilise terviktsüklilise õgvendamise puhul võrdub häälestuvate L ja C korrutis 2,53, milles L — henrides, C — mikrofaradites; resonantsi vältimiseks peab LC korrutis olema sellest kriitilisest väärtusest vähemalt kaks korda suurem.

Paispoolsisendiga alaldaja väljundpinge $\underline{U}$ arvutatakse, kui sisendpaispooli induktiivsus võrdub vähemalt kriitilise väärtusega, järgmise võrrandi abil:

$$\underline{U} = 0{,}9\ U_{ef} - \frac{(I_k + I^1{}_k)(R_1 + R_2)}{1000} - U_l \text{ (volti)},$$

milles U_{ef} — trafo poole sekundaarmähise efektiivpinge voltides, I_k ja $I^1{}_k$ — koormuse ja kunstliku koormuse voolud milliamprites, R_1 ja R_2 — filterpaispoolide takistused oomides, U_l — lambi sisemine pingelang voltides. Jõutrafo sekundaarmähis arvutatakse järgmise, eelmisest tuletatud võrrandi järgi:

$$U_{ef} = 1{,}11 \left[\underline{U} + \frac{(I_k + I^1{}_k)(R_1 + R_2)}{1000} + U_l \right] \text{ (volti)}.$$

Näide: Arvutada terviktsükli-alaldaja, milles kasutatakse lampi 5Z4, kui voolutarvitus 400-voldise pinge juures võrdub 100 mA; lubatav maksimaalne lainelisus 0,2%, pingereguleerimine täie ja tühja koormuse juures mitte üle 10%.

Hea pingereguleerimine nõuab paispoolsisendiga filtri rakendamist ning kunstliku koormuse lülitamist alaldaja väljundisse. Väga väikese lainelisuse tõttu peab filter olema kahe sektsiooniga. Seega kujuneb lülitus vastavalt joonisele 200 b.

1. Koormustakistuste määramine. Esialgu valime vooluks kunstlikus takistuses 10% 100 mA koormusvoolust, s. o. 10 mA. Tühikäigu ajal on koormustakistuseks kunstlik takistus, mille suurus $R'_k = \frac{\underline{U}}{I'_k} = \frac{400}{0{,}01} = 40\,000$ oomi.

Koormustakistus $R_k = \frac{\underline{U}}{I_k} = \frac{400}{0{,}1} = 4000\ \Omega$ ning täiskoormuse üldtakistus

$$R = \frac{R'_k \cdot R_k}{R'_k + R_k} = \frac{40\,000 \cdot 4000}{40\,000 + 4000} = 3640\ \Omega.$$

2. Sisendpaispooli määramine. Täiskoormusel $L_{kr} = 0{,}0012\ R_k = 0{,}0012 \cdot 3640 = 4{,}4$ henrit. Tühikäigul $L'_{kr} = 0{,}0012\ R'_k = 0{,}0012 \cdot 4000 = 48$ henrit. Sellist muutumisulatust on raske teostada, seepärast valime L väärtuse täiskoormuse puhul optimaalsena $L_{opt} \approx 2 \cdot L_{kr} \approx 8$ henrit ja piirame tühikäigu induktiivsuse $L' = 40$ henriga. Seega sisendpaispooli induktiivsus muutub sõltuvalt koormusest 8 ... 40 henrini.

3. L_2, C_1 ja C_2 määramine. Arvestades 0,2% lainelisust

$$0{,}2 = \frac{780}{L_1 L_2 (C_1 + C_2)^2}; \quad L_1 L_2 (C_1 + C_2)^2 = \frac{780}{0{,}2} = 3900.$$

Kui valida $C_1 = 2\ \mu$F ja $C_2 = 4\ \mu$F, kujuneb

$$L_1 L_2 = \frac{3900}{(C_1 + C_2)^2} = \frac{3900}{(2+4)^2} = 108, \text{ millest } L_2 = \frac{108}{8} \approx 14 \text{ henrit}.$$

Kui nõutakse, et alaldaja väljundimpedants oleks väiksem, tuleb väljundkondensaator C_2 dimensioonida nõuete kohaselt suuremana, kusjuures paispool L_2 kujuneb

vastavalt väiksemaks. $L_1 C_1$ korrutis $= 8 \cdot 2 = 16$, mis näitab, et resonantsi ohtu ei ole.

Paispoolide takistused kujunevad ligikaudu $L_1 = 75$ oomi, $L_2 = 100$ oomi.

4. Trafo sekundaarpinge arvutamine.

$$\text{Valemist } U_{ef} = 1{,}11 \left[\underline{U} + \frac{(I_k + I'_k)(R_1 + R_2)}{1000} + U_l \right] \text{ volti}$$

kujuneb trafo sekundaarpinge, kui õgvendaja sisemiseks pingelanguks arvata 35 volti:

$$U_{ef} = 1{,}11 \left[400 + \frac{(100 + 10)(75 + 100)}{1000} + 35 \right] = 500 \text{ volti efekt.}$$

Samad tulemused saadakse ka joonise 199 *a* kõveraist.

5. Pingereguleerimise kontrollimine. Tühikäigu juures võrdub väljundpinge:

$$\underline{U} = 0{,}9\, U_{ef} - \frac{I'_k (R_1 + R_2)}{1000} - U_l = 0{,}9 \cdot 500 - \frac{10\,(75 + 100)}{1000} - 25 = 425 \text{ V},$$

kusjuures on arvestatud, et lambi sisemine pingelang voolu vähenemisega langeb keskmiselt 25 voldile. Seega pingereguleerimine $= \dfrac{(\underline{U}_1 - \underline{U}_2)\,100}{\underline{U}_2} =$

$= \dfrac{(425 - 400)\,100}{400} = 6{,}25\%$. Tegelikult reguleerimisprotsent tõuseb trafo sekundaarmähises muutuva pingelangu tagajärjel, kuid igal juhul on ta väiksem ülesandes antust (10%).

Trafo ja paispoolide kohta leiduvad arvutusandmed jaos B p. c. Trafo sekundaarvõimsus P_s voltamprites paispoolsisendiga alaldaja juures leitakse valemist

$$P_s = 0{,}75\, U_{ef} I_{ef} \text{ (voltamprit),}$$

milles U_{ef} on kogu sekundaarmähise pinge, s. o. $2 \cdot 500$ V, I_{ef} võrdub väljundalalisvooluga amprites, seega käesoleval juhul

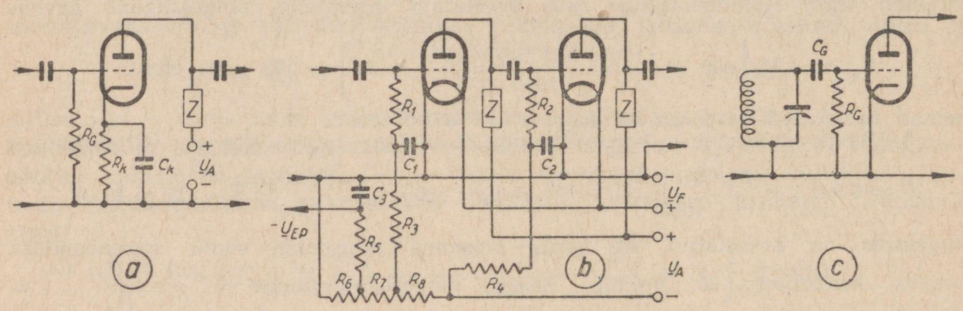
$$P_s = 0{,}75 \cdot 1000 \cdot 0{,}11 = 82{,}5 \text{ VA.}$$

7. Võre-eelpinge toide.

Võre-eelpinge antakse lampidele kahel teel: automaatselt ja eraldi toiteseadmega.

Automaatne eelpinge saadakse lambi katood- või võreringi lülitatud takisti klemmidel areneva pingelanguna takistit läbiva katood- või võrevoolu toimel. Automaatset eelpinget rakendatakse neil juhtudel, kui pingelangu tekitamiseks kasutatav vool omab püsivat keskväärtust, nagu A-klassi võimendajas, ostsillaatoris jne. Automaatse eelpinge andmisega saavutatakse kaks paremust: esiteks lihtsustub eelpingega varustamise küsimus, sest langeb ära vajadus eelpinge toiteallikate järele, teiseks säilitatakse automaatselt lampide optimaalne töörežiim, mis muutub anoodi, varivõre jm. toitepingete, käsitatavate sisendpingete jne. muutumisega ning mis muidu nõuaks alatist eelpinge järelreguleerimist. Seepärast kõigis seadmeis, kus eelpinge tekitamiseks kasutatavate voolude keskväärtuste muutumine sõltub ainult töörežiimi juhuslikest muutumistest ja mitte töörežiimist endast, on automaatse eelpinge rakendamine kujunenud standardseks ja asendamatuks eelpingestamise meetodiks. Automaatne eelpingestamine ei piirdu mitte ainult kaudse küttega lampidega, vaid suuremal osal juhtudel on ta rakendatav ka otsese küttega lampide juures.

Automaatse eelpingestamise kolm tüüplülitust on toodud joonisel 201. Lülituses *a*, mis ühevõrra hästi kõlbab A-klassi madalsagedus- ja kõrgsagedusvõimendajas rakendamiseks, kasutatakse eelpinge tekitamiseks katoodi ja anoodi toitepinge-allika miinusjuhtme vahele lülitatud katoodtakistit R_K. Katoodvoolu läbimisel tekib R_K klemmidel pingelang, mille negatiivne ots



Joon. 201. Automaatse võre-eelpinge lülitusi: *a* — katoodtakistusega eelpinge andmine kaudse küttega lambile, *b* — katoodtakistusega eelpinge andmine otsese küttega lampidele, *c* — võretakistusega eelpinge andmine.

asub toitejuhtme miinusel. See katoodi suhtes negatiivne pinge rakendatakse võrele kõrgeomilise võretakisti R_G kaudu. Katoodtakisti R_K suurus dimensioonitakse vajatava võre-eelpinge väärtuse $\underline{U}_G$ ja anoodvoolu keskväärtuse $\underline{I}_A$ järgi:

$$R_K = \frac{\underline{U}_G}{\underline{I}_A} \quad \text{(oomi)}.$$

Kui katoodi läbib mitme anoodi ja võre vool, tuleb seda katoodtakisti arvutamisel arvesse võtta.

Vastuside vältimiseks lülitatakse katoodtakistusega rööbiti katoodkondensaator C_K, mille suurus valitakse vastavalt sagedusele: kõrgsagedusvõimendajais jätkub vastavalt sagedusastmikule 100 . . . 5000 pF mahtuvusest, madalsagedusvõimendajais — sõltuvalt madalamaile ülekantavaile sagedustele 1 . . . 100 μF.

Lülituses *b* teostatakse otsese küttega lampide automaatset eelpingestamist anoodpinge toiteallika miinusjuhtmesse lülitatud takistuses R_6, R_7, R_8 üldise anoodvoolu läbimisel tekkiva pingelanguna. Mitmelambilises seadmes, milles tavaliselt iga lamp vajab eri väärtusega eelpinget, võetakse vastava suurusega eelpinged üldisest takistusest haruühenditena. Ühise pingelangetuse kaudu tekkivate sidestuste hävitamiseks on mitmelambilises seadmes nõutav ohtralt dimensioonitud lahtisidestusfiltrite R_3C_1, R_4C_2, R_5C_3 jne. rakendamine.

Lülituses *c* saavutatakse eelpinge võretakistuse R_G klemmidel õgvendatud sisendpingetest tekkiva võrevoolu tagajärjel. Võrekondensaatori C_G ja võretakistuse R_G suurused määravad õgvendatud voolu väärtuse ja nende ajakonstandi ja seega ka eelpinge väärtuse ning konstantsuse. Võrevooluga eel-

pingestamine on rakendatav ainult kõrgsageduse ostsillaatoreis ja võimsuse võimendajais ning võredetektoris.

Neil juhtudel, kui katoodvoolu või võrevoolu keskväärtused ei säili püsivaina lambi normaalses töörežiimis, vaid pidevalt muutuvad, nagu AB- ja B-klassi võimendajates, diooddetektoris jne., pole automaatne eelpinge rakendatav. Eelpingeks kasutatavate voolude muutumine neis tingimustes kujuneb seevõrra ulatuslikuks, et koos nende muutumisega tekib ühtlasi kogu töörežiimi pidev muutumine, mis loomulikult pole lubatav. Neil juhtudel osutub tarvilikuks eelpinge andmine eraldi toiteallikast. Samuti on eraldi toiteallikast eelpinge andmine tarvilik saatja C-klassi võimendusastmeis ja isegi suure võimsusega madalsageduse A-klassi võimendajais, sest kuna neil juhtudel eelpinge kujuneb suhteliselt kõrgeks, pole otstarbekohane anoodpinget langetada sellisel määral. Ka ei suuda võretakistuses arenev automaatne eelpinge säilitada vajalikku töörežiimi saatja C-klassi, eriti moduleeritud võimendaja astmes, milles samuti osutuvad vajalikuks eraldi eelpinge toiteallikad. Harilikult teostatakse C-klassi võimendajate eelpingestamist segasüsteemiliselt: püsivat eelpinget täiendatakse automaatse eelpingega. Lõpuks rakendatakse eraldi eelpinge toiteallikaid saatjas võre- või summutusvõre tastimise kordadel, kus vajatakse eriti kõrgeid eelpingeid selleks, et sulgeda anoodvool signaalide vaheajal täielikult.

Võre-eelpinge toiteallikaiks võivad olla kuiv- ja akupatareid ning anoodtoiteseadmeile sarnanevad võrgualaldajad. Patareide kasutamine on siiski tülikas ja tuleb küsimuse alla seepärast peamiselt kantavais seadmeis.

Võre-eelpinge toiteallikate ülesandeks pole võreringi toitmine, vaid lambi eelpingestamine õiges tööpunktis töötamiseks. Siiski, suuremal osal juhtudel läbib võre-eelpinge toiteallikat töörežiimi iseloomustav võrevool, mille kadusid aga katab mitte toiteallikas, vaid võre ergutusvõimsus.

Igal juhul nõutakse võre-eelpinge toiteallikalt head pingereguleerimist ja väga väikest lainelisust. Samuti peab eelpinge toiteallika väljund alati olema lülitatud kunstlikule koormustakistusele, mida läbib eelpingestatava lambi võrevool.

Heaks pingereguleerimiseks peab eelpinge toiteallika kunstliku koormuse takistus olema madal, et võrevoolu muutused ei kutsuks ühtlasi esile eelpinge muutusi. Kui üks eelpinge toiteallikas varustab eelpingega mitut lampi, tuleb ette näha vajalik lahtisidestus-süsteem või lülitada igale eelpingestatavale lambile omaette kunstlik koormus. Pinge stabiliseerimiseks on alati soovitav eelpinge-alaldajas kasutada paispoolsisendiga filtrit. Kui eelpinge konstantsuse säilitamisel on eriti ranged nõuded, tuleb pingereguleerimist teostada täiendavalt kas stabilisaatorlampide või elektronlamp-stabilisaatori abil (C 15 b).

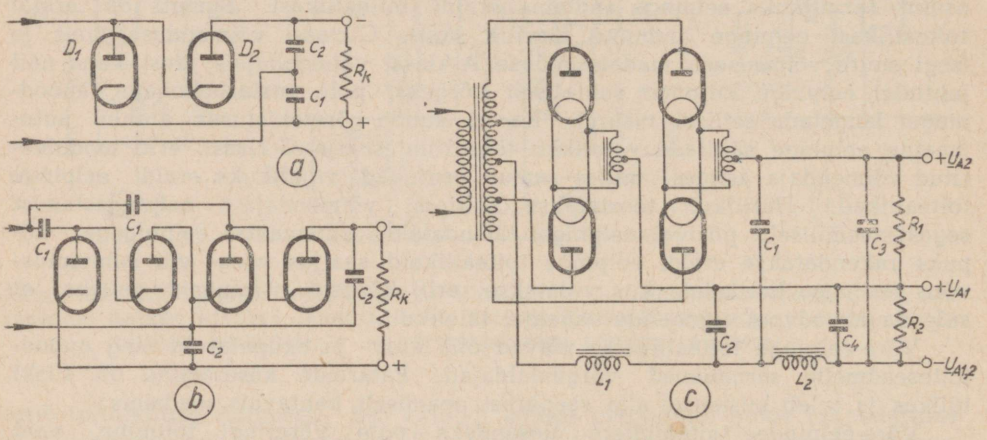
Peale loeteldud *töö-eelpinge* rakendatakse saatjates veel nn. *kaitse-eelpinget*, mis rakendatakse lampidele koos küttepingega, s. o. enne anoodpinge lülitamist; selle ülesandeks on kaitsta lampe liigse anoodvoolu arenemise eest juhul, kui võre-ergutus mõnesuguse rikke tõttu peaks katkema.

Tuleb pidada soovitavaks kõik eelpinge toitevooluringid varustada releede süsteemiga, millega kindlustatakse automaatne anoodpingete väljalülitamine, kui mõnel põhjusel töö kestel võre-eelpinge peaks katkema.

8. Pingepaljundajad.

Pingepaljundajad tulevad küsimusse peamiselt neil juhtudel, kui soovitakse saada kõrgendatud a.-v. pinget vahelduvvooluvõrgust ilma jõutrafota. Pingepaljundajate töötamispõhimõte seisab selles, et kummagi pooltsükli ajal laetakse täis diood-õgvendajate kaudu kondensaatorid, millede laengud pooltsükli muutumisel lahenduvad järjestikuselt ühisesse koormusesse.

Joonisel 202 *a* toodud pinge-kahekordistajas laadub kondensaator C_1 läbi



Joon. 202. Pingepaljunduslülitusi: *a* — pinge kahekordistaja, *b* — pinge neljakordistaja. Kondensaatorite tööpinge 220-voldise võrgupinge puhul C_1 — 500 volti, C_2 — 700 volti, kondensaatorite mahtuvus vähemalt 16 mikrofaradit. *c* — kahesuguse anoodi toitepinge saamine ühest toitetrafost.

esimese dioodi sel pooltsüklil, mil ta anood on positiivne katoodi suhtes, järgmisel pooltsüklil laadub kondensaator C_2 läbi teise dioodi. Seega mõlemad kondensaatorid laaduvad eraldi võrdsete a.-v. pingete väärtusteni ning kannavad oma laengud järjestikuselt koormustakistusele R_K. Pingereguleerimine on üldiselt halb ning sõltub kondensaatorite C_1 ja C_2 mahtuvusest, paranedes mahtuvuste tõusuga. Kondensaatorite sobivaks suuruseks on 16 μF, mille juures väikeste koormustega saadav a.-v. pinge võrdub keskmiselt vahelduvpinge kahekordse efektiivväärtusega.

Lülitus *b* kujutab pinge-neljakordistajat, mis koosneb kahest järjestikusest pooltsükkel-kahekordistajast. Pinge neljakordistamine toimub kondensaatorite C_2 laengute tühjenemise tagajärjel järjestikuselt.

Pingepaljundajaid ning nendest toituvaid seadmeid pole võimalik otseselt maandada. Kõrgsageduslikku maandust on võimalik teostada väikese, mitte üle 50 000 pF kondensaatori kaudu.

Kahekordne anoodtoide ühisest trafost (joon. 202 *c*) vajab erilise ehitusega trafot, millest on välja toodud sümmeetrilised haruühendid. Selles lülituses on eraldi terviktsükli-alaldajad tarvilikud mõlemale pingele. Filter-paispoolid on ühised mõlemale toitevooluringile, asetsedes ühises miinusjuhtmes. Alaldaja väljund on šunditud kunstlike koormustakistustega R_1 ja R_2, mille väärtused võrduvad 1000-kordse paispooli L_1 henride arvuga. Kahekordse anood-

toitega alaldajat rakendatakse saatjais, kui soovitakse säästa lisatrafot või kulukat võimsuskadu pingejagajas.

Juhul, kui soovitakse saada suurema voolutugevusega toitevõimsust, võib lampe lülitada rööbiti vajaduse järgi, s. o. ühendades kokku anoodid ja katoodid omavahel.

Elavhõbe-gaaslampide ühendamisel rööbiti tuleb iga lambi anoodi vahetult lülitada 50 ... 100-oomised takistused, et tagada lampide õiget süttimist ja ühetasast koormuse jaotust.

9. Eri toiteseadmed.

Kui kasutada on ainult alalisvool kas alalisvooluvõrgu või akupatareide näol, kujuneb raadioseadmete toiteküsimus raskemaks. Alalisvooluvõrgu pingest harilikult jätkub vastuvõtja anoodtoiteks, kuid saatja toiteks osutub võrgupinge madalaks (110 V, 220 V). Samuti tekib alalisvooluvõrgu puhul raskusi ka saatja lampide küttega, sest saatelambid, vähemalt lõppastmes, on harilikult otsese küttega.

Samalaadsed raskused tekivad ka siis, kui kohapeal on kasutada ainult madalapingeline (6 ... 12-voldine) akupatarei, mis on küll otstarbekas lampide kütteks, kuid otseselt rakendamatu anoodtoiteks.

Neil juhtudel osutuvad vajalikeks lisa-voolumuundusseadmed, mille abil kohalik madal pinge tõstetakse soovitavale kõrgusele.

Mõnikord võib tekkida vajadus alalisvoolu-toiteallikaid (a.-v. võrku, akupatareisid) rakendada vahelduvvoolu toiteks ettenähtud seadmete toitmiseks.

Kõigil loeteldud juhtudel on raadioseadmete toitmiseks tarvilikud lisamuundusseadmed, mis jaotatakse kahte rühma:

1) roteerivad masinseadmed — mootorgeneraatorid, voolumuundajad,
2) vibraatorid — vibraator-alaldajad ja vibraatormuundajad.

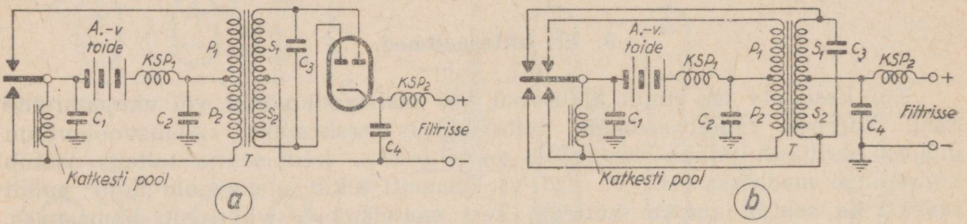
Esimese rühma seadmeid rakendatakse suuremate, teise rühma seadmeid väiksemate võimsuste puhul.

Roteerivate masinseadmete all mõeldakse mootorgeneraatoreid, mis koosnevad kahest iseseisvast, mehaaniliselt teineteisega sidestatud elektrimootorist ja -generaatorist, ja voolumuundajaid, mis kujutavad endist ühise ankruga, kuid kahe, madala- ja kõrgepingelise mähisega elektrimasinat. Seesuguste seadmete kasutegur sõltub võimsusest ja ulatub keskmiselt 50 ... 60%. Igal juhul tuleb nad varustada nii sisend- kui ka väljundpoolel k.-s. filtritega, et tasandada voolu kommuteerimisel harjades tekkivaid voolu ebatasasusi ja vältida häireid.

Vibraatorid koosnevad erilisest pingetõste jõutrafost, vibreerivast voolukatkestist ja filtreerimisseadmest. Sellise vibraatori (joon. 203) töötamispõhimõte seisab järgmises. Akupatareist või alalisvooluvõrgust tulev toitevool läbib vaheldumisi trafo sümmeetrilisi primaarmähise pooli. Voolu ümberlülitamine teostatakse elektromagnetilise katkesti abil, mis toitub samast alalisvoolu allikast. Katkestatav primaarvool, sagedusega keskmiselt 100 Hz, tekitab trafo raudsüdamikus muutuva magnetvälja, mille tagajärjel indutseerub sekundaarmähises trapetsikujuline vahelduvvool; pinge määratakse kind-

laks trafo mähiste keerdude arvuga. Saadud vahelduvvoolu võib kasutada otseselt vahelduvvooluseadmete toiteks või õgvendajast ja filtrist läbilastuna anoodtoiteks.

Vibraator-alaldajates teostatakse õgvendusprotsessi kahel teel: kas elektriliselt või mehaaniliselt. Esimesel juhul (joon. 203 *a*) vibraatoris saadud vahelduvvool juhitakse terviktsüklilisse diood-õgvendajasse ja sellele järgnevasse madalläbivusfiltrisse. Teisel juhul (joon. 203 *b*) toimub vahelduvvoolu õgvendamine vibraatori katkesti lisakontaktide paariga sünkroonselt. Järsu



Joon. 203. Vibraator-alaldaja lülitusi: *a* — elektronlambiga vibraator-alaldaja, b — mehaaniliselt õgvendav vibraator-alaldaja.

voolukatkestamise tõttu on väljundvool trapetsikujuline, mis on seotud väga suure katkestussageduse harmooniliste sisaldusega. Ühtlasi tekivad sekundaarmähises katkestamise hetkil samal põhjusel suhteliselt kõrged tipp-pinged. Nii ühed kui teised kutsuvad vastuvõtjas esile märgatavaid häireid kas vahetult vibraatorseadme või tagasikantuna alalisvoolu allika kaudu. Seepärast on igal juhul vaja vibraator sisendi ja väljundi pool varustada küllaldase k.-s. filtriga. Sisendfilter, mis lülitatakse järjestikku alalise toitevoolu allikaga (a.-v. võrguga, akupatareiga), koosneb filterkondensaatoritest C_1 ja C_2 (akupatareist toite puhul langeb C_1 ära, patarei klemm maandatakse vahetult), mahtuvusega 0,5 ... 1 μF, ja kõrgsageduse paispoolist *KSP*, millel peab olema madal alalisvoolu takistus ja keskmiselt 0,5 ... 1 mH induktiivsus. Akupatareist toite puhul võib filtri valmistada 1,8 ... 2,0 mm traadist 10 kuni 15 mm alusele „metsikult" keritud 50-keerulisest mähisest, alalisvooluvõrgust toitel kujuneb traat peenemaks, kuid keerdude arv vastavalt suuremaks.

Väljundfilter koosneb summutuskondensaatorist C_3, mille ülesandeks on piirata sekundaarmähises arenevaid vahelduvpinge tippväärtusi ja vähendada vibraatori kontaktide vahel tekkivat sädelemist, ja järgnevast filtrilülist C_4, KSP_2. C_3 tööpinge tuleb valida väljundpingest vähemalt 6 korda kõrgem, ta väärtus on kriitiline ja tuleb katseliselt kindlaks määrata. Optimaalse C_3 väärtuse puhul on sädelemine kontaktide vahel minimaalne ja sisendvool on minimaalne võrdse väljundvõimsuse juures. Ta keskmisteks väärtusteks on 0,005 ... 0,03 μF. C_4 suurus on keskmiselt 0,01 ... 0,1 μF; KSP_2 koosneb 300 ... 400 keerust 0,2 mm traadist ristmähisest, kerituna 8 ... 10 mm alusele.

Vibraator-alaldajas järgneb k.-s. filtrile veel m.-s. filter, mis koostatakse varemkäsiteldud üldpõhimõtete järgi. Siiski kujunevad filtri elementide *LC*

väärtused väiksemateks, sest vibraatori töösagedus on vahelduvvoolu sagedusest kõrgem.

Vibraatorseadmete kasutegur on üldiselt kõrgem kui vastavate roteerivate masinseadmete juures. Kuid vibraatorseadmete korralikuks ja häirevabaks töötamiseks on oluline k.-s. filtrite õige dimensioonimine, hea maandamine ja hea varjestamine metallkastiga.

I. RAADIOLAINETE LEVIMINE.

1. Raadiolaine üldisi omadusi.

Tavalises võnkeringis on kondensaatori ja pooli mõõted niivõrd väikesed, et elektri- ja magnetväljad keskenduvad peaaegu täielikult kondensaatoriplaatide vahele ja pooli ruumalasse, väljaulatuvad hajuvväljad on suhteliselt väga väikesed. Võnkumisprotsessi vältel toimub pidevalt võnkeenergia muundumine elektriväljaenergiast magnetväljaenergiaks, ja ümberpöördult. Kord alanud võnkeprotsess kestab seni, kuni kogu võnkeenergia on võnkeringi takistuses soojuseks muutunud.

Kui aga suurendada võnkeringi elementide *LC* mõõteid, siis muutub ta lõpuks avatud võnkeringiks, liiniks, milles *L* ja *C* on ühtlaselt jaotatud kogu liini pikkusele. Sellises avatud võnkering-liinis, mida nimetatakse antenniks, ei keskendu elektri- ja magnetväljad endiselt võnkeringi vahetusse ümbrusse, vaid hajuvad ruumi valguse kiirusega (300 000 km/sek). Selliselt kondensaatori laadimise pooltsükli kestel ruumi levinud elektriväljaenergia (arvestades välja piiratud levimiskiirust) ei jõua kondensaatori tühjenemisel terviklikult antennini tagasi; hiljaksjäänud väljaenergia osa vabaneb antennist ja levib kiirgusenergiana ruumi. On arusaadav, et kiirgumine on seda suurem, mida avaramad on antenni mõõted ja mida suurem on kõrgsagedusenergia võnkumissagedus.

Sama nähtus ilmneb ka magnetvälja juures, mis ringikujuliselt ruumi levides samuti ei jõua terviklikult antenni tagasi pooltsükli kestel, mil areneb antennivoolu kahanemine, ning vabanedes antennist kiirgub valguse kiirusega ruumi.

Seejuures on mõlemad, nii kiirguse elektri- kui ka magnetväli, üksteisega lahutamatult seotud, kusjuures igasugune elektrivälja muudatus kutsub esile magnetvälja muutuse, ja ümberpöördult. Mõlema välja jõujoonte suunad on teineteisega risti ja asuvad tasapinnal, mis on risti levimissuunale.

Raadiolained kuuluvad samade elektromagnetiliste lainete hulka mis valguslainedki, evides ühesugust levimiskiirust ja ühesuguseid iseloomustavaid omadusi, nagu polariseerumist, peegeldumist, murdumist ja paindumist.

Raadiolaine polariseerumiseks nimetatakse ta väljade tasapinna asetust maapinna suhtes, kusjuures polarisatsiooni määramise aluseks võetakse elektriväli. Kui laine asetus on säärane, et ta elektrivälja jõujooned on perpendikulaarsed maapinnale, on tegemist vertikaalselt polariseeritud lainega, kui aga jõujooned on maapinnaga rööbiti, siis on laine horisontaalselt polariseeritud. Laine polarisatsioon sõltub nurgast, mille all laine antennist välja kiirgub. Antenni mõõdete ja ehitusviisiga on võimalik lainele anda soovitav polarisatsioon. Antennist väljakiirgunud pikemad lained säilitavad ruumis oma algpolarisatsiooni, lühemate lainete polarisatsioon võib ruumis levimisel muutuda õige tunduvalt.

Raadiolaine peegeldumine (reflekteerumine) tekib siis, kui ta levimise homogeenne keskkond katkeb teravalt piiriteldava, sobivate omaduste ja mõõdetega uue keskkonnaga. Säärast keskkonna homogeensuse katkemist võivad esile kutsuda elektrijuhid, kui nende mõõted on võrreldavad vähemalt lainepikkusega. Peegeldumist põhjustavad ka isolaatorid, kui nende dielektriku-konstant erineb keskkonna dielektriku-konstandist. Sellise homogeensuse katkemise tüüpilisemaiks näiteiks on maapind ja ioniseeritud õhkkonna kihtide piirjooned, kuid ka säärased objektid nagu laev, lennuk ja isegi inimese keha võivad põhjustada väga lühikeste raadiolainete peegeldumist.

Raadiolaine võib samuti kui valguskiirgi murduda (refrakteeruda), kui ta oma levikul siirdub nurga all teise keskkonda, millel on endisest erinev murdumisnäitaja. Murdumist põhjustab laine levimiskiiruse muutumine eri keskkondades. Raadiolaine murdumisnähtused ilmnevad nii ionosfääris, s. o. ioniseeritud kõrgemates atmosfääri kihtides, kui ka troposfääris, s. o. madalates atmosfääri kihtides. Tavaliselt kandub raadiolaine murdumisel maakera pinnale tagasi.

Samuti kui teiste laineliste energia levimiste juures esinevad ka raadiolainete levimisel paindumise (difraktsiooni) nähtused, mis avalduvad laine kaldumises tõkestuse serva taha. Paindumise tagajärjel kaldub osa sirgjooneliselt levivast laineenergiast kõrvale ning on vastuvõetav punktides, mis asuvad väljaspool sirgjoonelist laine levimissuunda.

Levimisteekonna kõrguse järgi jaotatakse raadiolained ionosfäärilisteks, troposfäärilisteks ja maalaineteks.

Ionosfääriline laine moodustab selle üldise kiirguse osa, mis saateantennist suundub üles ionosfääri suunas. Sõltuvalt muutlikest ionosfääri tingimustest ning kiirguse sagedusest võib ionosfäärilaine lahkuda ruumi, maakera pinnale tagasi jõudmata, kuid peegeldumise ja murdumise tagajärjel võib ta teatavail kaugusil maapinnale uuesti tagasi tulla.

Troposfääriline laine moodustab selle kiirguse osa, mis troposfääri dielektriku-konstandi järskude muutuste tagajärjel, tingituna õhumasside temperatuuri ja niiskusesisalduse muutusest, allub peegeldumise ja murdumise nähtustele.

Maalaine moodustab selle üldise kiirguse osa, mida otseselt mõjutab maapind ja temal asuvad esemed. Maalaine koosneb kahest laineliigist: pinnalainest ja ruumilainest. Pinnalaineks on kiirgus, mis levib maapinnases selle juhtivuse tõttu. Ruumilaine koosneb veel kahest komponendist: otselainest, mis levib maapinna läheduses sirgjooneliselt, ja maapinnal peegeldunud lainest, mis lameda nurga all vastu maapinda peegeldunult levib edasi maapinna läheduses.

2. Levimine ionosfääris.

Ühendusepidamine kaugemate punktidega on raadiolainetega sagedusastmikus 3 . . . 30 MHz põhimõtteliselt võimalik ainult ionosfäärilise laine kaudu. See laine lahkub saateantennist ruumi sellise nurga all, mille juures ühendusepidamine poleks mõeldav teisiti, kui et laine teekond paindub uuesti tagasi maakera pinnale. Laine teekonna tagasipaindumist põhjustab atmo-

sfääri ülemine ioniseeritud kiht — ionosfäär. Ionosfäär sisaldab suurel arvul vabu elektrone ja ioone, mille kontsentratsioonist on sõltuv murdumisnäitaja. Ioniseerumise tekkimise põhjuseks arvatakse olevat päikese ultravioletsed kiired, mis on väga intensiivsed kõrgemates atmosfääri kihtides. Tegelikult eritellakse mitut ioniseeritud õhukihti, mis asuvad erinevail kõrgusil ja evivad erinevat ioniseerumise tihedust. Iga kiht omab teatavat paksust, mille keskosa on ioniseeritud maksimaalselt.

Teatud ioniseerumise tiheduse juures vähenevad lainemurdumise omadused sageduse suurenemisega. Seega on murdumine kõrgemate sageduste juures väiksem kui madalamate sageduste juures ja kui laine sagedus on küllalt suur, saabub lõpuks piir, kus murdumine muutub seevõrra nõrgaks, et ta maakera pinnale enam tagasi ei jõua, vaatamata sellele, et ta langenurk ioniseeritud kihti oli väga väike.

Mida suurem on ioniseerumise tihedus, seda suurem on murdumine iga sageduse juures. Seega kaugühenduseks kõlblik minimaalne lainepikkus ioniseerumise suurenemisega väheneb, ehk teiste sõnadega, kasutatav maksimaalne sagedus suureneb.

Liikudes ionosfääris kaotab laine osa oma energiast absorptsiooni näol, mis suureneb sageduse vähenemisega ja ionisatsiooni tihedusega. Erakordselt tugev ioniseerumine, eriti madalamates ioniseeritud kihtides, võib laineenergia täielikult absorbeerida.

Lisaks murdumisele tekib ioniseeritud kihtide alumistes servades laine peegeldumine, kui alumise serva ioniseerumise muutus on teravalt piiriteldud. Peegeldumine saab toimuda ainult siis, kui kihi alumise serva ioniseerumise tihedus muutub õige järsult ja kui säärase kihi serva tiheduse muutumise mõõted sügavuti on võrreldavad kihile risti saabuva laine pikkusega. Seega ilmnevad peegeldumise nähtused peamiselt pikemate lainepikkuste, s. o. madalamate sageduste juures.

Kui sagedus on küllaldaselt madal, peegeldub vertikaalselt ionosfääri saadetud laine järsult ning saabub tagasi saatepunkti. Kõrgeimat sagedust, millel peegeldumine teatud ionosfääri-tingimustel saab tekkida, nimetatakse kriitiliseks sageduseks. Kõik kriitilisest sagedusest kõrgemad sagedused püstloodis üles saadetuna läbivad ionosfääri, maakerale tagasi tulemata, kõik kriitilisest sagedusest madalamad sagedused peegelduvad maakera pinnale tagasi. Loomulikult ei ole kriitiline sagedus püsiv, vaid muutub koos ionosfääri ioniseerumise, s. o. vabade elektronide ja ioonide kontsentratsiooni muutumisega. Päikese intensiivsema kiirguse tagajärjel on kriitilised sagedused suvel märgatavalt suuremad kui talvel, päeval suuremad kui öösel. Kuigi kriitilist sagedust võib vaadelda saatetingimuste näitajana, pole ta siiski kõrgeimaks kasutatavaks sageduseks, sest teised sama sagedusega lained, mis ionosfääri saabuvad väiksemate kui 90° nurkade all, murduvad maapinnale tagasijõudmiseks vajalikul määral. Maksimaalne kasutatav sagedus, mida evivad väga väikeste nurkade all väljasaadetud lained, võrdub keskmiselt kolmekordse kriitilise sagedusega.

Madalaimat ioniseeritud kihti, mis asub maksimaalsetes ioniseerimistingimustes, keskmiselt 110 km kõrgusel maapinnast, nimetatakse *E*-kihiks. Ta ioniseerumise tihedus on maksimaalne keskpäeval, mil päikese kiirgus on maksimaalne, muutudes öösel võrdlemisi nõrgaks. Säärane kiire ioniseeru-

mise muutus sõltuvalt päikese kiirgusest on tingitud sellest, et sellises madalas kõrguses on õhutihedus veel küllalt suur, mistõttu vabade elektronide ja ioonide ümberkombineerumine toimub kiiresti.

Järgnevaks põhi-ioniseeritud kihiks on *F*-kiht, mis asub öösiti umbes 280 km kõrgusel. Sellises kõrguses on õhk niivõrd hõre, et ioonide ja elektronide ümberkombineerumine saab nendevaheliste suurte vahemaade tõttu areneda väga aeglaselt. Ioniseerumine väheneb pärast päikese loojakut, jõudes miinimumini parajasti päikese tõusuks. Päevaajal *F*-kiht jaguneb kaheks — F_1- ja F_2-kihiks, mille keskmised kõrgused asuvad vastavalt 225 km ja 320 km kõrgusel. Need kihid on väga tugevasti ioniseeritud keskpäeval ning liituvad uuesti ühiseks *F*-kihiks pärast päikese loojakut.

Ioniseeritud kihtide muutumine areneb tsükliliselt ja korrapäratult, tingituna reast välismõjutustest. Tsükliliste ioniseerumise muutuste all tuntakse ööpäevaseid, aastaaja, päikese pöörlemisest ja päikeselaikudest põhjustatud tsüklilisi muutusi.

Ööpäevased muutused sõltuvad otseselt päikese kiirguse mõju muutusest ööpäeva kestel, tingituna maakera pöörlemisest oma telje ümber. On arusaadav, et need muutused arenevad kooskõlas kohaliku ajaga.

Aastaaja muutustest tingituna muutuvad *E*-kihi kriitilised sagedused, millede keskväärtus suvel võrdub 4 MHz, talvel 3 MHz. *F*-kiht muutub aastaajaga vähe, ta kriitiliseks sageduseks õhtuti on keskmiselt 4...5 MHz. F_1-kiht, mille kriitiliseks sageduseks suvel on umbes 5 MHz, kaob talvel harilikult täielikult. F_2-kihi kriitilisteks sagedusteks on talvel keskmiselt 11...12 MHz, suvel 7 MHz. F_2-kiht asub talvel umbes 300 km ja suvel umbes 400 km kõrgusel. Aastaaegade üleminek tekib kevadeti ja sügiseti, millal ionosfäärilised olud on väga muutlikud.

Seoses päikese pöörlemistsükliga tõusevad iga 28-päevase perioodi kestel ühendusepidamise tingimused lühikeseks ajaks tippväärtuseni, millele harilikult järgneb võrdlemisi järsk ühendusepidamise tingimuste langemine alla normaalse. Sellele langusele järgneb ühtlane pidev tõus, mis areneb uueks lühiajaliseks tippväärtuseks. 28-päevase tsükli mõju on eriti tähelepandav 14 ja 28 MHz amatöörsageduste ribades.

11-aastane päikeselaikude tsükkel samuti kutsub esile ioniseeritud kihtide omaduste muutumise, mis avaldub selles, et F_1- ja F_2-kihi kriitiliste sageduste väärtused tsükliliselt tõusevad ja langevad. Päikeselaikude maksimumil on kriitilised sagedused kõrgemad, miinimumil — madalamad. Ainult päikeselaikude miinimumil on kaugühendus võimalik madalamail sagedusil; 28 MHz laineriba on neis tingimustes vaevalt kasutatav, kuid 14 MHz laineriba on sobivaim päevaseks tööks, olles vähem kõlblik öösiti. Registreeritud perioodilisuse järgi 1949. a. kujunes päikeselaikude maksimumi aastaks.

Korrapäratud ionosfääri muutused tekivad koos maakera magnetvälja tormidega, mis võivad kesta järgemööda mitu päeva. Magnetitormide ajal ioniseeritud kihid hajuvad, millega harilikult seltsib märgatav absorptsiooni tõus. Raadio-ühenduse pidamine on neil puhkudel väga halb, kusjuures on märgata üldist kriitiliste sageduste langust. Erakordselt tugev õhukihtide ioniseerumine allpool tavalisi ioniseeritud kihte võib suurendada absorptsiooni seevõrra, et ionosfäärilaine kasutamine kõrgemail sagedusil osutub täiesti või-

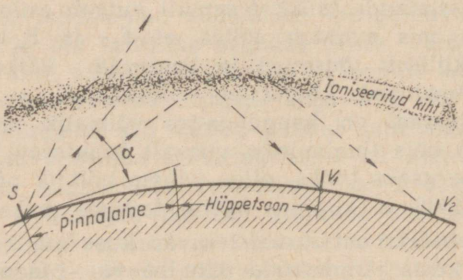
matuks isegi mitme tunni kestel. Analoogilisi nähtusi, mil ionosfäärilaine läbiminek katkeb, põhjustab mõnikord ka erakordne päikeselaikude ilmumine, mis tekib ainult päeval ja kestab võrdlemisi lühikest aega.

Magnetilised tormid on sageli seotud virmaliste ilmumisega, mis kujutavad raadiolainetele peegeldavat pinda: see pind on suuteline tagasi peegeldama laineid sagedusega isegi kuni 60 MHz.

Mõnikord ilmuvad erakordse tihedusega ioniseeritud laigud keskmiselt *E*-kihi kõrgusel, mis avalduvad selles, et kriitilised sagedused tõusevad umbes kahekordselt, võrreldes normaalseis tingimustes tagasitulevate lainete sagedusega. Juhul, kui säärased erakordsed pilvetaolised ioniseeritud laigud asuvad saate- ja vastuvõtupunktide keskkohal, on võimalik ühendusepidamine sagedusel 56 MHz ulatusteni kuni 800 ... 2000 km. Seesugused erakordsed tingimused tekivad harilikult hiliskevadel ja varasuvel, peamiselt keskpäeva ajal ja pärast lõunat. Erakordsete *E*-kihtide tingimustes lüheneb märgatavalt 14 ja 28 MHz esimene tagasituleku ulatus.

Mida väiksem on nurk, mille all laine lahkub maapinnalt, seda vähem vajab laine paindumist ionosfääris tagasitulekuks maapinnale, ehk teiste sõnadega, seda suurem on ulatus, mida laine suudab katta saate- ja vastuvõtupunkti vahel. Nurka, mis moodustub saateantennist väljakiirgunud laine levimissuuna ja maakera puutuja vahel, nimetatakse kiirgusnurgaks.

Kuna suurema nurga all lahkunud laine tagasitoomiseks maapinnale on tarvis suuremat paindumist, pole kõrgematel sagedustel murdumine küllaldane, kui laine kiirgusnurk ei ole väiksem teatavast piirväärtusest, nn. kriitilisest nurgast, mis on kujutatud joonisel 204 nurga α all. Kriitilise nurga all maapinnale tagasitulev laine määrab lühima kauguse, millel normaalsete ionosfääri-tingimuste juures ühendusepidamine on võimalik. Vahemaad pinnalaine ulatuse ja ionosfäärilaine alguse vahel kutsutakse hüppetsooniks. Hüppetsooni ulatus oleneb sagedusest ja ionosfääri seisundist, olles seda suurem, mida kõrgem on saatesagedus ja mida väiksem on kriitiline sagedus. Hüppeulatus oleneb peale selle veel kihi kõrgusest, milles toimub laine murdumine: kõrgemad kihid põhjustavad pikemaid hüppeulatusi võrdse kiirgusnurga juures. Kiirgusnurgad on saate- ja vastuvõtupunktides harilikult ligikaudu võrdsed.

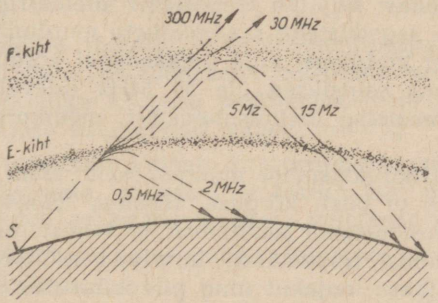


Joon. 204-a. Ionosfäärilaine murdumine ioniseeritud kihis sõltuvalt laine kiirgusnurgast. Väiksema nurga all lahkunud laine jõuab kaugeimasse punkti V_2, keskmise nurga all lahkunud laine jõuab ainult keskmiste ulatusteni V_1, suurema kui kriitilise nurga α all kiirgunud laine lahkub maailmaruumi, maapinnale tagasi pöördumata.

Ionosfäärilaine võib läbida *E*-kihi ja tagasi murduda alles kas *F*-, F_1- või F_2-kihis, olenedes ööpäeva ajast ja valitsevaist tingimustest, sest et viimaste kihtide kriitilised sagedused on kõrgemad.

Tingituna kiirgusnurgast ja sagedusest on mõnikord võimalik ühendust pidada kas *E*- või F_1-, F_2-kihi kaudu samal sagedusel.

Maapinnale tagasi pöördudes võib laine peegelduda tagasi ionosfääri, kust ta uuesti murdub tagasi maapinnale. Säärane protsess võib korduda mitu korda ja on tarvilik selleks, et katta väga suuri ulatusi, sest kihtide piiratud kõrguse ja maapinna kumeruse tagajärjel võrdub väiksema kasutatava kiirgusnurga puhul maksimaalne hüppekaugus *E*-kihist murdumisel 2000 km ja F_2-kihist murdumisel 4000 km. Veelgi väiksema nurga juures väljasaadetud laine absorbeerub kiiresti maapinnaga kokkupuute kohas. Samuti tekivad laineenergia kaod igal maapinnale peegeldumisel, kadude suurus oleneb maapinna iseloomust ja on kõige väiksem merevee juures. Seega on kasulikum, kui ulatus vähegi lubab, kasutada ühehüppelist saadet, kuna kaod tõusevad mitme hüppe puhul märgatavalt.



Joon. 204-b. Ionosfäärilaine murdumine *E*- ja *F*-kihis sõltuvalt sagedusest. Mida kõrgem on sagedus, seda väiksem on ta mõjutavus ionosfääris: madalad sagedused murduvad juba *E*-kihis, kõrged sagedused läbivad *E*-kihi ja murduvad *F*-kihis, ülikõrgsagedused läbivad nii *E*- kui ka *F*-kihi ja lahkuvad maailmaruumi, maapinnale tagasi jõudmata.

Saatjast väljakiirgunud laine võib hargneda mitmeks osaks ja vastuvõtupunkti levida erinevaid teid kaudu. Sel puhul kutsuvad teede pikkuste erinevused saabuvate hargnenud lainete vahel vastuvõtupunktis esile faasinihke. Koond-väljatugevuse väärtus vastuvõtuantennis võib muutuda väga suurtes piirides, võrdudes nende summaga, kui nad on üksteisega faasis, ja nulliga, kui nad on üksteisega vastufaasis. Kuna teede pikkused aeg-ajalt muutuvad, siis vastavalt sellele muutub ka signaali tugevus, millist nähtust kutsutakse feedinguks. Feeding võib peale selle tekkida osalainete mitmesuguse kombinatsioonina vastuvõtuantennis, näiteks ühehüppe- ja mitmehüppe-lainete vahel, pinnalaine ja ionosfäärilaine või troposfäärilaine vahel jne. Viimasel juhul võivad pinnalaine piirulatuse rajoonis tekkida õige tõsised feedingud; selle piirulatuse ületamisel ühes või teises suunas feedingud langevad, sest üks lainekomponentidest muutub märgatavalt tugevamaks. Feedingud võivad olla kiired või aeglased, sõltuvalt sellest, kas ionosfääri-tingimused muutuvad kiiresti või aeglaselt.

Peale tavalise feedingu eraldatakse veel *selektiivset feedingut*, mis tekib helisagedusega moduleeritud lainete levikul. Neil juhtudel muutuvad saatetingimused isegi väga väikese sageduse muutumise juures, mistõttu kandevsagedus ja külgribade erinevad sagedused saabuvad vastuvõtuantenni moonutatud amplituudilises ja faasilises vahekorras. Selektiivne feeding kutsub esile väga tõsiseid signaali moonutusi.

3. Levimine troposfääris.

Madalamates atmosfääri kihtides laine levimine muutub erinevate õhumasside murdumisnäitaja tõttu. Sadade kilomeetritega piiriteldud õhumassi ala jääb püsima seni, kuni teda ei mõjuta maapinna temperatuur või arenev niiskus. Atmosfääriliste voolude tagajärjel võib õhumass terviklikult liikuda uude asukohta, säilitades seejuures oma endise iseloomu. Puutudes kokku erineva õhumassiga, kergem, soojem ja kuivem mass ületab raskema, külmema, niiskema õhumassi, mille vahel tekkivat piirjoont nimetatakse rindeks. Säärases rindes, mis endast kujutab troposfääri dielektriku-konstandi katkestust, areneb kõrgemate sagedustega raadiolainete murdumine ja peegeldumine analoogiliselt ionosfääri kihtidega, kuid väiksematel kõrgustel ja piiratud nurkadel. Selle tulemusena sagedused üle 50 MHz tulevad maapinnale tagasi tunduvalt kaugemal pinnalaine levimisulatustest, mõnikord isegi kuni 650 km ulatustes.

Troposfääri dielektriku-konstandi muutus tekib alati, kui mõnel põhjusel õhutemperatuuri langus ei püsi kõrguse tõusuga vahekorras 3° C 550 m. Analoogilist dielektriku-konstandi muutumist ja sellest tulenevat raadiolainete murdumist ja peegeldumist troposfääris kutsuvad esile õhukihtide kiire jahtumine õhtul pärast päikese loojakut ning pilvekihistuse taandumine, pealpool pilvi asuvate õhukihtide liigse kuumenemise tõttu päikese otsese ja pilvedest peegeldunud kiirituse tagajärjel. Ülikõrgsageduslike lainete murdumist ja peegeldumist kutsuvad veel esile, kuigi vähemal määral, järsud veeaurude voolud atmosfääris.

4. Maalaine levimine.

Pinnalaine. Pinnalaine on pidevalt seotud maapinnaga, kusjuures ta edasikandumine maapinna kumerust mööda on võimalik ainult paindumise teel. Pinnalaine on ööpäeva ja aastaaja muutustest praktiliselt sõltumatu Pinnalaine peab olema vertikaalselt polariseeritud, sest horisontaalselt polariseeritud elektriväli ühenduks maapinna kaudu lühisesse.

Levides maapinda mööda, indutseerib pinnalaine maapinnases voolu. Kui maapinnas kujutaks endast täiuslikku juhti, siis võimsuskadusid ei tekiks. Tegelikult aga omab maapinnas küllalt suurt takistust, milles tekkivaid võimsuskadusid peab katma laine. Tekkivad kaod, olenedes maapinnase iseloomust, vähendavad vastavalt laine levimise ulatust: merevee hea juhtivuse tõttu on ulatused merel märgatavalt suuremad kui maal.

Peale selle suurenevad kaod sagedusega, mistõttu sagedustel üle 2 MHz muutub pinnalaine seevõrra nõrgaks, et teda kaugühenduse pidamiseks enam arvestada ei saa.

Ruumilaine. Ülikõrgsageduslikus sagedusastmikus (üle 30 MHz) kujuneb lainete murdumine normaalses ionosfääris niivõrd nõrgaks, et ionosfäärilainet ühendusepidamiseks kasutada ei saa. Samuti on väga piiratud ka pinnalaine, nagu eespool käsiteldud. Seega neil sagedusil normaalne ühendusepidamine toimub otselainete abil, mis kulgevad saatjast vastuvõtjani sirgjooneliselt kuni vaatekauguse ulatuseni.

Maapinnalt peegeldunud laine, sattudes koos otselainega vastuvõtuantenni, asub harilikult viimasega vastufaasis, mistõttu üldine väljatugevus väheneb. Selline väljatugevuse nõrgenemine sõltub saatja ja vastuvõtja antennide kõrgusest, võrreldes kohaga, kus peegeldumine toimub, kadudest maapinnases peegeldumiskohas ja sagedusest, kusjuures kõigi loeteldud tegurite suurenemine väljatugevuse nõrgenemist vähendab.

Maapinnases absorptsiooni tagajärjel tekkivad võimsuskaod vähenevad väga kiiresti laine levimistee tõstmisega maapinnast, kusjuures tõstmist ei tule mõista absoluutsetes mõõtühikutes, vaid sõltuvalt saatesagedusest, s. o. lainepikkustena. Seega ülikõrgsageduslik laine võib kulgeda maapinnale palju lähedamalt ilma absorptsioonikadudeta, võrreldes samal kõrgusel kulgeva pikema lainega.

Harilikes tingimustes muutub õhukihi murdumisnäitaja kõrgusega maapinnast, mis avaldub laine paindumisena maapinna suunas. Sellist normaalmurdumist antenni vajaliku kõrguse määramisel võib vaadelda kui ekvivalentset maakera raadiuse suurenemist vahekorras $^4/_3$.

Kuna otselaine tegelikult kulgeb sirgjooneliselt, siis tuleb antennid asetada küllaldasele kõrgusele, et lainel ei tekiks teel puutekohti maapinnaga. Pikematel ulatustel tuleb arvestada maakera kumerust ja maastiku kuju.

Saateulatuse määramine otselainega kujuneb seega sarnaseks optilise vaatekauguse määramisega.

Kui saatja asukoht on maapinnast kõrgemal, siis tasase maastiku puhul määratakse vaatekaugus vastuvõtupunktini, arvestamata murdumist:

$$d = 3{,}58 \sqrt{h},$$

milles d — vaatekaugus km, h — saatja asukoha kõrgus m.

Murdumise arvestamisel kujuneb saatekaugus

$$d = 4{,}11 \sqrt{h}$$

ja nõutava ulatuse katmiseks vajatav saatja asukoha kõrgus maapinnast

$$h = 0{,}0592\, d^2.$$

Joonisel 205 on toodud kõrguse ja kauguse sõltuvus graafiliselt.

Juhul, kui mõlemad, nii saatja kui ka vastuvõtja, on tõstetud maapinnast kõrgemale, arvutatakse saateulatus:

$$d = 4{,}11 \left(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}\right).$$

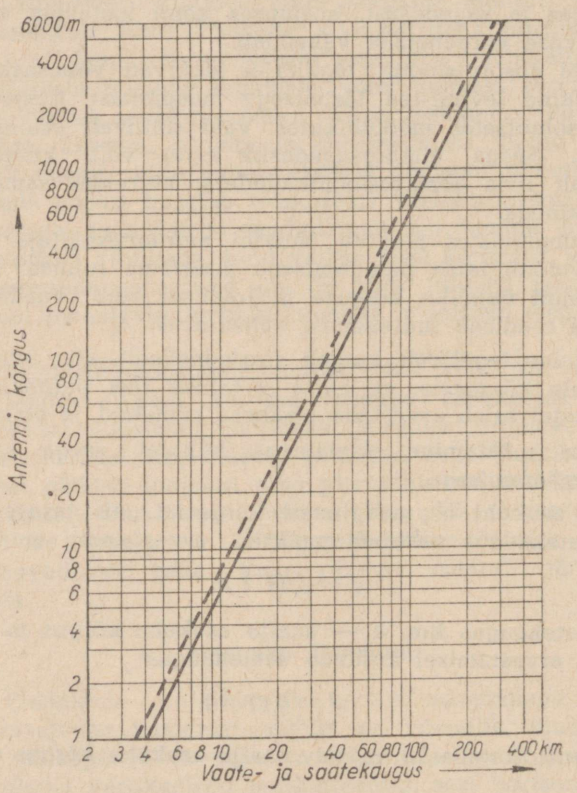
Graafiliselt leitakse üldine töökaugus mõlemale kõrgusele vastavate kauguste summana.

Ühendusepidamisel on olulisemaks nõudeks optimaalse saatenurga valik,

millisel laine saabub ionosfääri. Saatetingimused võivad märgatavalt muutuda, kuid üldiselt saab neid amatöör-laineribades kokku võtta järgmiselt:

1,75 MHz sagedusriba. Kaugemateks ühendusteks on sobivam väike saatenurk. Suur saatenurk põhjustab feedinguid maalaine ulatuse piirides. Eelistatavam on vertikaalne polarisatsioon (I 1).

7,0 MHz sagedusriba. Üldiselt saabuvad maapinnale tagasi lained, mis on saadetud välja kuni 45° nurga all. Päikeselaikude maksimumil saab kasutada veelgi suuremaid nurki. Polariseerimine pole oluline, kuigi kaod tõenäoliselt on suuremad vertikaalse polarisatsiooniga.



Joon. 205. Graafik antenni kõrguse määramiseks ülikõrgsageduslikeks saadeteks sõltuvalt kaugustest. Punktiirjoon näitab optilist vaatekaugust, täisjoon saatekaugust.

14,0 MHz sagedusriba. Kaugühenduseks tuleb suurem osa kiirgusenergiat koondada 20° saatenurka. Suuremad, kuni 30° nurgad on kõlblikud lühemateks, 500 . . . 700 km ulatusteks. Kuigi vertikaalse polarisatsiooniga on kaod tõenäoliselt suuremad, võib kasutada mõlemat liiki polarisatsiooni.

28,0 MHz sagedusriba. Eelistatavamad on saatenurgad kuni 10°. Polarisatsiooni liik pole oluline.

56,0 MHz sagedusriba. Eelistatavamad on võimalikult väikesed saatenurgad. Vaatekauguse ulatustes töötamiseks kasutatakse peamiselt vertikaalset polarisatsiooni, kaugemateks ulatusteks võib horisontaalne polarisatsioon anda paremaid tulemusi. Igal juhul tuleb nii saatja kui ka vastuvõtja juures kasutada ühte liiki polarisatsiooni.

Kõrgemad sagedusribad. Nii vertikaalne kui ka horisontaalne polarisatsioon on rakendatavad; tingimuseks on ainult, et ta oleks ühesugune nii saatja kui ka vastuvõtja juures.

J. ANTENNID.

1. Antenni üldisi omadusi.

Käesolevas peatükis käsitellakse raadioseadmeis, peamiselt saatjais kasutatavate antennide omadusi ja ehitust. Antenn moodustab olulise lüli raadioühenduse pidamises: antenni õigest toimimisest nii saatja kui ka vastuvõtja juures oleneb tunduvalt signaali saatus ruumis, kus ta ei allu enam operaatori juhtimisele.

Antenni süsteemi ja tüübi õige valikuga on võimalik üsna tunduvalt säästa saatja võimsust. Uhtlasi väheneb õigesti valitud antenni juures märgatavalt juhuse moment, mis juhusliku antenni juures on tavaliseks nähtuseks.

Antenniks nimetatakse ühest või mitmest juhtmest koosnevat seadist, mille kaudu sidestatakse ruumiga ühelt poolt saatja kui k.-s. võimsuse generaator ja teiselt poolt vastuvõtja kui k.-s. võimsuse tarbija. Antenni iseloomustavateks tähtsamateks suurusteks on ta polarisatsioon, kiirgusnurk, impedants ja suunavus.

Polarisatsioon. Sirgjoonelise juhtmega antenni polarisatsioon oleneb antenni asetusest maapinna suhtes. Seega vertikaalne juhe kiirgab välja vertikaalselt polariseeritud, horisontaalne juhe — horisontaalselt polariseeritud laineid. Maapinna suhtes viltuselt asetsev antenn kiirgab elektrivälja nii vertikaalset kui ka horisontaalset komponenti.

Kiirgusnurk. Antenni optimaalne kiirgusnurk määratakse ta polarisatsiooniga, kõrgusega maapinnast ning maapinna omadustega. Kiirgumine ei piirdu täpselt piiriteldud nurgaga, vaid hajub suuremasse või väiksemasse alasse, sõltuvalt antenni tüübist. Kiirgusnurk arvutatakse saateantenni asukohas kujutataval vertikaalsel tasapinnal maakera puutuja suhtes.

Impedants. Antenni impedantsiks igas vaadeldavas punktis on pinge ja voolu suhe selles punktis. Antenni impedants evib olulist tähtsust antenni toitmisel, kuna ta avaldub saatjale koormustakistusena. Kõrgsagedusil koosneb antenni impedants peamiselt kiirgustakistusest (B41e), mida mõõdetakse harilikult voolupaisus.

Suunavus. Iga antenn kiirgab võimsust teatavais suundades rohkem kui teistes, millist omadust nimetatakse antenni suunavuseks. Antenni suunavust tuleb käsitada kolmes mõõtes — nii vertikaalses kui ka horisontaalses, s. o. ilmakaarte suunas asimuudina.

Antenni võimendustegur. Kiirgunud väljatugevus on võrdeline antennis tsirkuleeriva voolutugevusega. Seisevlainega töötamisel muutub antenni vool kogu antenni pikkuses. Seepärast on kiirgus suurem neis antenni lõikudes, kus voolutugevus on suurem. Antenni võimendusteguriks nimetatakse võimsuste suhet, mis on tarvilik teatud väljatugevuse tekitamiseks võrdlusantenniga ja sama väljatugevuse tekitamiseks vaadeldava antenniga. Antenni

võimendustegur tuleb rakendamisele juhtudel, kui antenn on määratud suundsaateks, kusjuures väljatugevuste mõõtmine sooritatakse kiirguse optimaalses suunas. Võrdlusantennina kasutatakse sel puhul harilikult poollaine-antenni, mis evib sama polarisatsiooni suunda kui vaadeldav antenn.

2. Poollaine-antenn.

Antenni põhitüübiks on üksik juhe, mille pikkus võrdub ligikaudu saatelaine poole pikkusega. Sellest põhitüüpi antennist, mis üldiselt on tuntud Hertzi antenni nimetuse all, tuletatakse teised keerukama ehitusviisiga antennid.

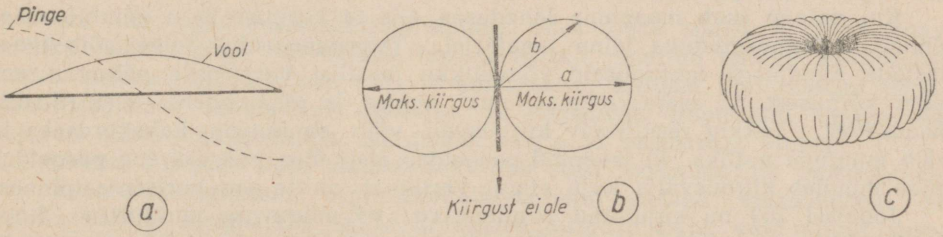
Poollaine pikkus ruumis võrdub teatavasti $\frac{\lambda}{2} = \frac{150}{f}$, milles λ — laine pikkus m, f — sagedus MHz. Poollaine-antenni tegelik pikkus on juhtme otste mahtuvuse tõttu poollaine pikkusest umbes 5% võrra lühem, kusjuures lühenemine tõuseb sageduse suurenemisega. Poollaine-antenni pikkust sagedustel kuni 30 MHz saab määrata küllaldase täpsusega järgmise valemi abil:

$$l = \frac{143}{f},$$

milles l — antenni pikkus m, f — saatesagedus MHz, 56 MHz ja kõrgemail sagedusil kujuneb poollaine-antenni pikkus

$$l = \frac{141}{f}.$$

Ideaalses poollaine-saateantennis paiknevad vool ja pinge siinuse kõvera kujuliselt (joon. 206 *a*), kusjuures vool on maksimumis juhtme keskel ja



Joon. 206. Poollaine-antenni voolu, pinge ja kiirgusväljade pinddiagramm, *a* — voolu ja pinge paiknemine antennis, *b* — väljade kiirguse pinddiagramm, *c* — ruumdiagramm vabas ruumis; *b* ja *c* puhul asub antenn vertikaalselt. Ruumiliselt kujutab vertikaalse poollaine-antenni kiirgusvälja diagramm toroidi, milles antenni juhtmega risti asuva väljatugevuse vektor *a* on maksimaalne, piki juhet asuv väljatugevuse vektor on minimaalne, vahepealse nurga all asuv vektor *b* on oma väärtuselt keskpärane.

peaaegu nullise väärtusega juhtme otstes; vastupidine paiknemine on kehtiv antenni k.-s. pingete suhtes. Tegelikult vool ei muutu voolusõlmedes nulliks otsa mahtuvuse tõttu; pinge ei muutu nulliks pingesõlmes antenni takistuse tagajärjel, mis koosneb kiirgustakistusest ja antenni juhtme k.-s. takistusest. Tavaliselt on juhtme k.-s. takistus kiirgustakistusega võrreldes väga väike ja praktiliselt ei kuulu arvestamisele.

Poollaine-antenni kiirgustakistus vabas ruumis, s. o. ümbritsevaist esemeist küllaldaselt eemaldatuna, võrdub keskmiselt 73 oomiga. Ta kujutab

endast puhtakujulist takistust ning teda mõõdetakse antenni keskel. Antenni impedants, olles minimaalne antenni keskel, kus ta võrdub kiirgustakistusega, tõuseb antenni otstele lähenemisel. Ta tegelik väärtus otstel oleneb paljudest teguritest, näiteks kõrgusest, konstruktsioonist ja asukohast maapinna suhtes. Antenni impedants sõltub peale selle veel antenni juhtme läbimõõdu suhtest ta pikkusesse. Kui juhtme läbimõõtu suurendada, nii et ta võrdub 1% või enam juhtme pikkusest, suureneb mahtuvus pikkuse ühiku kohta, samal ajal induktiivsus vastavalt väheneb. Et seejuures kiirgustakistus läbimõõdu/pikkuse suhte muutmisega muutub ainult väga vähe, siis antenni L/C suhte vähenemine kutsub esile vastavalt ka antenni Q vähenemise, mille tagajärjel antenni resonantskõver muutub lamedamaks ning antenn ise kohaseks laial sagedusribal töötamiseks. Seda omadust kasutatakse antennide juures edukalt ülikõrgsagedustel antennijuhtme läbimõõdu/pikkuse suhte märgatava tõstmise teel.

Poollaine-antenni kiirgus pole ühtlane kõigis suundades, vaid muutub juhtme telje vahelise nurgaga: kiirgus on maksimaalne 90° nurga all, s. o. risti juhtmele, ja muutub nulliks juhtme pikisuunas. Joonisel 206 *b* on toodud antenni kiirguse iseloomustusdiagramm polaarkoordinaat-teljestikus, millel on kaheksataoline kuju. Kui antenn asub vertikaalselt, nagu on näidatud joonisel, siis väljatugevus on ühtlane kõigis horisontaalsuundades; kui antenn on horisontaalselt, evib kiirgus märgatavalt suunatud iseloomu ning väljatugevus sõltub käsitatava suuna ja antenni juhtme vahelisest nurgast.

Joonisel 206 *c* on toodud vertikaalse poollaine-antenni kiirguse ruumdiagramm, mis saadakse kaheksataolise pinddiagrammi pöörlemise teel antenni kui telje ümber ja kujutab endast toroidi.

Kui antenn asub maapinna läheduses, siis ta kiirguse kuju muutub maapinnalt tagasipeegelduva laine tagajärjel. Tagasipeegelduv laine võib moodustada alglainega igasuguseid võimalikke faasilisi vahekordi, sõltuvalt antenni kõrgusest, ta asetusest maapinna suhtes ja maapinnase elektrilistest omadustest. Tekkiv resulteeriv kiirgusväli võib suureneda kahekordseks ja võib muutuda nulliks. Et maapind peegeldab alati üles, siis säärane peegeldumine muudab kiirgusvälja kuju ainult vertikaal-, mitte aga horisontaalpinnas.

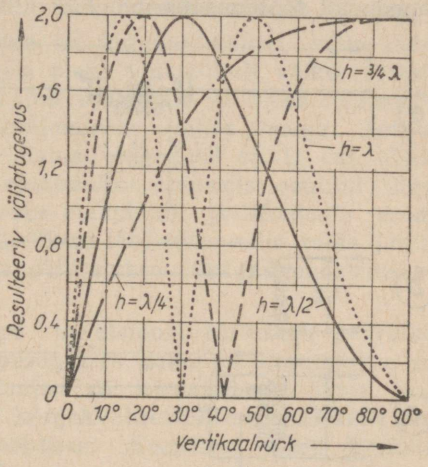
Joonisel 207 on kujutatud resulteeriva väljatugevuse muutumine koos vertikaalse nurga muutumisega sõltuvalt horisontaalse antenni kõrgusest maapinnast. Antenni tõstmisega väheneb nurk, millel summeeruvad otsene ja peegeldunud laine: ühe laine pikkusega antenni kõrguse juures tekib väljade täielik summeerumine 15° nurga all, antenni kõrguse edaspidise tõstmisega väheneb optimaalne kiirgusnurk veelgi.

Vertikaalse poollaine-antenni puhul resulteeriva väljatugevuse maksimumid ja miinimumid kujunevad kõverail vastupidisteks. Sel juhul arvatakse kõrgus maapinnast antenni keskelt.

Et kaugühenduste soodustamiseks vertikaalne kiirgusnurk peab olema harilikult väike, siis on väga soovitav, et antenn asetataks võimalikult kõrgele maapinnast. 14 MHz sagedusribal peaks antenni kõrgus võrduma minimaalselt poole laine pikkusega, 28 MHz ja kõrgemail sagedusribadel, millede juures antenni füüsikalised mõõted kujunevad ehituslikult soodsamateks, tuleb minimaalseks antenni kõrguseks pidada laine pikkust. Praktiliselt tähendab see antenni asetamist keskmiselt 10 . . . 20 m kõrgusele maapinnast.

Peale selle mõjutab maapinna peegeldumine antenni kiirgustakistust, sest peegeldumise tagajärjel võib antenni vool suureneda või väheneda. Väikeste antenni kõrguste puhul maapinnast on kiirgustakistuse muutumine õige märgatav (73 oomi asemel mõnestkümnest oomist kuni 95 oomini), kuid kõrguse tõstmisega läheneb kiirgustakistus oma nominaalväärtusele.

Saateantenni polarisatsiooni valik ei oma olulist tähtsust sagedusastmikul 3,5...30 MHz, kuid antenni paigutamise küsimus kas horisontaalselt või vertikaalselt kerkib üles suunavuse seisukohalt. Vertikaalne antenn kiirgab



Joon. 207. Maapinna mõju horisontaalse antenni kiirgusele vertikaalnurkade all. Diagrammi koostamisel on arvestatud täiuslikult juhtivat maapinnast.

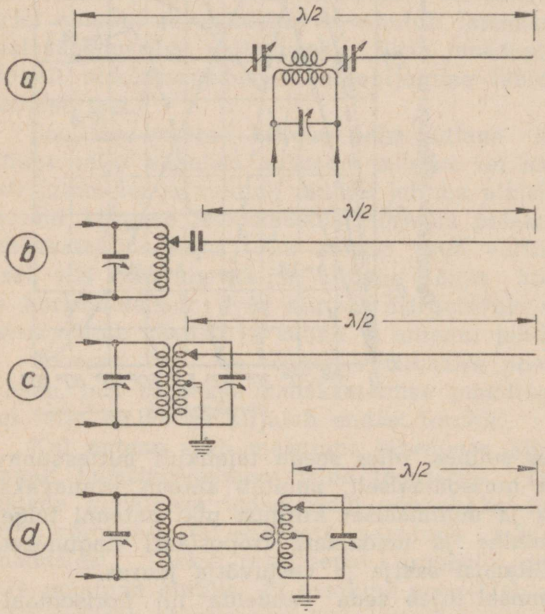
ühevõrra hästi igas horisontaalses suunas, olles seega täielikult mittesuunav hariliku mõiste järgi. Asetatuna horisontaalselt, muutub antenn suunavaks, evides maksimaalset kiirgust risti ja minimaalset kiirgust piki antenni telge. Ülikõrgsagedusil rakendatav otselaine ja madalama troposfääri tingimused vajavad ühtse polarisatsiooni säilitamist saatja ja vastuvõtja juures.

Antenni kiirguse kuju määramisel tuleb seda vaadelda nii horisontaalkui ka vertikaalpinnas. Kui poollaine-antenn asetseb vertikaalselt, ei muuda valitud kiirgusnurk ta horisontaalse kiirguse kuju, vaid ainult amplituudi. Horisontaalsel antennil olenevad nii kiirguse kuju kui ka amplituud valitud kiirgusnurgast. Võiks arvata, et horisontaalse antenni väli piki antenni telge kaugelasuvas vastuvõtupunktis võrdub nulliga, kuid see on kehtiv ainult väga väikese nurga all välja saadetud laine kohta. Tegelikult hajub osa võimsust suurema nurga all, kusjuures horisontaalse kiirgusdiagrammi endine kaheksataoline kuju moonutub. Vastavalt sellele muutuvad antenni suunamisomadused seda väiksemaks, mida suurem on kiirgusnurk.

3. Antenni toitmine.

Kõrgsagedusliku võimsuse ülekandmist saatjast antenni teostatakse kahel viisil: otseselt ja transmissioonliini kaudu, millele vastavalt eristatakse antenni vahetut ja kaudset toitmist. Mõlemal juhul võib antenni toitmine toimuda kas antenni voolupaisus või pingepaisus. Vastavalt sellele tuntakse voolutoite ja pingetoite meetodit.

Vahetut toitmist kasutatakse üldiselt väga harva, sest antenn asub sel juhul saatja vahetus läheduses kogu hoone elektrivoolu-juhtmete ja metallesemetega, mis tähendab kasuliku väljavõimsuse vähenemist absorptsioonikadudena neis esemeis. Peale selle moonutub saatja kiirguse kuju samal põhjusel. Seepärast kohakindlates jaamades kasutatakse peaaegu eranditult kaudset toitmist, mis on vaba säärastest kadudest ja kiirguse kuju moonutustest. Vahetu toite rakendamine on õigustatud ainult neil juhtudel, kui kohalikest oludest tingituna on kõrge antenni paigutamine raskendatud, või siis, kui soovitakse rakendada lihtsat antenni ühtlasi ka kõrgematel harmoonilistel sagedustel töötamiseks.



Joon. 208. Antenni vahetu toite lülitusi: *a* — voolutoitega lülitus, *b*, *c*, *d* — pingetoitega lülitused. Antenni juhtme pikkus võrdub kõigis lülitustes poollaine või mitmekordse poollaine pikkusega.

Joonisel 208 on toodud tüüpilisemaid antenni vahetu toite lülitusi. Lülituses *a* toidetakse antenni keskelt voolupaisus. Kuna sidestuspool pikendab antenni tegelikke mõõteid, siis on temaga järjestikku asetatud kaks sümmeetrilist kondensaatorit, millega antenni elektrilised mõõted viiakse endisesse koormamata olukorda.

Lülituses *b* toidetakse antenni pingega saatja väljundringi kõrgepotentsiaalselt otsalt. Kuna selles lülituses, mis üldiselt on tuntud „fuks-antenni" nimetuse all, antenn on sidestatud anoodringiga vahetult, siis antenn kiirgab ühtlasi välja kõiki võnkeringis arenevaid harmoonilisi sagedusi, mistõttu ta kujuneb teistega võrreldes vähemsoovitavaks antenniks.

Lülitustes *c* ja *d* toidetakse antenni samuti pingega, kuid eraldi võnkeringi kaudu. Seepärast on nende omadused, eriti lüliside-ühenduse puhul lülituses *d*, märgatavalt paremad kui lülituses *b*.

Kõik toodud lülitused on kõlblikud töötamiseks kõigil harmoonilistel sagedustel. Samal põhjusel võib antenni juhtme pikkust soovi kohaselt suurendada, eeldusel, et säiliks poollaine pikkuse vahekord.

Antenni kaudne toitmine toimub transmissioonliinide kaudu, mis võivad olla kahejuhtmelised ja ühejuhtmelised, häälestamata ja häälestatud (B52). Häälestamata transmissioonliinide pikkuse valik on täiesti vaba, kuid seesugune liin vajab täpset impedantside kokkuviimist oma laineimpedantsiga nii sisend- (saatja) kui ka väljundpoolel (antenn). Häälestatud transmissioonliini puhul pole sisend- ja väljundimpedantside kokkuviimine liini laineimpedantsiga tarvilik, kuid liini pikkus on kriitiline ning sõltub sisend- ja väljundimpedantside suurusest. Seejuures veerandlaine pikkusega liin kujutab endast erinevate väärtustega impedantside transformaatorit, poollaine pikkusega liin — samuti transformaatorit, mille ülekandesuhe võrdub ühega.

Enamkasutatavamaid transmissioonliine on kahejuhtmeline, mille valmistamisel on oluline, et juhtmete vahekaugus oleks võimalikult väike, võrreldes lainepikkusega. Samuti on soovitav, et liini eraldajaid ei oleks rohkem, kui on parajasti tarvis liini vahekauguse säilitamiseks tuulise ilmaga. Sobivaks juhtmete vahekauguseks 28 MHz ja madalamail sagedusil on 15 cm, ülikõrgsagedusil — 5 . . . 10 cm. Lahtise kahejuhtmelise transmissioonliini ülespanekul tuleb silmas pidada, et liin asetseks maapinna ja lähedaste esemete suhtes sümmeetriliselt. Kui see pole täielikult läbiviidav, siis tuleb juhtmed kindlatel vahekaugustel ristata, millega säilitatakse liini sümmeetrilisus ja seega õige töötamine.

Parimaid transmissioonliine on kõrge isolatsiooniväärtusega ja väikeste dielektriliste kadudega koaksiaalliin. Seesugustes kaablites kasutatakse seesmise juhtme eraldamiseks mantlist trolituulist või keraamilisest ainest isolaatoreid. Kuid koaksiaalliin säilitab oma kõrgekvaliteedilised omadused ainult niikaua, kuni niiskus pole tunginud kaablisse. Seepärast tuleb koaksiaalliinide otsad teha õhu- ja niiskuskindlaiks.

Transmissioonliiniks võib kasutada ka hea kummi-isolatsiooniga, punutud juhet, näiteks tüüp ШПО, kuid sellise liini kaod, eriti niiske ilmaga, on märgatavalt suuremad kui eelmiste kaod.

Järgnevalt tuuakse eri liiki transmissioonliinide nõrgenemise keskmised andmed (väljendatuna miinus-detsibellides) võrdse pikkusega liinide juures ühe lainepikkuse kohta, kusjuures lainepikkus on mõeldud tegelikult kasutatava laine kohta, mõõdetuna meetrites.

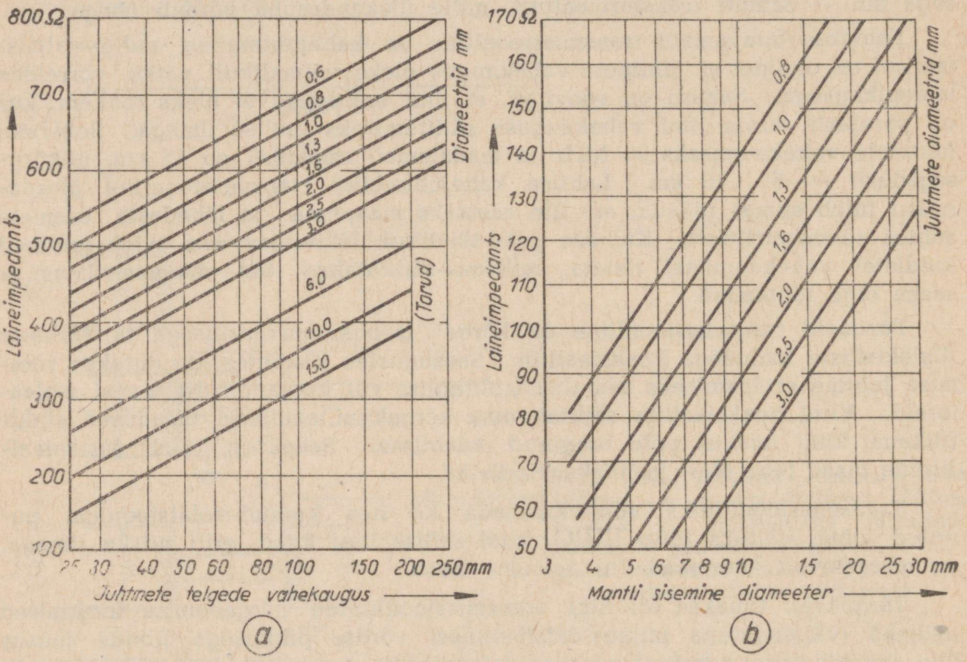
Liini tüübi nimetus	Nõrgenemine — dB/λ
Kahejuhtmeline kontsentriline liin	0,06 . . . 0,1
Kahejuhtmeline lahtine liin	0,12 . . . 0,15
Kõrgekvaliteediline kummi-isolatsiooniga kahejuhtmeline liin	1
Kahejuhtmeline punutud juhe	1,5

Joonisel 209 on graafiliselt toodud tüüpilisemate kahejuhtmeliste lahtiste liinide ja koaksiaalkaablite laineimpedantsid sõltuvalt liini mõõdetest (B52a).

4. Sidestamine transmissioonliinidega.

Saatja ja transmissioonliini sisendotsa vahelise sidestuse ülesandeks on sobitada koormus õigesti saatjaga ning ühtlasi kompenseerida võimalikud reaktiivsused. Tüüpilisemaid sidestusviise on toodud joonisel 210.

Lülitus *a* kujutab lihtsaimat sidestusviisi häälestamata ühejuhtmelise liiniga. Sidestuse suurendamiseks tõstetakse haruühendit pooli anoodipoolse otsa suunas. Sidestuskondensaatori *C* ülesandeks on tõkestada anoodpinge sattumist liini.



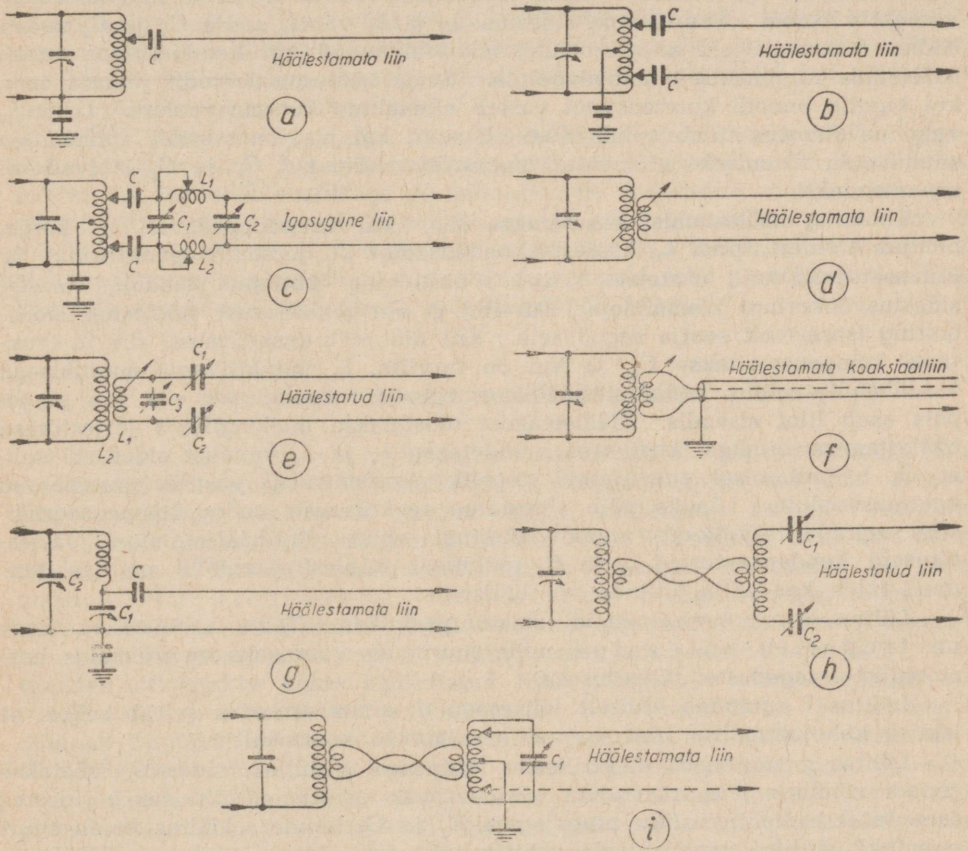
Joon. 209. Transmissioonliinide laineimpedantside diagrammid: *a* — kahejuhtmeline lahtine liin, *b* — koaksiaal-kaabelliin.

Lülituses *b* on anoodi võnkering sidestatud kahejuhtmelise häälestamata liiniga lülituse *a* põhimõttel. Lülitust kasutatakse sümmeetrilise võnkeringi puhul (vastastaktlülituses), mille keskpunkt on maandatud. On oluline, et haruühendid oleksid võetud sümmeetriliselt, arvates pooli maandatud keskpunktist.

Lülitus *c* kujutab madalläbivusfiltrit, mis võimaldab sidestada impedantse väga erinevates ulatustes. Lülituse häälestamine toimub järgmiselt. Algul lahti ühendatud filtriga häälestada saatja anoodring resonantsi minimaalse anoodvoolu järgi. Siis seada filtri poolid L_1 ja L_2 sümmeetriliselt haruühenditele, lülitades kõrgemal sagedusel vähem keerde, madalamal sagedusel rohkem keerde filtri ringi, ning ühendada filter haruühendite kaudu sümmeetriliselt anoodringi külge. Filtri kondensaator C_2 seada keskasendisse ning lülitades saatjasse anoodpinge kondensaator C_1 häälestada minimaalsele anood-

voolule. Kui saadud miinimum ei vasta õigele koormusvoolule, seada C_2 uuele asendile ning korrata häälestamist C_1. Kui vaatamata kõigile C_2 asendeile anoodvool siiski peaks osutuma kas liiga suureks või väikeseks, tuleb asetada ümber L_1 ja L_2 haruühendid ja tarbe korral ka filtri haruühendid anoodringil. Kogu häälestamise ajal ei tohi ümber häälestada anoodringi ennast. Kui lõpuks anoodi õige koormusvool on saavutatud, seada C_1 täpsele resonantspunktile minimaalse anoodvoolu järgi. Selline häälestusmeetod on oluline harmooniliste sageduste allasurumiseks väljundis.

Lülitus *d* on kõlblik häälestamata liiniga sidestamisel. Saatja koormamist reguleeritakse sidestuspooli asukoha muutmisega anoodpooli suhtes. Üldiselt vajab see meetod õigeks koormamiseks tugevat sidet. Pärast õige koormuse saavutamist võib osutuda vajalikuks saatja anoodringi veidi järele häälestada, mis on tingitud sidestuspooli enda tagasimõjust võnkeringile.



Joon. 210. Saatja sidestamise viise transmissiooniliiniga. Lülitustes *a*, *b*, *d*, *f*, *g*, *i* kasutatakse häälestamata liini, lülitustes *e*, *h* häälestatud liini, lülitus *c* on kõlblik igasuguse liiniga kasutamiseks. Sidestuskondensaatorid *C* ei avalda mingit mõju häälestusele, nad ainult tõkestavad anoodpinge sattumist liini. Kondensaatoreid C_1, C_2 kasutatakse liini häälestamiseks.

Lülitust *e* kasutatakse häälestatud liiniga sidestamisel, kusjuures on mõeldavad kaks häälestamisviisi: järjestikune ja rööbitine.

Järjestikust häälestamist kasutatakse siis, kui liini sisendimpedants on madal, s. o. kui voolupais asetseb sisendil. Liini häälestamiseks kasutatakse kahte järjestikust kondensaatorit C_1 ja C_2, millega liin hoitakse sümmeetrilisena maa suhtes. Järjestikusel häälestamisviisil sooritatakse häälestamist järgmiselt. Kondensaatorid C_1 ja C_2 seada minimaalsele mahtuvusele, sidestada antennipool L_1 nõrgalt anoodpooliga L_2 ning jälgida anoodvoolu näitamist. Seejärel suurendada üheaegselt C_1 ja C_2, seni kui saavutatakse maksimaalne koormusvool, mis ühtlasi näitab, et antenn on häälestatud saatesagedusele. Seada anoodi kondensaator ümber minimaalsele anoodvoolu tugevusele. See on tarvilik selleks, et tasakaalustada antennist liini kaudu võnkeringi kandunud reaktiivsusi. Saadud uus anoodvoolu miinimum kujuneb kõrgemaks endisest, mil antenn oli häälestamata, kuid tõenäoliselt on ta õigest anoodi koormusvoolust väiksem. Suurendada sidestust L_1 ja L_2 vahel, seada C_1 ja C_2 uuesti ümber maksimaalsele anoodvoolule, misjärel anoodringi kondensaator uuesti häälestada minimaalsele anoodvoolule. Sama häälestusmeetodit jätkata seni, kui tegelik anoodi koormusvool vastab ettenähtud koormusvoolule. L_1 ja L_2 vaheline sidestus tuleb valida alati nii suur, kui just on tarvilik võimendaja anoodvoolu tõstmiseks ettenähtud koormusvoolule, kui C_1 ja C_2 läbivad resonantspunkti.

Rööbitist häälestamist kasutatakse siis, kui sisendimpedants on kõrge. Sel juhul sidestuspool L_1, häälestuskondensaator C_3 (näidatud punktiirina) ja liin asetsevad kõik üksteise suhtes rööbiti ning koormus kandub otseselt sidestusvõnkeringi klemmidele. Kui liin ei evi reaktiivsust, häälestub sidestusring iseseisvalt saatja sagedusele. Kui liin evib reaktiivsust, siis ta reaktants kompenseeritakse C_3, ja kui on tarvilik, L_1 induktiivsuse muutmisega haruühendite abil. Rööbitist häälestusmeetodit rakendatakse siis, kui pingepais asub liini sisendis. Häälestamist teostatakse analoogiliselt järjestikuse häälestamismeetodiga, kusjuures muudetakse L_1 ja L_2 vahelist sidet selliselt, et C_3 häälestamisel saavutatav tegelik koormusvool vastaks ettenähtud koormusvoolule. Lõpuks võib sidestatud reaktiivsuse mõju kompenseerimiseks osutuda tarvilikuks anoodvõnkeringi väike järelhäälestamine. Järjestikuseid kondensaatoreid C_1 ja C_2 rööbitisel häälestusmeetodil ei kasutata; need tuleb kas välja lülitada või lühistada.

Lülitus *e* on levinenumaid amatöörpraktikas. Teda kasutatakse koos nn. tsepeliin-antenniga, mille suurimaks vooruseks on võimalus harmoonilistel sagedustel töötamiseks.

Lülitus *f* sarnaneb üldiselt lülitusega *d*, ainus erinevus seisab selles, et lahtise kahejuhtmelise liini asemel kasutatakse koaksiaalliini.

Lülitus *g* sarnaneb elektriliselt lülitusega *a*, milles sidestus võetakse anoodi võnkeringi haruühendina. Erinevuseks on see, et lülituses *g* sidestus saavutatakse mahtuvusliku pingejagaja C_1 ja C_2 kaudu. Lülitus omab suurt paindlikkust liini impedantside sobitamiseks õige suures ulatuses. Häälestamist teostatakse kondensaatorite C_1 ja C_2 vastupidise muutmisega, seni kui võimendaja anoodi koormusvool on saavutanud ettenähtud tugevuse, hoides kogu aeg anoodi võnkeringi resonantsis. Sidestuse suurus oleneb C_2 ja C_1 vahekorrast: mida väiksem on C_1 ja mida suurem on C_2, seda tugevam

on side. Lülituse puuduseks on see, et liin pole täiesti sümmeetriline, kuna sidestuskondensaatori C_1 üks pool on maandatud.

Lülitustes *h* ja *i* rakendatakse liini sidestamiseks lülisidet. Lüliside kasutamisega muutub liini häälestusseade praktiliselt sõltumatuks anoodi võnkeringist. Sellega muutub lihtsamaks häälestamine, saatja konstruktiivne külg kujuneb paindlikumaks ning väheneb harmooniliste sageduste kandumine võimendaja anoodringist antenni. Lülituses *h* teostatakse häälestamist järjestikuselt, kusjuures sidestuse reguleerimine toimub lüliside sidestuspoolide lähendamise või eemaldamise teel võnkeringidest. Häälestamise toiming sarnaneb üldjoontes järjestikuse häälestamisega lülituses *e*.

Lülituses *i* toimub häälestamine rööbitiselt, kusjuures liinist tagasikanduvat reaktiivsust kompenseeritakse kas liini võnkeringi induktiivsuse muutmisega või kondensaatori C_1 reguleerimisega. Lüliside-poolid tuleb sidestada võnkeringide maandatud kohtadel, et vähendada seega mahtuvuste ülekannet võnkeringide vahel. Liini võnkeringi keskkohta võib tarbe korral maandada, samuti võimaldab lülitus rakendada niihästi ühejuhtmelist kui ka kahejuhtmelist liini. Häälestamine toimub üldiselt samadel põhimõtetel kui lülituse *e* juures rööbitisel häälestusmeetodil.

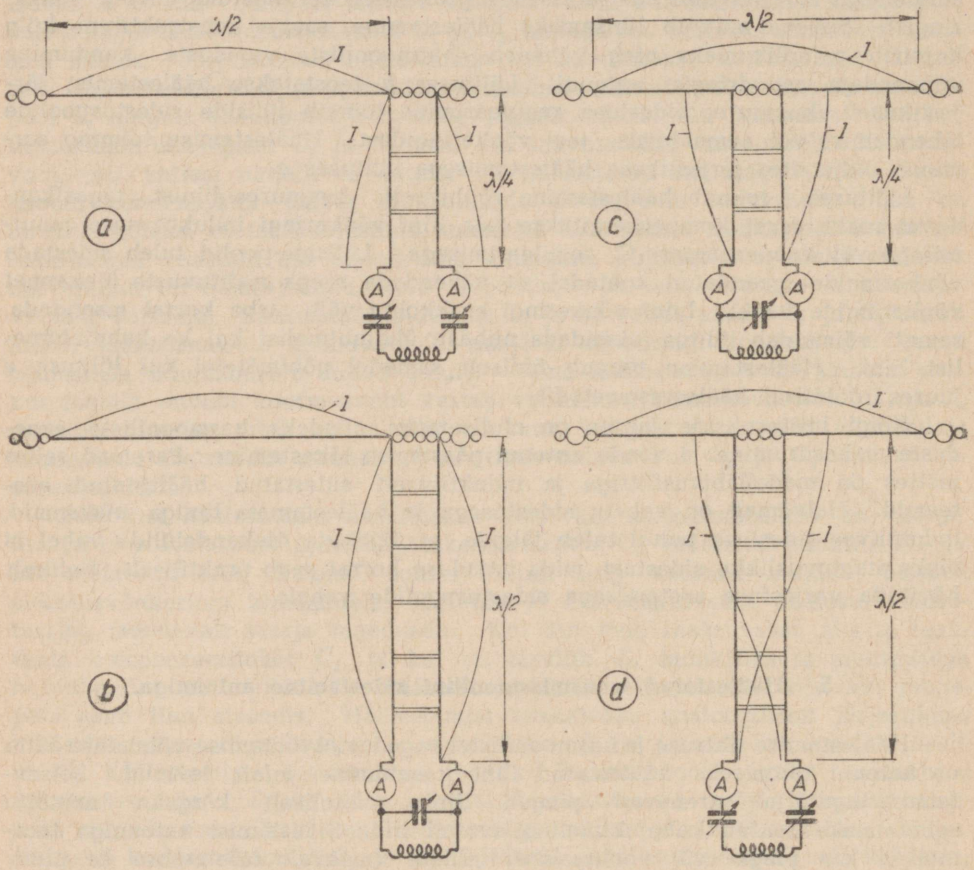
Kõigi lülitusviiside juures on olulisemaks nõudeks harmooniliste sageduste mahasurumine ja nende antenni pääsemise tõkestamine. Paremad selles mõttes on madalläbivusfiltriga ja induktiivselt sidestatud häälestatud süsteemid. Halvemad on vahetu sidestusega ja häälestamata liiniga süsteemid. Induktiivse sidestuse puhul tuleb jälgida, et üksikute ülekandelülide vahel ei oleks mahtuvuslikke sidestusi, mida vajaduse korral saab praktiliselt täielikult hävitada varjestuse asetamisega sidestuspoolide vahele.

5. Häälestatud transmissioonliini sidestamine antenniga.

Häälestamise lihtsuse ja harmoonilistel sagedustel töötamise võimaluse tõttu on antenni toitmiseks häälestatud liini kasutamine laialt levinud. Seisevlaine tagajärjel arenevad pinged liinis suhteliselt kõrgeks, mistõttu sobivaimaks osutub kahejuhtmeline avatud liin. Sidestamist antenniga teostatakse kas pinge- või voolupaisus, millele vastavalt tuletatakse ka nimetused — p i n g e t o i t e g a ja v o o l u t o i t e g a antenn. Antenni toiteks kasutatavate häälestatud liinide pikkus valitakse peaaegu alati tervete veerandlainepikkuste korrutisena, milles paikneb terve arv seisevlaineid (B51). Käitumiselt eristatakse kahte häälestatud liini põhitüüpi: veerandlainelist või veerandlaine paaritukordset ja poollainelist või veerandlaine paariskordset. Säärane liigitus on tuletatud seisevlaine paiknemisest liinis: veerandlaineliini ühes otsas asub alati voolupais, teises voolusõlm (pingepais ja -sõlm vastupidiselt), poollaine-liini otsad on alati ühesugused, kas mõlemas voolupaisud või mõlemas voolusõlmed (pingete paigutus vastupidine). Et vooluja pingepaisude ning -sõlmede kohaselt nii liinis kui ka antennis kujunevad laineimpedantsid, siis seisab antenni toiteprobleemi lahendamine liini ja antenni mõõdete õiges valikus ettenähtud sagedusel töötamiseks ning nende impedantside õiges sobitamises.

Joonisel 211 on toodud neli poollaine-antenni sidestamise tüüpjuhtu hää-

lestatud liiniga; voolude paiknemine on näidatud kõveratena. Lülitustes *a* ja *b* toimub antenni toitmine pingega, s. o. antenni otstest, kus pinge on maksimaalne ja vool minimaalne. Impedantside õigeks sobitamiseks peab liini sidestuspunkt antenniga evima maksimaalset pinget ja minimaalset voolu.



Joon. 211. Poollaine-antenni sidestamise viise häälestatud liiniga: *a* ja *b* — pingetoitega, *c* ja *d* — voolutoitega sidestamine; *a* ja *c* puhul kasutatakse veerandlainelist, *b* ja *d* — puhul poollainelist liini. Nii antennides kui ka liinides on voolujaotus näidatud kõveratena *I*. Häälestamisindikaatoritena kasutatakse liinide sisendotstesse lülitatud voolumõõtjaid (A).

Vastavalt sellele kujuneb veerandlaine-liini sisendotsas minimaalse pinge ja maksimaalse voolu, s. o. minimaalse impedantsi punkt, mistõttu liini toitmine toimub järjestikuselt; poollaine-liini sisendotsas on pinge maksimaalne ja vool minimaalne ning ühtlasi on maksimaalne ka impedants, mis vajab rööbitist toitmist.

Lülitustes *c* ja *d* toimub antenni toitmine vooluga, s. o. antenni keskelt, kus vool on maksimaalne ja pinge minimaalne. Sel puhul veerandlaine-liini toit-

mine peab toimuma saatjapoolsest otsast pingega, s. o. rööbitiselt, poollaineliini toitmine vooluga, s. o. järjestikuselt.

Liinide tegelikud pikkused arvutatakse samadel põhimõtetel kui antennigi pikkus, kusjuures saadud väärtused korrutatakse soovitava veerandlaine arvuga. Väiksemad kõrvalekaldumised arvutatud liinide pikkustest on mõeldavad, kuid suuremate (mõnekümne-protsendiliste) kõrvalekaldumiste puhul tekib suuri raskusi saatja õige koormamisega, kuna tavalised liinide häälestusseadmed toimivad hästi ainult kõrgete ja madalate impedantside juures. Keskmised, mõnesaja-oomised impedantsid viivad liini häälestusringi Q seevõrra madalaks, et küllaldase sidetugevuse saavutamine osutub harilikult võimatuks.

Antenni häälestamisel on soovitav toitejuhtmetesse lülitada k.-s. voolumõõtjad, mis mitte ainult näitavad antenni toitumist, vaid millede abil on võimalik kontrollida ka liini sümmeetrilisust. Voolumõõtja näiteväärtus iseenesest pole veel absoluutseks antennivõimsuse hinnanguks, sest voolutugevus muutub toitejuhtmetes seisevlaine ümberpaiknemisega häälestamisel. Järjestikuse toitmise puhul asetsevad voolumõõtjad voolupaisu läheduses, kus voolutugevus on maksimaalne, rööbitise toitmise puhul on voolumõõtjad pingepaisus, kus vool on minimaalne. Seepärast võib voolumõõtjad häälestuse otstarbeks asendada lihtsate indikaatoritega: järjestikuse toite puhul toitejuhtmetesse lülitatud skaalalambid, rööbitise toite puhul huumlambid annavad antenni kanduva võimsuse kohta küllaldaselt selge pildi. On arusaadav, et pärast häälestamist tuleb säärased indikaatorid vooluringist välja lülitada, et vältida neis tekkivaid kadusid.

Häälestatud toiteliinide juures tuleb tähelepanu juhtida veel liini elektrilisele sümmeetrilisusele, mida saab kontrollida liini lülitatud voolumõõtjate või indikaatoritega. Sümmeetrilise liini juhtmete igas punktis on voolud võrdsed ja vastassuunalised, mistõttu ka nende väljad on võrdsed ning üldine resulteeriv väli võrdub praktiliselt nulliga. Ebasümmeetrilisel voolude paiknemisel võib resulteeriv väli kujuneda küllaltki suureks, mis tähendab, et liin ise toimib kiirgusgeneraatorina-antennina. Kuna liin tavaliselt ei asu vabas ruumis, vaid on ümbritsetud kohalike esemetega, siis tuleb sellisele kiirgusvõimsusele vaadata kui kahjulikule, mille võrra antenni ulatuv kasulik võimsus väheneb.

6. Häälestamata transmissioonliini sidestamine antenniga.

Häälestamata transmissioonliini paremused — minimaalsed kaod ja häälestamisprobleemi ärajäämine — loovad talle erilise poolehoiu. Kuid rööbiti sellega omab häälestamata liin amatööri seisukohalt tõsist puudust, mis seisab selles, et ta vajab väga täpset impedantside kooskõlastamist ja kord antenniga kindlale sagedusele või kitsale sagedusribale sobitatuna ei võimalda töötamist teistel harmoonilistel sagedustel.

Häälestamata liini reguleerimise probleem seisab sidestatavate koormustakistuste sobitamises liini laineimpedantsiga saatja- ja antennipoolsetes otstes. Selleks peab antenn häälestuma valitud sagedusele, kusjuures sidestus tuleb valida nii, et liini ülekanduv antenni ekvivalentne impedants võrduks liini laineimpedantsiga. Liini sidestamine saatjapoolsest otsast ei tekita erilisi

raskusi, nagu on käsiteldud eelmises punktis. Säärast sobitamist antenniga teostatakse kas liini ühendamisega antenni külge sobivates punktides või erilise impedantside transformaatori paigutamisega antenni ja liini vahele või sellise liinitüübi valimisega, mille laineimpedants võrdub antenni keskkoha impedantsiga.

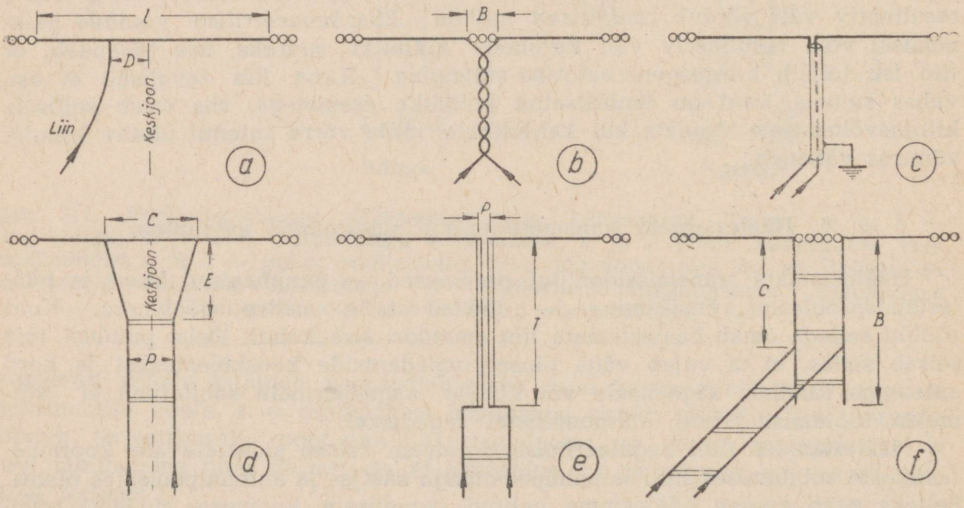
Siiski, mõneprotsendiline impedantside lahkujooks on lubatav, mis tähendab seda, et seisevlaine harisuhe (B52a) liinis ei tohi ületada 2 ... 3. Oluline on seejuures, et liini kummagi juhtme igas vaadeldavas punktis voolud oleksid sümmeetrilised, s. o. võrdsed nii amplituudilt kui ka faasilt. Ebasümmeetria korral tekib liinis kiirgamine, mis pole soovitav, nagu on käsiteldud eespool. Eriti oluline on sümmeetria maa suhtes, mistõttu sisendotsas häälestamata liin sageli maandatakse (joon. 210 *f* ja *i*). Mõnikord asetatakse saatja sidestuspooli ja liini vahele elektrostaatiline varjestus.

Alljärgnevalt käsitellakse häälestamata transmissioonliini sobitamise viise poollaine-antenniga. Sama käsitelu on maksev ka teiste keerukamate antennitüüpide kohta, kui arvestatakse impedantside õiget paiknemist.

a) Ühejuhtmeline sidestus. Ühejuhtmelises toitesüsteemis (joon. 212 *a*) valitakse liini ühenduspunkt antenni külge vastavalt liini laineimpedantsile. Ühejuhtmelise liini laineimpedants võrdub keskmiselt 500 ... 600 oomiga, millele vastavalt ühenduspunkt antenniga on nihutatud antenni keskpunktist ühele või teisele poole keskmiselt ühe seitsmendiku antenni pikkuse võrra:

$$D = \frac{l}{7},$$

milles D — liini ühenduspunkti kaugus, arvatuna antenni keskpunktist, l — poollaine-antenni üldpikkus (arvestused võrdsetes mõõtühikutes — m, cm).



Joon. 212. Poollaine-antenni sidestamise viise häälestamata liinidega: *a* — ühejuhtmeline sidestus, *b* — punutud liiniga sidestus, *c* — koaksiaalliiniga sidestus, *d* — delta-sidestus, *e* — Q-sidestus, *f* — sidestus transformaatorliinilõiguga.

Sellise dimensioonimisega ei teki liinis seisevlaineid, kuigi kaod on veidi suuremad kui kahejuhtmelise liini puhul. Seepärast pole soovitav kadude vähendamise huvides kasutada väga pikki liine. 20 . . . 30 m pikkustes liinides ei kujune kaod veel liiga suurteks.

Põhisagedusele õigesti sobitatud liini ühenduspunkt ei osutu sobivaks antenni töötamisel harmoonilistel sagedustel. Kui aga lubada nõrka kõrvalekaldumist õigest ühenduskohast, saab ühejuhtmelise häälestamata liiniga toidetavat poollaine-antenni rakendada ka harmoonilistel sagedustel. Kompromisslahenduseks osutub ühenduspunkti nihutamine antenni keskpunktist ühe kuuendiku antenni pikkuse võrra:

$$D = \frac{l}{6}.$$

Säärane kõiklaine-antenni süsteem on lihtsaim ja annab täiesti rahuldavaid tulemusi. Siiski on viimasel juhul soovitav liini pikkus kooskõlla viia põhisageduse veerandlainepikkuse kordsega. Sellega väheneb reaktiivsuste mõju saatja lõppvõimendaja väljundringile.

Ühejuhtmelise toitesüsteemiga antenni häälestamine toimub sidestuse suuruse muutmise ja anoodi võnkeringi järelhäälestamise teel, kuni saavutatakse anoodvoolu miinimum, mis vastab normaalsele koormusvoolule. Olenemata sidestusviisist (joon. 210 *a*, *g*, *i*), vajab ühejuhtmeline toitesüsteem head saatja maandust, kuna antennist tagasitulevat juhet kujutab antenni ja maapinna vaheline mahtuvus. Paremaid tulemusi saavutatakse niiske maapinnasega asukohas, liivane ja kivine pinnas on vähem sobivad.

b) Punutud liiniga sidestus. Valgustusvõrgu-nöörist või muust kummi-isolatsiooniga juhtmest valmistatud punutud liini laineimpedants on harilikult väike, võrdudes keskmiselt 70 oomiga. Seepärast ta õigeks sidestuskohaks poollainelisele antennile on antenni keskkoht (joon. 212 *b*). Väikesi kõrvalekaldumisi impedantside õigest sobitamisest saab parandada ühenduskoha vahekauguse *B* reguleerimisega, mille pikkus kujuneb keskmiselt 15 . . . 45 cm, sõltuvalt liini mõõdetest ja sagedusastmikust. Täpseks sobitamiseks tuleb vahekaugust *B* muuta seni, kui toitevool liinis on maksimaalne. Liini sidestamist saatjaga teostatakse häälestamata sidestuspooli kaudu (joon. 210 *d*). Punutud liiniga toitesüsteem on kõlblik kasutamiseks ainult põhisagedusel, harmoonilistel, eriti paarisharmoonilistel tekivad liinis seisevlained ning liini sobitamatuse tõttu voolu ülekandmine antenni katkeb.

c) Koaksiaalliiniga sidestus. Antenni toitmiseks kasutatavate koaksiaalliinide impedants võrdub keskmiselt 70 oomiga (joon. 209, diagramm *b*); selliste kaablite sidestamine toimub poollaine-antenni keskelt (joon. 212 *c*), nagu punutud liiniga sidestamisel. Dielektrilised kaod kõrgekvaliteedilisest isolatsioonimaterjalist eraldajatega kaablis on väga väikesed, kiirgusväljad puuduvad täielikult. Seepärast on koaksiaalliiniga sidestusviis teistega võrreldes parimaid. Kuid koaksiaalkaabliga antennisüsteem toimib ainult põhisagedusel, samuti kui punutud liiniga süsteem. Sobitamine ja sidestamine saatjaga on samad mis punutud liini juures.

d) Delta-sidestus. Praktiliselt pole võimalik valmistada kahejuhtmelist liini, mis eviks väikest laineimpedantsi ja oleks kohane vahetult poollaine-antenni keskele ühendamiseks. Kasutatavate liinide impedantsid võrduvad keskmiselt 400 . . . 700 oomiga, millest tarvitatavamaid on 600-oomine liin.

Seepärast osutub vajalikuks kasutada erinevate impedantside sobitamiseks eri konstruktsioone.

Ühte seesugust eri konstruktsiooni kujutab delta-sidestus (joon. 212 *d*), mille lehvikutaolises liinilõigus (*E*) liini-impedants transformeeritakse üles, vastavaks antennilõigu *C* impedantsile. Sellise antenni sidestusviisi juures kujunevad kriitilisteks suurusteks, peale antenni pikkuse, mis arvutatakse üldvalemi alusel: liini juhtmete vahekaugus *P*, lehviku pikkus *E* ja antenni sidestuslõik *C*. 600-oomise liini sidestamiseks delta-meetodil arvutatakse konstruktiivsed suurused järgmiselt:

$$C = \frac{36}{f}; \quad E = \frac{45}{f},$$

milles *C* — sidestatava antennilõigu pikkus m-tes, *E* — lehviku pikkus m-tes, *f* — sagedus megahertsides. Konstruktiivsed andmed 600-oomise liini kohta on toodud diagrammis *a*, joon. 209. Hästi sobitatud delta-sidestus annab häid töötulemusi, seisevlaine harisuhe on tavaliselt alla 2, kuid ta rakendamine harmoonilistel sagedustel pole üldse mõeldav. Liini sidestamiseks sobivad lülitused *c*, *g*, *i* (joon. 210). Sümmeetrilisuse säilitamiseks on oluline, et liin hargneks antennist ja kulgeks vähemalt poole laine pikkuselt ristloodis.

e) Q-sidestus. *Q*-sidestuses kasutatakse veerandlainelise liinilõigu impedantside transformeerimise omadust (B52b) lahtise transmissioonliini laineimpedantsi sobitamiseks antenni keskpunkti impedantsiga (joon. 212 e). Transformaatori-osa valmistatakse lähestikku-asuvaist jämeda läbimõõduga alumiinium- või vasktorudest, et vähendada laineimpedantsi miinimumini. Q-transformaatori kriitilisteks suurusteks on (peale antenni pikkuse) liinilõigu pikkus *T*, Q-liinilõigu laineimpedants Z_Q ja häälestamata liini laineimpedants Z_l.

Q-liinilõigu laineimpedants arvutatakse $Z_Q = \sqrt{Z_a Z_l}$, milles Z_a — antenni keskkoha impedants, keskmiselt 72 oomi, Z_l — transmissioonliini laineimpedants.

Q-liinilõigu pikkus *T* võrdub veerandlaine pikkusega ja arvutatakse üldvalemi järgi $T = \frac{71{,}5}{f}$, milles *T* — pikkus meetrites, *f* — sagedus megahertsides.

Näide. Arvutada *Q*-sidestusega antenni andmed töötamiseks saatesagedusel 14,3 MHz. Valides transmissioonliini laineimpedantsiks $Z_l = 600$ oomi, kujuneb Q-liinilõigu laineimpedants Z_a, arvestades antenni keskpunkti impedantsina $Z_a = 72$ oomi, $Z_Q = \sqrt{Z_a Z_l} = \sqrt{72 \cdot 600} = 208$ oomi. Valides Q-lõigu materjaliks 10 mm läbimõõduga alumiiniumtoru, leiame diagrammist *a* (joon. 209), et 208-oomise impedantsi puhul 10 mm läbimõõduga torude tsentrite vahekaugus peab olema 28 mm, millest torude pindade vahekaugus võrdub $28 - (2 \cdot 5) = 18$ mm. *Q*-lõigu pikkus $T = \frac{71{,}5}{f} = \frac{71{,}5}{14{,}3} = 5{,}00$ m. Poollaine-antenni pikkus $l = \frac{143}{f} = \frac{143}{14{,}3} = 10{,}00$ m. 600-oomise laineimpedantsiga transmissioonliini juhtmete tsentrite vahekauguse leiame diagrammist *a* (joon. 209). Kui liini juhtmematerjaliks on 1,3 mm läbimõõduga vasktraat, siis vastav liini juhtmetevaheline kaugus kujuneb 96 mm.

Q-sidestus evib järgmisi paremusi: reguleerimine on lihtne nagu punutud sidestamiselgi, liinisüsteem on väikesekaoline. Kuid harmoonilistel sagedustel töötamiseks on Q-süsteem vähe kõlblik.

Saatjaga sidestamiseks on sobivad lülitused *b*, *c*, *i* (joon. 210).

f) Sidestus transformaatorliinilõiguga. Häälestamata liinide laineimpedantse saab antenni impedantsiga sobitada veerandlaine pikkusega transformaatorliinilõigu abil. Joonisel 212 *f* on toodud transformaatorliinilõigu rakendamine kesktoitega antenni juures. Säärase lülituse puhul on liinilõigu välimine ots lahtine, sest teine ots on ühendatud antenni madalaimpedantsilise kohaga. Kuna liinilõigus tekib seisevlaine, mille pingepais ja ühtlasi maksimaalne impedants on lahtises otsas, siis toimub transmissioonliini sobitamine õige koha valikuga liinilõigul.

Sama sidestusviisi saab rakendada ka otsast pingega toidetava poollaineantenniga, kuid sel puhul tuleb liinilõigu välimine ots lühistada, et antennipoolse otsa impedants oleks kõrge, s. o. et ta vastaks antenni toitekoha impedantsile. Peale selle võib pingega toidetava poollaine-antenni juures kasutada ka poollaine pikkusega transformaatorliinilõiku, mispuhul liinilõigu väline ots jääb seal tekkiva pingepaisu tõttu lahtiseks.

Õigesti sobitatud transformaatoriliinilõiguga sidestamisel kujuneb seisevlaine harisuhe transmissioonliinis väikeseks ning liini pikkus pole millegagi piiratud. Sobitamine teostatakse pigem katselisel kui arvutuse teel. On oluline, et antenn häälestuks täpselt poolele, liinilõik veerandile (tarbe korral poolele) lainepikkusele. Transmissioonliini õige kinnituskoha määramiseks sooritatakse tegeliku töö ajal rida toitevoolu mõõtmisi, transmissioonliini voolutugevuse mõõtmisega erinevates kaugustes. Õige sobituse tunnuseks on seisevlainete puudumine transmissioonliinis, s. o. kui voolutugevus kõigis liinipunktides praktiliselt on võrdne.

600-oomise laineimpedantsiga transmissioonliini kasutamisel toimub antennisüsteemi sidestamine saatjaga samadel põhimõtetel kui delta- ja *Q*-süsteemi juures.

7. Pikajuhtmelised antennid.

Antenni on võimalik häälestada alati siis, kui ta pikkus vastab häälestatava sageduse ühele või mitmele täisarvulisele poollaine pikkusele. Antenni, mis on poollainepikkusest pikem, nimetatakse pikajuhtmeliseks ehk harmooniliseks antenniks. Harmoonilistele sagedustele häälestamisel tekib sellises antennis rida seisvaid poollaineid.

Pikajuhtmelise antenni pikkus ei vasta täpselt poollaine-antenni pikkuse kordsele, sest antenni otste mahtuvuslikud ja induktiivsuslikud mõjud tekivad ainult antenni tegelikes otstes, mitte aga iga seisva poollaine vahel. Pikajuhtmelise antenni pikkust arvutatakse seepärast järgmise valemi abil:

$$l = \frac{150\,(n - 0{,}05)}{f},$$

milles l on antenni pikkus meetrites, n — poollainete arv antennis, f — sagedus MHz. Nagu nähtub valemist, kujuneb põhisagedusele dimensioonitud pikajuhtmeline antenn kõrgematele harmoonilistele sagedustele lühikeseks, kusjuures lühenemine suureneb harmooniliste arvu tõusuga.

Antenni pikendamisega tõuseb kiirgustakistus. Ühtlasi suureneb ka ta kiirgamisvõimsus teatud suundades — võimsuse vähenemise arvel teistes suundades. Pikajuhtmeline antenn evib märgatavat suunalisust, mis tõuseb

antenni pikendamisega. Endine kaheksakujuline poollaine kiirgusdiagramm muutub sopiliseks, kusjuures eriti märgatav on kiirguse tõus piki antenni telje suunda.

Pikajuhtmelise antenni toitmine toimub üldiste poollaine-antenni kohta maksvate põhimõtete järgi, kusjuures tuleb arvestada õiget sidestuse kohta.

Iga poollaine-antenni võib vaadelda harmooniliste sageduste suhtes pikajuhtmelise antennina. Raskuseks kujuneb harmoonilistel sagedustel antenni toiteküsimus, sest põhilainele dimensioonitud toitesüsteem harmoonilistel sagedustel harilikult lakkab toimimast impedantside muutumise tõttu.

Sobivateks antennisüsteemideks harmoonilistel sagedustel töötamisel on häälestatud liiniga poollaine-antenn (jagu I p. 5, joon. 211), millest eelistatumaks tuleb pidada pingetoitega tsepeliin-antenni. Sel juhul antenn dimensioonitakse poollaineliselt kõige madalamale saatesagedusele; samuti valitakse ka liini mõõted, mis peavad vastama madalaima sageduse veerandlainepikkuse kordsele. Nii näiteks saab 20,5 m pikkusega antenni koos 10,25 m häälestatud toiteliiniga kasutada töötamiseks 7, 14, 21 ja 28 MHz laineribal niihästi keskelt voolutoitega kui ka otsast pingetoitega.

Harmoonilistel sagedustel töötamiseks saab hästi kasutada veel ühejuhtmelist antennisüsteemi, eriti kui toiteliin ühendada $^1/_6$ ulatusele, arvates antenni keskkohast. Lõpuks võib iga antenni kasutada harmoonilistel sagedustel töötamiseks, kui saatja juures toiteliini mõlemad juhtmed kokku ühendada. Igal juhul muutuvad kõik toiteliinid harmoonilistel sagedustel töötamisel häälestatud liinideks, mis paratamatult vähendab üldist antenni kasutegurit.

8. Ülikõrgsageduslikud antennid.

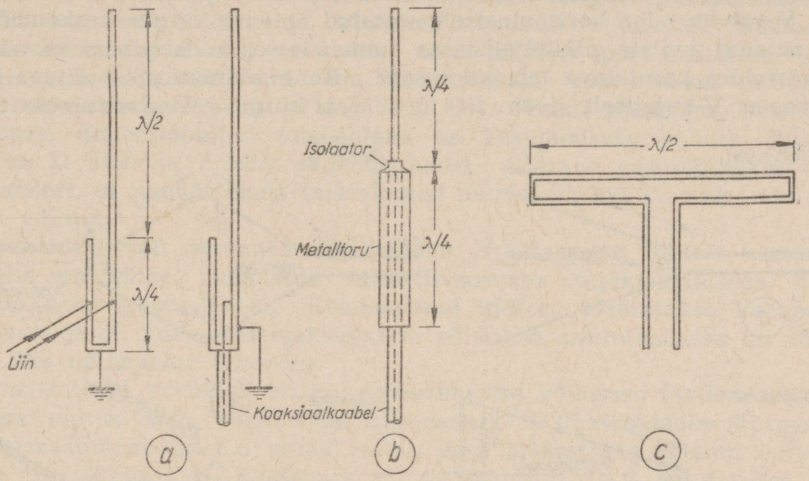
Ülikõrgsagedustel lihtsustub antennide probleem sellega, et antenni mõõted muutuvad väikesteks, mistõttu lihtsustub antennide reguleerimine, katsetamine jne. Kuid samal ajal tõusevad sageduse suurenedes dielektrilised kaod, mis esitab eriti toiteliinidele kõrgendatud tehnilised tingimused.

Levinenumad ülikõrgsageduslikud antennitüübid on järgmised.

a) J-antenn. J-antenn kujutab endast poollaine-pikkust antenni radiaatorit, mida toidetakse veerandlaine-pikkuse liinilõigu kaudu (joon. 213 *a*). J-antenn valmistatakse vask- või alumiiniumtorust, mille alumine ots, asudes maapotentsiaalil, harilikult maandatakse. Seega ei vaja antenn ise mingisugust isoleerimist. Vertikaalse asendi tõttu on saatelaine polariseeritud vertikaalselt. Toiteliiniks kasutatakse peamiselt koaksiaalkaablit, kuid vajaduse korral võib teda asendada lahtise kahejuhtmelise liiniga. Kuna toiteliinis seisevlaineid ei teki, on liini pikkus piiramatu. Reguleerimine ja häälestamine toimub analoogiliselt transformaatorliinilõiguga antennisüsteemile.

b) Koaksiaal-antenn. J-antenni puuduseks on transformaatorliinilõigu, ja kui kasutati lahtist toiteliini, siis ka toiteliini kiirgamine, mis avaldub selles, et antenni resulteeriv kiirgusnurk kujuneb suureks. See puudus välditakse koaksiaal-antenni juures (joon. 213 *b*), milles toiteliiniks on 70-oomise laineimpedantsiga koaksiaalkaabel. Antenn on poollaineline, mille ülemise osa moodustab veerandlaine pikkusega kaablisoone avatud jätk, alumise osa — kaabli mantliga ülevalt otsast ühendatud veerandlaine-pikkune metalltoru. Koaksiaal-antenn evib väga häid kiirgusomadusi.

c) Murtud dipool. Murtud dipool (joon. 213 *c*) kujutab keskelt toidetavat poollaine-antenni, millele teine poollaineline antenn on vahetult ühendatud otstesse. Mõlema osa vahe peab olema võimalikult väike — mõni protsent lainepikkusest. Murtud dipooli kogupikkus vastab ühele lainepikkusele ja arvutatakse varemtoodud valemite järgi (I 2). Sellise dipooli impedants sisendil võrdub keskmiselt 300 oomiga, millele sobitatud toiteliin on ilma seisevlaineteta. Konstruktiivselt valmistatakse murtud dipool metalltorust, mis annab laia riba kiirguse omadused ja mis leiab rakendamist eeskätt laiaribalistel televisioonisaadetel.



Joon. 213. Ultra- ja superkõrgsageduslikke antenne: *a* — J-antenn, *b* — koaksiaal-antenn, *c* — murtud dipool.

Peale loeteldud üksikute ülikõrgsageduslike antennide on välja arendatud rida eriotstarbelisi antenne, muuhulgas õõnesliin-toruradiaatorid, millega väljaenergia kontsentreeritakse kitsasse suunatud joasse. Selliste toruradiaatorite suunavus on seda suurem, mida laiem on toru lehvikukujuline ava võrreldes lainepikkusega. Neid kasutatakse peamiselt sentimeetrilistel lainetel, kus kõrgsageduse võimsuse genereerimine ja juhtimine toimub õõnesliinides väljadena.

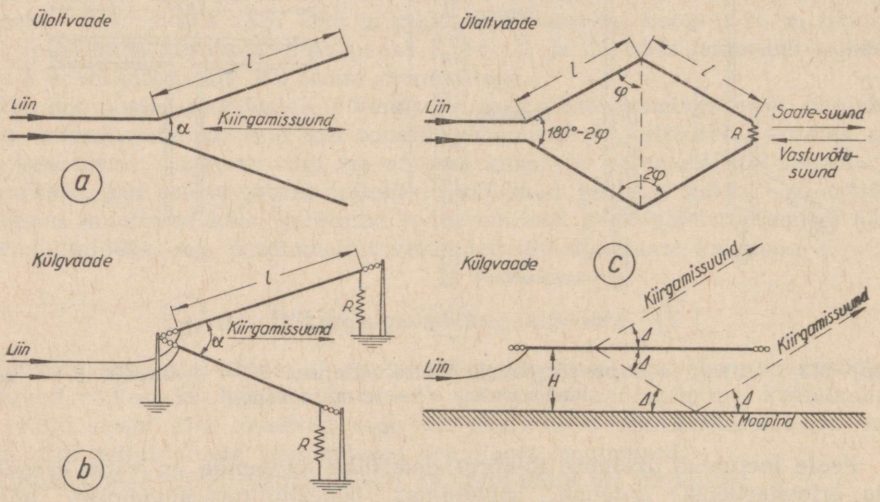
Kõik senikäsiteldud antennid toimivad elektromagnetilise kiirguse mõlema välja — nii magnetilise kui ka elektrilise kasutamise põhimõttel. See on kehtiv antennide kohta nii saatmisel kui ka vastuvõtul. Kuid peale nende tuntakse veel ühte eri liiki antennitüüpi, nn. r a a m a n t e n n i, milles rakendatakse ainult elektromagnetilise kiirguse magnetvälja komponenti. Raamantenn evib õige märgatavat suunalisust, kusjuures eriti piiriteldud on raami vastuvõtu omadused raami pinnale risti kulgeva magnetvälja suhtes, kus vastuvõetava signaali tugevus muutub nulliks. Selle nullise väljatugevuse teraval piiritlusel põhinebki raadiosaatjate suuna määramise põhimõte raadiogoniomeetrilisel teel, milliseks otstarbeks raamantenni peaaegu eranditult kasutataksegi.

9. Suundantennid.

Saatevõimsuse säästmise ja ruumi koormamise vähendamise huvides rakendatakse saatjate juures teravalt piiratud suunalisusega antenne, nn. s u u n d a n t e n n e. Samalaadseid antenne kasutatakse ka suundvastuvõtul selleks, et vabaneda muudest suundadest saabuvatest häirivsignaalidest ja müradest.

Töötamispõhimõttelt eristatakse kolme suundantenni süsteemi: pikajuhtmelised suundantennid, toidetavad ridaantennid ja parasiit-ridaantennid.

a) V-antenn. Iga horisontaalselt asetatud antenni kiirgus keskendub seda enam antenni juhtme pikiteljelistesse suundadesse, mida pikemaks teha antenn võrreldes kasutatava lainepikkusega. Kahe säärase pika antennijuhtme asetamisega V-kujuliselt (joon. 214 *a*) tõuseb kiirguse keskendumine märga-



Joon. 214. Pikajuhtmelise suundantenni tüüpe: *a* — kahesuunaline V-antenn; *b* — ühesuunaline takistuspäätusega V-antenn; *c* — rombantenn.

tavalt piki nurgapoolitajat kummaski suunas, sest teistes suundades kiirgusväljad suuremal või väiksemal määral vastastikku neutraliseeruvad. Antenni harude pikendamisega tõuseb kiirguse võimsuse keskendumine neis suundades ning vastavalt vähendatakse harude-vahelist nurka α maksimaalse võimsuse saamiseks: 1 laine pikkusega harudel l on optimaalne nurk $\alpha = 110°$, 2λ — 70°, 3λ — 60°, 4λ — 52°, 5λ — 45°. Antenni tõstmisega maapinnast väheneb vertikaalne kiirgusnurk: 1 laine pikkuse kõrgusel on kiirgusnurk 31°, 2λ — 27°, 3λ — 23°, 4λ — 20°, 5λ — 18°. Siit nähtub, et V-antenni on võimalik rakendada ühtlasi ka harmoonilistel sagedustel, kusjuures iga järgneva kõrgema harmoonilisega suureneb horisontaalne suunavus ja muutub väiksemaks vertikaalne kiirgusnurk, kuigi kiirguse keskendumine jääb harmoonilistel sagedustel väiksemaks võimalikust maksimumist, kuna nurk α jääb muutumatuks. Kaheksakordse lainepikkusega harudega V-antenni võimsuse suurenemine on umbes 12 dB, võrreldes poollaine-antenniga. Kui

V-antenni juhtmete vabad otsad maandada läbi antenni impedantsile vastava takistuse (nn. tupiktakisti), kaovad seisevlained ning antenn muutub ühesuunaliseks (joon. 214 *b*). Maandamist võib ette võtta ainult siis, kui on tagatud hea ning püsiv maandustakistus; vastasel korral tekivad antennis suured võimsuskaod.

b) Rombantenn. Maandatud V-antenni puudustest on vaba rombantenn, mis kujutab parimat suundantenni, võrreldes teiste süsteemidega. Rombantennilt saadav võimsuse keskendumine tõuseb kahe kuni nelja lainepikkusega antenni-harude puhul keskmiselt 12 dB-ni; koos harude pikendamisega tõuseb võimsuse keskendumine ja suureneb vastavalt suunavus. Rombantenni paremuseks on peale selle veel see, et ta mõõted pole kriitilised kasutatavate sageduste suhtes, vaid väga häid tulemusi saavutatakse töösageduste muutmisega vahekorras 1:2 ja isegi kuni 1:4. Teiste sõnadega, 14 MHz töösagedusele dimensioonitud rombantenn on kasutamiseks kõlblik ühtlasi ka 28 MHz, 21 MHz ja 7 MHz sagedusribadel. Säärane vastuvõtlikkus on tingitud sellest, et rombantennis seisevlained puuduvad, kui t u p i k t a k i s t i on õigesti valitud.

Konstruktiivselt sarnaneb rombantenn V-antenniga, millele samasugune V-antenn on külge ühendatud induktiivsusvaba tupiktakistusega keskmiselt 800 oomi (joon. 214 *c*). Rombantenni mõõted määratakse kohapealsete tingimuste järgi, kusjuures maksimaalse võimsuse saavutamiseks on võimalik ainult üks optimaalne lahendus.

Rombantenni arvutuse aluseks maksimaalse võimsuse taotlemisel on ainult üks suurus, s. o. vertikaalne kiirgusnurk Δ (horisontaalse kiirgusnurga määrab maapinnal antenni asend), mille järgi määratakse antenni optimaalne kõrgus H, pikkus l ja kaldenurk φ; seejuures H ja l arvutatakse lainepikkustes, Δ ja φ — kraadides.

Arvutuskäik on järgmine:

Antenni kõrgus $H = \frac{\lambda}{4 \sin \Delta}$ (lainepikkustes);

$\sin \varphi = \cos \Delta$;

külje pikkus $l = \frac{\lambda}{2 \sin^2 \Delta}$.

N ä i d e. Arvutada rombantenn sagedusele $f = 28{,}6$ MHz, kui kiirgusnurk $\Delta = 20°$.

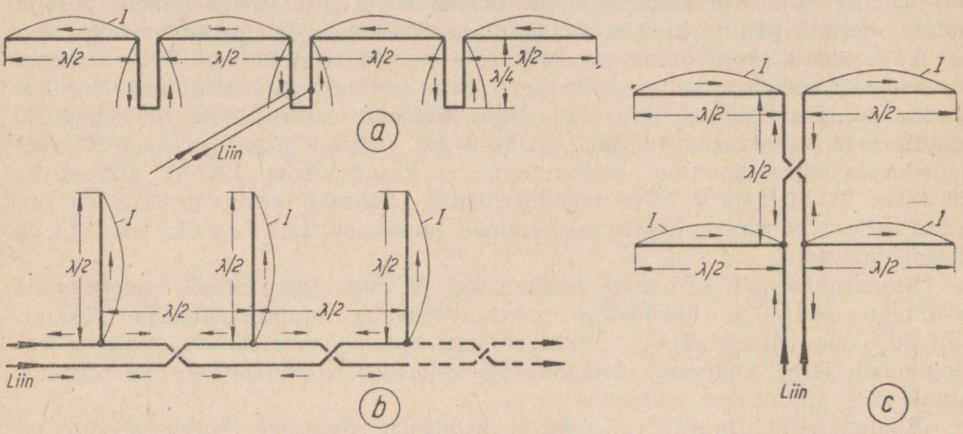
Sagedusele $f = 28{,}6$ MHz vastab lainepikkus $\lambda = \frac{300}{28{,}6} = 10{,}5$ m; antenni kõrgus $H = \frac{\lambda}{4 \sin \Delta} = \frac{10{,}5}{4 \cdot 0{,}342} = 7{,}7$ m; kaldenurga $\sin \varphi = \cos \Delta$; $\cos 20° = \sin 70°$, seega $\varphi = 70°$; külje pikkus $l = \frac{\lambda}{2 \sin^2 \Delta} = \frac{10{,}5}{2 \cdot 0{,}342^2} = 44{,}85$ m.

Antenni toitmine toimub 800-oomise laineimpedantsiga häälestamata liini kaudu. Tupiktakistuse valikul tuleb arvestada seda, et pool saatja väljundvõimsusest hävib selles soojuseks; asfalditud süsipulk on sobiv.

Rombantenn annab ülihäid tulemusi ka vastuvõtul, kusjuures vastuvõtu suund on vastupidine saate suunale.

c) Toidetavad ridaantennid. Paigutades mitu poollaine-antenni (mida sel puhul nimetatakse antennielementideks) ritta, sobivatele vahekaugustele üksteisest, ning toites neid ühisest transmissioonliinist, liituvad antennielemen-

tide väljatugevused selliselt, et nad annavad soovitavas suunas teravalt piiriteldud kiirguse keskendumise, teistes suundades nõrgenemise. Antennielemente võib asetada ritta sirgjooneliselt üksteise järele (lineaarne ridaantenn) või vertikaalselt üksteise suhtes ühisel pinnal (kammantenn). Ridasüsteemi suunavus tõuseb elementide arvu suurenemisega, olenedes elementide vahekaugusest ning nendes tsirkuleerivate voolude faasist. Joonisel 215 *a* on näidatud lihtsaima lineaarse ridaantenni ehituspõhimõte



Joon. 215. Toidetavaid ridaantenne: *a* — lineaarne ridaantenn, *b* — kammantenn, *c* — H-antenn, mis kujutab endast mõlema eelmise (*a* ja *b*) kombinatsiooni.

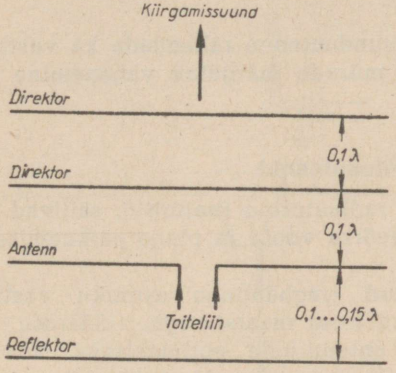
koos voolude paiknemisega. Iga üksiku lineaarse elemendi vahele on lülitatud veerandlaineline liinilõik, millega pööratakse voolud kõigis elementides ühesuunalisteks. Elementide arv ulatub harilikult 2...6, kusjuures saadav kiirguse võimendus risti liini võrdub 2 elemendi juures 1,8 dB, 3 — 3,3 dB, 4 — 4,5 dB, 5 — 5,3 dB jne. Horisontaalselt asetatud lineaarse ridaantenni suunavus on horisontaalne, kusjuures vertikaalne suunavus sarnaneb tavalise poollaine-antenni suunavusega. Vertikaalselt asetatud antenni suunavus, mida aga suurte vajatavate antennikõrguste tõttu on raske teostada, on vastupidine.

Joonisel 215 *b* on näidatud kammantenn, mille suunavus on risti antennielementide pinnale. Antenni kiirguse võimendus ja suunavus sõltuvad samuti kui lineaarsel ridaantennilgi elementide arvust ja vahekaugusest. Tavalisemalt kasutatakse poole laine pikkust vahekaugust, millega lihtsustub elementide õigefaasiline toiteprobleem. Õigefaasilisuse säilitamiseks antennielementides ristub transmissioonliin elementide vahedel. Selliselt antennilt saadavad võimendused võrduvad 2 elemendi juures 4 dB, 3 — 5,5 dB, 4 — 7 dB, 5 — 8 dB jne.

Joonisel 215 *c* on toodud kasutatavamaid ridaantenne lineaar- ja kammtüübi kombinatsioonina, nn. H-antenn, mis koosneb neljast elemendist. Sellise segatüüpi antenni paremuseks on suunavus mitte ainult ühes, vaid mõlemas — nii horisontaal- kui ka vertikaalpinnas.

Elementide ja veerandlaine-liinilõikude pikkused arvutatakse antennide üldvalemite järgi, kammantenni elementide vahekaugused ja toiteliini pikkused poollainele $l = \frac{146}{f}$ (m), milles f — sagedus MHz.

d) Parasiit-ridaantennid. Kõik eelmises lõigus vaadeldud toidetavad ridaantennid on kahesuunalised. Ühesuunalisuse andmiseks rakendatakse erisugust antennielementide ümberkorraldust. Üheks selliseks ümberkorraldusviisiks on parasiit-ridaantenni süsteem, milles toidetakse ainult



Joon. 216. Parasiit-ridaantenni põhimõtteline ehitus.

ühte elementidest, mida sel puhul nimetatakse antenniks, teised antennielemendid on elektriliselt isoleeritud, kuid toituvad antenni välja kaudu. Sellisel juhul tekib neist lisa-antennielementidest, nn. parasiit-elementidest omakiirgumine, mis sobivasse faasi rakendatuna annab antennisüsteemile soovitava ühesuunalisuse. Neid parasiit-elemente nimetatakse direktoreiks, kui nad asetatuna soovitavasse kiirguse suunda selles suunas kiirgust suurendavad, ja reflektoreiks, kui nad asetatuna ebasoovitavaisse kiirguse suundadesse neis suundades kiirgust vähendavad. Antennielemendi käitumine direktorina või reflektorina sõltub ta resonantssagedusest, mida harilikult reguleeritakse elemendi pikkusega, ja antenni vahekaugusest.

Parasiit-element omab optimaalset suunavust direktorina siis, kui ta kaugus antennist on keskmiselt 0,1 lainepikkusest, kuid reflektorina toimides kujuneb vahekaugus suuremaks — 0,1 ... 0,15 lainepikkusest. Antenni pikkus dimensioonitakse poollainele üldise antenni mõõdete määramise valemi järgi, direktor valitakse antennist keskmiselt 4% lühem, reflektor keskmiselt 5% pikem — esi- ja tagasuunalise kiirguse suhte tõstmiseks. Kindlaimaks abinõuks direktorite ja reflektorite pikkuste määramisel on väljatugevuste kontrollimine 2 ... 3 km kauguselt nii esi- kui tagasuunas.

Joonisel 216 on toodud parasiit-ridaantenni ehituspõhimõte, milles on kasutatud kahte direktorit ja ühte reflektorit. Tarbe korral võib ära jätta kas üks või mõlemad direktorid või reflektor, millega loomulikult suunavus väheneb. Säärast antennisüsteemi on hõlpus üles seada pööratava juga-antennina, millega on võimalik saatesuunda soovi kohaselt muuta. Sel puhul on soovitav antennielemendid valmistada 15 ... 25 mm läbimõõduga metalltorudest, millega vähenevad takistuslikud kaod ning tõuseb mehaaniline tugevus. Antenni toitmiseks võib kasutada kas Q-transformaatorit, koaksiaalliinilõiku või delta-süsteemi 600-oomise toiteliiniga sidestamiseks.

Parasiit-ridaantenni juures on nii elementide pikkused kui ka vahekaugused optimaalsete tulemuste saamiseks võrdlemisi kriitilised. Seepärast on soovitav ta välja reguleerida kasutatava amatöörsagedusriba (näit. 28 MHz) keskkohta. Harmoonilistel sagedustel töötamiseks ridaantenn pole kõlblik. Joonisel 216 toodud antenniga saavutatav kiirguse võimendus on umbes 7 dB.

Toodud suundantenni tüüpidest on võimalik koostada väga mitmesuguseid kombinatsioone, mispuhul iga üksiku tüübi suunamisomadused liituvad. Eriti soodne on suundantennide kasutamine ülikõrgsagedusil väikeste mõõdete tõttu.

Sama hea eduga kui saatel, saab suundantenne rakendada ka vastuvõtuks, kusjuures eriti hinnatav on häirete ja mürade märgatav vähenemine ebasoovitavatest suundadest.

10. Vastuvõtuantennid.

Kõik omadused, mida antenn evib radiaatorina saatmisel, säilivad antenni juures ka vastuvõtmisel. See käib ühevõrra voolu ja pinge paiknemise, impedantsi, takistuse ja suunavuse kohta.

Laia sagedusastmiku, kaasa arvatud ringhäälingu astmiku vastuvõtuks kasutatakse siiski vaba pikkusega juhet koos maandusega. Säärase antenni juures kujuneb veerandlaine-pikkune antennijuhe optimaalseks, mis tähendab seda, et vastuvõtu-omadused on seda paremad, mida rohkem antenni mõõted lähenevad vastuvõetava laine veerandlaine pikkusele. Järelikult peaks pikkade lainete vastuvõtuks kasutama suhteliselt väga pikki antenne ja lühemate lainete vastuvõtuks lühemaid. Et laia sagedusastmiku vastuvõtul mõlemat tingimust üheaegselt täita ei saa, lepitakse kompromisslahendusega, mis piirab veerandlaine-antenni pikkuse keskmiselt 30 m. Igal juhul pole vastuvõtuantenni mõõted kriitilised, häid tulemusi saavutatakse märksa lühemate antennidega.

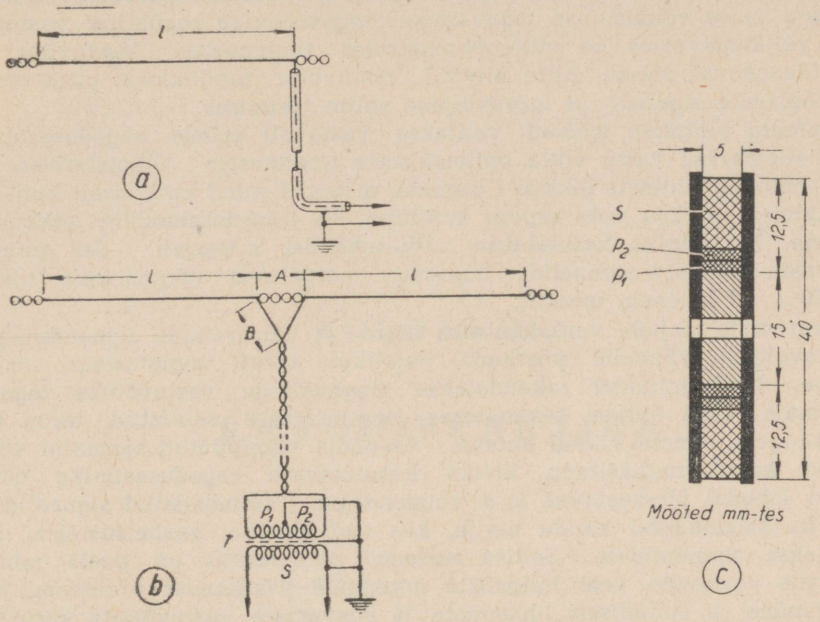
Kaugelt olulisema tähtsusega kui vastuvõtuantenni mõõted on kohalikest tööstuslikest müraväljadest vabanemise küsimus, mis tingib antenni asukoha valikut sääraselt, et vastuvõetavate lainete väljad oleksid küllaldaselt tugevad võrreldes müraväljadega. See tähendab antenni asetamist kõrgeile mastidele või väljaviimist eemale, kus puuduvad elektrimürasid kandvad voolujuhtmed. Sellise antenni vastuvõtu-osa eemaleviimisel tuleb kasutada kaovaeseid transmissioonliine.

Kuid parimaiks vastuvõtuantennideks osutuvad siiski saateantennid ise, sest häälestatuna tõuseb vastuvõetav signaal märgatavalt üle müratasseme. Saateantenn on raadiojaamas rakendatav ka vastuvõtuantennina, kui antenni sisend varustada ümberlülitiga.

Joonisel 217 on toodud kaks üldisemalt levinud m ü r a v a b a v a s t u v õ t u a n t e n n i tüüpi. Lülituses *a* on antenni vastuvõtu-osa asetatud kõrgele või viidud eemale, kus kohalike mürade väli on nõrk. Antenni üks ots ühendatakse koaksiaalkaabliga, mis toimides transmissioonliinina juhib antennis kinnipüütud signaalid vastuvõtjasse. Kui antenn asub vastuvõtjast märgatavalt eemal, on soovitav koaksiaalkaabel paigutada maasse. Igal juhul on tarvilik vastuvõtja juures kaabli mantel hästi maandada. Sel puhul on kaabelliini soon kaabli maandatud mantli kaudu varjestatud kohalike müraväl-

jade eest, mis on kõige tugevamad just kaabli asukoha läheduses, s. o. hoonetes ja voolujuhtmete läheduses.

Lülituses *b* kasutatakse s ü m m e e t r i l i s t v a s t u v õ t u a n t e n n i, mille keskkoht on lülitatud punutud juhtmetest transmissioonliini külge. Tarbe kor-



Joon. 217. Müravaba vastuvõtuantenni sisendeid: *a* — varjestatud transmissioonliiniga sisend; *b* — sümmeetriline punutud transmissioonliiniga sisend. Antenni juhtme pikkus $l = 30$ m, hargnemisküljed A ja B — 1 m, *c* — lihtsamaid liinitrafo valmistuse viise; trafo alus on valmistatud eboniidist või mõnest muust isoleerainest, mille vahesse on keritud algul primaarmähised P_1 ja P_2, kumbki 20 keerdu 0,4 mm kahekordse siidisolatsiooniga traadist, primaari peale on keritud sekundaarmähis S 400 keerdu 0,25 mm kahekordse siidisolatsiooniga traadist. Kitsa ehitusviisi juures pole varjestus vajalik.

ral võib punutud liini asendada edukalt kahejuhtmelise liini või koaksiaalkaabliga. Punutud liin lõpeb vastuvõtja juures sümmeetrilist primaarmähist omava trafoga, mille keskkoht maandatakse. Sellise ehitusviisi juures indutseeruvad primaarmähisest sekundaarmähisesse, mille klemmidele ühendatakse vastuvõtja, ainult antenni ülemise horisontaalosa poolt kinnipüütud signaalid. Müraväljadest liini juhtmeis indutseerunud voolud (olles mõlemas juhtmes ühesuunalised ja võrdse tugevusega) tasakaalustuvad primaarmähises ning sekundaarmähisesse üle ei kandu. Elektriväljadest tingitud mürade hävitamiseks, mis võivad kanduda üle trafo primaar- ja sekundaarmähiste vahelise mahtuvuse kaudu, paigutatakse trafo mähiste vahele harilikult m e t a l l k o e g a v a r j e s t u s.[1]

[1] Metallkoega varjestus kujutab eriliiki riiet, milles lõimed on isoleerainest, näiteks siidist, kude aga peenikesest vasktraadist.

On arusaadav, et toodud vastuvõtuantenni tüüpnäidised ei taga ühtlaselt head vastuvõtu tugevust laiade sagedusastmike terves ulatuses, sest antenni tegelik pikkus määrab ära sagedused, milledel vastuvõtt on optimaalne. Kuid arvestades seda, et antenni asukoha õige ja soodsa valikuga kohalikud töös-tuslikud mürad märksa vähenevad, ei tekita tänapäeva supervastuvõtjale ras-kusi oma suure võimenduse tagavaraga kompenseerida ebaühtlusi vastuvõeta-vates väljatugevustes ka mitteoptimaalsetes tingimustes. Vastuvõtu prob-leem tänapäeval seisab mitte niivõrd vastuvõtja tundlikkuse piiratuses kui vastuvõetavate signaali- ja müraväljade suhte tõstmises.

Antenni juhtmete mõõted valitakse vastavalt sellele sagedusastmikule, millist soovitakse vastu võtta optimaalsetes tingimustes. Üldotstarbeks kasu-tatava antenni juhtmete pikkus *l* kujuneb mõlemal juhul keskmiselt kuni 30 m, ent juhtmete pikkus pole sugugi kriitiline. Ka transmissioonliini pikkus pole kriitiline, kui liiniks kasutatakse väikesekaolist materjali. Sel puhul ei teki vastuvõetavate signaalide tugevuse märgatavat nõrgenemist ulatustel kuni 50 ... 70 ja enam meetrit.

Suuremate majade varustamiseks müra- ja häirevabade signaalipingetega pole tavaliselt võimalik püstitada vajalikul arvul tingimustele vastavaid antenne. Neil juhtudel rakendatakse ringhäälingu vastuvõtuks tegevusse kogu maja jaoks üldine, parimatesse tingimustesse sobitatud, tarbe korral isegi kaugele eemale viidud antenn. Antennis kinnipüütud signaalid võimen-datakse kogu ringhäälingu leviks kasutatavate sagedusastmike ulatuses antenni lähedal ülesseatavas k.-s. võimendajas. Võimendatud signaalid juhi-takse koaksiaalkaabli kaudu majja, kus nad püsiva kaabelsüsteemi kaudu suunatakse abonentidele. Sellise süsteemi paremuseks on peale müra- ja häirevaba vastuvõtu veel hulgaliste antennide püstitamise probleemi hõlpus lahendamine ja suhteliselt lihtsamate ja odavamate vastuvõtjate kasutamine.

Lülituslikult koosneb säärane võimendaja mitmest, näiteks kolmest kahe-astmelisest aperioodilisest võimendajast, milledest igaüks käsitab piiratumat sagedusastmiku osa. Antennist saabuvad signaalid jaotatakse ribaläbivus-filtrite toimel sageduste kohaselt võimendajate sisendeisse. Pärast võimenda-mist liidetakse signaalipinged uuesti ühises väljundtrafos ja sobitatuna trans-missioonliini laineimpedantsiga juhitakse tarbijaile kasutamiseks.

KOLMAS OSA

RAADIOPRAKTIKA

K. VASTUVÕTJA EHITUS.

I peatükk.

ÜLDISI VASTUVÕTJA EHITUSPÕHIMÕTTEID.

1. Vastuvõtjale esitatavaid nõudeid.

Amatöörjaama töötulemused olenevad täielikult nii vastuvõtja kui ka saatja omadustest. On vähe sellest, kui omatakse head saatjat — veelgi suuremat tähtsust evib kahepoolsel sidepidamisel hea vastuvõtja.

Parema kvaliteedi ja suurema võimsusega saade ulatub ruumis kaugemale, mis suurendab amatööri vastutust korrespondeeriva signaali vastuvõtu kindlustamises. Oleks vastutustundetu nii amatööri-eetika põhimõtete rikkumise kui ka ruumi koormamise seisukohalt levitada signaali, kui juba ette on teada, et vastuvõtja pole suuteline korrespondeerivaid signaale käsitama. Seepärast tuleb õigesti plaanitsetud raadiojaamas vastuvõtjale osutada vähemalt niisama palju tähelepanu kui saatjalegi. Peale selle on amatööri kohuseks hoida oma jaam alati eeskujulikult töökorras ning tehnilise arengu tasemel.

Vastuvõtja ülesandeks on ruumi läbivaid raadiolaineid kinni püüda, neist vajalikud soovi kohaselt eraldada ning muuta nad saatja moduleerimiseks rakendatud signaalidega sarnasteks signaalideks. Lülituslikult koosneb iga vastuvõtja detektorist ja võimendajatest.

Kuna iga praktiline detektor nõrkade sisendpingete käsitamisel töötab iseloomustuskõvera põlviku-osas, siis arusaadavalt langevad detekteerimise omadused väga nõrkade signaalide juures õige tunduvalt, kuna sel puhul väga väike põlviku-osa sarnaneb pigem sirgjoonelisele lõigule kui kõverale. Seepärast tuleb antennis kinnipüütud väga nõrgad signaalid enne detektorisse juhtimist võimendada vajaliku amplituudväärtuseni [1], mis on tarvilik detektori efektiivseks toimimiseks.

Eraldatakse kahte liiki detektori eel asetsevaid võimendajaid: kõrgsagedusvõimendaja, mis toimib vastuvõetavate signaalipingete sagedusel, ja vahesagedusvõimendaja, mida rakendatakse superheterodüün-tüüpi vastuvõtjas pärast vastuvõetud signaali muundamist püsiva sagedusega vahesagedussignaaliks. Võimendajat, mis detektorile järgneb ja milles võimendatakse detekteeritud pingeid, nimetatakse madalsagedusvõimendajaks.

Töötamispõhimõtte järgi liigitatakse vastuvõtjad kolme põhitüüpi:

1. Regeneratiivdetektor-vastuvõtja, milles eelvõimendajat ei ole, kuid lisavõimendus saavutatakse positiivse tagasiside arvel; regeneratiivdetektorile järgneb harilikult m.-s. võimendaja.

[1] Amplituudväärtus sõltub sellest, missugust liiki detektorit kasutatakse, kas lineaarset või kvadraatset.

2. Otsevastuvõtja, milles detektori eel on ühe- või mitmeastmeline k.-s. võimendaja ning detektori järel m.-s. võimendaja.

3. Superheterodüün- ehk supervastuvõtja, milles võimendus saavutatakse muundusastmele järgnevas 1- või 2-astmelises vahesagedusvõimendajas (sagedustel 450 ... 475 kHz või 1600 kHz). Veelgi suurema k.-s. võimenduse saavutamiseks lülitatakse tarbe korral sagedusmuundaja ette 1 ... 2-astmeline k.-s. võimendaja. Detektorile järgneb m.-s. võimendaja.

Peale nimetatud vastuvõtjate kasutatakse ülikõrgsagedusil veel kahte vastuvõtja tüüpi:

1. Superregeneratiiv-vastuvõtjat, mis koosneb superregeneratiivdetektorist ja järgnevast m.-s. võimendajast.

2. Kahekordset supervastuvõtjat, milles vastuvõetud signaalid algul muundatakse kõrgemasageduslikuks vahesageduseks (f_{i1} = 6... 10 MHz), millele järgneb esimene v.-s. võimendaja; seejärel muundatakse võimendatud pinge uuesti madalamasageduslikuks vahesageduseks (f_{i2} = 450 ... 475 kHz), millele järgneb teine v.-s. võimendaja ja detektor. Mõnikord kasutatakse detektoriks superregeneratiivdetektorit. Detektorile järgneb m.-s. võimendaja.

Moduleerimata telegraafisignaalide vastuvõtuks on vastuvõtjas vajalik täiendava k.-s. (või v.-s.) genereerimine, mille vahe võimendatava sagedusega moodustaks väljundis kuuldava helisageduse (tavaliselt 400 ... 1500 Hz). Seda teostatakse kas ostsilleeriva võimenduslambi abil, näiteks regeneratiivdetektoriga või eraldi ostsillaatoriga, nn. tuike-ostsillaatoriga[1].

Vastuvõtjate omaduste peamisteks määrajateks on järgmised iseloomustussuurused: tundlikkus, selektiivsus, stabiilsus ja ülekandeheadus.

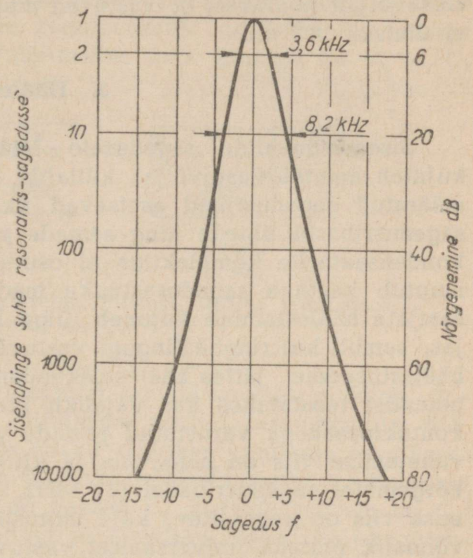
Tundlikkus. Vastuvõtja tundlikkuseks nimetatakse sisendpinge väärtust, mis on tarvilik rakendada teataval sagedusel vastuvõtja antenni klemmidele, et väljundklemmidel saada kindla suurusega väljundvõimsust. Tundlikkuse määramise aluseks võetakse harilikult 30% 400 Hz sagedusega moduleeritud signaalipinge väljundvõimsuse juures 50 millivatti. Neis tingimustes on vastuvõtja tundlikkuse näitarvuks sisendpinge väärtus antenni klemmidel, arvestatuna kas milli- või mikrovoltides. Amatöörtööks kasutatava moodsa supervastuvõtja tundlikkus on harilikult parem kui 5 mikrovolti.

Koos tundlikkuse määramisega arvestatakse vastuvõtjas tekkivate endamürade taset, mida mõõdetakse vastuvõtjast lahutatud antenni juures. Endamürade määramisel saadud mürade väljundvõimsust võrreldakse 50 mW väljundiga, kusjuures mürade väljundvõimsuse suhet 50 mW võimsusesse arvutatakse tavaliselt detsibellides. Hea vastuvõtja juures endamürade tase ei tohi olla kõrgem kui keskmiselt —40 dB.

Selektiivsus. Selektiivsuseks nimetatakse vastuvõtja omadust eraldada vastuvõetavat signaali teistest, erinevate sagedustega signaalidest. Vastuvõtja üldine selektiivsus oleneb peamiselt üksikute võnkeringide headusest (Q) ja võnkeringide arvust. Selektiivsus määratakse mõõtmise teel erinevail sig-

[1] Tuike-ostsillaatori nimetus on tuletatud sagedusmuundumisel tekkivatest amplituudide tuigetest, kusjuures tuigete arv võrdub käesoleval juhul mõlema sageduse vahega.

naalisagedustel, kusjuures muudetakse signaalisageduste pingete väärtust nii, et väljundvõimsus säiliks konstantsena 50 mW. Mõõtmiseks rakendatud erinevate sagedustega signaalipingete väärtused, mis olid tarvilikud konstantse 50 mW väljundvõimsuse saamiseks, kantakse sageduste suhtes graafikusse, millega saadakse nn. selektiivsuse kõver (joon. 218).



Joon. 218. Tüüpiline amatöör-supervastuvõtja selektiivsuse kõver, milles 6 dB nõrgenemisel ribalaius on 3,6 kHz, 20 dB nõrgenemisel — 8,2 kHz. Vahesagedus 460 kHz.

Selektiivsuse määramisel arvuliselt leitakse graafikust soovitavale sagedusele vastav sisendpinge, mille suhe sisendpingesse resonantssagedusel kujutabki selektiivsuse näitarvu ja mida tavaliselt väljendatakse detsibellides.

Selektiivsuse praktiliseks väärtuseks on sagedusriba laius kHz, mis saadakse kindlate sisendpingete suhete (näitarvude) juures ja milleks harilikult võetakse suhted 2:1 ja 10:1, s. o. vastavalt 6 ja 20 dB.

Selektiivsuse määramine arvuliselt ei anna vastuvõtja selektiivsusest siiski täiuslikku pilti, sest arvulised üksikpunktid ei määra veel kõvera üldist kuju ja seega sagedusriba muutumise üldist iseloomu.

Amatöörtöös omab vastuvõtja selektiivsus väga olulist tähtsust; moodsate amatöör-supervastuvõtjate selektiivsus ulatub 3...5 kHz juures 6 dB. Ringhäälingu vastuvõtjates, kus on tarvilik laia sagedusriba ülekandmine (F 2), peab selektiivsus olema märgatavalt madalam, keskmiselt 10...15 kHz 6 dB juures.

Stabiilsus. Stabiilsuse all mõeldakse vastuvõtja omadust säilitada konstantne väljundvõimsus teatud püsiva sageduse ja tugevusega sisendpinge juures.

Ülekandeheadus. Ülekandeheaduseks nimetatakse sisendisse rakendatud pinge modulatsioonikuju moonutusvaba ülekannet väljundisse. Ülekandeheaduse küsimus vastuvõtjas kujuneb kompromisslahenduseks selektiivsusega: moonutusvabaks ülekandeks peab ülekantav sagedusriba olema lai, kõrge selektiivsuse saavutamiseks — kitsas. Ülekandeheadust arvutatakse väljundvõimsuse langusena muutliku moduleerimissageduse, kuid võrdse modulat-

siooni protsendi ja püsivate sisendpingete tugevuse juures. Neis tingimustes saadud andmed kantakse graafikusse, millest arvutatakse lineaarsete moonutuste suurus absoluutväärtusena või detsibellidena. Amatöörvastuvõtja ülekandeheadus on hea, kui ülekantavate sageduste spektris 150...2000 Hz väljundvõimsuse muutused ei ületa ±6 dB. Kõrgekvaliteediliselt ringhäälingu vastuvõtjalt nõutakse, et vastavad muutused sageduste spektris 35...8000 Hz ei ületaks ±3 dB.

2. Häälestamisviise.

Sisendsignaalide sagedusele häälestatavate võnkeringide kavandamine kujutab amatöörvastuvõtjas küllaltki keerukat probleemi, kuna amatöörtööks määratud sagedusribad asetsevad üksteisest suhteliselt kaugel. Katta kõiki sagedusribasid ühtede ning samade poolide juures muudetava mahtuvusega kondensaatorite komplektiga ei osutu otstarbekaks, sest võnkeringi L/C suhe muutub kaetava sagedusastmiku madalsageduslikus otsas ebasoodsaks ning saatjate häälestamine kujuneb liiga kriitiliseks. Seepärast amatöörvastuvõtjas, samuti kui ringhäälingugi vastuvõtjas, vahetatakse sagedusastmike kaupa häälestuspoole, jättes häälestuskondensaatorid ühisteks. Häälestuspoolide vahetamist teostatakse kas vajaliku kontaktide arvuga ümberlülitite abil või kontaktpesadega varustatud poolide vahetamise teel. Esimene sagedusastmike vahetamise viis on mugavam ja kiirem, kuid raske konstruktiivselt teostada kõrgematel sagedusribadel (21 MHz, 28 MHz). Teine sagedusastmike vahetamise viis on aegaviitev, kuid ehituslikult kergem teostada. Põhimõtteliselt on võimalik ehitada universaalset vastuvõtjat, mis kataks vahetatavate poolidekomplektidega nii ringhäälingute sagedusastmikud kui ka amatöör-sagedusribad, kuid arvestades ehituslikke raskusi mitte ainult sagedusastmike vahetamise, vaid ühtlasi ka selektiivsuse muutmise vajaduse seisukohalt, on tavaliselt otstarbekam amatöörtööks ehitada eraldi vastuvõtja.

Pooli ja pöördkondensaatori sageduse katteulatus sõltub pooli induktiivsuse L (μH-des) ja võnkeringi mahtuvuse (s. o. pöördkondensaatori C ja temaga rööbiti asuvate lambi sisendmahtuvuse ning lülitite ja ühendusjuhtmete mahtuvuse (pF-ites) C_s) muutusest (B44):

$$LC = \frac{25330}{f^2}, \text{ millest } f_{max} = \sqrt{\frac{25330}{L(C_{min} + C_s)}} \text{ MHz ja}$$

$$f_{min} = \sqrt{\frac{25330}{L(C_{max} + C_s)}} \text{ MHz,}$$

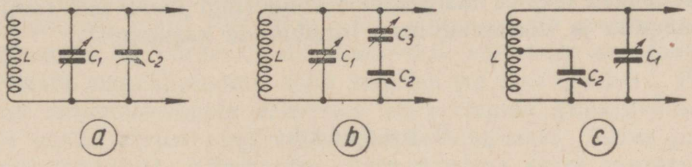
milles C_{min} ja C_{max} on pöördkondensaatori alg- ja lõppmahtuvuse väärtused.

Häälestamise hõlbustamiseks on soovitav valida sageduse katteulatus nii, et kogu häälestusskaala kattuks täielikult ühe sagedusribaga. Seda nn. r i b a l a o t u s e meetodit teostatakse mitmel viisil, millest tüüpilisemad on toodud joonisel 219.

Lülituses *a* on pea-häälestuskondensaatorile C_1 (maksimaalne mahtuvus 150...175 pF), mida käesoleval juhul kasutatakse vaid r i b a s e a d e - k o n d e n s a a t o r i n a, lülitatud rööbiti r i b a l a o t u s - k o n d e n s a a t o r C_2 (maks. 15...25 pF). C_1 seatakse kindlasse asendisse, kusjuures vastuvõtja

häälestamine toimub laotuskondensaatori C_2 abil. Selle lülitusega pole katteulatused kõigil muudetavail sagedusribadel ühesugused.

Lülituses *b* teostatakse ribalaotus laotuskondensaatorile C_2 (maks. 100...150 pF) järjestikku lülitatud kondensaatori C_3 (maks. 25...50 pF) ja rööbiti lülitatud kondensaatori C_1 (maks. 15...25 pF) abil. Selle lülituse juures võnkeringi minimaalne mahtuvus määratakse C_1, maksimaalne C_3 seadmisega, kusjuures sageduse katteulatuse reguleerimine on võimalik suurtes piirides. Sagedusastmike vahetamisel vahetatakse koos pooliga ka C_1 ja C_3 või seatakse ümber nende asendid.



Joon. 219. Ribalaotushäälestuse põhimõttelisi lülitusi, milles ribalaotuskondensaatoriks on C_2.

Lülitus *c* võimaldab reguleerida katteulatust samuti suurtes piirides. Ribalaotus-kondensaator C_2 (maks. 50 pF) lülitatakse pooli *L* haruühendile, rööbitine kondensaator C_1 (maks. 150 pF või enam) seatakse kindlasse asendisse, tarbe korral kasutatakse teda ühtlasi ka üldiseks häälestamiseks. Ribalaotus on seda suurem, mida vähem pooli keerde haarab C_2 ja mida suurem on C_1. Vahetatavate kontaktpesadega poolide puhul on soovitav õigesti väljareguleeritud ribaseade-kondensaator C_1 paigutada eraldi igasse pooli, millega lihtsustub üleminek ühelt sagedusastmikult teisele.

Ringhäälingu vastuvõtjates teostatakse ribalaotust harilikult sel teel, et kõigile koosjooksvaile häälestuskondensaatoreile lülitatakse järjestikku väikesed püsivkondensaatorid, mis vähendavad üldist häälestusmahtuvust sel määral, et kogu soovitav sagedusriba kataks terve vastuvõtja häälestusskaala. Tarbe korral teostatakse säärast ribalaotust mitmel sagedusribal, kusjuures loomulikult iga laotus vajab omaette kondensaatorite komplekti vahetamist. Lülitamine ribalaotusele toimub üldise lainelülitiga.

Mitme kõrgsagedus-võimendusastmega vastuvõtja häälestamist teostatakse harilikult ühisele võllile asetatud pöördkondensaatorite komplektiga. Sellisele häälestamisviisile seab võnkeringide kokkujooksu kindlustamine üle terve kaetava sagedusastmiku eriti kõrged tingimused. Võnkeringide täpne kokkujooks on võimalik ainult siis, kui kõigi kooshäälestatavate võnkeringide poolide induktiivsused, võnkeringi sisseviidud mahtuvused (C_s) ja häälestuskondensaatorite mahtuvused igas kondensaatorite asendis on omavahel võrdsed.

Häälestuskondensaatorite kokkujooks kindlustatakse kondensaatorite valmistaja tehase poolt harilikult suure täpsusega ($\pm 1\%$). Võnkeringi sisseviidud mahtuvuste minimaalsed väärtused kompenseeritakse võnkeringidele rööbiti lülitatavate nn. trimmerkondensaatorite abil ($C = 15...30$ pF). Poolide induktiivsused aetakse kokku keerdude arvu reguleerimisega, kusjuures algul võetakse poolid veidi suurema keerdude arvuga ja hiljem vähendatakse seda arvu vajalikul määral. Lõplik poolide induktiivsuste täp-

sustamine sooritatakse harilikult poolide otsakeerdude nihutamisega lähemale või kaugemale (B 21 *a*). Raudsüdamikpoolide induktiivsust on võimalik reguleerida südamiku asendi muutmisega.

Ülikõrgsageduslike vastuvõtjate võnkeringides lampide elektroodidevahelised ja ühendusjuhtmete mahtuvused, mis on peaaegu sõltumatud kasutatavaist sagedustest, moodustavad suure osa kasulikust muudetavast mahtuvusest, mistõttu võnkeringide L/C suhe muutub väga väikeseks. Sagedustel üle 200 MHz tavaliste lampide kasutamisel kaob pool täielikult ning isegi ühendusjuhtmete induktiivsus osutub häälestuseks liiga suureks. Peale selle aga suurenevad sageduse tõustes märgatavalt võnkeringi kaod, mis tingib neil sagedustel erilampide ja võnkeringidena liinilõikude kasutamist.

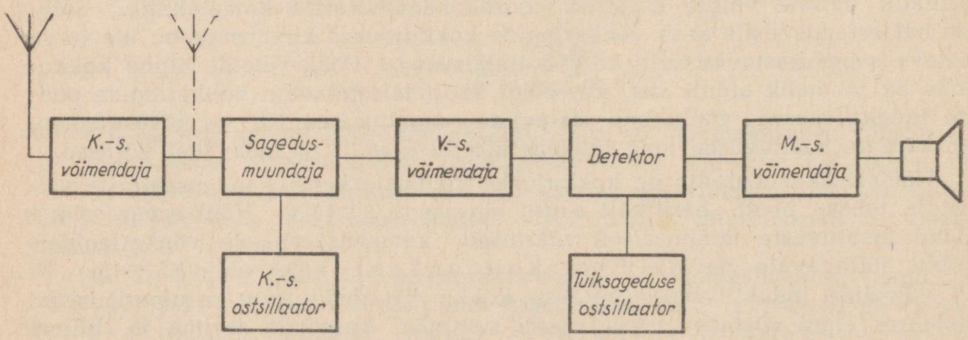
II peatükk.

SUPERHETERODÜÜN-VASTUVÕTJA.

3. Supervastuvõtja tööprotsess.

Nagu eespool mainitud, superheterodüüin- ehk supervastuvõtjas sisendpinge sagedus muudetakse muundusastmes uueks sageduseks, vahesageduseks (v.-s.), seejärel võimendatakse v.-s. võimendajas ja detekteeritakse. Sageduse muundumine toimub kohalikult ostsillaatorilt genereeritud, nn. ostsillaatorsagedusega pinge abil muundus- või segustusastmes (esimeses detektoris). Muundusprotsessis vahesagedus f_t saadakse ostsillaatorsageduse f_{os} ja signaalisageduse f_s vahena, s. o. $f_t = \pm (f_{os} - f_s)$. Samal põhimõttel saadakse detektoris madalsagedus f_m vahesageduse f_t ja tuikesageduse ostsillaatori sageduse f_t vahena, $f_m = \pm (f_t - f_t)$ (joon. 220).

Kui vahesageduseks on näiteks $f_t = 475$ kHz ja signaalisagedus $f_s = 7000$ kHz, siis ostsillaatorsagedus peab võrduma $f_{os} = f_s \pm f_t$, s. o 7475 kHz või 6525 kHz; praktiliselt kasutatakse peaaegu eranditult esimest, s. o. 7475 kHz. Samuti, 1000 Hz m.-s. tuikesageduse saamiseks väljundis peab tuikesageduse ostsillaatori sagedus olema $f_t = f_t \pm f_m$, s. o. 476 kHz või 474 kHz.



Joon. 220. Supervastuvõtja põhimõtteline lülitus.

Supervastuvõtjas toimub võimendamine peamiselt vahesagedusvõimendajas, milles saavutatakse suhteliselt madala sageduse tõttu väga kõrge võimendus ning selektiivsus, mis on praktiliselt sõltumatud sisendsignaali sagedusest.

Muundusastmes arenevad ostsillaatorsageduse f_{os} toimel vahesagedussignaalid pinged korraga kahelt signaalisageduselt $f_s = f_{os} \pm f_i$ s. o. 7475 ± 475 = = 7950 kHz ja 7000 kHz, mis loomulikult tekitab häireid vastuvõtul ja pole lubatav. Soovimatu signaalisagedus, milleks on $f_s = f_{os} + f_i$, käesoleval juhul 7950 kHz, ja mida nimetatakse peegelsageduseks, elimineeritakse muundusastmele eelneva võnkeringi häälestamisega soovitavale sagedusele $f_s = f_{os} - f_i$ käesoleval juhul 7000 kHz. Kui soovitava ja soovimatu signaalisageduste tugevused on võrdsed, siis vastuvõtja väljundis avalduvate soovitava ja soovimatu signaalipingete suhe kujutab peegelsuhet. Peegelsuhe väärtus oleneb muundusastmele eelnevate võnkeringide selektiivsusest, s. o. nende Q-st ja nende arvust ning vahesageduse suurusest. Kuna peegelsagedus on signaalisagedusest kahekordse vahesageduse võrra suurem, siis on arusaadav, et vahesageduse tõstmisega paikneb peegelsagedus k.-s. võnkeringi resonantssagedusest kaugemale ning peegelsuhe vastavalt tõuseb.

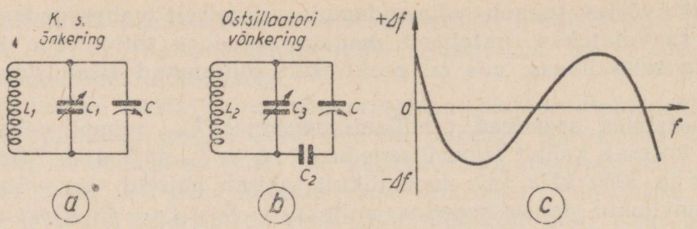
Peale peegelsageduse võivad supervastuvõtjas häireid põhjustada veel k.-s. ostsillaatori harmoonilised sagedused, moodustades mõne kõrgema signaalisagedusega vahesageduse. Samuti võivad tugeva signaalipinge vastuvõtul tekkida häirivpinged harmooniliste sagedustena detekteerimisel, mis kantuna juhtmete kaudu tagasi muundusastmesse põhjustavad iseloomustavate „vilede" tekkimist. Igasuguste muundusprotsessiga seotud häirete vähendamiseks miinimumini tuleb tõsta muundusastmele eelnevate võnkeringide Q-d või/ja nende arvu, mis harilikult tähendab k.-s. võimendusastme ettelülitamist muundusastmele. Peale selle on nõutav hoolikas astmetevaheline varjestamine.

4. Supervastuvõtja võnkeringide arvutus.

Eelnevast selgub, et supervastuvõtjas ostsillaatorsagedus peab alati jääma signaalisagedusest vahesageduse võrra kõrgemaks ja et seesugune sõltuvus tuleb rangelt säilitada kõigis kaetavates sagedusastmikes igal signaalisagedusel. Selle nõude täitmine esitab tõsiseid konstruktiivseid raskusi ostsillaatori võnkeringi kokkujooksu küsimuses signaalisageduse võnkeringidega, kui kasutatakse ühisel võllil asuvate võrdsete elektriliste omadustega pöördkondensaatoreid.

Põhimõtteliselt peavad ostsillaatori võnkeringi parameetrid (L, C) k.-s. võnkeringide parameetreist väiksemad olema. Üldiselt rakendatavamaks võnkeringide kokkujooksu meetodiks on järjestikuse ja rööbitise kondensaatori lülitamine ostsillaatori võnkeringi, millega saavutatakse täpne kokkujooks võnkeringide komplektiga kaetava sagedusastmiku kolmel sagedusel; muil sagedustel aga tekib paratamatult väike lahkujooks, mis tavaliselt asub siiski tehniliselt lubatavais piirides (joon. 221). Sellisel meetodil kujuneb võnkeringide arvutuskäik järgmiseks.

1) Määrata k.-s. (signaalisageduse) võnkeringi suurused kaetavale sagedusastmikule, kui on teada kasutatava pöördkondensaatori C elektrilised andmed (joon. 221 *a*).



Joon. 221. Supervastuvõtja võnkeringide kokkujooksu põhilülitus koos tüüpilise kokkujooksu kõveraga.

Lähtepunktiks on kaetavad signaalisagedused f_{min} ja f_{max}, pöördkondensaatori C alg- ja lõppmahtuvused C_a ja C_l; C_1 väärtus koosneb pooli sisemahtuvusest, muunduslambi sisendmahtuvusest ja ühendusjuhtmete mahtuvusest üldväärtusega $C\Delta$ ning rööbiti lülitatava reguleerimiskondensaatori — trimmeri mahtuvusest C_o ($C_1 = C\Delta + C_o$).

Algul tuleb kindlaks teha sageduste kattetegur k, mis kujutab f_{max} ja f_{min} suhet

$$k = \frac{f_{max}}{f_{min}}.$$

Võnkeringi üldvalemist $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ kujunevad

$$f_{max} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_a + C_1)}} \text{ ja } f_{min} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L(C_l + C_1)}},$$

millest tuletame

$$C_1 = \frac{C_l - k^2 C_a}{k^2 - 1} \text{ (pF)}.$$

Kuna C_1 harilikult kujuneb arvutusega suuremaks kui $C\Delta$, siis tekkiv vahe tuleb katta trimmeriga C_o.

Seejärel arvutatakse k.-s. võnkeringi pooli L_1 induktiivsus (valem jaos B p. 44):

$$L_1 = \frac{25330}{(C_a + C_1)\, f^2_{max}} \text{ (}\mu\text{H) või}$$

$$L_1 = \frac{25330}{(C_l + C_1)\, f^2_{min}} \text{ (}\mu\text{H)},$$

kusjuures C_a, C_1 — pF ja f — MHz.

2) Määrata kolm signaalisagedust, milledel kokkujooks ostsillaatorsagedustega peab olema täpne.

Väiksem üldine lahkujooks saavutatakse siis, kui mainitud kolm punkti signaalisageduse suhtes valida järgmiselt:

$$f'_{max} = f_\alpha = \frac{f_{max} + f_{min}}{2} + \frac{f_{max} - f_{min}}{4}\sqrt{3} = 0{,}933\, f_{max} + 0{,}067\, f_{min},$$

$$f'_{kesk} = f_\beta = \frac{f_{max} + f_{min}}{2} = 0{,}5\,(f_{max} + f_{min}),$$

$$f'_{min} = f_\gamma = \frac{f_{max} + f_{min}}{2} - \frac{f_{max} - f_{min}}{4}\sqrt{3} = 0{,}067\, f_{max} + 0{,}933 f_{min}.$$

3) Arvutada pöördkondensaatori mahtuvused C_{min}, C_{kesk}, C_{max} kolmel signaalisagedusel f_α, f_β, f_γ.

Võnkeringi üldvalemi järgi

$$L_1(C_{min} + C_1) = \frac{10^6}{4\pi^2 f^2_\alpha} = \alpha \quad \text{millest } C_{min} = \frac{\alpha}{L_1} - C_1$$

$$L_1(C_{kesk} + C_1) = \frac{10^6}{4\pi^2 f^2_\beta} = \beta \quad \text{millest } C_{kesk} = \frac{\beta}{L_1} - C_1$$

$$L_1(C_{max} + C_1) = \frac{10^6}{4\pi^2 f^2_\gamma} = \gamma \quad \text{millest } C_{max} = \frac{\gamma}{L_1} - C_1$$

kusjuures f — MHz, C — pF, L — μH.

4) Arvutada ostsillaatori võnkeringi (joon. 221 *b*) suurused vahesageduse f_i juures, kui C_3 kujutab trimmeri C_o ja C_Δ üldväärtust ning C_2 lühendus-kondensaatorit (pading-kondensaatorit).

Käesolevas arvutuskäigus kasutatakse järgmisi asendusväärtusi:

Kokkujooksu signaali-sagedused	Vastavad korrutise LC väärtused k.-s. võnke-ringis	Vastavad korrutise LC väärtused ostsillaatori võnkeringis	Vastavad häälestus-kondensaa-tori C mahtuvused	Signaali-sagedus	Ostsillaator-sagedus
f'_{max}	α	δ	C_{min}	f_α	$f_\alpha + f_i$
f'_{kesk}	β	ε	C_{kesk}	f_β	$f_\beta + f_i$
f'_{min}	γ	η	C_{max}	f_γ	$f_\gamma + f_i$

Algul arvutatakse võnkeringi üldvalemi järgi nagu p. 3:

$$L_2\left(\frac{C_{min}\,C_2}{C_{min} + C_2} + C_3\right) = \frac{10^6}{4\pi^2 (f_\alpha + f_i)^2} = \delta$$

$$L_2\left(\frac{C_{kesk}\,C_2}{C_{kesk} + C_2} + C_3\right) = \frac{10^6}{4\pi^2 (f_\beta + f_i)^2} = \varepsilon$$

$$L_2\left(\frac{C_{max}\,C_2}{C_{max} + C_2} + C_3\right) = \frac{10^6}{4\pi^2 (f_\gamma + f_i)^2} = \eta$$

Saadud kolme võrrandi lahendamisel tuletatakse C_2, C_3 ja L_2 väärtused:

$$C_2 = \frac{C_{kesk}\,C_{max}(\varepsilon - \eta) + C_{min}\,C_{max}(\eta - \delta) + C_{kesk}\,C_{min}(\delta - \varepsilon)}{C_{kesk}(\eta - \delta) + C_{max}(\delta - \varepsilon) + C_{min}(\varepsilon - \eta)} \text{ (pF)},$$

$$C_3 = \frac{\eta E - \delta D}{\delta - \eta} \text{ (pF), kus } D = \frac{C_{max}\,C_2}{C_{max} + C_2} \text{ ja } E = \frac{C_{min}\,C_2}{C_{min} + C_2}$$

$$L_2 = \frac{\varepsilon}{p + C_3} \text{ (μH), kus } p = \frac{C_{kesk}\,C_2}{C_{kesk} + C_2}$$

Näide: Arvutada supervastuvõtja võnkeringid kaetavale sagedusastmikule 1500...540 kHz, kui kasutatakse kahekordset pöördkondensaatorit, mille algmahtuvused $C_a = 12$ pF, lõppmahtuvused $C_l = 440$ pF, kasutatav vahesagedus 475 kHz.

Lahendus: 1) K.-s. võnkeringi parameetrite määramine.

Kattetegur $k = \frac{f_{max}}{f_{min}} = \frac{1500}{540} = 2{,}78$; $C_1 = \frac{C_l - k^2 C_a}{k^2 - 1} = \frac{440 - 2{,}78^2 \cdot 12}{2{,}78^2 - 1} =$

$= 51{,}7$ pF.

$$L_1 = \frac{25\,330}{(C_a + C_1) f^2_{max}} = \frac{25\,330}{(12 + 51{,}7)\,1{,}5^2} = 177\ \mu\text{H}.$$

2) Kolme kokkujooksu signaalisageduse määramine.

$f_\alpha = 0{,}933\ f_{max} + 0{,}067\ f_{min} = 0{,}933 \cdot 1{,}5 + 0{,}067 \cdot 0{,}54 = 1{,}436$ MHz,

$f_\beta = 0{,}5(f_{max} + f_{min}) = 0{,}5(1{,}5 + 0{,}54) = 1{,}02$ MHz,

$f_\gamma = 0{,}067\ f_{max} + 0{,}933\ f_{min} = 0{,}067 \cdot 1{,}5 + 0{,}933 \cdot 0{,}54 = 0{,}605$ MHz.

3) Pöördkondensaatori mahtuvuste määramine kolmel kokkujooksu sagedusel.

$\alpha = \frac{10^6}{4\pi^2 f^2_\alpha} = \frac{10^6}{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 1{,}436^2} = 12\,300$, millest $C_{min} = \frac{\alpha}{L_1} - C_1 = \frac{12\,300}{177} - 51{,}7 =$

$= 17{,}8$ pF,

$\beta = \frac{10^6}{4\pi^2 f^2_\beta} = \frac{10^6}{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 1{,}02^2} = 24\,300$, millest $C_{kesk} = \frac{\beta}{L_1} - C_1 = \frac{24\,300}{177} - 51{,}7 =$

$= 85{,}8$ pF,

$\gamma = \frac{10^6}{4\pi^2 f^2_\gamma} = \frac{10^6}{4 \cdot 3{,}14^2 \cdot 0{,}605^2} = 69200$, millest $C_{max} = \frac{\gamma}{L_1} - C_1 = \frac{69\,200}{177} - 51{,}7 =$

$= 339{,}1$ pF.

4) Ostsillaatori võnkeringi parameetrite määramine.

$$\delta = \frac{10^6}{4\pi^2 (f_\alpha + f_i)^2} = \frac{10^6}{4 \cdot 3{,}14^2 (1{,}436 + 0{,}475)^2} = 6940,$$

$$\varepsilon = \frac{10^6}{4\pi^2 (f_\beta + f_i)^2} = \frac{10^6}{4 \cdot 3{,}14^2 (1{,}02 + 0{,}475)^2} = 11330,$$

$$\eta = \frac{10^6}{4\pi^2 (f_\gamma + f_i)^2} = \frac{10^6}{4 \cdot 3{,}14^2 (0{,}605 + 0{,}475)^2} = 21710,$$

$$C_2 = \frac{85{,}8 \cdot 339{,}1\,(11330 - 21710) + 17{,}8 \cdot 339{,}1\,(21710 - 6940) + 85{,}8 \cdot 17{,}8\,(6940 - 11330)}{85{,}8\,(21710 - 6940) + 339{,}5\,(6940 - 11330) + 17{,}8\,(11330 - 21710)} =$$

$= 583$ pF,

$D = \frac{C_{max} C_2}{C_{max} + C_2} = \frac{339{,}1 \cdot 583}{339{,}1 + 583} = 214{,}5$; $E = \frac{C_{min} C_2}{C_{min} + C_2} = \frac{17{,}8 \cdot 583}{17{,}8 + 583} = 17{,}3$,

$C_3 = \frac{\eta E - \delta D}{\delta - \eta} = \frac{21710 \quad 17{,}3 - 6940 \quad 214{,}5}{6940 - 21710} = 75{,}4$ pF,

$p = \frac{C_{kesk} C_2}{C_{kesk} + C_2} = \frac{85{,}8 \cdot 583}{85{,}8 + 583} = 74{,}9$; $L_2 = \frac{\varepsilon}{p + C_3} = \frac{11330}{74{,}9 + 75{,}4} = 75{,}4\ \mu$H.

Arvutuse kohaselt tuletusid võnkeringide elementide väärtused järgmistena: L_1 — 177 μH, L_2 — 75,4 μH, C_1 — 51,7 pF, C_3 — 75,4 pF ja C_2 — 583 pF. Kui arvestada, et C_A moodustab keskmiselt 25 pF, kujunevad trimmerite C_{01} ja C_{03} väärtused vastavalt 30 pF ja 50 pF max.

5. Sagedusmuundaja.

Sagedusmuundaja kujutab endast supervastuvõtja astet, milles kohaliku ostsillaatorsageduse toimel signaalisagedus muundatakse vahesageduseks. Sagedusmuundaja võimekus määratakse väljundis arenevate vahesageduspingete väärtuste suhtena sisend-signaalipingetesse. Sagedusmuunduse võimekus oleneb kasutatava lambi muundustõusust (mA/V) ja lülitusest. Healt sagedusmuundajalt nõutakse võimalikult kõrget sagedusmuunduse võimekust ja väikest muundumisel tekkivat mürade taset. Samuti on oluline, et ostsillaatorsagedus säiliks püsivana, sõltumata ajast ja vastuvõetavate signaalide sagedusest ning tugevusest. Õigesti valitud lülituse, lampide õigesse töörežiimi seadmise ja kvaliteetsete osade valikuga on võimalik vastuvõtjalt saada optimaalseid tulemusi.

Joonisel 222 on toodud tüüpilisemad sagedusmuundaja lülitused. Lülituses *a* kasutatakse varivõrepentoodi, mis töötab anooddetektorina. Ostsillaatorpinge saadakse eraldi ostsillaatorilt ning rakendatakse muundaja võrele läbi väga väikese mahtuvusega kondensaatori (tavaliselt paari keeruna kokkukeeratud kahe juhtme vaheline mahtuvus). Heaks muundustõusuks peab ostsillaatori pinge olema küllaldaselt suur (1 . . . 2 V), kuid ei tohi ületada negatiivse eelpinge väärtust. Häid tulemusi saab lambiga 6J7, kuid sagedustel üle 15 MHz tuleb eelistada 6AC7, mis toimib sagedusteni kuni 100 MHz.

Lülituses *b* rakendatakse tavalist heptoodi 6A8. Eraldi ostsillaatori rakendamine on tarvilik kõrgsagedusastmikul töötamiseks.

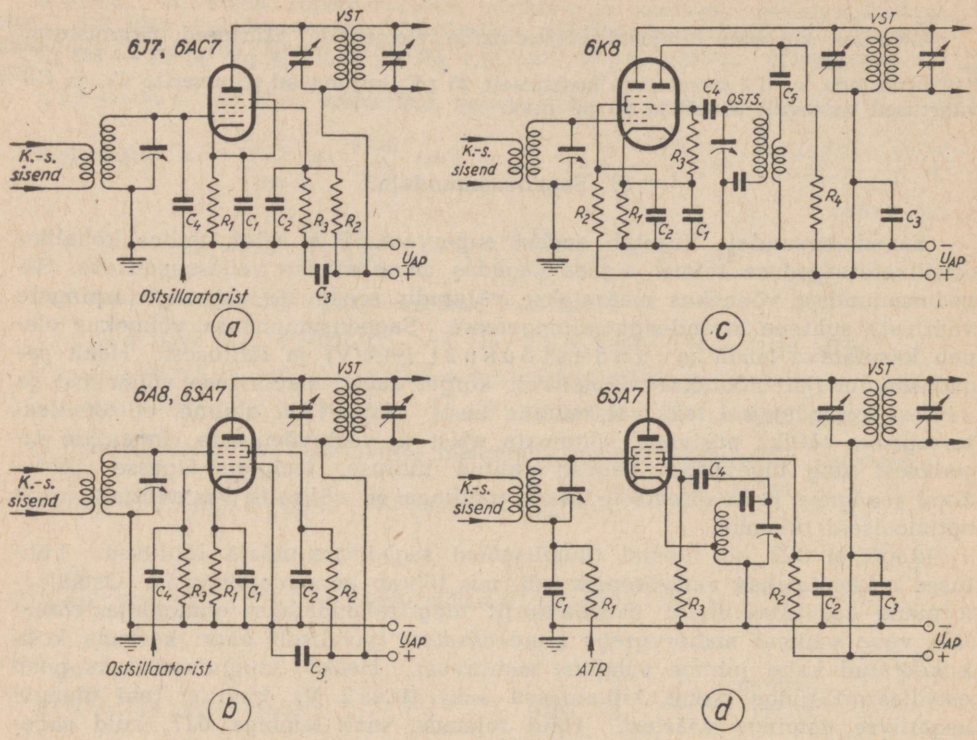
Lülituses *c* on kasutatud muundusastmes triood-heksoodi 6K8, mis annab häid tulemusi suhteliselt kõrgetel sagedustel.

Lülituses *d* toimub muundumine lambis 6SA7 elektroniliselt, lülituse kasutamine piirdub kõrgsagedusliku astmikuga.

Üli- ja ultrakõrgsagedustel, s. o. sagedustel üle 30 MHz, tavalised lambid lakkavad sagedusmuundajana korralikult töötamast märgatavalt väheneva sisendtakistuse tagajärjel, mis omakorda vähendab võnkeringi Q-d. Ainult kõrge tõusuga varivõrepentood 6AC7 on suuteline andma rahuldavaid tulemusi kuni 100 MHz. Seepärast alates sellest sagedusastmikust kõrgemale tulevad sagedusmuundajatena küsimusse tõrutrioodid; veelgi kõrgemail sagedustel, üle 400 MHz, kõlbavad sagedusmuundajatena peamiselt kristalldetektorid ja eritüüpi dioodid.

Joonisel 223 on toodud kolm säärast sagedusmuundajat. Lülituses *a* toimib muundajana tõrutriood 955, millele antakse ostsillaatorpinge eraldi ostsillaatorilt katoodsidestuse kaudu. Selleks asetatakse katoodist väljuv juhe enne maandamist ostsillaatori võnkeringi lähedusse, millega saavutatakse vajalik ostsillaatorpinge ülekanne.

Lülituses *b* kasutatakse sagedusmuundajaks kristalldetektorit, kusjuures sisendvõnkering on sidestatud induktiivselt triood-ostsillaatoriga 955. Lülituses *c* on kristalldetektor asendatud erilise, väga väikese elektroodidevahe-



Joon. 222. Superi muundusastme tüüplülitusi. Lülitusosade andmed:

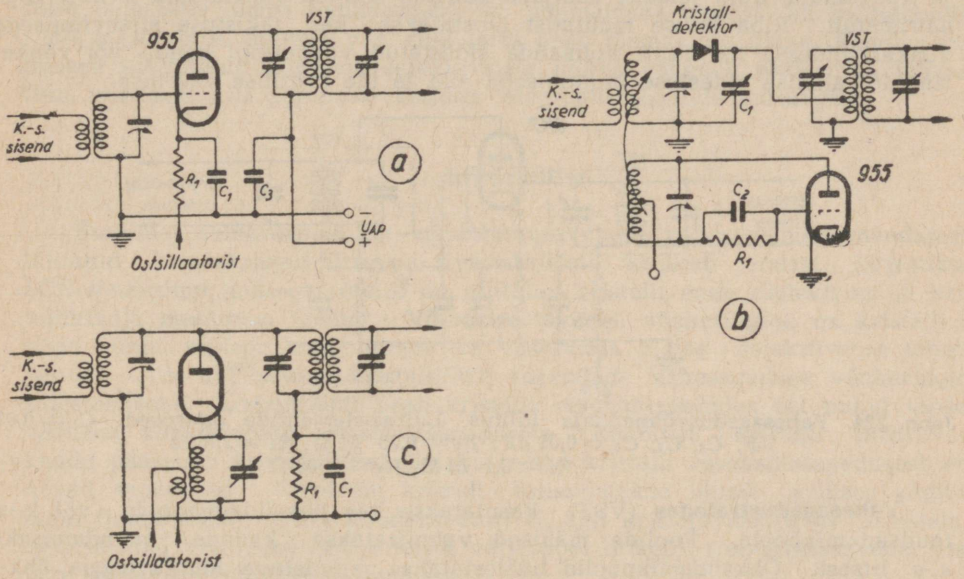
Osa nimetus	Lülitus *a*	Lülitus *b*	Lülitus *c*	Lülitus *d*
R_1 — oomi	10 000 (6AC7-300)	300	250	100 000
R_2, R_3, R_4 — megaoomi	0,1	0,05	0,05	0,05 (6SA7-0,02)
C_1, C_2, C_3 — mikrofaradit	0,05	0,05	0,05	0,05
C_4 — pikofaradit	1	50 ... 100	100	100
C_5 — pikofaradit	—	—	500	—

lise mahtuvuse ja vahekaugusega dioodiga, ostsillaatorpinge juhitakse muundajasse induktiivselt katoodi võnkeringi kaudu. Lülitustes *b* ja *c* töötab ostsillaator harilikult madalamal sagedusel, sagedusmuundamiseks rakendatakse ühte harmoonilist sagedust (teist, kolmandat ja veelgi kõrgemat). Sel viisil on võimalik teostada sageduse muundamist isegi kuni 2000 MHz.

6. Vahesagedusvõimendaja.

Vahesageduse valik kujuneb kompromisslahenduseks ühelt poolt vastuvõtja selektiivsuse ja tundlikkuse, teiselt poolt peegelsageduse häirete vahel. Madalamal vahesagedusel on võnkeringide Q suurem, seepärast ka võimendus ja selektiivsus kõrgem, kuid vastuvõetava signaalisageduse suurenedes langeb ühtlasi ka k.-s. võnkeringi Q ning peegelsuhe, mis muutub tõsiselt häirivaks.

Standardseks kujunenud 455 ... 475 kHz vahesagedus annab täiesti rahuldavaid tulemusi muundaja vahetul sidestamisel antenniga signaalisagedustel kuni 7 MHz. Kõrgsagedusvõimendaja lisamisel antenni ja muundaja vahele paraneb peegelsuhe, mis võimaldab vastuvõttu teostada häireteta kuni umbes 14 MHz. Kõrgemate sageduste vastuvõtul on seepärast hakatud kasutama 1600 kHz vahesagedust, mis märgatavalt parandab küll peegelsuhet, kuid selektiivsuse suhtes jätab soovida. Otstarbekamaks lahenduseks ülikõrgete sageduste vastuvõtul alates 28 MHz on kahekordse muunduse rakendamine.



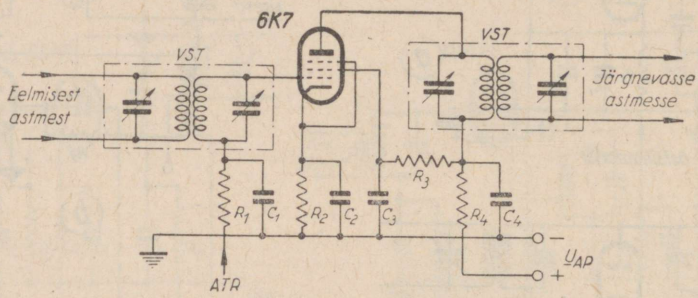
Joon. 223. Üli- ja ultrakõrgsageduslikke muundusastmeid: *a* — katoodtoitega trioodmuundaja, *b* — kristalldetektor-muundaja, *c* — dioodmuundaja. Lülituselemendid: *a* — $R_1 = 0{,}01 \ldots 0{,}05$ MΩ, $C_1 = 100$ pF, $C_3 = 5000$ pF; *b* — $R_1 = 0{,}05$ MΩ, $C_1 = 3 \ldots 30$ pF, $C_2 = 25$ pF; *c* — $R_1 = 5000 \ldots 20\,000$ oomi, $C_1 = 3 \ldots 30$ pF.

Esimesel muundusel signaalisagedused muundatakse kas 5 MHz või 10 MHz sagedusele, misjärel toimub uus muundamine 455 ... 475 kHz vahesagedusele. Sellega vabanetakse täielikult peegelsageduse häiretest ka kõrgeimatel sagedustel ja ühtlasi säilitatakse madala vahesageduse tõttu kõrge selektiivsus ja tundlikkus.

Teatavasti seisab supervastuvõtja suure tundlikkuse ja kõrge selektiivsuse saladus ta soodsates tingimustes töösse rakendatud vahesagedusvõimendajas, mis optimaalselt väljareguleerituna annab praktiliselt nii vastuvõtja üldvõimenduse kui ka selektiivsuse. Erandi moodustab ainult kõrgsagedusvõimendusastmega või -astmetega super, milles teatav lisavõimendus ja lisaselektiivsus saavutatakse k.-s. võimendaja arvel.

Et aga selektiivsuse tõstmisega suureneb ühtlasi ka kõrgemate modulatsioonisageduste mahalõikamise oht, siis ollakse sunnitud koos tundlikkusega ohverdama osa selektiivsusest, et säilitada ülekantavat helikvaliteeti. Selleks koostatakse vahesagedusvõimendaja trafod ribaläbivusfiltri põhimõttel

kahest võnkeringist (joon. 224), milles sobiva väärtusega sidestusteguri valikuga saavutatakse ühtlane sagedusriba võimendus. Õigesti reguleeritud vahesagedusvõimendaja, mis koosneb kahest, kahe vahesagedus-võimendusastme puhul isegi neljast kahe võnkeringiga ribaläbivusfiltrist, arendab praktiliselt täiusliku püstkülikutaolise selektiivsuse kõvera, mis elimineerib täielikult naaberkanali häired, kuid samal ajal kannab nõrgendamatult üle kõik modulatsioonisagedused. Tarbe korral tehakse riba laius reguleeritavana, mis võimaldab soovi kohaselt vastu võtta kohalikku saadet maksimaalse kvaliteediga ja kaugemaid, kuid teistest saatjaist häiritud saateid vähendatud kvaliteediga häirimatult. Riba laiuse muutmist teostatakse kas takistuse sisseviimisega võnkeringidesse harilikult kolmanda sidestatud võnkeringi kaudu või võnkeringide-vahelise sidestuse muutmisega alla ja üle kriitilise väärtuse.



Joon. 224. Vahesagedusvõimendaja lülitus. Lülituselementide suurused. $C_1 = 0{,}01$ μF, C_2, C_3, $C_4 = 0{,}01$ μF; $R_1 = 0{,}25$ M Ω, $R_2 = 300$ Ω, $R_3 = 0{,}1$ M Ω, $R_4 = 2000$ Ω.

Vahesagedustrafodes (VST) kasutatakse kas õhksüdamikpoole või k.-s. raudsüdamikpoole. Poolide mähised valmistatakse kadude vähendamiseks k.-s. litsest. Õhksüdamikpoolid häälestatakse muudetava mahtuvusega õhk-, vilgukivi- või keraamilise dielektrikuga kondensaatoritega — trimmeritega. Raudsüdamikpoolidega trafodes on kondensaatorite mahtuvused kindlad, võnkeringide häälestamine toimub poolide induktiivsuste reguleerimise teel raudsüdamiku asendi muutmisega. Vahesagedustrafod koostatakse tervikkomplektidena metallist varjestustopsidesse, millega hävitatakse kahjulikud väljade sidestused ja sellest tulenev vastuvõtja ebastabiilsus.

Vahesagedusvõimendaja tüüplülitus on toodud joonisel 224. Oma tööpõhimõttelt ja lülitusviisilt sarnaneb ta kõrgsagedusvõimendajaga. Eranditult kasutatakse vahesagedusvõimendajas muutliku tõusuga (eksponent-) lampe (6K7), millele rakendatakse automaatne eelpinge (ATR). Võimendaja koostamisel tuleb erilist rõhku panna heale sisend- ja väljundringide ning astmetevaheliste sidestuste hävitamisele nii väljade kui ka vooluringide kaudu. Seepärast on oluline, et traadistus teostataks lühikeste otseste ühendusjuhtmetega; anood-, varivõre- ja võreringides tuleb ohtralt kasutada lahtisidestust.

Kuid moduleerimata telegraafisignaalide vastuvõtuks pole tavaliste võnkeringidega saavutatav selektiivsus küllaldane, kuna teise detektori võrele kohalikust ostsillaatorist rakendatav sagedus tekitab tuikesageduse kahe vahesagedusvõimendajat läbiva signaalisagedusega, millest üks on tuikesageduse võrra madalam, teine tuikesageduse võrra kõrgem. Teiste sõnadega, teise de-

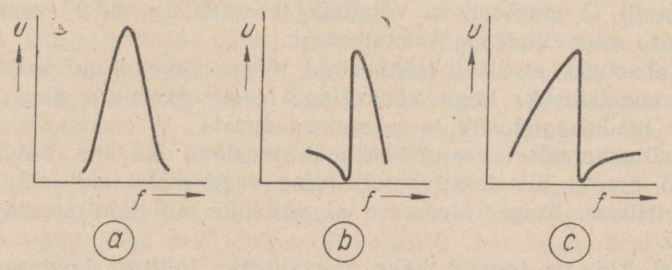
tektori väljundis avalduvad üheaegselt kaks signaali — soovitava sagedusega signaal ja häiriv madalsageduslik peegelsageduse signaal, samuti nagu see tekkis esimeses detektoris — muundusastmes. Peegelsageduse häiriva mõju vähendamiseks on tarvilik v.-s. selektiivsust vajalikul määral tõsta, mida teostatakse lihtsamal teel vahesagedusastmete regenereerimisega, viimistletumal teel kristallfiltriga.

Regenereerimisel rakendatakse tavalisi tagasiside meetodeid, kusjuures v.-s. võimendaja anoodring sidestatakse nõrgalt võreringiga. Loomulikult peab tagasiside olema reguleeritav, et võimaldada ühtlasi ka moduleeritud saate vastuvõttu, milleks v.-s. riba laius peab olema küllaldane. Regenereerimisega saavutatud kõrgema selektiivsuse juures väheneb ühtlasi ka mürade tase, mis omakorda parandab nõrkade telegraafisignaalide vastuvõttu.

7. Kristallfilter.

Suurimat selektiivsust on võimalik saavutada vahesagedusvõimendajasse lülitatud kvartskristall-filtriga. Kvartskristall kujutab endast järjestikust *LCR*-võnkeringi, millega rööbiti on lülitatud kristalli enda dielektriku ja kristallihoidja mahtuvus (B54 d). Võrreldes tavalise võnkeringiga on kristalli Q väga kõrge, millega on seletatav ka vastuvõtja üldise selektiivsuse tähelepandav tõus, kui säärast kristallfiltrit rakendada vahesageduse võnkeringide sidestamiseks. Loomulikult peab kristalli resonantssagedus sel puhul täpselt vastama võnkeringide resonantssagedusele. Rööbitise kristalli mahtuvuse kaudu pääsevad kristallfiltrist läbi ka teised kristalli resonantssagedusest erinevad sagedused. Seepärast kristall rakendatakse töösse erilises sildlülituses (joon. 226 *a*), milles kondensaatori C_2 abil kristalli mahtuvus tasakaalustatakse ning välditakse kõigi teiste väljaspool kristalli resonantssagedust asuvate sageduste läbipääs väljundisse.

Õigesti tasakaalustatud kristalli mahtuvuse puhul on filtri resonantskõver täiesti sümmeetriline (joon. 225 *a*). Kui aga tasakaalustuskondensaatori C_2 mahtuvus õigest tasakaaluasendist välja viia, s. o. mahtuvust suurendada või vähendada, muutub kõverjoon ebasümmeetriliseks: ühel pool resonantssagedust langeb kõver järsult, teisel pool lamedalt. Kui C_2 mahtuvust suurendada, asub kõvera lame külg kristalli resonantssagedusest madalamal poo-



Joon. 225. Kvartskristallfiltri resonantskõveraid sõltuvalt rööbitise mahtuvuse tasakaalustamisest: *a* — mahtuvus on täielikult tasakaalustatud, resonantskõver on sümmeetriline; *b* ja *c* — mahtuvus on nõrgalt tasakaalust välja viidud, resonantskõverad ebasümmeetrilised.

lel, kui aga C_2 mahtuvust vähendada, on kõvera lame külg kristallisagedusest kõrgemal poolel (joon. 225 *b* ja *c*). Järelikult kanduvad väljundisse ainult need sagedused, mis asuvad resonantskõvera lamedal poolel, järsul poolel asuvad sagedused filtrist läbi ei pääse ja muutuvad väljundis nulliks.

Teatavasti iga sagedusmuundaja kohaliku ostsillaatori sageduse toimel areneb väljundis kindla sagedusega pinge kahelt sisendsageduselt: ühelt, mis on väljundpinge sageduse võrra ostsillaatorsagedusest madalam, ja teiselt, mis on väljundsageduse võrra ostsillaatorsagedusest kõrgem. Ühte neist, tavaliselt ostsillaatorsagedusest madalama sisendsagedusega tekitatud väljundsagedust rakendatakse supervastuvõtjas kasulikult, kuna teise, nn. peegelsageduse kui häiriva sageduse vältimiseks kasutatakse eespool sagedusmuundajat selektiivseid võnkeringe. Kui supervastuvõtja eelselektsioon on küllalt suur, s. o. kui peegelsuhe on kõrge, siis on vastuvõtt sellelaadilistest häiretest vaba.

Analoogiline nähtus ilmneb ka vahesagedusvõimendajas suure selektiivsuse puhul, mis on eriti märgatav kristallfiltri rakendamisel. Kui vahesagedusvõimendaja resonantskõver muuta ebasümmeetriliseks, siis vahesagedusele järgnevas detektoris kui sagedusmuundajas pääseb kohaliku tuikesageduse toimel väljundisse ainult resonantskõvera lamedas osas asetsevast sagedusest tekkinud tuikesagedus, kuna samal ajal järsus osas asetsev sagedus, nn. madalsageduslik peegelsagedus ebasümmeetrilisusest tingituna maha lõigatakse.

Järelikult avaneb kristallfiltri puhul lihtne võimalus vabaneda detektori väljundis avalduvast ühest tuikesagedusest ning teostada nn. ainusignaalset vastuvõttu, kui vahesageduse võnkeringid muuta kristalli resonantssageduse suhtes ebasümmeetriliseks.

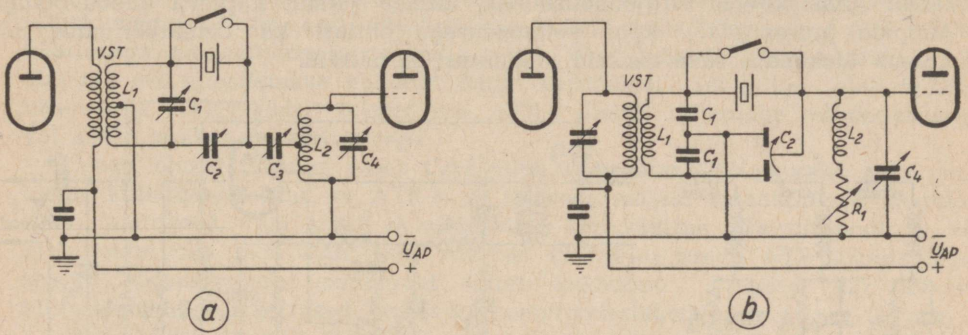
Kristallfiltri selektiivsust on võimalik muuta võnkeringi resonantssageduse muutmisega kristalli resonantssageduse suhtes, mille tagajärjel vastavalt muutub kristalliringi Q. Võnkeringi täpsel häälestamisel kristalli resonantssagedusele asub kristalliga järjestikku võnkeringi impedants, mis resonantsi puhul on puhttakistuslik. Kuna iga järjestikuse võnkeringi Q väheneb järjestikuse takistuse suurenemisega, siis täpse resonantsi korral peab vähenema ka kristalliringi Q. Võnkeringi sageduse nihutamisega täpsest kristalli resonantssagedusest ühele või teisele poole väheneb kristalliringiga järjestikku asetsev võnkeringi impedants, mistõttu kristalliringi Q tõuseb. Samasugust kristalli Q muutust on võimalik teostada ka mõnel muul viisil, näiteks takistuse sisseviimisega kristalliringi.

Seega ebasümmeetriliselt võnkeringi töösse rakendatud kristallfilter muudab ebasümmeetriliseks kogu võnkeringi resonantskõvera ning mõjub diskrimineerivalt madalsageduslikule peegelsagedusele.

Sama ainusignaalset vastuvõttu saab teostada ka siis, kui vahesageduse võnkeringid muuta üliselektiivseteks ning regeneratsiooni teel tekitada neis ebasümmeetrilisus, kuigi tulemused ei saa olla nii kontrastsed kui kristallfiltri puhul.

Joonisel 226 on toodud kaks kristallfiltri lülitust, kusjuures kummaski selektiivsus on muudetav. Lülituses *a* reguleeritakse selektiivsust 1-se vahesagedustrafo sekundaarmähise ümberhäälestamise teel kondensaatoriga C_1. Täpselt vahesagedusele väljahäälestatuna on võnkeringi L_1C_1 impedants

maksimaalne ja seejuures puhttakistuslik. Kuna sekundaarmähis on keskelt poolitatud, siis neljandik võnkeringi takistusest on järjestikku kristalliga kondensaatori C_3 ja L_2 alumise osa kaudu. Takistuse sisseviimise tagajärjel kristalli Q väheneb ja selektiivsus muutub minimaalseks (resonantskõver *a*, joon. 225). Võnkeringi L_1C_1 kristalli resonantssageduselt kõrvalehäälestamisel väheneb võnkeringi impedants ja koos sellega ka takistuslik komponent, mis asub järjestikku kristalliga, ja selle tulemusel kristalliring muutub selektiivsemaks.



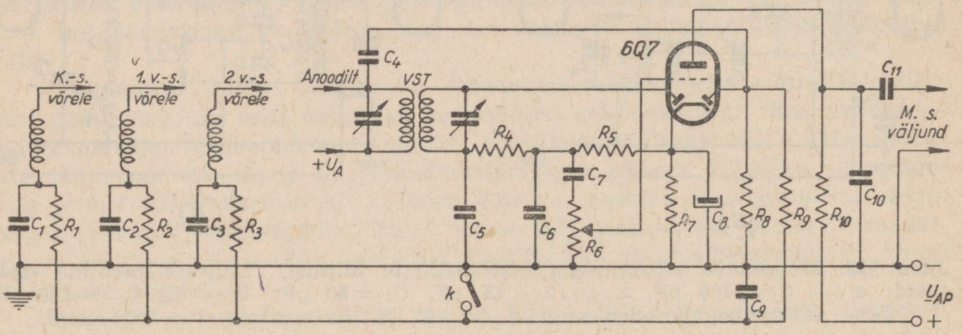
Joon. 226. Muudetava ribalaiusega kristallfiltrite lülitusi. Lülituselementide andmeid: *a* — $C_1 = 100$ pF, $C_2 = 10 \ldots 15$ pF, $C_3 = 50$ pF; *b* — C_1, $C_1 = 100$ pF, C_2 — diferentsiaalkondensaator 2×8 pF, R_1 — reostaat $0 \ldots 3000$ oomi.

Lülituses *b* muudetakse selektiivsust väljundvõnkeringi lülitatud takistuse R_1 sisseviimisega kristalliringi. Kristalli rööbitise mahtuvuse tasakaalustamist teostatakse diferentsiaalkondensaatori C_2 abil. Takistuse R_1 suuruse laialdase muutmise tõttu on selle lülitusega võimalik muuta k.-s. võimendaja selektiivsust õige suurtes piirides. Kristalliga rööbitist lülitit kasutatakse kristalli lühistamiseks, kui võetakse vastu moduleeritud signaale.

8. Automaatne tundlikkuse regulaator.

Automaatse tundlikkuse regulaatoriga (ATR) muudetakse automaatselt vastuvõtja tundlikkust (võimendust) pöördvõrdeliselt vastuvõetava signaali tugevusega, millega säilitatakse vastuvõtja väljund praktiliselt konstantsena, sõltumata sisendpingete väärtusest. Automaatseks tundlikkuse reguleerimiseks kasutatakse detektoris õgvendamisel saadavat alalispinge komponenti k.-s. ja v.-s. võimendajate lampide negatiivse eelpinge muutmiseks. Kuna õgvendatud alalispinge on võrdeline signaalipinge keskväärtusega, siis vastuvõtja tundlikkus langeb automaatselt signaalipinge suurenemisega. Automaatne tundlikkuse reguleerimine on seda täiuslikum, mida rohkem eelpingega kontrollitavaid astmeid on vastuvõtjas. Seepärast on automaatne tundlikkuse reguleerimine teostatav peamiselt supervastuvõtjas, milles astmeid on küllaldasel arvul ja milles suure võimenduse tõttu õgvendatud pingete väärtus on küllaldane vajaliku reguleeriva mõju esilekutsumiseks.

Automaatset tundlikkuse reguleerimist rakendatakse ainult k.-s. ja v.-s. võimendusastmetes; sagedusmuundusastmes automaatse tundlikkuse reguleerimise kasutamine pole soovitav, sest muunduslambi eelpinge muutmine mitte ainult häirib normaalset muundusprotsessi käiku, vaid mõjudes tagasi ostsillaatori võnkeringile kutsub esile ostsillaatorsageduse muutumise. Automaatselt reguleeritavaiks lampideks saab kasutada erilisi muutliku tõusuga ehk eksponentlampe (C 5 e), millede anoodvool ei katke järsult tõusva negatiivse eelpingega, vaid langeb aeglaselt (6K7). Kui sisendpinged ületavad lambi tunnuskõvera sirgjoonelise osa, areneb järsult katkeva anoodvooluga lampide juures (6J7) koos võimendusega ühtlasi ka detekteerimine, mis kutsub ülekandes esile tõsiseid moonutusi ja häireid.[1]



Joon. 227. Automaatse tundlikkuse reguleerimise lülitus, milles kaksik-dioodtriood 6Q7 on rakendatud detektorina, ATR õgvendajana ja m.-s. võimendajana. Lülituselementide suurusi: C_1, C_2, $C_3 = 0{,}01$ µF, C_4, C_5, C_6, $C_{10} = 100$ pF, C_7, $C_{11} = 0{,}05$ µF, $C_8 = 10$ µF, $C_9 = 0{,}1$ µF; R_1, R_2, R_3, R_5, $R_{10} = 0{,}25$ M Ω, $R_4 = 0{,}1$ M Ω, $R_6 = 0{,}5$ M Ω, $R_7 = 2000$ Ω, $R_8 = 2$ M Ω, $R_9 = 1$ M Ω, K — ATR lüliti.

Joonisel 227 on toodud tüüpilisem ATR-i lülitus, milles ATR-i õgvendajaks on kasutatud kahekordse diood-trioodi ühte (parempoolset) dioodi. Samal ajal toimib lamp ühtlasi detektorina ja m.-s. võimendajana. ATR-i dioodi anood saab toitepinge v.-s. trafo primaarvõnkeringist väikese mahtuvusega kondensaatori C_4 kaudu. Õgvendatud voolu tagajärjel tekib dioodi koormustakistuses R_8 pingelang, kusjuures sõltuvalt voolu suunast dioodi anoodipoolne takistuse ots muutub negatiivseks. Saadud negatiivne pinge rakendatakse filtrite R_9C_9, R_1C_1, R_2C_2 ja R_3C_3 kaudu reguleeritavate lampide võredele. Telegraafisignaalide vastuvõtul lülitatakse ATR tavaliselt välja maandamise teel lüliti K kaudu. Sageli kasutatakse ühte ning sama dioodi nii detekteerimiseks kui ATR-iks. Kuigi saadavad tulemused on rahuldavad, tuleb siiski eelistada eraldi dioodi kasutamist ning ATR-i toitmist v.-s. trafo primaarmähisest. Sellega vähendatakse moonutusi detekteerimisprotsessis (G 2).

[1] Sellised häired on tuntud ristmodulatsiooni nimetuse all, mis tekib siis, kui ebalineaarsesse süsteemi, antud juhul ebalineaarsesse võimendajasse satuvad korraga mitu moduleeritud signaalisagedust. Ebalineaarsuse tagajärjel ühe signaali modulatsioonisagedused kanduvad üle teisele ning väljundis kostab korraga mitu saadet, vaatamata sellele, et vastuvõtja üldine selektiivsus on küllalt suur häirivate saatjate eraldamiseks.

Vaadeldud juhul toimib ATR viivitusega, sest ATR-i dioodi anood on takisti R_8 kaudu nõrgalt negatiivselt eelpingestatud katoodtakistis R_7 tekkiva pingelangu tagajärjel (1...2 volti). Järelikult ei teki ATR-i toimet enne, kui signaalipinge väärtus ületab selle alalise negatiivse eelpinge väärtuse. Selle tagajärjel kõik nõrgad signaalipinged võimendatakse maksimaalselt. ATR-i läviväärtust, s. o. kriitilist pinget, millel ATR-i toime algab, on võimalik muuta takisti R_8 alumise otsa ühendamisel haruühendina katoodtakisti R_7 külge.

Väga kõrgekvaliteediliste ringhäälingu vastuvõtjate juures loobutakse viivitustoimega ATR-ist, sest viivitustoime kutsub esile nõrgemate, ATR-i läviväärtusega signaalipingete moonutamise. Neil juhtudel koormustakisti R_8 alumine ots ühendatakse vahetult lambi katoodiga. Sel puhul tuleb üldiselt vähendada ATR-i üldist toimet kas ATR-i dioodi toitepinge vähendamisega või ainult osalise rakendamisega.

Väga olulist tähtsust omab *CR*-filtrite ajakonstandi õige valik, mis peab olema küllaldaselt suur, et ATR-is ei pääseks mõjule signaalipinge modulatsiooni muutused, vaid ainult ta alalisvoolu keskväärtus. Teiselt poolt ei või ajakonstant olla liiga suur, sest vastasel korral ei suuda ATR järgida õigeaegselt signaalipinges avalduvat kiiret feedingut. Joonisel 227 toodud lülituselementide väärtused vastavad kompromisslahendusele.

Kui ATR-i dioodilt arendatav automaatne eelpinge ei osutu küllaldaseks kontrollitavate lampide tõusu muutmiseks, kasutatakse nn. võimendatud ATR-i lülitust, mis kujutab endast dioodile järgnevat alalisvoolu võimendajat.

9. Signaalitugevuse indikaatorid ja mõõtjad.

Amatöörtöös tuleb alati anda hinnang vastuvõetud signaali tugevuse kohta, mille kindlakstegemine ilma kontrollabinõudeta võib kujuneda mitte küllalt erapooletuks. Seepärast on soovitav amatöörjaama vastuvõtja varustada mingi elektriliselt toimiva indikaatoriga, mille näitamine oleks kui mitte määratav, siis vähemalt võrreldav.

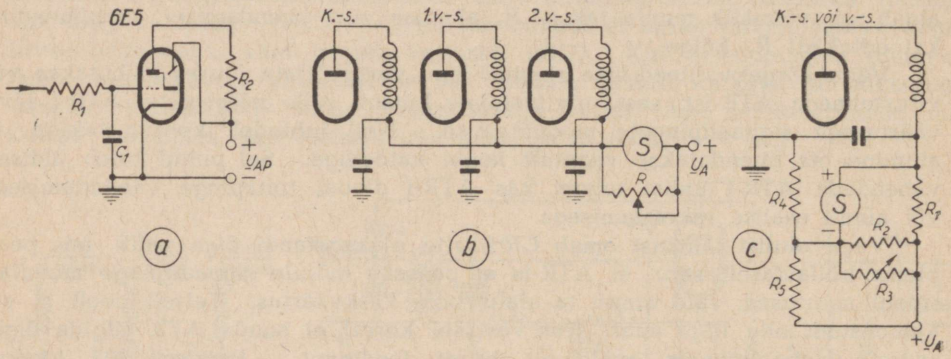
Kõigi selliste indikaatorite ja mõõtjate (S-mõõtjad) töötamispõhimõte rajaneb kas otseselt või kaudselt ATR-i toimele. Joonisel 228 on toodud kolm säärast lahendusvõimalust.

Lülitus *a* kujutab lihtsaimat signaalitugevus- ehk häälestusindikaatorit. milles kasutatakse katoodkiirtetoru põhimõttel toimivat lampi 6E5.

Lülituses *b* on ATR-iga kontrollitavate lampide anoodtoite juhtmesse lülitatud voolumõõtja — S-mõõtja, millega rööbiti asub reguleeritav piiramistakisti *R*. Kuna ATR-i kontrollitavate lampide anoodvool langeb signaalitugevuse tõusuga, siis S-mõõtja näitamine kujuneb vastupidiseks skaalajaotustele. Kuigi signaalitugevuste mõõtmise skaala pole üldiselt normitud, võib siiski S-mõõtjat kogemuste järgi gradueerida.

Lülituses *c* on 1 mA mõõteriist rakendatud S-mõõtjana ATR-iga kontrollitava lambi anoodi toiteringi sildlülituses. S-mõõtja miinusklemm saab pingejagaja $R_4 R_5$ kaudu püsiva positiivse pinge; mõõtja positiivne klemm on lambi anoodi ja püsivtakisti R_1 vahel. Takistite suurused valitakse nii, et signaalita olukorras mõõtja klemmidel pinged oleksid võrdsed ning vastavalt sellele voolutugevus mõõtjas oleks null. Signaali saabudes hakkab toimima ATR,

mille tagajärjel anoodvool langeb; samuti langeb pinge ka takistis R_1 ja selle tagajärjel silla tasakaal lakkab ning mõõtjat läbib vool. Takistid R_2 ja R_3 šundivad mõõtjat, millest R_3 on reguleeritav ja võimaldab seega muuta mõõtja tundlikkust. Säärase S-mõõtja signaalitugevuse näitamine on ühtlane skaalaga.



Joon. 228. Signaalitugevuse indikaatori ja S-mõõtja lülitusi: *a* — signaalitugevuse ehk häälestuse indikaator; osad: R_1, $R_2 = 1$ MΩ, $C_1 = 0{,}1$ μF; *b* — S-mõõtja lülitus, mida kasutatakse ATR-iga kontrollitavate lampide anoodringis; šuntakisti R suurus oleneb mõõteriista voolutarvitusest; *c* — sillana ATR-iga kontrollitava lambi anoodringi lülitatud S-mõõtja lülitus; osad: $R_1 = 250\ \Omega$, $R_2 = 350\ \Omega$, $R_3 = 1000\ \Omega$.

10. Mürapiirajad ja -tasandajad.

Nagu eespool käsiteldud, on raadiovastuvõtul raskemaks ülesandeks mürade vastu võitlemine. Raskemail juhtudel ei suuda isegi hoolikalt teostatud antenni üldisest müratasemest väljaviimine olulist parandust tuua. Neil juhtudel jääb ainsaks võimaluseks rakendada vastuvõtjas mürapiirajad, mis mõnikord võivad anda üllatavaid tulemusi.

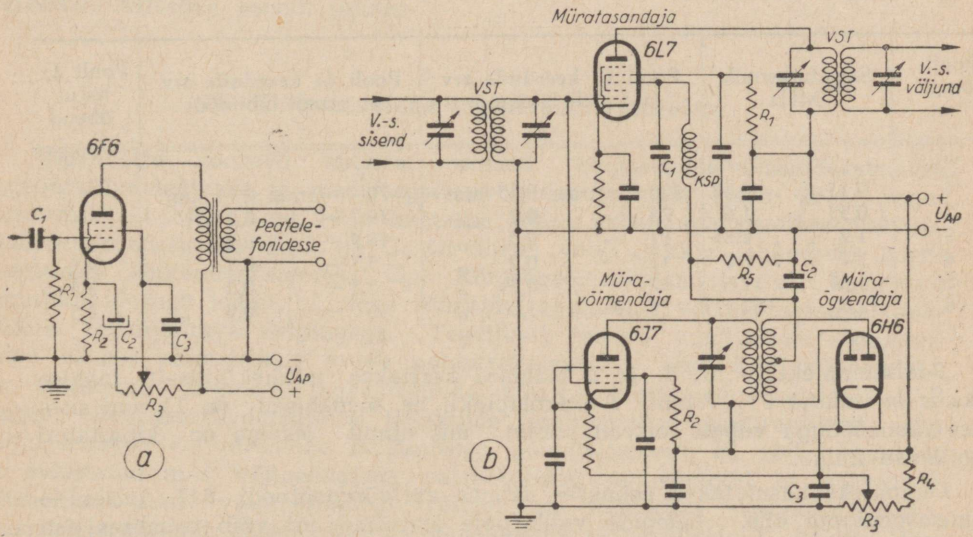
Oma iseloomult on mürasid kahte liiki: ühtlase tugevusega *kahisev müra* ja katkendiline *paukuv müra*. Kahisevat müra, mida põhjustavad peamiselt kommutaatormasinad ja mis sarnaneb õige lähedaselt vastuvõtja enda müraga, on üldiselt lihtsam elimineerida. Tavaliselt aitab selles märgatavalt eeskujulikult ülesseatud antenn; samuti vähenevad säärased mürad vastuvõtja selektiivsuse tõusuga. Teist liiki müra, s. o. paukuvat müra, mis oma iseloomult on väga lühiajaline, kuid suure amplituudiga ja mida tekitavad autode süüteseadmed, isolatsioonirikked kõrgepingeliinides, voolukontaktijad jne., on raske kõrvaldada harilike abinõudega, kuid õnneks on seda kergem teha elektroniliste mürapiirajatega.

Mürapiirajate toimimise põhimõte seisab selles, et vastuvõtjat läbivad pingeamplituudid piiratakse normaalse signaalipinge amplituudväärtusega või muudetakse vastuvõtja lühiajaliste mürapingete kesteks automaatselt „töövõimetuks". Amplituudide piiramise menetlust saab edukalt rakendada telegraafitöö vastuvõtul, kuid moduleeritud signaalide vastuvõtuks pole see kohane, kuna amplituudide piiramise tõttu saade võib muutuda arusaamatuks. Teine menetlus on rakendatav nii telegraafi- kui ka telefonitöö vastuvõtul,

sest et väga lühiajalist signaali kadumist koos mürapulssidega inimkõrv peaaegu ei taju.

Joonisel 229 *a* toodud m.-s. mürapiirajas on kasutatud m.-s. võimenduspentoodi, millele antakse madal, umbes 35-voldine varivõrepinge, mistõttu väljund jääb praktiliselt konstantseks võrepingete muutumisel vahekorras 100 : 1. Säärane piiraja surub mürad maha ühisele tasemele signaalipingega ja ühtlasi tasakaalustab ka feedingust tingitud signaalitugevuse kõikumised. Ta on kõlblik kasutamiseks ainult telegraafisignaalide vastuvõtmisel.

Joonisel 229 *b* on toodud v.-s. müratasandaja lülitus, mis koosneb kolmest lambist: müratasandajast 6L7, mis lülitatakse harilikult esimeseks vahesagedusvõimendajaks, müravõimendajast 6J7 ja müraõgvendajast 6H6. Lülituse töötamise põhimõte seisab selles, et mürapulsid võimendatakse müravõimendajas 6J7, kust nad juhitakse müraõgvendajasse 6H6 ja sealt negatiivse pingena müratasandaja — v.-s. võimendaja 6L7 summutusvõrele, mille tagajärjel 6L7 võimendus langeb nullile niikauaks, kui pulsi kestus lõpeb. Müravõimendaja negatiivne eelpinge on reguleeritav potentsiomeetri R_3 abil ja on seatud selliselt, et õgvendamine ei teki enne, kui müra pinge väärtus ületab normaalse signaalipinge amplituudi. Selline müratasandaja annab üllatavaid müra mahasurumise tulemusi, võimaldades tõsta signaali/müra suhet keskmiselt 1000 korda (30 dB), võrreldes sama vastuvõtja töötades ilma müratasandajata. Seadme korralikuks töötamiseks on tarvilik, et signaalipinged oleksid müratasandajasse jõudes küllaldase amplituudiga, mis tingib k.-s. eelvõimendaja ettelülitamist vastuvõtjale. Samuti on tarvilik müravõimendaja ja -õgvendaja hea varjestamine ning isoleerimine eriti müratasandaja suhtes, et vältida võimalikku ebastabiilsust.



Joon. 229. Mürapiirajate lülitusi: *a* — m.-s. mürapiiraja; osad: $C_1 = 0{,}01$ µF, $C_2 = 8$ µF, $C_3 = 0{,}25$ µF; $R_1 = 0{,}5$ MΩ, $R_2 = 2000$ Ω, $R_3 = 0{,}05$ MΩ; *b* — v.-s. müratasandaja; osad: $C_1 = 50$ pF, $C_2 = 50 \ldots 250$ pF, $C_3 = 0{,}1$ µF; R_1, $R_2 = 0{,}1$ MΩ, $R_3 = 5000$ Ω, $R_4 = 0{,}02$ MΩ, $R_5 = 0{,}1$ MΩ.

III peatükk.

VASTUVÕTJATE EHITUSKIRJELDUSI.

11. Kahelambiline regeneratiiv-vastuvõtja.

Regeneratiiv-vastuvõtja on oma ehituselt ja töösse seadmiselt lihtsaim, kuid vastuvõtu-omadustelt võib ta oskuslikes kätes anda küllaltki rahuldavaid tulemusi. Sellise vastuvõtja lülitus on toodud joonisel 230.

Vastuvõtja koosneb kahest astmest: regeneratiivdetektorist ja m.-s. võimendajast. Regeneratiivdetektori võnkering häälestatakse kondensaatorite C_2 ja C_3 abil, millest C_3 kasutatakse üldiseks häälestamiseks ning sagedusribade seadmiseks, C_2 abil aga teostatakse kitsa sagedusriba häälestamist. Tagasiside saavutatakse induktiivselt pooli L_2 kaudu, kusjuures regenereerimist reguleeritakse varivõrepinge muutmisega potentsiomeetri R_2 abil.

Detektor on sidestatud m.-s. võimendajaga paispoolsidestuse abil, potentsiomeetriga R_5 reguleeritakse m.-s. võimendaja sisendpinget. M.-s. võimendaja väljundvõimsus kantakse üle sobitustrafo T_1 kaudu valjuhääldajasse.

Vastuvõtjas kasutatakse vahetatavaid poolikomplekte, mis on keritud vanade lampide või presspapist alustele. Kuue poolikomplektiga on võimalik katta sagedusastmik 0,15 ... 32 MHz.

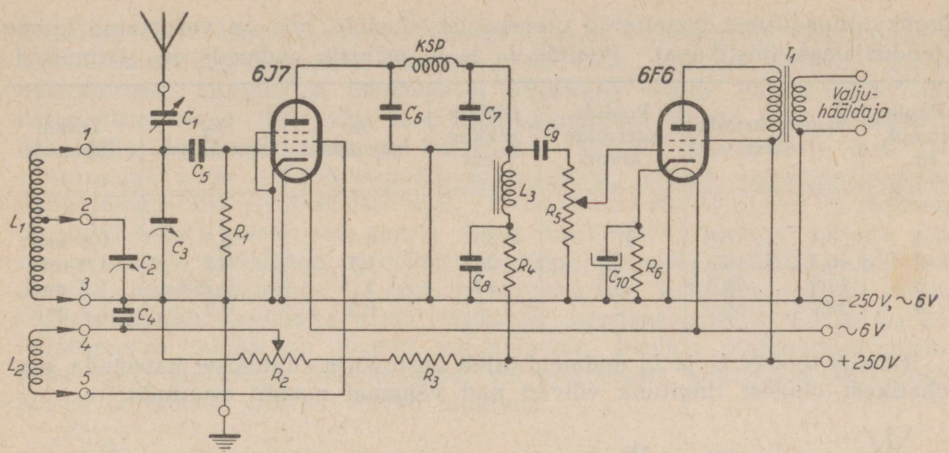
Alljärgnevalt on toodud tabel poolide valmistamiseks, kusjuures on arvestatud, et poolialuse väline läbimõõt on 35 mm, mähiste L_1 ja L_2 vahekaugus 3 mm. On oluline, et mähised oleksid keritud ühesuunaliselt.

Poolikompl. nr.	Sagedusastmik MHz	Pooli L_1 keerdude arv ja traadi läbimõõt	Pooli L_2 keerdude arv ja traadi läbimõõt	Pooli L_1 haruühend
1	0,15 . . . 0,43	320 — traat 0,15 mm	70 — traat 0,15 mm	
2	0,55 . . . 1,6	78 — „ 0,2 „	19 — „ 0,2 „	
3	1,2 . . . 3,35	31 — „ 0,2 „	10,5 — „ 0,2 „	
4	2,7 . . . 7,7	12,5 — „ 0,2 „	5,5 — „ 0,2 „	4,5
5	5,35 . . . 14,6	7 — „ 0,5 „	5,5 — „ 0,2 „	3,5
6	12,8 . . . 32	5 — „ 1,0 „	6 — „ 0,3 „	2,5

Poolikomplektide nr. 1, 2, 3 mähised keritakse mitmekihiliselt, mähise pikkus on umbes 6 ... 7 mm. Poolikomplekti nr. 6 mähised on 15 mm sisemise läbimõõduga vabalt seisvad poolid, mis ainult otstega on kinnitatud poolialuse külge.

Lampideks kasutatakse esimeses astmes varivõrepentoodi 6J7, teises — võimsuspentoodi 6F6. Lampide valik pole kriitiline, nii võib esimeses astmes kasutada iga tüüpi varivõrepentoodi, teises astmes vajaduse korral trioodi, näiteks 6C5, kui vastuvõtt valjuhääldajas pole oluline.

Vastuvõtja monteeritakse pannitaolisele alumiiniumist või rauast alusele, mõõdetega umbes 20×16 cm, millele on kinnitatud samuti metallist esiplaat



Joon. 230. Kahelambilise regeneratiiv-vastuvõtja lülitus. Lülituselementide loetelu: $C_1 = 3 \ldots 30$ pF, C_2, C_6, $C_7 = 100$ pF, $C_3 = 365$ pF, $C_4 = 1000$ pF, $C_5 = 200$ pF, $C_8 = 1 \ldots 2$ μF, $C_9 = 0{,}05$ μF, $C_{10} = 10$ μF; $R_1 = 2$ MΩ, $R_2 = 25\,000$ Ω, $R_3 = 20\,000$ Ω, $R_4 = 10\,000$ Ω, $R_5 = 0{,}5$ MΩ, $R_6 = 400$ Ω; KSP = 15 mH; T_1 — väljundtrafo; L_1 ja L_2 andmed tekstis, $L_3 = 100$ H.

pöördkondensaatorite ja tugevusregulaatori kinnitamiseks. Võrgu toiteseade on soovitav valmistada eraldi alusele, millega vähendatakse võrgutrafo puisteväljade mõju ostsilleerivale detektorastmele. On oluline, et toitealaldaja oleks väga hästi filtreeritud, et vältida võrgumüra tekkimist väljundisse tagasiside kriitilise asendi juures.

12. Kolmelambiline regeneratiiv-vastuvõtja.

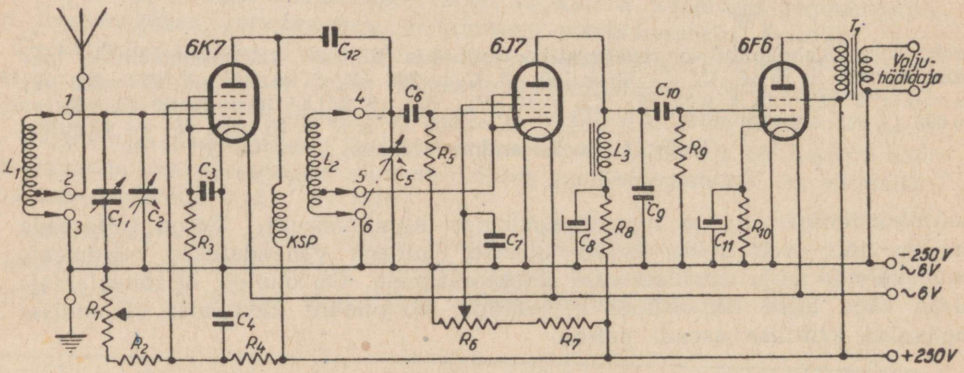
Vastuvõtja koosneb kolmest astmest: kõrgsagedus-võimendusastmest, regeneratiivdetektorist ja madalsagedus-võimendusastmest (joon. 231). Sagedusastmik 3,1 MHz ... 50 MHz kaetakse nelja vahetatava poolikomplektiga. Häälestuskondensaatorid C_2 ja C_5 on ühisel võllil, tekkiv lahkujooks korrigeeritakse abikondensaatoriga C_1. Kõrgsagedusvõimendajas on kasutatud muutliku tõusuga lampi, et oleks võimalik reguleerida võimendusastme tundlikkust reguleeritava eelpingega. Tegelikult toimub tundlikkuse reguleerimine käsitsi katoodringis asuva potentsiomeetri R_1 abil. K.-s. võimendaja on sidestatud järgneva regeneratiivdetektoriga kõrgsagedus-paispooli KSP kaudu. Regeneratiivdetektoris tagasiside saavutatakse elektroniliselt ning reguleeritakse varivõrepinge muutmisega potentsiomeetri R_6 abil. Detektor on sidestatud m.-s. võimendajaga paispoolsidestuse meetodil, et saavutada võimalikult suuri väljundpingeid võimendaja täielikuks väljatüürimiseks. Vastuvõtja väljund sidestatakse valjuhääldajaga väljumistrafo T_1 kaudu. Vastuvõtjas m.-s. tugevuse reguleerimist ei kasutata, vaid see toimub k.-s. võimendaja tundlikkuse ja tagasiside reguleerimisega.

Vastuvõtjas kasutatavad poolid on mähitud 40 mm keraamilistele või

kõrgekvaliteedilisest immutatud presspapist alustele, mis on varustatud kolme astendusjalaga (pistikuga). Poolide L_1 ja L_2 mähiste andmed on järgmised:

Poolikompl. nr.	Sagedusastmik MHz	Poolide keerdude arvud	Mähise pikkus mm	L_1 haruühend	L_2 haruühend	Traadi läbimõõt
1	3,1 . . . 6,6	27	30	4	0,5	0,6 mm
2	6,3 . . . 13,5	12,5	26	1,5	0,3	1,0 mm
3	13,0 . . . 28,5	4,5	14	1	0,25	1,2 mm
4	23,0 . . . 50,0	2	7	0,2	0,2	1,2 mm

Tabelis toodud L_1 ja L_2 andmeid tuleb vastuvõtja ehitamisel katsetada, sest kohalikest oludest tingituna võivad nad vähemal määral muutuda.



Joon. 231. Kolmelambilise l-V-1 regeneratiiv-vastuvõtja lülitus. Lülituselemendid: $C_1 = 15$ pF, C_2, C_5, $C_{12} = 100$ pF, C_3, C_4, $C_7 = 0{,}01$ µF, $C_6 = 50$ pF, $C_8 = 8$ µF, $C_9 = 500$ pF, $C_{10} = 0{,}1$ µF, $C_{11} = 25$ µF; $R_1 = 0{,}01$ MΩ, $R_2 = 0{,}015$ MΩ, $R_3 = 250$ Ω, $R_4 = 0{,}02$ MΩ, $R_5 = 2$ MΩ, $R_6 = 0{,}05$ MΩ, R_7, $R_8 = 0{,}025$ MΩ, $R_9 = 0{,}25$ MΩ, $R_{10} = 400$ Ω; KSP = 15 mH; T_1 — väljundtrafo; L_1 ja L_2 — andmed tekstis, $L_3 = 200$ H, milleks võib tarbe korral kasutada lampidevahelist m.-s. trafot, kui ta primaar- ja sekundaarmähised ühendada järjestikku kokku.

Vastuvõtja lülituse monteerimiseks vajaliku metallšassii mõõted ilma servadeta on 25×20 cm, metall-esiplaadi mõõted 25×22 cm. Monteerimisel on oluline poolid asetada üksteisest eemale, võimalikult risti telgedega, ning varjestada üksteisest metall-vaheseinaga. Vastuvõtja anoodtoide peab olema hästi filtreeritud, et vältida väljundis võrgumüra.

Vastuvõtjat iseloomustab painduv tagasiside, mis töötab hästi kogu kaetavas sagedusastmikus. Tarbe korral võib kaetavat sagedusastmikku täiendada ringhäälingu sagedusribadega lisa-poolikomplektide abil.

13. Kolmelambiline supervastuvõtja.

Kolmelambiline supervastuvõtja, mille lülitus on toodud joonisel 232, koosneb muundusastmest lambiga 6K8, v.-s. võimendusastmest lambiga 6K7 ja kombineeritud anooddetektorist — tuikesagedus-ostsillaatorist kahekordse

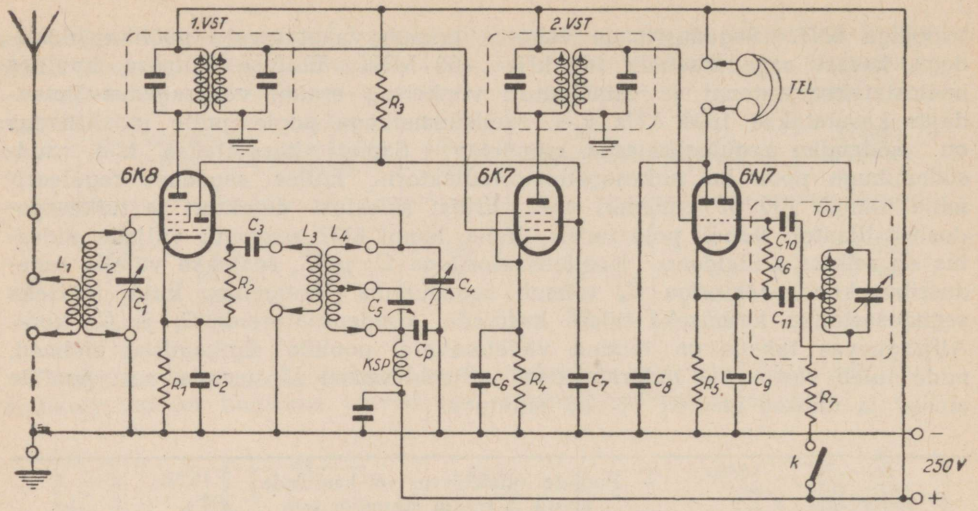
trioodiga 6N7. Sagedusribade vahetus toimub vahetatavate poolikomplektidega, kaetav sagedusastmik 160 kHz ... 60 MHz. Ehituse lihtsuse huvides häälestatakse antenni ja ostsillaatori võnkering eraldi, vahesagedusvõimendajas kasutatakse 1600 kHz k.-s. raudsüdamikega poole, mille induktiivsus on südamiku reguleerimisega muudetav. Samuti kasutatakse k.-s. raudsüdamikuga pooli ka tuikesagedus-ostsillaatoris, milles sageduse reguleerimine toimub 100 pF trimmeri abil. Erilist sidestust detektori ja tuikesagedus-ostsillaatori vahel pole tarvis, kuna lambi 6N7 sisemine väljade sidestus on selleks küllaldane. Kondensaatoritega C_1 ja C_4 seatakse vajalik sagedusriba, kondensaatoriga C_5 toimub sagedusriba laotamine, kuid üldiseks sagedusastmiku katmiseks tuleb kasutada kondensaatoreid C_1 ja C_4 koos. Alljärgnevas tabelis on toodud vahetatavate poolide ligikaudsed andmed, mida tuleb vastuvõtja individuaalsel väljaehitamisel täpsustada, sest poolide alused ja üldised mõõted võivad muutuda.

Jrk. nr.	Sagedusribad	Poolide induktiivsus või keerdude arvud ja traadi läbimõõt mm					C_p	Poolialuse läbimõõt mm
		L_1	L_2	L_3	L_4	Haruühend poolil L_4		
1	165 . . . 360 kHz	1 mH	8 mH	12—0,5	65—0,6	—	300 pF	Ristmähis 6 mm alusel
2	400 . . . 1500 kHz	1 mH	2,5 mH	12—0,5	65—0,6	—	300 pF	
3	1,6 . . . 3,2 MHz	10—0,5	56—0,6	11—0,5	42—0,8	—	75 pF	38
4	3,0 . . . 5,7 MHz	8—0,5	32—1,0	9—0,5	27—1,0	—	100 pF	38
5	5,4 . . . 10,0 MHz	8—0,5	18—1,0	9—0,5	22—1,0	12	2000 pF	38
6	9,5 . . . 18,0 MHz	8—0,5	10—1,0	3,5—0,5	12—1,0	6	400 pF	38
7	15,0 . . . 30,0 MHz	4—0,5	6—1,0	2,5—0,5	6—1,0	2,5	400 pF	38
8	30,0 . . . 60,0 MHz	3—0,5	3—1,0	1—0,5	3,5—1,0	1	300 pF	25

Poolide primaar- ja sekundaarmähised on keritud kõrvuti ja ühesuunaliselt, välja arvatud pool L_4—8, milles primaarmähis L_3—8 on mähitud sekundaarmähise keerdude vahele. Kuigi vastuvõtja anoodi toiteks on ette nähtud 250-voldine pinge, saavutatakse täisväärtuslikke tulemusi juba 90 voldiga, mille juures anoodvoolu tarvitus on umbes 15 mA.

Vahesagedustrafod valmistatakse ristmähistena raudsüdamikuga alustele; mähiste induktiivsus 50 pF püsiva keraamilise või vilgukivi-dielektrikuga kondensaatoriga võrdub 160 μH. Tuikesagedus-ostsillaatori pooli induktiivsus on 100 μH. Nii v.-s. trafod kui ka tuikesagedus-ostsillaatori komplekt on paigutatud metallist varjestustopsidesse.

Vastuvõtja monteeritakse metallist esiplaadiga šassiile. Monteerimisel tuleb hoolitseda lühikeste ühendusjuhtmete ja osade otstarbeka paigutuse eest. Vastuvõtja on mõeldud kuulamiseks peatelefonidega; valjuhääldajaga vastuvõtuks tuleb täiendavalt takistussidestuses m.-s. võimendusaste juurde lülitada lambiga 6F6.



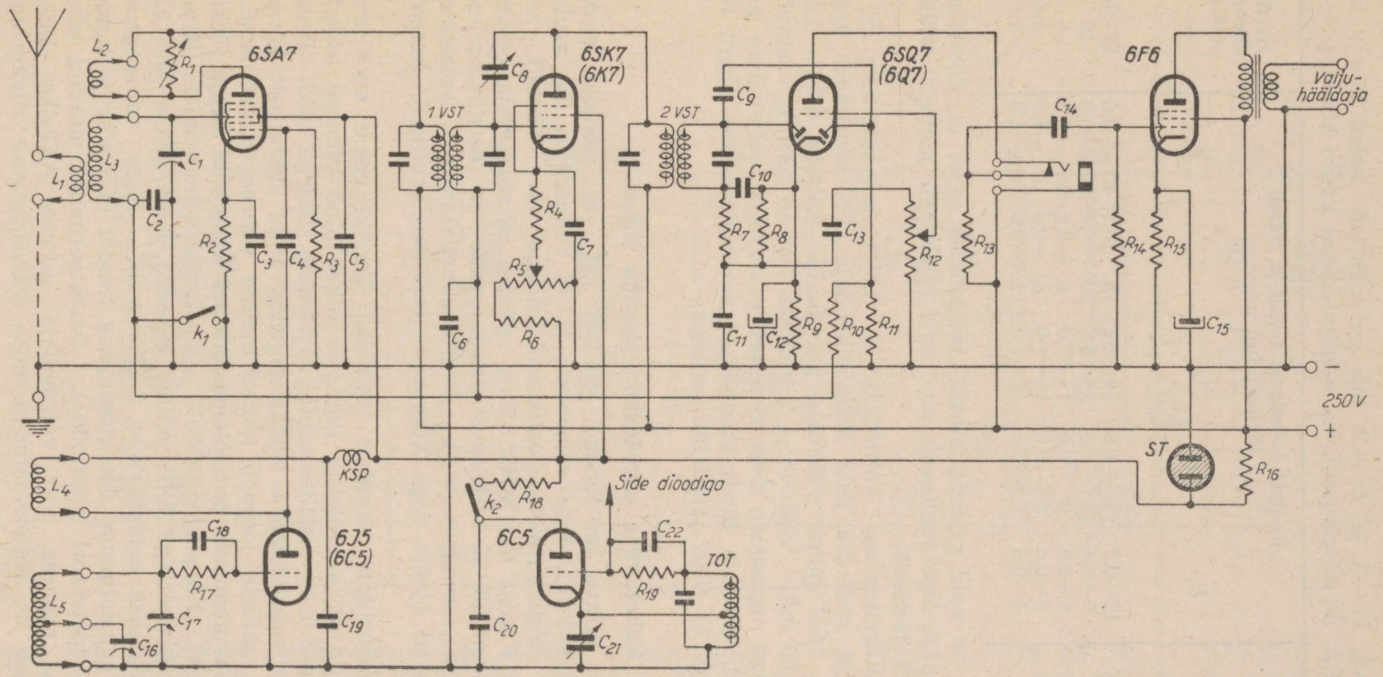
Joon. 232. Kolmelambilise supervastuvõtja lülitus. Lülituselemendid: C_1, C_4 = = 140 pF, C_2 = 5000 pF; C_3 = 200 pF, C_5 = 35 pF, C_6 = 0,01 μF, C_7, C_{11} = 2000 pF, C_8 = 1000 pF, C_9 = 5 μF, C_{10} = 100 pF, C_p — lühendus-kondensaator; R_1, R_4 = = 250 Ω, R_2, R_5, R_6 = 0,05 MΩ, R_3, R_7 = 0,1 MΩ; KSP — 15 mH; 1 VST ja 2 VST — v.-s. trafod 1600 kHz, TOT — tuikesagedus-ostsillaatori trafo komplekt 1600 kHz; K — tuikesagedus-ostsillaatori katkesti; L_1 L_2 — antenni trafo, L_3 L_4 — ostsillatori trafo.

14. Regeneratiiv-supervastuvõtja.

Vastuvõtja olulisemaks erinevuseks on regenereerimise kasutamine muundus- ja v.-s. võimendusastmetes, mis oskuslikes kätes kindlustab kõrge selektiivsuse, suure tundlikkuse ja stabiilsuse väga lihtsate vahenditega. Vaatamata madalale kasutatavale vahesagedusele, 460 kHz, on peegelsuhe k.-s. regenereerimise tõttu väga hea. Samuti on kõrge vastuvõtja üldine selektiivsus, mis ulatub painduva v.-s. regenereerimise tõttu ainusignaalse vastuvõtuni. Regenereerimist reguleeritakse k.-s. osas reostaadi R_1 abil, v.-s. osas potentsiomeetri R_8 abil, kusjuures tagasiside kondensaator C_8 on seatud parajale regenereerimislävele. Stabiilsuse tagamiseks toidetakse mõlemaid ostsillaatoreid ja muundus- ning v.-s. võimendaja lampide varivõresid stabiliseeritud pingega; pinge stabiliseerimiseks kasutatakse stabilisaatorlampi (ST-280, VR-105).

Vastuvõtja ehitamisel on kehtivad üldised põhinõuded. Eriti vastutavaks osaks on poolikomplektide valmistamine, mis vajab väga head sobitamist ja reguleerimist, et oleks võimalik tagasisidet rakendada maksimaalselt. 38 mm alusele mähitud vahetatavate poolide andmed on antud tabelis.

Kõik poolide mähised on keritud vajalike pistikutega varustatud keraamilistele või bakeliidist poolialustele ühesuunaliselt, mähise materjaliks on emailtraat. K.-s. poolid koosnevad kolmest mähisest L_1, L_2, L_3, millest L_1 ja L_3 on mähitud kõrvuti, kuna L_2 asub poolialuse sees, on mähitud keerd keeru kõrvale, läbimõõduga 20 mm, ja kaetud bakeliitlakiga. Poolikomplektis nr. 5 asetseb L_2 pooli L_3 keerdude vahel. Samuti on kõrvuti ostsillaatori poolide mähised L_4 ja L_5. Vahekaugus L_1 ja L_3 ning L_4 ja L_5 vahel on 8 mm. Mähised L_3 ja L_5 on keritud selliselt, et nende üldine pikkus võrduks 25 mm, välja ar-



Joon. 233. Regeneratiiv-supervastuvõtja lülitus. Osad: C_1, C_4, $C_{17} = 50$ pF, C_2, $C_{19} = 5000$ pF, C_3, C_5, $C_7 = 0{,}1$ µF, C_6, C_{13}, C_{14}, $C_{20} = 0{,}01$ µF, $C_8 = 3 \ldots 30$ pF, C_9, C_{11}, C_{18}, $C_{22} = 100$ pF, $C_{10} = 250$ pF, C_{12}, $C_{15} = 25$ µF, $C_{16} = 35$ pF, $C_{21} = 25$ pF; $R_1 = 0{,}01$ MΩ, $R_2 = 200$ Ω, $R_3 = 0{,}02$ MΩ, $R_4 = 300$ Ω, $R_5 = 0{,}025$ MΩ, $R_6 = 0{,}075$ MΩ, R_7, R_{17}, R_{18}, $R_{19} = 0{,}05$ MΩ, $R_8 = 0{,}2$ MΩ, $R_9 = 2000$ Ω, $R_{10} = 1$ MΩ, R_{11}, $R_{12} = 2$ MΩ, $R_{13} = 0{,}1$ MΩ, $R_{14} = 0{,}5$ MΩ, $R_{15} = 450$ Ω, $R_{16} = 5000$ Ω (10 vatti); L_1, L_2, L_3 — sisendpoolide komplekt, L_4, L_5 — ostsillaatori poolide komplekt, 1 VST ja 2 VST — v.-s. trafod 460 kHz sagedusel; TOT — tuikeostsillaatori pool 460 kHz sagedusel; K_1, K_2 — lülitid; ST — 105 ... 140 V pingestabilisaator.

vatud mähised L_3-1, L_5-1 ja L_3-2, mis on mähitud keerd keeru kõrvale. Mähised L_1 ja L_4 on kõigis poolides mähitud keerd keeru kõrvale.

Jrk. nr.	Sagedusribad	Poolide keerdude arvud ja traadi läbimõõdud mm					Haruühend poolist L_5
		L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	
1	1,75 MHz	15—0,5	15 —0,6	70—0,5	15 —0,5	42 —0,6	Ei ole
2	3,5 MHz	9—0,6	12 —0,6	35—0,6	10 —0,6	25 —0,6	18
3	7,0 MHz	5—0,6	9 —0,6	18—1,0	6 —0,6	14 —1,0	6
4	14,0 MHz	5—0,6	7 —0,6	10—1,0	4 —0,6	7 —1,0	2,4
5	28,0 MHz	4—0,6	1,5—0,6	4—1,0	2,4—0,6	3,6—1,0	1,4

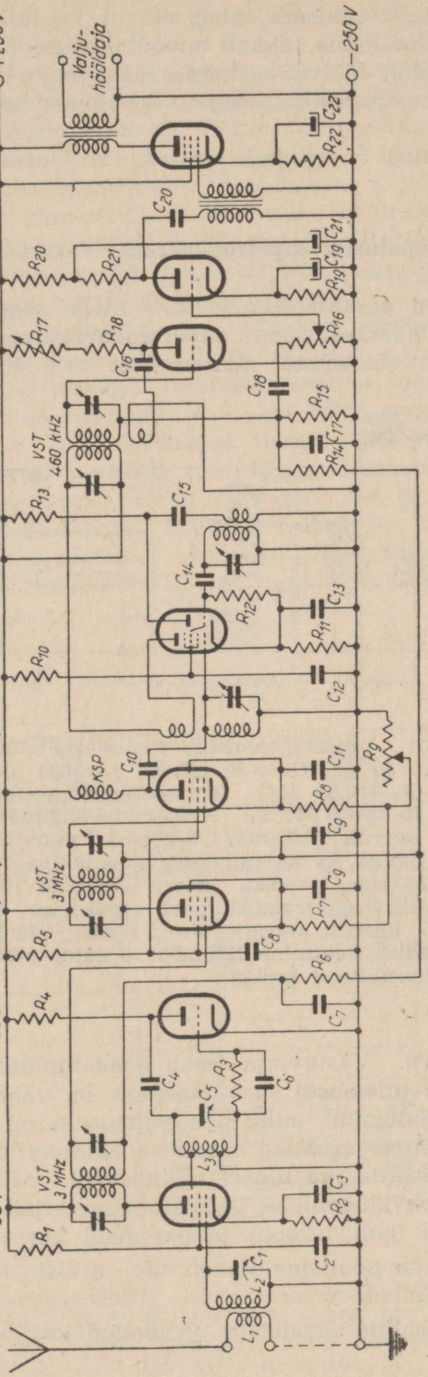
Toodud andmed on vaid põhimõttelised; arvestades seda, et poolialuste mõõted võivad kohapeal õige tunduvalt muutuda, tuleb neil juhtudel mähiste suurused täpsustada katseliselt.

Vastuvõtja voolutarvitus on: kütteks 6,3 V, 2,2 A, anoodtoiteks 250 V, 80 mA. Tarbe korral võib ära jätta lõppvõimendaja 6F6, sooritades vastuvõttu peatelefonides. Sel puhul väheneb voolukulu: kütteks 6,3 V, 1,5 A, anoodtoiteks 250 V, 40 mA. Vastuvõtja toitmiseks kõlbab harilik vastuvõtja toiteseade. Juhul, kui tagasiside rakendamisel vastuvõtja väljundisse kandub võrgumüra, tuleb alaldaja filtrit täiendavalt suurendada kas ainult lisafiiterkondensaatori või *LC*-filtri juurdelülitamisega.

15. Kahekordse sagedusmuundusega super.

Vastuvõtja, mille lülitus on toodud joonisel 234, on mõeldud eeskätt ülikõrgsageduste vastuvõtuks, kuid samahästi on ta rakendatav ka madalamatele sagedustele. Vahetatavate poolikomplektidega on võimalik katta sagedusastmik alates 4 kuni 120 MHz. Kuid selleks, et vastuvõtja eeskujulikult töötaks sagedustel üle 30 MHz, peab kõrgsagedus- ja ostsillaatori-osas kasutatavate poolialuste, lambipesade ja häälestuskondensaatorite isolatsiooni- ja dielektriline materjal olema väga kõrgekvaliteediline (trolituul, keraamilised ained).

Kuna ülikõrgsageduslikus astmikus tavalised lambid enam soovitavaid tagajärgi ei anna, siis on käesolevas lülituses rakendatud esimese sagedusmuundajana ja esimese k.-s. ostsillaatorina tõrulambid 954 ja 955. Peegelsageduste vältimiseks muundatakse signaalisagedus algul suhteliselt kõrgeks (3 MHz) sageduseks, millele järgneb kaheastmeline vahesagedusvõimendaja. Suure tundlikkuse saavutamiseks on mõlemas astmes kasutatud kõrge tõusuga varivõrepentoode 6AB7. Kõrgsageduslikule vahesagedusvõimendajale järgneb teine sagedusmuundaja lambiga 6K8, milles sagedus muudetakse 460 kHz-liseks. Sel teel tõstetakse selektiivsust märgatavalt. Teise vahesageduse võnkeringid läbinud signaalipinge detekteeritakse trioodi 6C5 võre ja katoodi vahelises ringis dioodetektori põhimõttel. Detekteerimisel saadud alalispinget rakendatakse esimese v.-s. võimendaja astmete ATR-iks. Detektor 6C5 toimib ühtlasi ka regeneraatorina teise vahesageduse võnkeringide



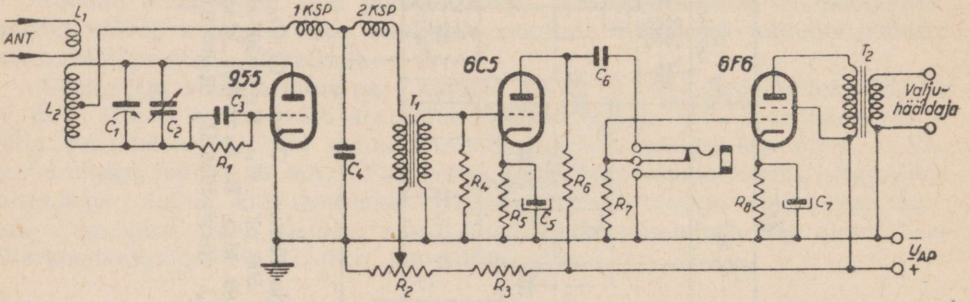
Joon. 234. Kahekordse sagedusmuundusega supervastuvõtja lülitus. Osad: $C_1, C_4, C_6 = 50$ pF, $C_2, C_3, C_7, C_8, C_9, C_{11}, C_{12}, C_{13}, C_{18}, C_{20} = 0{,}05$ μF, $C_{10}, C_{14} = 100$ pF, $C_{15}, C_{16}, C_{17} = 500$ pF, $C_{19}, C_{22} = 20$ μF; $C_{21} = 4$ μF; R_1, $R_2 = 3000$ Ω, $R_3 = 0{,}025$ MΩ, $R_4, R_{18} = 0{,}1$ MΩ, $R_5 = 0{,}03$ MΩ, $R_6, R_9 = 0{,}01$ MΩ, R_7, $R_{17} = 0{,}25$ MΩ, $R_8 = 400$ Ω, $R_{10}, R_{12}, R_{13}, R_{21} = 0{,}05$ MΩ, $R_{11} = 250$ Ω, $R_{14}, R_{15}, R_{16} = 0{,}5$ MΩ, $R_{19} = 1000$ Ω, $R_{20} = 0{,}02$ MΩ, $R_{22} = 500$ Ω.

selektiivsuse ja tundlikkuse tõstmiseks, ning samuti ka tuikesageduse ostsillaatorina. Tagasiside reguleerimine toimub anoodtakistuse R_{17} väärtuse muutmisega. Detekteeritud voolud läbivad esimese m.-s. astme trioodiga 6C5 ja sealt juhitakse nad takistus-trafosidestusega lõppvõimendusastmesse, milles on kasutatud 6F6.

Lülituselementide andmed on toodud joonise 234 juures olevas loetelus.

16. Ülikõrgsageduslik superregeneratiiv-vastuvõtja.

Vastuvõtja on mõeldud eeskätt 112 ja 224 MHz sagedusribade vastuvõtuks. Ta koosneb endakatkestusega superregeneratiivdetektorist, milles kasutatakse tõrutrioodi 955 või muud miniatuurset trioodi, ja kahest m.-s.



Joon. 235. Ülikõrgsagedusliku superregeneratiiv-vastuvõtja lülitus. Lülituselemendid: $C_1 = 5$ pF, $C_2 = 3 \ldots 30$ pF, $C_3 = 50$ pF, $C_4 = 3000$ pF, C_5, $C_7 = 25$ μF, $C_6 = 0{,}01$ μF; $R_1 = 10$ MΩ, $R_2 = 0{,}05$ MΩ (traatpotentsiomeeter); R_3, R_4, R_6, $R_7 = 0{,}1$ MΩ, $R_5 = 2500$ Ω, $R_8 = 500$ Ω, T_1 — astmetevaheline pingevõimendustrafo $\ddot{u} = 1{:}3$; 1 KSP — 25 keerdu 0,5 mm 2-kordse puuvillkattega traadist, mähitud ümmarguse pliiatsi ümber ja kaetud isolatsioonlakiga; 2 KSP = 8 mH; L_1 — 1 keerd 1,6 mm emailkattega traadist, keeru läbimõõt 10 mm; L_2 — 112 MHz — 3 keerdu 1 mm emailkattega traadist, pooli seesmine läbimõõt 12 mm, pikkus 6 mm, haruühend 1¼ keerult anoodipoolsest otsast; 224 MHz — 2 keerdu 1 mm emailkattega traadist, seesmine läbimõõt 6 mm, pikkus 15 mm, haruühend keskelt.

võimendusastmest 6C5 ja 6F6. Vastuvõtja omab head tundlikkust ja on väga lihtne ehitada. Kuid heade tulemuste saavutamiseks on väga oluline lülituselementide otstarbekas paigutamine, mille peatingimuseks on lühikesed ühendusjuhtmed. Sääraste ülikõrgsageduslike seadmete monteerimisel tuleb ühendusjuhtmete traadistamisel säästa iga liigset millimeetrit. Mitte sugugi vähemat tähtsust ei oma kõrgekvaliteedilise isolatsioonimaterjali valik: otstarbekaks tuleb pidada trolituuli (polüstürooli) ja paremaid keraamilisi materjale.

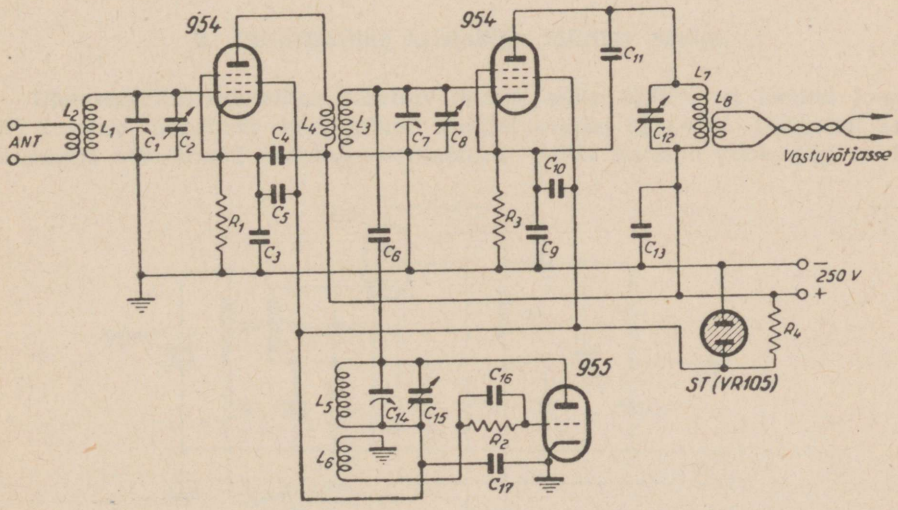
Antennina tuleb kasutada poollaine-dipooli või erilisi transmissioonliini kaudu sidestatud suundseadmeid.

Lülitus koos lülituselementide andmetega on toodud joonisel 235 ja joonise juures olevas loetelus.

17. Sageduskonverterid.

Kui omatakse head kõrgsageduslikku amatöör- või ringhäälingu vastuvõtjat, pole tingimata tarvilik erilise ülikõrgsagedusliku vastuvõtja valmistamine, eriti sagedustel alla 50 MHz. Neil puhkudel laheneb ülikõrgsageduslike saadete vastuvõtt ülikõrgsagedusliku konverteriga, mis liidetuna olemasoleva supervastuvõtjaga moodustab kahekordse sagedusmuundusega superi. Säärase konverteri väljund tuleb häälestada kas 5 või 10 MHz, viimane on sobivam sageduste vastuvõtul üle 50 MHz. Samale sagedusele tuleb loomulikult häälestada ka normaalsuperi sisendringid, mida pärast väljahäälestamist enam ei tohi paigast liigutada.

Joonisel 236 on toodud üks sääraseid ülikõrgsageduslikke konvertereid, milles on kasutatud tõrulampe või nendega sarnaseid muid ülikõrgsageduslikke lampe. Üksikasjaline lülituselementide loetelu on toodud lülituse juures. Konverter on mõeldud 50 ... 144 MHz sagedusriba katmiseks, väljundsagedusega, s. o. vahesagedusena toimiva pea-vastuvõtja signaalisagedusega 10 MHz. Konverter koosneb k.-s. võimendusastmest tõru-varivõrepentoodiga 954, sagedusmuundajast samuti lambiga 954 ja ostsillaatorist tõrutrioodiga 955. Kogu sagedusastmik kaetakse üksikute poolikomplektidena. Allpool on toodud poolide andmeid sagedusribadele 144 MHz ja 50 MHz, kusjuures poolialuste läbimõõduks on 19 mm, poolialused on valmistatud trolituulist.



Joon. 236. Ülikõrgsageduslik sageduskonverter. Lülituselemendid: $C_1, C_7 = 5$ pF, $C_2, C_8 = 3 \ldots 30$ pF, $C_3, C_4, C_5, C_9, C_{10}, C_{17} = 500$ pF, C_6 — juhtmetevaheline mahtuvus, $C_{11} = 50$ pF, $C_{12}, C_{15} = 25$ pF, $C_{13} = 2000$ pF, $C_{14} = 8$ pF, $C_{16} = 100$ pF; $R_1 = 1200\ \Omega$, $R_2 = 0{,}05$ MΩ, $R_3 = 0{,}01$ MΩ, $R_4 = 6000\ \Omega$ (10 vatti).

Sagedus-riba	Poolide keerdude arvud ja traatide läbimõõdud mm					
	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6
144 MHz	1 1/8—1,0	1 1/8—0,5	1 1/8—1,0	1 7/8—0,5	1/2—1,0	1 —0,5
50 MHz	4 5/8—1,0	2 7/8—0,5	4 1/2—1,0	2 7/8—0,5	3 5/8—1,0	2 7/8—0,5

Väljumistrafo primaarmähis L_7 koosneb 18 keerust 0,7 mm emailkattega traadist, keerd keeru kõrvale mähitud, poolialus 16 mm, sekundaarmähis koosneb primaarmähisega ühele ning samale alusele kõrvuti mähitud 8 keerust 0,7 mm emailkattega traadist.

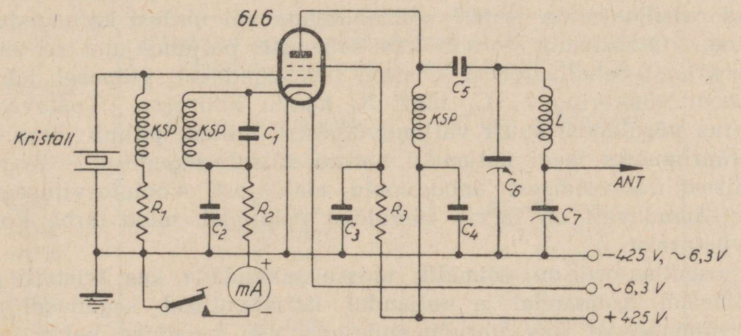
L. SAATJA EHITUS.

1. Saatja plaanimine.

Amatöörsaatja plaanimine oleneb järgmistest peamistest asjaoludest: olemasolevatest vooluallikatest, kasutatavast võimsusest, tööliigist ja kaetavaist sagedusribadest. Harilikult toimub saatja väljaehitamine järk-järgult. Algul valmistatakse lihtsaim, väikese võimsusega üheastmeline kristalliga tüüritav saatja paaril sagedusribal töötamiseks, mida hiljem täiendatakse võimendusastmete ja modulaatori juurdeehitamisega. Kuigi lihtsa saatja tööulatus soodsalt kokkusattunud tingimustes võib olla piiramatu, siiski on viimisteldud saatjaga võimalik saavutada palju kindlamaid tulemusi. Seejuures ei tarvitse viimistluse all sugugi mõelda saatja suurt võimsust, vaid pigem saatja töö stabiilsust ning lampide, lülituselementide ja antenni seadme optimaalsetes tingimustes töösse rakendamist. Tuleb ühtlasi meenutada, et suurema võimsusega saatja viimisteldud olukorda viimine on tunduvalt raskem kui väikese võimsusega saatja puhul. Halvasti väljareguleeritud saatjaga töötamine tähendab asjatut ruumi koormamist ja seega üldist töötamisvõimaluste kärpimist. Seepärast on iga saatja omaniku — amatööri aukohuseks pidada oma jaam eeskujulikult töökorras ja tehniliselt aja kõrgusel.

2. Üheastmeline kristalliga tüüritav saatja.

Üheastmeline kristalliga tüüritav saatja, mille lülitus on toodud joonisel 237, kujutab lihtsaimat, kuid küllalt kindlat saatjat algajale. Lülituselt kujutab saatja võre-anood—kristall-ostsillaatorit, milles katoodi võnkering on hää-



Joon. 237. Üheastmelise kristalliga tüüritava saatja lülitus. Lülituselemendid: $C_1 = 100$ pF (vilgukivi), C_2, C_3, $C_4 = 0{,}01$ μF (paber), $C_5 = 1000$ pF (vilgukivi), C_6, $C_7 = 250$ pF (pöördkondensaatorid); $R_1 = 7500$ Ω (0,5 W), $R_2 = 200$ Ω (2 W), $R_3 = 0{,}015$ MΩ (2 W); KSP = 2,5 mH, L — poolid (andmed tekstis), mA — 100 mA mõõteriist.

lestatud kristallisagedusest tunduvalt madalamale sagedusele. Võre-eelpinge saab ostsillaator peamiselt katoodtakistuse R_2 kaudu. Alalispinge kõrvaldamiseks toidetakse anoodringi rööbitiselt. Anoodring koosneb vahetatavast poolist L ja temaga järjestikusest kahest pöördkondensaatorist C_5 ja C_7. Kondensaatorite C_6 ja C_7 abil toimub anoodi võnkeringi häälestamine ja ühtlasi häälestamata antenni transmissioonliini toitmine, kusjuures liini pikkus on vabalt valitav.

Ostsillaatorlambiks on valitud 6L6, kuid samahästi kõlbavad ka 6F6, 6V6 jt. võimsuspentoodid, kuigi nad on väiksema väljundvõimsusega. 6L6 võib toita maksimaalselt kuni 450-voldise anoodpingega, samal ajal jääb varivõrepinge 250 voldile.

Vastavalt sagedusribadele kujunevad pooli L andmed 40 mm poolialuse juures järgmisteks: 1,75 MHz sagedusribal 62 keerdu, 0,6 mm kahekordse siidisolatsiooniga traat, keerd keeru kõrvale mähitud, 7,0 MHz sagedusribal 15 keerdu, 0,8 mm emailtraat, mähise pikkus 40 mm.

Saatja töötab ainult kristallisagedusel; sagedusriba vahetamisel tuleb koos pooliga vahetada ka kristall.

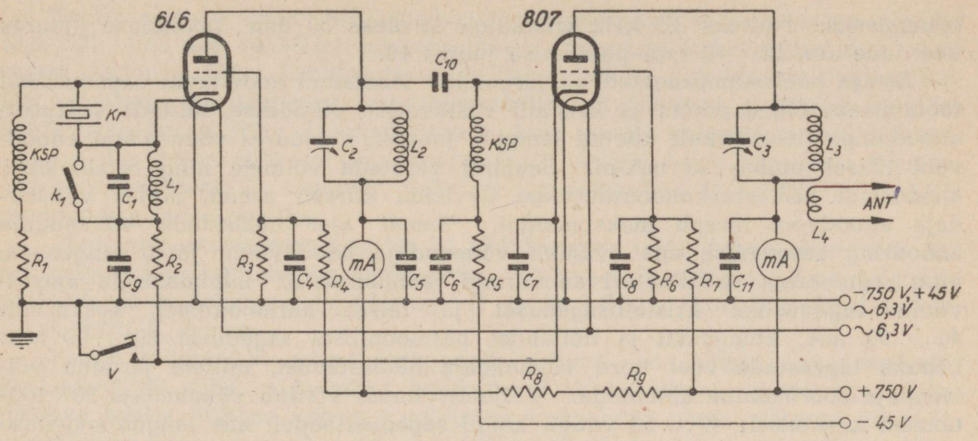
Saatja häälestamine sooritatakse kondensaatorite C_6 ja C_7 abil, kusjuures jälgitakse anoodvoolu muutumist milliampermeetrilt. Häälestamisel tuleb C_6, C_7 mahtuvust muuta seni, kui saadakse järsk anoodvoolu langus, mis ilma antennita olukorras kujuneb keskmiselt 85 milliamprilt 40 mA-ni. Antenni külgelülitamisel tuleb C_6, C_7 mahtuvusi vastastikku muuta, hoides võnkeringi kogu aeg häälestatult, s. o. säilitades minimaalset anoodvoolu seni, kui voolu langeväärtus tõuseb umbes 70 mA-ni. Sel puhul antenni väljuv võimsus võrdub umbes 15...20 vatiga.

Saatja väljaehitus ei esita mingeid raskusi, lihtsaimaks ehitusviisiks on monteerida saatja horisontaalsele metallšassiile või isegi puust lauale.

3. Kaheastmeline kristalliga tüüritav saatja.

Kaheastmelises saatjas, mille lülitus on toodud joonisel 238, on 6L6 rakendatud ostsillaatorina ja 807 võimendajana või ühtlasi ka sageduse kahekordistajana. Ostsillaator toimib kas sageduse paljundajana tri-tet-lülituses või lihtsa kristall-ostsillaatorina kristalli põhisagedusel, viimasel juhul lülitatakse katoodi võnkering L_1 C_1 lüliti K_1 kaudu lühisesse. Teatavasti annab trit-tet-lülitus võrdlemisi suurt väljundvõimsust, millest jätkub järgneva lambi 807 väljatüürimiseks isegi neljandal harmoonilisel sagedusel. Kogu seadis toitub ühisest 750-voldisest anoodvoolu alaldajast, voolutarvitusega umbes 250 mA. Täiendavalt on tarvis 45-voldist eelpinget, mida tarbe korral võib võtta kuivpatareist.

Kuna ostsillaatorit on võimalik töösse rakendada kas kristalli põhisagedusel või teisel, kolmandal ja neljandal harmoonilisel sagedusel ja samuti kasutada võimendajat kas lihtvõimendajana või sageduse kahekordistajana, siis tekib rida kombinatsioone — erinevate poolikomplektidega ja erinevate kristallidega saavutada väljundvõimsust ühel ning samal sagedusel. Parema kasuteguri saamiseks tuleb eelistada võimendaja töösse rakendamist otsevõimendajana ning sageduste paljundamist teostada ostsillaatoris. Sellisel teel



Joon. 238. Kaheastmelise kristalliga tüüritava saatja lülitus. Osad: $C_1 = 100$ pF (vilgukivi), $C_2, C_3 = 150$ pF (pöördkondensaatorid), C_4 kuni $C_9 = 0{,}01\ \mu$F (600 V paber), $C_{10} = 20$ pF (vilgukivi), $C_{11} = 0{,}01\ \mu$F (1000 V paber); $R_1 = 0{,}02$ M Ω (1 W), $R_2 = 200$ Ω (2 W), $R_3 = 0{,}01$ M Ω (25 W), $R_4 = 3500$ Ω (25 W), $R_5 = 0{,}025$ M Ω (2 W), $R_6, R_7 = 0{,}015$ M Ω (25 W), $R_8, R_9 = 1250$ Ω (50 W), KSP = 2,5 mH, K_1 — lüliti, V — võti, mõõteriistad — 100 mA.

on võimalik 3,5 MHz kristalliga saavutada väljundvõimsusi 7 ja 14 MHz ning 7 MHz kristalliga 7, 14, 21, 28 MHz sagedusribadel. Kui rakendada võimendusaste töösse sageduse kahekordistajana, siis on võimalik 3,5 MHz kristalliga, kuigi väiksema kasuteguriga, saavutada väljundvõimsusi täiendavalt veel 21 ja 28 MHz sagedusribadel.

Standardsete poolialuste puudumise tõttu on võimatu anda poolide ehituslikke andmeid täpselt, poolide keerdude arvud tuleb täpsustada vastavalt kohalikele tingimustele. Orienteerivalt võib poolide valmistamisel kasutada järgmisi andmeid:

Sagedusriba	Vajalikud pooli keerdude arvud 150 pF kondensaatoriga katmiseks ja mähiste pikkus mm		Traadi jämedus mm
	30 mm poolialusel	40 mm poolialusel	
1,75 MHz	59—45 mm	48—50 mm	0,6 . . . 0,7
3,5 MHz	30—40 mm	24—40 mm	0,7 . . . 1,0
7 MHz	15—32 mm	15—40 mm	1,0 . . . 1,5
14 MHz	9—32 mm	8—40 mm	1,5 . . . 2,5
21 MHz	6—30 mm	6—40 mm	2,0 . . . 3,0
28 MHz	4—30 mm	4—40 mm	3,0 . . . 5,0

Tri-tet-lülituse juures häälestatakse ostsillaatori katoodi võnkering kristallisagedusest märgatavalt kõrgemale. Seepärast L_1 keerdude arv tuleb võtta keskmiselt 2,5 korda väiksem, kui see oleks tarvilik kristallisagedusele hää-

lestamiseks. Näiteks 3,5 kHz kristalliga L_1 oleks 30 mm poolialuse juures keerdude arv 12, 40 mm poolialuse juures 10.

Saatja häälestamismeetod on järgmine. Asetanud soovitaval sagedusribal töötamiseks õiged poolid ja kristalli vastavaisse pesadesse, lülitada saatjasse anoodpinge (loomulikult köetud lampide juures), kusjuures võimendaja anoodvool tõuseb umbes 25 mA-ni. Seejärel vajutada võtmele ning ostsillaatori anoodringi häälestuskondensaatoriga C_2 leida kiiresti asend, milles võimendaja anoodvool tõuseb maksimumini. Samal ajal häälestada võimendaja anoodring resonantsi, mis avaldub võimendaja anoodvoolu järsu langusena, ning reguleerida ostsillaatori anoodringi kondensaator minimaalsele anoodvoolu tugevusele: kristallisagedusel ja teisel harmoonilisel keskmiselt 40 ... 50 mA, kolmandal ja neljandal harmoonilisel sagedusel 80 ... 90 mA. Lõpuks täpsustada veel kord võimendaja häälestamist, millele järgneb võimendaja koormamine antenniga. Väljundvõimsus võrdub võimendaja 807 töötamisel keskmiselt 40 ... 55 vatiga kõigil sagedusribadel, mis langeb sageduse kahekordistamisel 21 ja 28 MHz sagedusribadel vastavalt 22 ... 18 vatile. Vajaduse kohaselt võib 807 asendada mõne teise varivõrepentoodiga, näiteks RL 12 P 35.

4. 100 ... 300-vatise väljundvõimsusega telefonisaatja.

Joonistel 239, 240, 241 ja 242 on toodud viimistletud telefonisaatja lülitus, mis arendab normaalselt 100-vatist väljundvõimsust, kuid anoodi toitepingete tõstmisel (lõppastmes 2000 voldile ja eelnevas astmes 800 voldile) suureneb väljundvõimsus 300 vatile.

Saatja tervikkomplekt koosneb: peasaatjast (joon. 239), muudetava sagedusega juhtsaatjast (joon. 240), modulaatorist (joon. 241) ja modulaatori eelvõimendajast (joon. 242). Lisaks neile komplektidele kuuluvad saatja juurde veel võrgu toiteseadis, mis varustab kõiki komplekte kütte-, anoodi- ja eelpinge võimsustega, ning releede süsteem, millega kindlustatakse toitepingete sisselülitamine õiges järjekorras ja ühtlasi üleminek telegraafitöölt (A_1) telefonitööle (A_3), jaama käivitamine ning seismapanek. Kogu jaama juhtimine toimub juhtpuldilt vastavate releede käivitamisega.

Peasaatja koosneb neljast astmest: kristalliga tüüritavast tri-tet-sageduspaljundajast võimsuspentoodiga 6L6, järgnevast sageduse kahekordistajast samuti võimsuspentoodiga 6L6, otsevõimendajast — ergutusastmest varivõrepentoodiga RL 12 P 35 ja lõpp-otsevõimendajast, neutraliseeritud trioodiga 100 TL.

Tri-tet-sageduspaljundaja toimib harilikult koos 3,5 MHz kristalliga, kusjuures kasutatakse ta väljundvõimsust teisel harmoonilisel sagedusel, s. o. 7 MHz sagedusribal. Madalamatel sagedusribadel töötamiseks lülitatakse lüliti K_2 abil ostsillaatori katoodi võnkering L_1 C_1 lühisesse, mispuhul ta toimib tavalise kristall-ostsillaatorina ning väljundis areneb võimsus kristallisagedusel. Peale selle on võimalik sama ostsillaatorit töösse rakendada tavalise võimendajana, lühistades lüliti K_2 abil katoodi võnkering ja ümber lülides lüliti K_1 abil kristalliergutuselt (asend A) muudetava sagedusega juhtsaatja ergutusele (asend B).

Saatja esimese astme põhisageduslik või harmoonilise sagedusega väljund (3,5, 7, 10,5 või 14 MHz) juhitakse teise sageduse kahekordistajasse astmesse, lambiga 6L6. Kahekordistajana rakendamise vajadus on tingitud sellest, et lampi 6L6 teatavasti otsevõimendajana ei saa võre ja anoodi vahelise suure mahtuvuse tõttu kasutada teisiti kui ainult neutraliseeritud võimendajana, mis teeks lülituse liiga keerukaks. Ühtlasi tuleb sageduse ülemineku poolikomplekti L_2 vastavalt vahetada (sagedusribad 10,5 MHz ja 14 MHz muudetakse ühise pooliga).

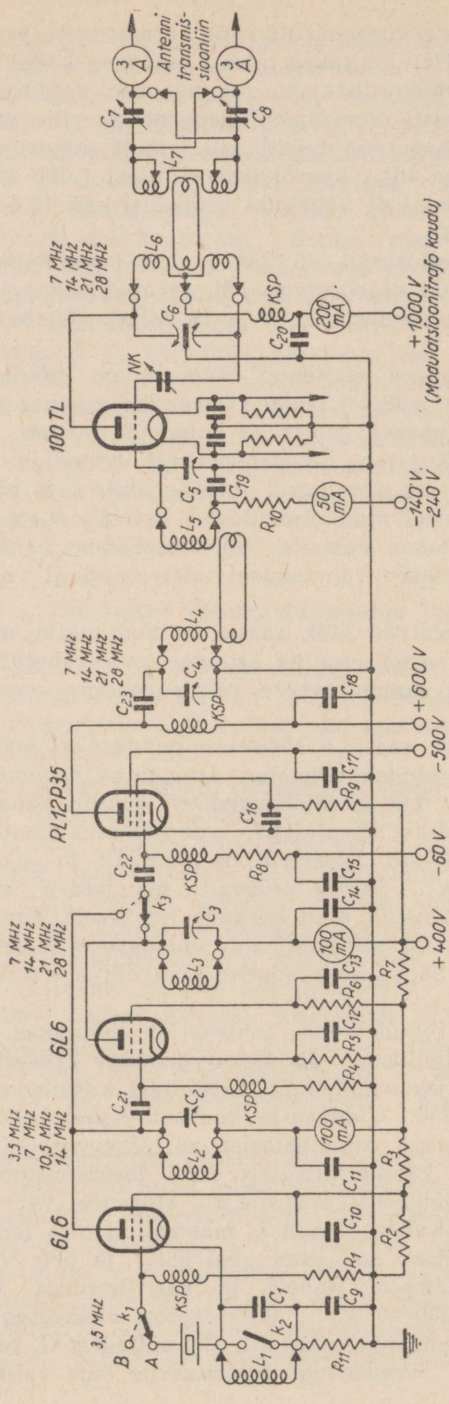
Järgnevat otsevõimendusastet RL 12 P 35 saab toita kahel viisil: kas teises astmes kahekordistatud sagedustega või vahetult esimese astme väljundis paljundatud madalamate sagedustega (7 ja 14 MHz). Ümberlülitamist teostatakse lüliti K_3 kaudu.

Saatja kolmandas astmes arenenud võimsus on kõigis sagedusribades keskmiselt 40 vatti, mida võiks kasutada otsekohe antenni toitmiseks. Vaadeldava saatja lülituse kohaselt juhitakse kolmanda astme väljund lõppvõimendusastmesse, mis kujutab neutraliseeritud trioodiga otsevõimendajat. Astmetevaheline sidestus on sooritatud lüliside abil, sest paigutuse kohaselt on astmed teineteisest eemal ning otsesidestus osutuks ebaotstarbekaks. Lõppvõimendaja väljund juhitakse vastava häälestusseadme kaudu antenni transmissioonliini. Sagedusastmike vahetamisel tuleb muidugi vastavalt muuta ka võnkeringide poolid.

Telegraafitöö ajal toimivad kõik saatja astmed (välja arvatud teine aste sel juhul, kui kolmandat astet ergutab esimene aste vahetult), tastimist teostatakse kolmanda astme summutusvõre eelpingestamise meetodil 400 ... 500 voldiga.

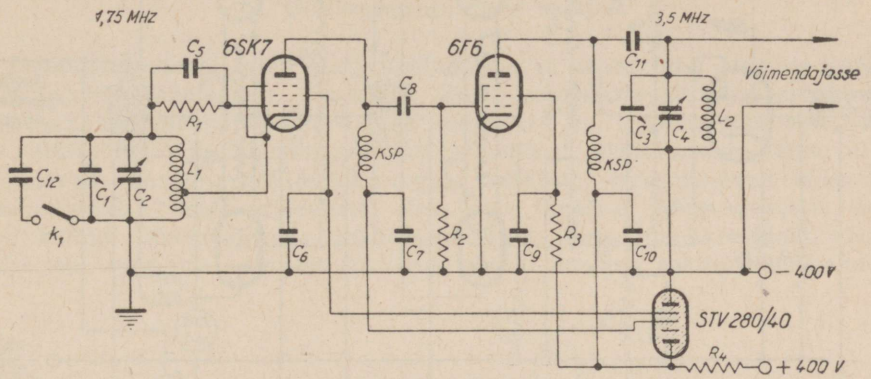
Kristalliga tüüritavate saatjate tõsiseks puuduseks on see, et puudub saatesageduse pideva muutmise võimalus ettenähtud sagedusribas, mis osutub tarvilikuks eriti siis, kui kristallisagedusel juhtub ruumis asuma mingi muu häiriv saatja. Seepärast kasutatakse moodsamates amatöörsaatjates kristalli asemel erilist, ettenähtud sagedusribas pidevalt muudetava sagedusega juhtsaatjat. Sellise pidevalt muudetava sagedusega juhtsaatja rakendamisega lihtsustub ning kiireneb tunduvalt kaugühenduste pidamine, kuna avaneb võimalus siirduda oma sagedusega täpselt korrespondeeriva saatja sagedusele. Sageduse seadmise kontrolliks kasutatakse sel puhul oma vastuvõtjat.

Sääraselt pidevalt muudetavalt juhtsaatjalt nõutakse eelkõige kõrget sageduse püsivust, s. o. stabiilsust, mis oleks võrreldav kristallisageduse stabiilsusega. Vaadeldavas saatjas vaheldumisi kristalliga kasutatava juhtsaatja lülitus on toodud joonisel 240. Juhtsaatja koosneb kahest astmest: 1,75 MHz toimivast elektronsidestusega ostsillaatorist varivõrepentoodiga 6SK7 ja sellele järgnevast sageduse kahekordistajast 6F6. Elektronsidestuses lülitus on tuntud stabiilseima ostsillaatorina, eriti siis, kui sidestuse väärtus on nõrk, s. o. kui katoodi haruühendus on võetud pooli L_1 maandatud otsa lähedalt. Peale selle saavutatakse kõrge sageduse stabiilsus veel 6SK7 ja 6F6 vahelise häälestamata sidestusega ning lampide anood- ja varivõrepinge stabiliseerimisega neoonstabilisaatori STV 280/40 abil. Ostsillaatori võnkering koosneb poolist L_1 ja kahest rööbitisest kondensaatorist C_1, C_2, milledest C_1 toimib ribalaotusehäälestuskondensaatorina. Võnkeringi parameetrite õige valikuga on võimalik



Joon. 239. Neljaastmelise 100 . . 300-vatise saatja lülitus. Lülituselemendid: C_1 kuni $C_5 = 100$ pF, $C_6 = 2 \times 50$ pF, C_7, $C_8 = 200$ pF, C_9 kuni $C_{23} = 0{,}01$ µF, NK — neutrodüünkondensaator 10 pF; R_1, R_4, R_8, $R_{10} = 0{,}05$ MΩ, $R_2 = 0{,}02$ MΩ, $R_3 = 3000$ Ω, R_5, $R_{11} = 350$ Ω, R_6, $R_9 = 0{,}01$ MΩ, $R_7 = 2700$ Ω (10 W).

saavutada seda, et kondensaatori C_1 terve skaala katab parajasti kõigi harmooniliste sagedusribade sagedused. Säärane täpne dimensioneerimine on tingimata tarvilik, et mitte sattuda töötama väljapoole määratud sagedusastmikke. Loomulikult tuleb ribalaotuse kondensaatori skaala gradueerida täpselt õigetele sagedustele, mis väldib edaspidi igasuguse sageduste väärkäsitsuse. Korrespondeeriva jaama vastuvõtuajaks lülitatakse lülitiga K_1 ostsillaatori võnkeringile rööbiti kondensaator C_{12}, millega ostsillaatori sagedus



Joon. 240. Muudetava sagedusega juhtsaatja lülitus. Lülituselementide suurused: $R_1, R_2, R_3 = 0{,}1$ MΩ, $R_4 = 4000$ Ω, $C_1, C_3 = 35$ pF, $C_2, C_4 = 500$ pF, $C_5, C_8, C_{11}, C_{12} = 100$ pF, $C_6, C_7, C_9, C_{10} = 0{,}01$ μF. K_1 — lüliti.

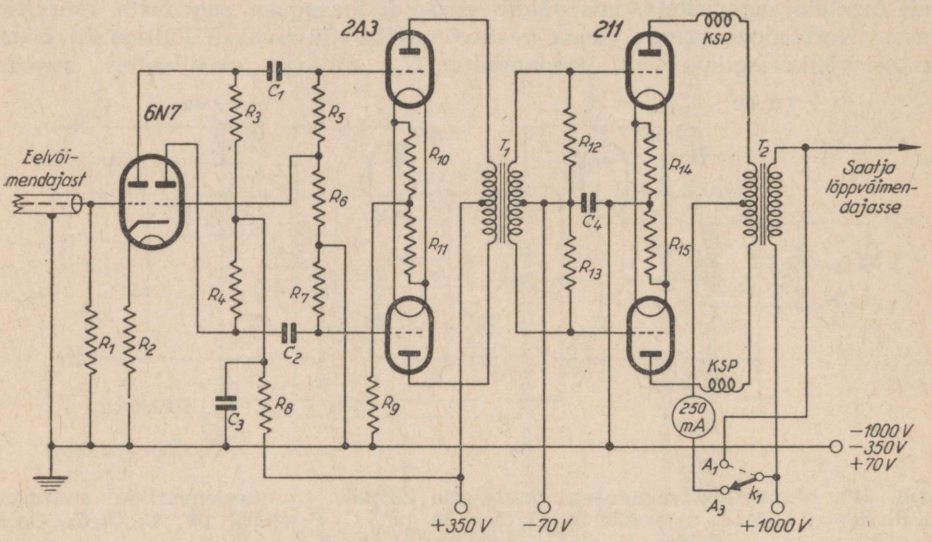
viiakse välja õigest häälestussagedusest ning saatja katkestab saatmise. Juhtsaatja väljundring, mida on võimalik asetada ostsillaatori võnkeringiga ühisele võllile, koosneb samuti poolist L_2 ja kahest rööbiti lülitatud kondensaatorist C_3, C_4. Kahekordse sagedusega, s. o. 3,5 MHz riba väljund juhitakse kristalli asendajana peasaatjasse.

Saatja juures kasutatav modulaator, mille lülitus on toodud joonisel 241, koosneb kolmest astmest: pingevõimendajast-faasimuundajast kahekordse trioodiga 6N7, vastastakt-ergutusastmest trioodidega 2A3 ja B-klassi võimendajast trioodidega 211. Modulaator suudab anda kuni 150 vatti väljundvõimsust, millest jätkub saatja 200-vatise kandevlaine 100%-liseks anoodmoduleerimiseks.

Lüliti K_1 abil, mida käivitab relee, toimub saatja üleminek telegraafisaatelt (A_1) telefonisaatele (A_3). Telegraafisaatele üleminekul lülitatakse välja B-klassi modulaatorlampide anoodvool ning ühtlasi pannakse lühisesse modulatsioonitrafo sekundaarmähis, mille tagajärjel tastimisel muutuv anoodvool ühelt poolt ei saa kahjustada trafot, teiselt poolt ei saa moonutada telegraafisignaale.

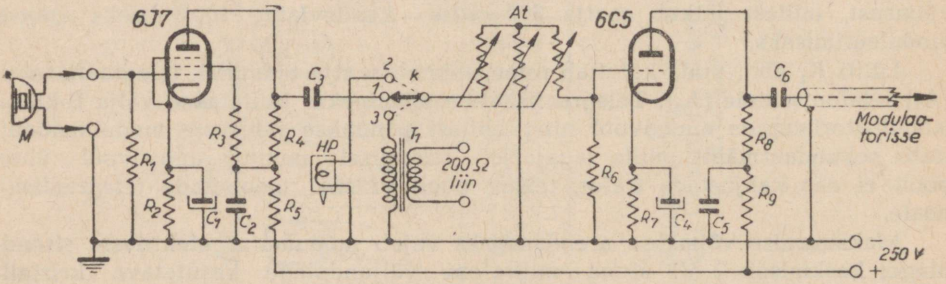
Maksimaalse võimsuse arendamiseks vajab modulaator efektiivset sisendpinget keskmiselt 2 V. Kuna mikrofoni väljundpinge kasutatava kristallmikrofoni puhul küünib ainult üksikuisse millivoltidesse, siis osutub modulaatoris vältimatuks eelvõimendaja lülitamine, milline lülitus on toodud joonisel 242. Modulaatori eelvõimendaja koosneb vaadeldaval juhul kahest võimendusastmest: mikrofoni sisendastmest varivõrelambiga 6J7 ja väljundast-

mest trioodiga 6C5. Astmete vahele on lülitatud tugevuse regulaator-atenuaator (*At*) ja ümberlüliti K_1, millega on võimalik modulaatori sisendiks soovi kohaselt valida: 1) mikrofoni võimendatud väljundit, 2) grammofoni helipea



Joon. 241. Modulaatori lülitus. Lülituselementide suurused: $R_1 = 0{,}5$ MΩ, $R_2 = 1500\,\Omega$, R_3, $R_4 = 0{,}1$ MΩ, R_5, $R_7 = 0{,}25$ MΩ, R_6, R_{12}, $R_{13} = 0{,}01$ MΩ, $R_8 = 0{,}02$ MΩ, $R_9 = 780\,\Omega$, R_{10}, R_{11}, R_{14}, $R_{15} = 25\,\Omega$, C_1, $C_2 = 0{,}1\,\mu$F, $C_3 = 2\,\mu$F, $C_4 = 4\,\mu$F, KSP — 15 keerdu, 0,6 traat, 8 mm alusel, T_1 — B-klassi ergutustrafo, T_2 — modulatsioonitrafo.

väljundit või 3) välise 200-oomise liini väljundit. Kõik kolm sisendit on sobitatud 0,1-megaoomisele koormustakistusele. Eelvõimendajas võimendatud väljund juhitakse varjestatud kaabli kaudu modulaatorisse.



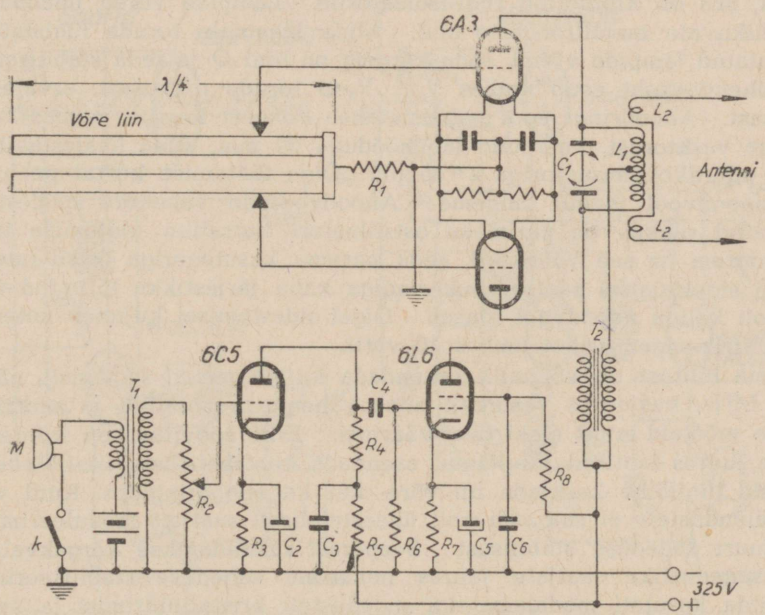
Joon. 242. Modulaatori eelvõimendaja lülitus. Lülituselementide suurused: R_1, $R_3 = 1$ MΩ, $R_2 = 1100\,\Omega$, $R_4 = 0{,}25$ MΩ, R_5, $R_8 = 0{,}05$ MΩ, $R_6 = 0{,}1$ MΩ, $R_7 = 2000\,\Omega$, $R_9 = 0{,}01$ MΩ; C_1, $C_4 = 25\,\mu$F, $C_2 = 2\,\mu$F, C_3, $C_6 = 0{,}1\,\mu$F, $C_5 = 4\,\mu$F, At — atenuaator, T_1 — liinitrafo.

Käsiteldud saatja suudab anda praktiliselt kõik võimalused, mis on tarvilikud kvaliteetseks amatöörtööks [1].

Kirjeldusest on välja jäetud saatja poolide andmed, kuna need kasutatavail amatöör-sagedusribadel on üldiselt sarnased, erinedes vaid kasutatavate poolialuste mõõdete poolest.

5. Ülikõrgsageduslikud saatjad.

Ülikõrgsagedustel tuleb saatja ehitamisele ja osade ning lampide valikule pöörata erilist tähelepanu. Sageduse tõustes moodustavad isegi mõne sentimeetri pikkused ühendusjuhtmed juba märgatava osa töölaine pikkusest. Lampide elktroodide ja ühendusjuhtmete vahelised mahtuvused mitte ainult vähendavad kasutatavate võnkeringide headust, vaid panevad üldse piiri töösagedusele. Nende erinevuste tõttu pole tavaline kõrgsageduslik saatja enam kõlblik rakendamiseks ülikõrgsagedustel lihtsa poolikomplekti vahetamise teel, vaid tuleb tõsiselt soovitada täiesti omaette saatja valmistamist.



Joon. 243. 56 MHz ülikõrgsagedusliku moduleeritud saatja lülitus. Üksikosad: $R_1 = 0{,}02$ MΩ, $R_2, R_6 = 0{,}5$ MΩ, $R_3 = 3500$ Ω, $R_4 = 0{,}1$ MΩ, $R_5 = 0{,}02$ MΩ, $R_7 = 350$ Ω, $R_8 = 0{,}025$ MΩ; $C_1 = 2 \times 75$ pF, $C_2, C_5 = 25$ μF, $C_3 = 4$ μF, $C_4 = 0{,}5$ μF, $C_6 = 0{,}5$ μF, L_1 — 3 keerdu 5 cm läbimõõduga 3 mm vasktorust, L_2 — kumbki 1 keerd 5 cm läbimõõduga 3 mm vasktorust; võreliin — kaks 120 cm pikkust vask- või alumiiniumtoru läbimõõduga 10 ... 20 mm, torude vahekaugus samuti vastavalt 10 ... 20 mm.

[1] Eesti NSV AAVÜ Raadioklubi saatja, kutsungiga UR2KAA, on ehitatud käesoleva kirjelduse järgi.

Tavalisi kõrgsagedustel kasutatavaid lampe saab veel rakendada sagedustel kuni 300 MHz, veelgi kõrgemail sagedusil tuleb nad asendada tõru- ja majaklampidega. Sagedustel üle 1000 MHz tulevad küsimusse ainult magnetronid ja klüstronid.

Joonisel 243 on toodud lihtsaima üheastmelise ülikõrgsagedusliku moduleeritud saatja lülitus, milles ostsillaatorina on kasutatud kahte 6A3 taolist võimsustrioodi vastastakt-lülituses. Moduleerimisel tekkiva kandevlaine sageduse kõikumise vähendamiseks on saatja võrering valmistatud veerandlainepikkusest liinilõigust. Anoodringi moodustab tavaline võnkering. Saatjas kasutatakse anoodmoduleerimist; modulaator koosneb eelvõimendaja astmest lambiga 6C5 ja sellele järgnevast jugatetroodist 6L6. Süsimikrofoni kasutamisel arendab modulaator 6,5 vatti väljundvõimsust, millega on võimalik 100%-liselt moduleerida saatjat sisendvõimsusega 13 vatti. Kuid arvestades täielikul moduleerimisel tekkivat tõsist saatja sageduse ebastabiilsust, on saatja sisendvõimsus ligikaudu 24 vatti, mille juures modulatsiooni protsent on tublisti madalam.

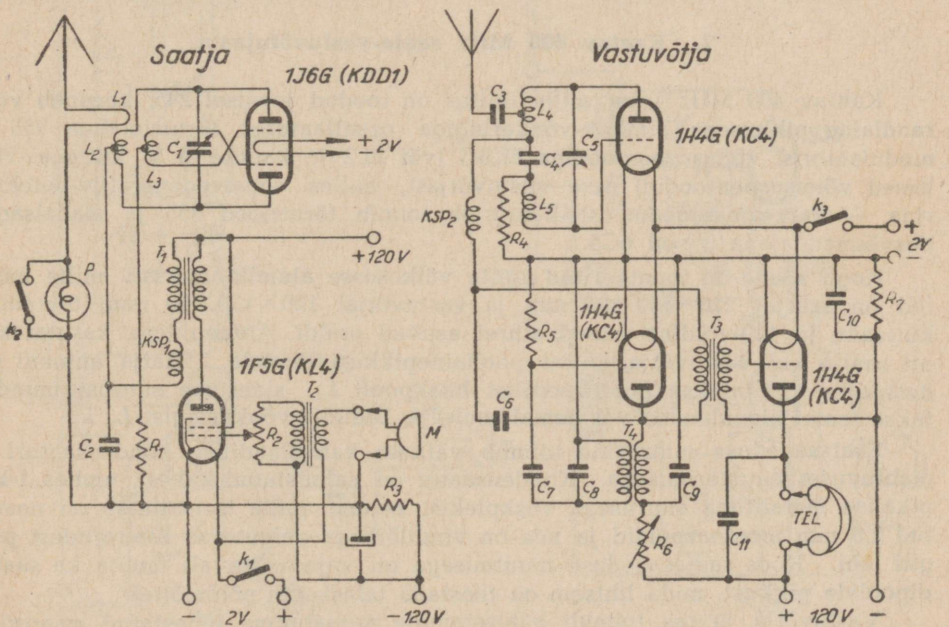
Konstruktiivselt 56 MHz sagedusel töötamiseks valmistatakse võreliin kahest 10 ... 20 mm rööbitisest vask- või alumiiniumtorust, pikkusega umbes 120 cm, mis on kinnitatud tugi-isolaatorile. Lampide võred ühendatakse torudel liikuvate metallrõngaste abil. Mida lähemale torude lühistatud otsale on nihutatud lampide võred, seda kõrgem on liini Q ja seda stabiilsem on töö; paras ühenduskoht asub umbes $^1/_4 \ldots {}^1/_3$-ul torude pikkusest, arvates lühistatud otsast. Anoodringi pool valmistatakse kolmest keerust umbes 3 mm läbimõõduga vasktorust, keerdude läbimõõduga 50 mm, mida häälestatakse kahekordse pöördkondensaatoriga 2×75 pF. Õige töötamise korral peab häälestamisel anoodvool järsult langema. Anoodvoolude vahekord häälestamata ja häälestatud olekus on parimaks ostsillaatori korraliku töötamise tunnuseks: mida suurem on see vahekord, seda parema kasuteguriga ostsillaator töötab. Antenni sidestamisel saatja võnkeringiga kahe järjestikku lülitatud ühekeerulise pooli kaudu anoodvool tõuseb. Õigel sidestamisel kujuneb antenni võimsus 56 MHz sagedusribal umbes 10 vatti.

Sama lülitust on võimalik rakendada ka kõrgemail sagedusil, näiteks 112 ja 224 MHz, kusjuures vastavalt tuleb vähendada võreliini ja anoodringi elementide mõõteid ning elektrilisi väärtusi. Eriti soovitav on kõrgemate sageduste juures lahtised liinilõigud asendada kontsentriliste liinilõikudega ning sääraseid liinilõike kasutada nii võre- kui ka anoodringides. Kuid vaatamata neile täiendustele ei saa sääraselt üheastmeliselt saatjalt moduleerimisel loota väga suurt sageduse stabiilsust. Seepärast rakendatakse kõrgekvaliteediliste ülikõrgsageduslike saatjate juures neidsamu sageduse stabiliseerimise võtteid, mida kasutati madalamatelgi sagedustel: kristalltüürimist ja sageduspaljundamist. Loomulikult kujuneb säärane saatja paljuastmeliseks ja ehituselt keerukaks.

6. Kantav 60 MHz saate-vastuvõtujaam.

Kantav saate-vastuvõtujaam, mille lülitus on toodud joonisel 244, kujutab kompaktset, kerget, patareidest toituvat seadist, mille tööulatus soodsates, avara vaatekaugusega tingimustes ulatub kümnetesse kilomeetritesse. Saatja koosneb ostsillaatorist ja modulaatorist. Ostsillaatoris on kasutusel kahe-

kordne triood (1J6G, KDD1 jt.) vastastakt-lülituses induktiivse tagasisidega. Pool L_2 on valmistatud vasktorust, mille sees olev pool L_3 on L_2 isoleeritud keraamiliste helmetaoliste isolaatoritega; pooli L_2 häälestamine toimub 10 ... 15 pF ühe plaatidepaariga kondensaatoriga C_1. Võnkeringis $L_2 C_1$ genereeruv k.-s. võimsus kantakse üle antenni kolmveerand-keerulise sidestuspooliga L_1. Antenn valmistatakse kahest teleskoobi-taoliselt üksteise sisse käivast 3 ... 6 mm vask- või messingtorust veerandlainelise üldpikkusega. Antenni häälestamine toimub antenni üldpikkuse muutmisega; häälestamise indikaatoriks antenni ja üldise „maanduse" vahel, mida moodustavad seadme metallšassii, toitejuhtmed ja patareid, kasutatakse väikest taskulambipirni P, mis antenni õigel häälestamisel hõõgub maksimaalse heledusega. Antenni häälestamise lõppedes lülitatakse lambipirn lüliti K_2 abil lühisesse, vähendades seega lambipirnis kahjulikke soojuskadusid. Ostsillaator moduleeritakse anoodmodulatsiooni menetlusel võimsuspentoodiga (1F5G, KL4 jt.), mille võreringi on lülitatud trafo kaudu mikrofon M.



Joon. 244. Kantava 60 MHz saatja-vastuvõtja lülitus. Osad: $C_1 = 10 \ldots 15$ pF, $C_2, C_4 = 100$ pF, $C_3 = 50$ pF, $C_5 = 25$ pF, $C_6, C_7 = 500$ pF, $C_8 = 2000$ pF, $C_9 = 0{,}1\ \mu$F, $C_{10} = 0{,}5\ \mu$F, $C_{11} = 1000$ pF; $R_1 = 5000\ \Omega$, $R_2 = 0{,}5$ MΩ, $R_3 = 100\ \Omega$, $R_4 = 1$ MΩ, $R_5, R_6 = 0{,}05$ MΩ, $R_7 = 250\ \Omega$, L_1 — ¾ keerdu 5 cm läbimõõduga 5 mm vasktorust, L_2 — 2 keerdu haruühendiga keskelt, 5 cm läbimõõduga 5 mm vasktorust, L_3 — 2 keerdu 5 cm läbimõõduga 1 mm juhtmest (kas L_2 toru sees või L_2 keerdude vahel), L_4, L_5 — kõrvuti asuvad mähised kumbki 4 keerdu 1,5 mm traadist, mähiste läbimõõt 15 mm; T_1 — modulatsioonitrafo, T_2 — mikrofonitrafo, T_3 — lampidevaheline pingetrafo, T_4 — katkestussageduse ostsillaatori trafo (110 kHz vahesageduse trafo mähised); KSP_1 — 60 keerdu, KSP_2 — 100 keerdu 0,3 mm 2-kordse siidisolatsiooniga traadist 10 mm alusele mähitud.

Vastuvõtja koosneb kolmest lambist: superregeneratiiv-detektorist ultraaudion-lülituses, katkestussagedus-generaatorist ja madalsagedusvõimendajast; igaühes neist kasutatakse tavalist otseküttega trioodi (1H4G, KC4 jt.). Katkestussagedus-ostsillaator häälestub trafo T_4 sekundaarmähise induktiivsusega ja kondensaatoriga C_8 ning toimib sagedusel 20 . . . 50 kHz; ostsilleerumise režiim reguleeritakse takistuse R_6 abil. Detekteeritud pinged rakendatakse läbi lampidevahelise pingevõimenduse trafo T_3 lõppvõimendajasse, mille anoodringi on lülitatud peatelefonid. Vastuvõtjas kasutatakse kas eraldi veerandlainepikkust varrasantenni või saatjaga ühist antenni.

Lampide küte ja mikrofoni toide saadakse kantavast väikese mahutavusega 2-voldisest akupatareist, lampide anoodtoide — 120-voldisest kuivpatareist. Lampidele vajalik eelpinge saadakse anoodpatarei miinusjuhtmesse lülitatud takistuste R_3 ja R_7 klemmidel areneva pingelanguga. Üleminek saatelt vastuvõtule sooritatakse ümberlüliti K_1—K_3 abil, millega küttetoide lülitatakse vaheldumisi saatjasse ja vastuvõtjasse.

7. Kantav 400 MHz saate-vastuvõtujaam.

Kantav 400 MHz jaam, mille lülitus on toodud joonisel 245, koosneb veerandlaine pikkusega liinilõik-võnkeringiga ostsillaatorist tõrutrioodiga 955 ja modulaatorist võimsuspentoodiga 6K6G (või EL2 jt. kaudse 6 V küttega väikesed võimsuspentoodid) ning vastuvõtjast, milles superregeneratiiv-detektorina — katkestussagedus-ostsillaatorina toimib tõrutriood 955 ja madalsagedusvõimendajana triood 6C5.

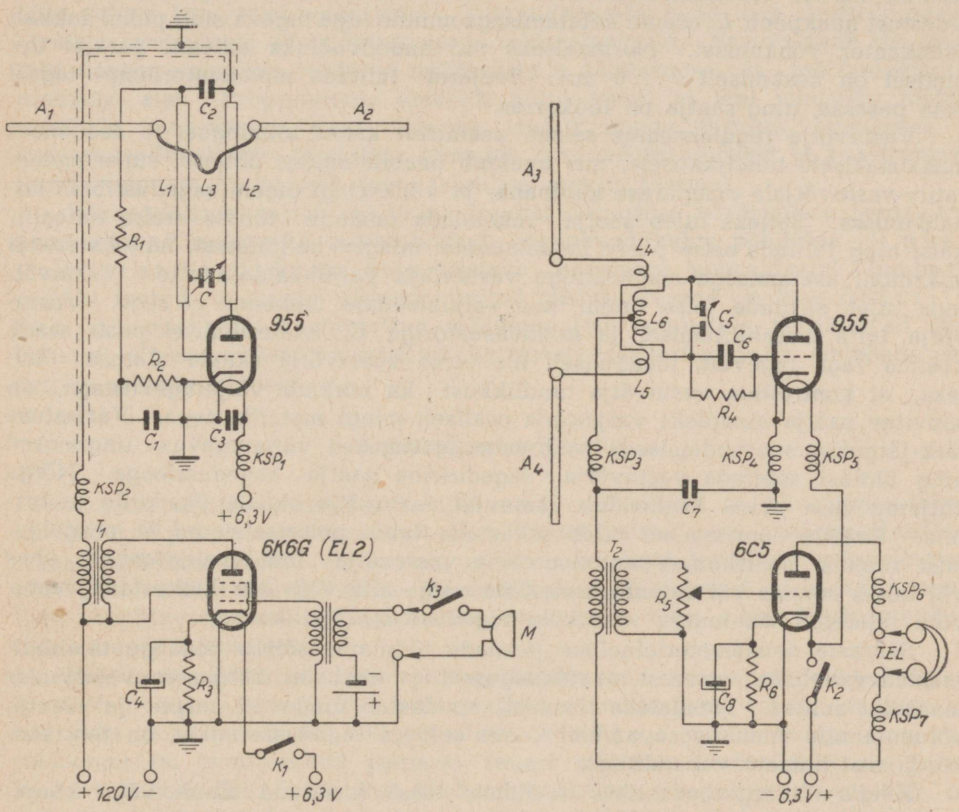
Kogu seade on monteeritud kahte väikesesse alumiiniumkasti, mille mõõted on saatjal 220×150×95 mm ja vastuvõtjal 150×130×60 mm; 6-voldine kütteaku ja 120-voldine anoodpatarei asuvad eraldi. Antennidena kasutatakse nii saatja kui vastuvõtja juures poollainepikkusi dipoole. Saatja antenni sidestuseks kasutatakse poolekeerulist haakpooli L_3, sidestuse suurust muudetakse tema lähendamise või eemaldamisega liinilõik-võnkeringist L_1 L_2.

Saatesageduse muutmine toimub väikese kaheplaadilise kondensaatori C mahtuvuse reguleerimisega. Kondensaator on valmistatud kahest, umbes 1-kopikalise metallraha suurusega vaskplekist kettast, mille tsentritesse on needitud 2,5 mm montaažpoldid ja mis on vindilõikega paigutatud liinitorudest põigiti läbi. Koos saatesageduse muutmisega on vaja vastavalt muuta ka saatedipoolide pikkust, mida lihtsam on teostada teleskoobi põhimõttel.

Vastuvõtja juures toimub häälestamine miniatuurse lõhestatud staatoriga kondensaatori C_5 abil, mis koosneb kahest kõrvuti asetsevast 15×25 mm vaskplaadist ja liikuvast 10 mm läbimõõduga poolkettast. Pooli L_6 induktiivsus tuleb kooskõlastada C_5 mahtuvusega nii, et vastuvõtja oma sagedusribaga kataks täielikult saatja sagedusriba. Selleks tuleb vajaduse korral muuta 1 keeru võrra pooli L_6 keerde, väiksemaid induktiivsuse muudatusi saab teostada pooli pikkuse muutmisega, s. o. venitamisega või kokkuvajutamisega. Nii pool L_6 kui ka sidestuspoolid L_4 L_5 on ilma aluseta vabalt õhus; poolide otsad kinnitatakse kondensaatori C_5 montaažplaadile. Vastuvõtja juures pole dipoolide A_3 A_4 pikkused nii kriitilised kui saatja juures: keskmisele saate-

sagedusele väljareguleerituna kujuneb vastuvõtu tundlikkus ühtlaseks kogu saatesageduste ribas.

Säärase seadme koostamisel omab esmajärgulist tähtsust üksikosade otstarbekas ja kompaktne monteerimisviis. Kriitiliselt käituvad kõrgsageduspaispoolid KSP, mis on valmistatud 0,8 mm läbimõõduga 2-kordse puuvill-isolatsiooniga traadist ja koosnevad 10 mm alusele keerd keeru kõrvale mähitud 15 keerust. Pärast kerimist tuleb paispoolid katta kõrgsageduslakiga (näiteks trolituul lahustatuna amüülatsetaadis või bensoolis) ja pärast kuivamist monteerida lülitusse.



Joon. 245. Kantava 400 MHz saate-vastuvõtujaama lülitus. Osad: $C_1 = 0{,}01\ \mu F$, C_2 $C_7 = 100$ pF, $C_3, C_6 = 50$ pF, C_4, $C_8 = 25\ \mu F$, $C_5 = 5$ pF, $C = 3$ pF; $R_1 = 5000\ \Omega$, $R_2 = 500\ \Omega$, $R_3 = 650\ \Omega$, $R_4 = 5$ MΩ, $R_5 = 0{,}5$ MΩ, $R_6 = 1000\ \Omega$; KSP — 15 keerdu 0,8 mm 2-kordse puuvill-isolatsiooniga traadist, pooli läbimõõt 10 mm, keerd keeru kõrvale mähitud ja lakitud, L_1, L_2 — vasktorud, läbimõõt 16 mm, pikkus 125 mm, torude vahekaugus 11 mm; L_3 — ½ keerdu 1,5 mm emailisolatsiooniga või haljastraadist; L_4, L_5 — à 1 keerd 0,8 mm haljastraadist, pooli läbimõõt 6 mm; L_6 — 5 keerdu 0,8 mm haljastraadist, pooli läbimõõt on 6 mm; A_1, A_2 — antenni dipool 4 mm läbimõõduga vasktorust, à 121 mm pikk; A_3, A_4 — antenni dipool 4 mm läbimõõduga vasktorust, à 152 mm pikk; T_1 — modulatsioonitrafo, T_2 — lampidevaheline pingevõimendustrafo.

Saatja töösse seadmiseks ja reguleerimiseks tuleb modulaatorlamp välja võtta ja anoodvoolu juhtmesse lülitada 10 mA voolumõõtja. Esialgsed proovimised sooritada ilma antennita. Kui ostsillaator töötab õigesti, muutub anoodvoolu tugevus võnkeringi käega puudutamisel, mis näitab, et võnkumine lakkab. Reguleerimise ülesandeks on saavutada võimalikult kontrastset voolumuutust lambi ostsilleerivas ja ostsilleerimata seisukorras kogu sagedusastmiku ulatuses. Kui ostsillaator on optimaalsetesse tingimustesse seatud, tuleb lülitada külge antenniharud. Seejuures peab ostsilleerimine jätkuma ning anoodvool ühtlasi tõusma. Harude pikkuse reguleerimisega tuleb antenn häälestada täpselt resonantssagedusele. Tõenäoliselt osutub vajalikuks antenni sidestust haakpooli L_3 asendi sobitamisega muuta: liiga tugeva side puhul lakkab ostsillaator võnkumast. Normaalseks 955 anoodvooluks antenni parajal toitumisel on keskmiselt 7...8 mA. Seejärel lülitada modulaatorlamp tagasi oma pesasse, ning saatja on töökorras.

Vastuvõtja reguleerimine seisab peamiselt kahes toimingus: ta seadmises maksimaalsele tundlikkusele, mis avaldub peatelefonides ühtlase, superregeneratiiv-vastuvõtjale omapärase kahinana, ja võnkeringi õigele sagedusribale kohaldamises. Selleks tuleb saatja rakendada omaette töösse eraldi toiteallikaist ning lülitada sisse püsiv modulatsioon mingist heliallikast, näiteks saatja mikrofoni asetamisega ringhäälingu vastuvõtja valjuhääldaja ette. Vastuvõtjaga tuleb siirduda teise ruumi, kus valjuhääldaja ülekanne ei sega. Vastuvõtja toite sisselülitamisel ja kondensaatoriga C_5 häälestamisel peab saade kostma väga tugevalt, tõenäoliselt üle terve vastuvõtja skaala ulatuse. Selleks, et kontrollida vastuvõtja tundlikkust ka nõrkade väljatugevustega, on soovitav saatja komplekt varjestada osaliselt mingi metallkattega. Varjestuse järk-järgulise suurendamisega saab luua igasugused väljatugevuse tingimused ning ühtlasi sobitada vastuvõtja sagedusriba saatja sagedusribaga. Nõrga väljatugevuse puhul keskendub vastuvõtt vastuvõtja skaala üksikuile jaotustele. Katsete sooritamisel tuleb arvestada laine polarisatsiooni ja peegeldumist ruumis: paarikümne-sentimeetriline vastuvõtja ümberpaigutamine ühes või teises suunas või antenni asetamine nurga alla võib kas katkestada vastuvõtu täielikult või muuta vastuvõtu tugevuse eeskujulikuks.

Sääraste detsimeeterlaineliste jaamade tööulatus sõltub peaaegu täielikult jaamadevahelisest otsesest vaatekaugusest ja asukoha kõrgusest vahepealse maastiku suhtes. Tööulatuse tõstmist soodustab tunduvalt saate- ja vastuvõtuantennile suunalisuse andmine, mis sellises sagedusastmikus on teostatav võrdlemisi lihtsate vahenditega.

Kõigis ülikõrgsageduslikes seadmeis tuleb kasutada ainult väga kõrgeväärtuslikku isolatsioonimaterjali võnkeringide elementides, võnkeringide kinnituskohtades ja kõikjal, kus rakendatakse ülikõrgsageduslikke pingeid. Tuleb arvestada seda, et harilikel kõrgsagedustel veel rahuldavalt toimivad isolatsioonimaterjalid (nagu pertinaks, tekstoliit, eboniit jms.) oma sagedusega tõusva kaoteguri (tg δ) tõttu neil sagedusil pole enam kõlblikud kasutamiseks. Seepärast tulevad isolatsioonimaterjalidena küsimusse trolituul (polüstürool) ja moodsad keraamilised materjalid (kalaan, kaliit, frekventiit jne.).

M. MÕÕTMISTEHNIKA.

1. Üldiselt.

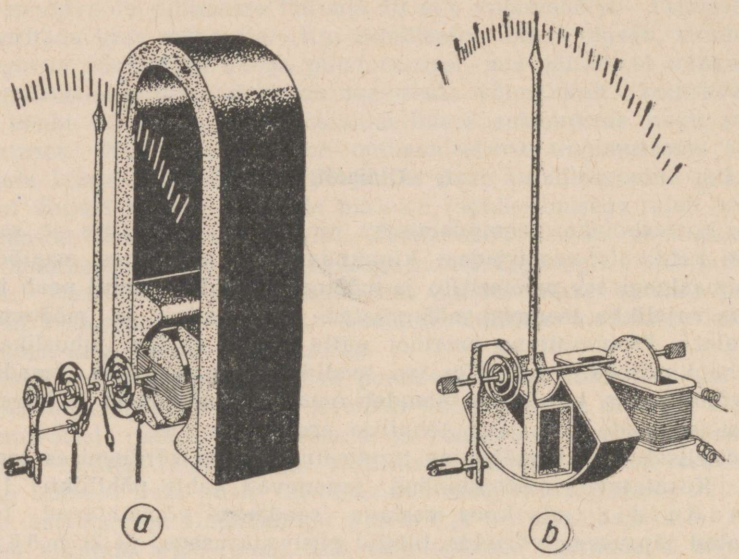
Jaama korrashoiuks, teenindamiseks ning saatja võimsuse ja saatesageduse suhtes kehtivaist eeskirjadest kinnipidamiseks peab igas amatöörjaamas olema minimaalnegi arv mõõteriistu ja mõõteabinõusid. Samuti peab iga amatöör omama vajalikke teadmisi mõõteriistade käsitsemise ja mõõtemeetodite tundmise alal. Progressiivne amatöör mitte ainult ei lepi juhuslike mõõteabinõude hankimisega, vaid olles ise teadlik nende ehituses, omadustes ja kasutamisvõimalustes, ta alatasa täiendab oma mõõteabinõusid ja konstrueerib juurde uusi, et hoida oma jaam tehnilise arengu tasemel.

Põhimõtteliselt seisab mõõtmine tundmatu suuruse võrdlemises teadaoleva suurusega. Kasutatavad mõõteabinõud jagunevad kahte põhiliiki: 1) *püsivad standardid*, mis koos vastava seadmega võimaldavad tundmata suurust teatud täpsusega võrrelda tuntud püsivsuurusega, ja 2) *mõõteriistad*, mis on varem kalibreeritud mõõdetavatele suurustele ja näitavad neid vahetult. Käesolev peatükk käsitleb lihtsamate mõõteriistade ja -abinõude ehitust ja mõõtemeetodeid.

2. Pöördpool-mõõteriist.

Enamik amatööripraktikas kasutatavaid mõõteriistu on alalisvoolu tüüpi, nn. *pöördpool-mõõteriistad*. Põhimõtteliselt on pöördpool-mõõteriistad kõlblikud ainult alalisvoolu mõõtmiseks, kuid tegelikult rakendatakse neid peale alalisvoolu mõõtmise (lisaabinõudega täiendades) samahästi tehniliste vahelduvvoolude, helisageduslike voolude ja kõrg- ning ülikõrgsageduslike voolude mõõtmiseks.

Pöördpool-mõõteriist, mille ehituspõhimõte on kujutatud joonisel 246 *a*, koosneb hobuseraua-kujulisest püsivmagnetist, mille otste vahele on kinnitatud kaks pehmest rauast silindritaolise väljalõikega poolustekinga ning väljalõikesse on tsentreeritud pehmest rauast silinder. Poolustekingade ja silindri vahelisse õhupilusse, kus keskendub ühtlase tihedusega magnetväli, on paigutatud telgedel pöörlev pool; pool on tavaliselt mähitud neljakandilisele alumiiniumist raamile, mille ülesandeks on elektriliselt summutada pooli pöörlemisel tekkivaid võnkumisi. Telgedele on kinnitatud kaks vastassuunalist spiraalvedru, mis on valmistatud mittemagnetilisest materjalist. Vedrud juhivad voolu pöördpooli mähisesse ja vastastikku tasakaalustatuna hoiavad pooli kindlas asendis ning ühtlasi avaldavad pooli liikumisele mehaanilist vastujõudu. Kuna pool asetseb keskendatud magnetväljaga õhupilus, siis voolu läbimisel poolist arenevad pooli ja magnetvälja vahel mehaanilised jõud, mis viivad pooli endisest tasakaalustatud asendist välja. Pool liigub oma telje ümber seni, kuni voolu toimel tekkinud jõud tasakaalustub uuesti



Joon. 246. Pöördpool-mõõteriista (*a*) ja elektromagnetilise (*b*) mõõteriista ehituspõhimõte.

spiraalvedrude süsteemi vastujõuga. Koos pooliga liigub kaasa pooli telje külge kinnitatud osut. Kuna magnetväli säilitatakse õhupilus ühtlasena ja et arenev jõud on võrdeline voolutugevusega, siis pooli pöörlemisnurk ning pooliga koos liikuva osuti hälve on samuti võrdelised voolutugevusega.

Pöördpool-mõõteriist on tundlikum kõigist teistest mõõteriistadest. Osutitüüpi pöördpool-mõõteriistu valmistatakse alates 5-mikroamprilise ja 1 mV näiteulatusega, võimsuse tarvitusega alates 1 mikrovatist. Peale väga suure tundlikkuse ja väikese võimsuse tarvituse iseloomustab pöördpool-mõõteriista veel ta ühtlaste jaotustega (lineaarne) skaala.

3. Elektromagnetiline mõõteriist.

Elektromagnetilised mõõteriistad leiavad tehniliste mõõteriistadena kasutamist oma odavuse, tugevuse ja vastupidavuse tõttu ülekoormamisel. Kuid väikese tundlikkuse, puuduliku näitetäpsuse ja ebalineaarse skaalajaotuse tõttu pole nad laboratoorseteks mõõteriistadeks tavaliselt kõlblikud. Normaalselt rakendatakse neid tehniliste vahelduvvoolude mõõtmiseks. Samuti kasutatakse neid ka alalisvoolu mõõtmiseks, kuid alalisvoolu mõõtmisel tuleb alati arvestada suuremat näiteviga, mis tekib liikuva süsteemi jääkmagnetismi tagajärjel.

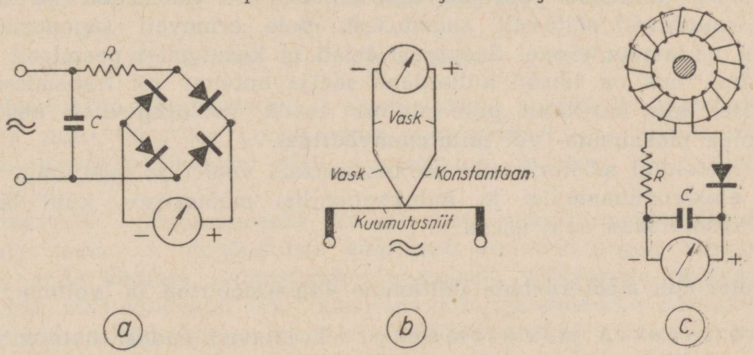
Elektromagnetilise mõõteriista ehituspõhimõte on kujutatud joonisel 246 *b*, millest nähtub, et mõõteriist koosneb püsivast poolist ning pooli avasse

ebasümmeetriliselt asetatud pehmest rauast ankrust, mis tugineb teljele, on varustatud osutiga ja tasakaalustus-spiraalvedruga. Voolu läbimisel poolist tekib pooli südamikus magnetväli, mis avaldab tõmbejõudu teljel liikuvale pehmeraud-süsteemile. Arenev jõud on võrdeline magnetvälja varutud võimsusega, mistõttu osuti hälve pole lineaarne, vaid kvadraatne. Pehmeraud-süsteemile sobiva kuju andmisega ja otstarbeka asetusviisiga on võimalik skaalajaotust lähendada lineaarsele skaalale.

Elektromagnetilised mõõteriistad valmistatakse alates 10 mA ja 5 V, võimsuse tarvitusega alates 50 mW.

4. Helisageduslike ja kõrgsageduslike voolude mõõteriistad.

Mõlemal juhul rakendatakse mõõteriistana tundlikku pöördpool-mõõteriista, millele lisandatakse esimesel juhul metallõgvendaja mõõdetava vahelduvvoolu muutmiseks alalisvooluks, teisel juhul termosidestus. Säärraste mõõteriistade töötamispõhimõte on kujutatud joonisel 247.



Joon. 247. Metallõgvendajaga (*a*), termosidestusega (*b*) ja voolutrafo-detektoriga vahelduv- ning kõrgsagedusvoolude mõõtmise põhimõte.

Metallõgvendajaga mõõteriistas (*a*) lülitatakse neli vask-oksüüd-õgvenduselementi sillana, millega saavutatakse terviktsükliline õgvendamine. Tekkiva pingelangu tagajärjel õgvendajas kujuneb õgvendatud väljundpinge vahelduvvoolu keskväärtusest madalamaks ning võrdub siinuselise vahelduvvoolu puhul keskmiselt 80 ... 85% v.-v. efektiivväärtusest. Metallõgvendajatega mõõteriistad omavad suurt tundlikkust ja on küllaldaselt täpsed vahelduvvoolude mõõtmiseks sagedusastmikus 20 ... 10 000 Hz. Neid valmistatakse näiteulatusega alates 0,1 mA ja 1,5 voldist.

Termosidestusega mõõteriist (*b*) koosneb kuumutusniidist, mida läbib mõõdetav vahelduvvool, ja kuumutuspunktiga termiliselt sidestatud termoelemendist. Suurema tundlikkuse saavutamiseks kasutatakse termoelementides eeskätt sääraseid metalle või nende sulameid, mille termo-EMJ on kõrge. Säärasteks metallide-paarideks on antimon-vismut (104 μV/°C), konstantaan-raud (51 μV/°C), konstantaan-manganiin (42 μV/°C), vask-konstantaan (40 μV/°C). Metallide-paari ühenduskoht kas keevitatakse kokku kuumutusniidiga või sidestatakse termiliselt õhukese keraamilise toru kaudu.

Termosidestusega kasutatavad mõõteriistad peavad omama küllalt suurt tundlikkust, sobivateks mõõteriistadeks on 12 mV, takistusega umbes 5 oomi. Tundlikkuse tõstmiseks paigutatakse termoside vaakumi; sel teel saavutatavad mõõteulatused viiakse alla isegi kuni 2 mA ja enam.

Vaatamata sellele, et termoside kasutegur pole suur, ulatudes parimate juures ainult kuni 1/2000 (s. o. termoelektrilisel teel saadud alalisvoolu võimsuse ja kütteniidis häviva vahelduvvoolu võimsuse suhe), kuid arvestades seda, et koos termosidega kasutatakse ülitundlikke pöördpool-mõõteriistu, on sääraste mõõteriistade tundlikkus siiski küllalt kõrge. Neid rakendatakse peamiselt kõrgsagedusvoolude mõõtmiseks, kus nad on asendamatud.

Kõrgsagedusvoolude mõõteriistana-indikaatorina kasutatakse sageli pöördpool-mõõteriista koos *voolutrafo-detektoriga* (*c*). Selline seadis koosneb kõrgsagedusrauast valmistatud õõnsast silindrist, mille õõnsust läbib mõõdetavat kõrgsagedusvoolu kandev juhe kui trafo primaarmähis ja mille ümber on toroidikujuliselt mähitud sekundaarmähis. Sekundaarmähises indutseerunud pinge rakendatakse metall- või kristalldetektorile ning saadud õgvendatud vool juhitakse pöördpool-mõõteriista. Et rauaskaod ja detektori omadused muutuvad sõltuvalt sagedusest, pole erinevail sagedusil sellise mõõteriista näitamine täpne. Seepärast leiab ta kasutamist peamiselt vooluindikaatorina, mis on täiesti küllaldane saatja antenni või transmissioonliini häälestamisel, kus harilikult pole oluline teada voolutugevuse absoluutset, vaid suhtelist maksimum- või miinimumväärtust.

Peale loeteldud mõõteriistade on kasutamisel veel rida teisi, näit. elektrostaatilisi, elektrodünaamilisi ja induktsioonilisi mõõteriistu, kuid amatööripraktikas kasutatakse neid harva.

5. Alalisvoolu mõõteriistade lülitamine ampermeetrina ja voltmeetrina.

Ampermeeter ja *voltmeeter* kujutavad endast ühte ning sama mõõteriista, mille erinevuseks on ainult nende ühendusviis lülitusse. Ampermeeter näitab mõõdetavat voolutugevust ning ühendatakse lülitusse järjestikuselt. Tekkiva pingelangu vähendamiseks peab ampermeetri takistus olema võimalikult väike. Voltmeeter kujutab endast milliampermeetrit, mis mõõdab voolu lülituse kahe erineva pingega punkti, näiteks vooluallika klemmide vahel. Selleks, et voltmeetri lülitamisega ei moonutuks märgatavalt lülituse elektriline tasakaal, peab voltmeetri takistus lülituse takistusega võrreldes olema väga kõrge.

Harilikult rakendatakse voolude ja pingete mõõtmise otstarbeks keskmiselt hea tundlikkusega pöördpool-mõõteriista, näiteks mõõteulatusega 1 mA ja 0,1 V, ning suurendatakse ta mõõteulatusi väliste takistite külgelülitamisega. Ampermeetri puhul toimub takistite lülitamine mõõteriistaga rööbitiselt, mispuhul takisteid nimetatakse *šunttakistiteks*, voltmeetri puhul ühendatakse takistid järjestikuselt, mida sel puhul nimetatakse *eeltakistiteks* (joon. 248 *a* ja *b*).

Ampermeetri mõõteulatuse suurendamiseks arvutatakse šunttakisti R väärtus järgmiselt:

$$R_{\check{s}} = \frac{R_m}{n-1}$$

ning voltmeetri mõõteulatuse suurendamiseks eeltakistus R_e järgmiselt:

$$R_e = R_m(n - 1),$$

milles R_m — mõõteriista endatakistus ja n — mõõteulatuse suurendamise tegur.

Kui näiteks 1 mA mõõteulatusega ja 100-oomise takistusega mõõteriista on tarvis kohandada 100 mA mõõtmiseks, kujuneb ta šunttakisti väärtus

$$R_š = \frac{R_m}{n-1} = \frac{100}{100-1} = \frac{100}{99} \approx 1{,}01\ \Omega .$$

Kui sama mõõteriista kohandada voltmeetrina 250-voldise pinge mõõtmiseks, tuleb algul leida mõõteriista enda mõõteulatus voltmeetrina, mis võrdub

$$U = I_m R_m = 0{,}001 \cdot 100 = 0{,}1\ \text{V},$$

ning mõõteulatuse suurendamise tegur

$$n = \frac{250}{0{,}1} = 2500, \text{ mille järgi}$$

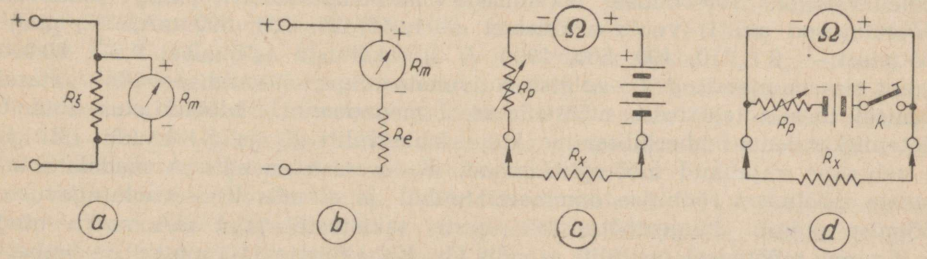
$$R_e = R_m\ (n\text{—}1) = 100\ (2500\text{—}1) = 249\,900\ \Omega .$$

Mõõteriistade šunttakisteid valmistatakse peamiselt manganiintraadist, mis evib suurt takistuse konstantsust soojenemisel ja väikest termo-EMJ. Manganiintraadi puudumisel võib šunttakisteid kodusel teel valmistada ka vasktraadist.

Eeltakistite valmistamiseks kasutatakse samuti manganiintraati, kuid arvestades seda, et eeltakistuste väärtused ulatuvad sageli megaoomidesse, piirdub nende kodune valmistamine peamiselt väiksemate mõõteulatustega. Suurematel mõõteulatustel võib kasutada kõrgtakistuslikke süsitakisteid, kusjuures tekkiv mõõteviga ei kujune amatööripraktikas häirivaks, kui on võimalik mõõtmise teel välja valida küllaldase täpsusega takisteid.

6. Oommeeter.

Voolu ja pinge mõõtmisega võrdset tähtsust evib amatööri laboratooriumis takistuse mõõtmine. Levinenumaid takistuse mõõtmise meetodeid on kaks: täpsusmõõtmine silla abil ja ligikaudne mõõtmine



Joon. 248. Pöördpool-mõõteriista lülitamine: *a* — ampermeetrina, *b* — voltmeetrina, *c* — järjestikuse oommeetrina ja *d* — rööbitise oommeetrina.

oommeetri abil. Sageli pole aga takistite mõõtmise väga suur täpsus kuigi oluline, mispuhul oma ehituselt ja käsitsuselt lihtne oommeeter osutub asendamatuks.

Oommeeter kujutab endast väikese voolutarvitusega voltmeetrit. Ta koosneb 0,1 ... 1 mA mõõteulatusega mõõteriistast ning seda toitvast vooluallikast, harilikult kuivpatareist. Joonisel 248 *c* ja *d* on toodud järjestikuse ja rööbitise oommeetri vastavad lülitused.

Järjestikuses oommeetris (*a*) lülitatakse mõõteriistaga järjestikku vooluallikas, mõõdetav takistus R_x ja piiramistakistus R_p. Järjestikuses oommeetris piiramistakistuse väärtus muudetakse nii, et mõõteklemmide lühistamisel oommeetri näitamine vastaks täpselt maksimaalsele osuti hälbele (mõõteklemmide vahele ühendatud takistus on null). Selliselt reguleeritud mõõteklemmidele lülitatud mõõdetav takistus, asetsedes vooluringis järjestikku, vähendab tsirkuleerivat voolutugevust ja osuti hälvet. Teadaolevate takistite lülitamisega mõõteklemmidele on võimalik mõõteriista kalibreerida oomides. Järjestikust oommeetrit kasutatakse suuremate takistuste mõõtmiseks. Suuremate takistuste mõõtmisel vajab mõõteriist kõrgemapingelist vooluallikat. Suurema voolutarvitusega mõõteriist vajab kõrgemat pinget.

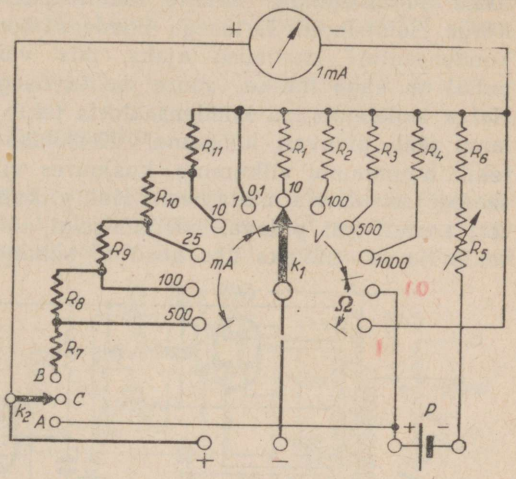
Rööbitine oommeeter (*d*) erineb järjestikusest ainult sellepoolest, et mõõdetav takistus R_x lülitatakse rööbiti mõõteriistaga ja viimane omakorda piiramistakistuse ning vooluallikaga. Rööbitise oommeetri juures luuakse lüliti K abil vooluring läbi oommeetri, kusjuures piiramistakisti R_p väärtus reguleeritakse maksimaalsele osuti hälbele ja see tähistatakse märgiga ω oomi. Mõõdetava takistuse R_x lülitamisel mõõteklemmidele moodustab see mõõteriistale šundi, mõõteriista tundlikkus väheneb ja mõõteriista hälve on seda väiksem, mida väiksem on R_x. Teadaolevate takistite lülitamisega oommeetri mõõteklemmidele on võimalik teda kalibreerida oomides. Rööbitine oommeeter on sobiv väikeste takistuste mõõtmiseks.

7. Universaalne mõõteriist.

On võimalik koostada rida eriotstarbelisi kombineeritud mõõteriistu eri voolutugevuste, pingete ja takistuste mõõtmiseks. Üks säärase universaalse mõõteriista lülitusi on toodud joonisel 249. Mõõteriistas on kasutatud 1 mA mõõteulatusega, 100-oomise takistusega milliampermeetrit ning saadavad mõõteulatused on: 1) voolu mõõtmisel — 1, 10, 25, 100, 500 mA, 2) pinge mõõtmisel — 0,1, 10, 100, 500, 1000 V, 3) takistuste mõõtmisel 0,5 ... 80 000 oomini sissemonteeritud 1,5-voldise kuivelemendiga, 50-voldise välise patarei lisamisel tõuseb takistuste mõõteulatus 3 megaoomini. Mõõteriistas toimub mõõtepiirkondade ümberlülitamine kahe ümberlüliti K_1 ja K_2 kaudu: lülitiga K_1 valitakse vajalikud mõõtepiirkonnad, K_2 asetseb asendis A madalate takistuste mõõtmisel rööbitise oommeetri puhul, ja asendis B — voolutugevuste mõõtmise puhul. Pingemõõtmistel, suurte takistuste ja 1 mA voolu ning 0,1 V pinge mõõtmisel on lüliti asendis C. Kahekordse 11-kontaktilise ümberlüliti kasutamisel saab K_2 ülesandeid teostada ühise lüliti nupu pööramisega.

Mõõteriista on võimalik soovi kohaselt täiendada ka vahelduvvoolu pin-

gete mõõtmiseks, kui eri lüliti abil vahelduvvoolu mõõtmiste ajaks lülitada milliampermeetriga järjestikku metallõgvendaja elementide sild. Loomulikult ei kõlba alalisvoolu jaoks kasutatavad skaalajaotused vahelduvvoolule, vaid skaala tuleb täiendavalt ümber kalibreerida.



Joon. 249. Universaalse mõõteriista lülitus. Osade suurused: $R_1 = 9900\ \Omega$, $R_2 = 0{,}1\ \mathrm{M}\Omega$, $R_3 = 0{,}5\ \mathrm{M}\Omega$. $R_4 = 1\ \mathrm{M}\Omega$, $R_5 = 700\ \Omega$, $R_6 = 900\ \Omega$.

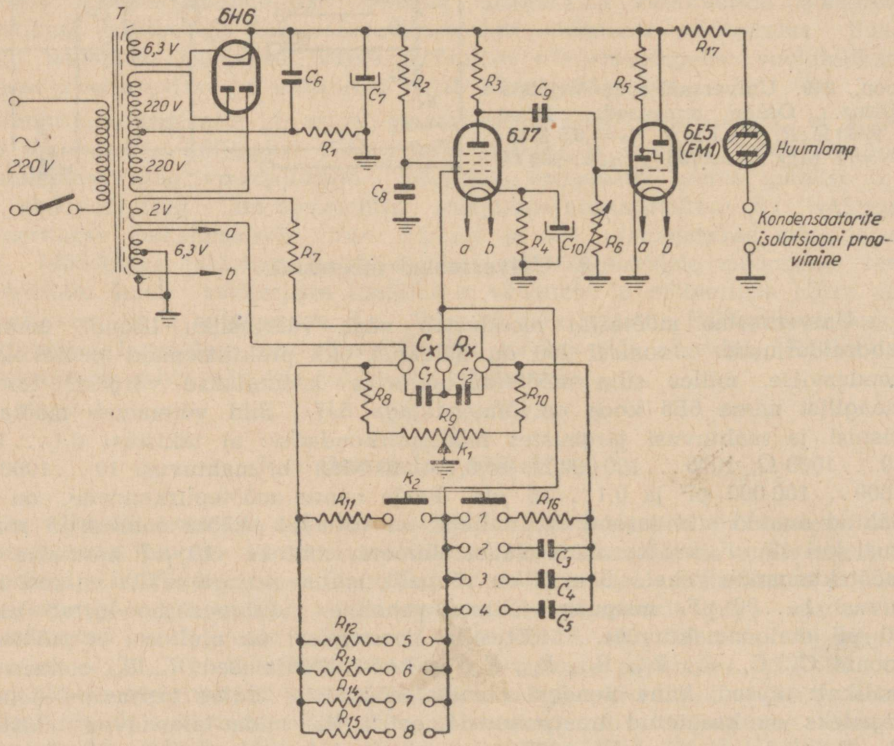
8. Universaalne mõõtesild.

Universaalne mõõtesild moodustab väga väärtusliku lisandi amatööri laboratooriumis. Joonisel 250 on näidatud üks praktilisemaid mõõtesilla lahendusviise, milles silla mõõteindikaatoriks kasutatakse võrgust toituvat maagilist silma 6E5 koos eelvõimendajaga 6J7. Sild võimaldab mõõta takistusi ja mahtuvusi järgmistes mõõtepiirkondades: a) takistusi 0,1 ... 10 Ω, 10 ... 1000 Ω, 1000 ... 100 000 Ω ja 0,1 ... 10 MΩ, b) mahtuvusi 10 ... 1000 pF, 1000 ... 100 000 pF ja 0,1 ... 10 μF. Peale nende mõõtepiirkondade on ette nähtud avatud sild (asend 9), millega on võimalik mõõta suuremaid mahtuvusi kui 10 μF, kui kasutada välist etalooni, näiteks 10 μF keskmise ja R mõõteklemmide vahel. Samuti on võimalik lahtise sillaga mõõta väikesi mahtuvusi 1 ... 90 pF, mispuhul juhtmetevaheline mahtuvus moodustab umbes 10 pF etaloonmahtuvuse. Mõõtesilla koostamisel on oluline, et mõõte-etaloonid C_3, C_4, C_5, R_{12}, R_{13}, R_{14}, R_{15} ja kontrolltakistused R_8, R_{10} oleksid võimalikult täpsed, kuna nendest oleneb mõõtmiste üldine täpsus. Mõõtesilla õlgadeks on kasutatud traatpotentsiomeetrit R_9, mida täiendavad takistused R_8, R_{10}. Sel teel piiratakse mõõteulatus igas piirkonnas 1 : 100, millega saavutatakse ühtlasema ja avarama näitamisega skaala.

Silla käsitsemine on lihtne. Mõõdetavad takistid ja kondensaatorid asetatakse keskmise mõõteklemmi ja vastavalt R või C vahele. Ümberlülitiga K_2 lülitatakse sisse vajalik mõõtepiirkond 2 ... 8. Lüliti asendis 1 kontrollitakse silla skaala õiget kokkujooksu, mispuhul lülitatakse silla mõõteõlgade vahele võrdsed takistused R_{11}, R_{16}. Asendis 9 on silla õlad avatud eriotstarbelisteks

mõõtmisteks. Nupuga K_1 viiakse sild tasakaalu. Maagilise silma võres asetseva reostaadiga R_6 reguleeritakse silma tundlikkust.

Peale takistuste ja mahtuvuste mõõtmise on mõõteriist täiendatud veel kondensaatorite isolatsiooni proovimise seadmega, milles kasutatakse väikest huumlampi. Proovitav kondensaator asetatakse eri klemmide kaudu järjestikku huumlambiga, millele rakendatakse 220-voldine alaldatud silla pinge. Kõrge isolatsiooniväärtusega kondensaatori lülitamisel süttib huumlamp ainult kondensaatori laadimise ajaks, mis väikese mahtuvusega kondensaatorite puhul on väga lühike, suure mahtuvusega kondensaatorite puhul aga pikem. Halva isolatsiooniga kondensaatoris tekib alaline voolu lekkimine ning huumlamp jääb pidevalt hõõguma. Keskmise headusega kondensaatorite juures tekib huumlambi vilkumine, kusjuures vilkumise sagedus on ühtlasi kondensaatori seisukorra näitajaks. Kui vilkumine on sagedane, tuleb kondensaator, samuti kui pideval hõõgumiselgi, tööst kõrvaldada. Kui aga vilkumine tekib harva, näiteks üks kord 10 sekundi jooksul, võib kondensaatori seisu-

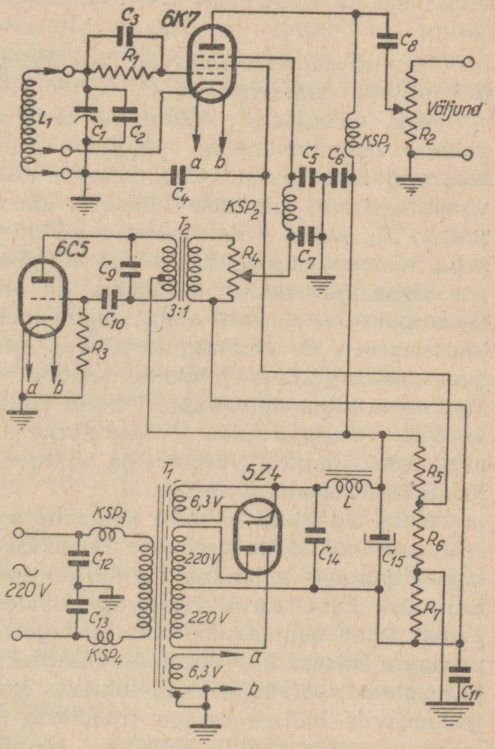


Joon. 250. Universaalne mõõtesild. Üksikosade andmeid: C_1, C_2 — juhtmetevahelised mahtuvused, $C_3 = 90$ pF, C_4, $C_9 = 0{,}01\ \mu$F, $C_5 = 1\ \mu$F, $C_6 = 2\ \mu$F, $C_7, C_{10} = 8\ \mu$F, $C_8 = 0{,}5\ \mu$F; $R_1, R_{14} = 0{,}01$ MΩ, $R_2 = 1{,}25$ MΩ, $R_3 = 0{,}5$ MΩ, $R_4 = 0{,}015$ MΩ, $R_5 = 2$ MΩ, $R_6, R_{15} = 1$ MΩ, $R_7 = 5\ \Omega$, $R_8, R_{10} = 110\ \Omega$, $R_9 = 1000\ \Omega$, traatpotentsiomeeter, $R_{11}, R_{16} = 50\ \Omega$, $R_{12} = 1\ \Omega$, $R_{13} = 100\ \Omega$, $R_{17} = 0{,}05$ MΩ, T — võrgutrafo, sisendvõimsus 10 vatti, trafo sekundaarmähised on varjestatud primaarmähisest, varjestus on maandatud; varjestamine on eriti oluline mõõteriista stabiilsuse huvides.

korda pidada veel rahuldavaks. Seejuures peab arvestama ühtlasi ka kondensaatori mahtuvust: võrdse lekkimise juures tühjeneb suurema mahtuvusega kondensaator kiiremini kui väiksem. Kui näiteks 1 μF kondensaatori puhul üksteisele järgnevate vilkumiste vaheaeg on 3 sekundit ja 0,1 μF kondensaatori puhul 30 sekundit, siis tuleb nende isolatsiooniväärtust hinnata võrdseks. Lõpuks olgu mainitud, et elektrolüüt-kondensaatoreid sellise kontrollseadisega proovida ei saa, kuna neil kõigil on lekkivus niivõrd suur, et huumlamp jääb pidevalt hõõguma.

9. Signaalgeneraator.

Joonisel 251 on toodud lihtsaima signaalgeneraatori lülitus. Signaalgeneraator koosneb elektronsidestuses k.-s. ostsillaatorist 6K7, mida moduleeritakse summutusvõre kaudu m.-s. ostsillaatori 6C5 abil. Summutusvõre on



Joon. 251. Signaalgeneraatori lülitus. Osad: R_1, R_3, $R_4 = 0{,}05$ MΩ, $R_2 = 500\ \Omega$, süsipotentsiomeeter, R_5 $R_6 = 0{,}02$ MΩ (2 W), $R_7 = 2000\ \Omega$, C_1, C_3, $C_7 = 250$ pF, C_2 — teksti kohaselt, $C_3 = 100$ pF, $C_4 = 5000$ pF, C_6, C_{12}, $C_{13} = 0{,}1\ \mu$F, $C_8 = 500$ pF, $C_9 = 1000$ pF, $C_{10} = 0{,}01\ \mu$F, $C_{11} = 0{,}5\ \mu$F, $C_{14} = 2\ \mu$F, $C_{15} = 8\ \mu$F; $KSP_1 = 2{,}5$ mH, KSP_2, KSP_3, $KSP_4 = 25$ mH, L_1 — vahetatavad sagedusribadele vastavad poolid. $L = 10$ H, T — võrgutrafo, varjestatud tüüpi, T_2 — lampidevaheline trafo, $\ddot{u} = 3{:}1$.

eelpingestatud 10 voldi võrra negatiivselt, et säilitada modulatsioon sümmeetrilisena ja ühtlasi vähendada k.-s. väljundit. Modulatsiooni sügavust reguleeritakse modulatsiooni trafo sekundaarmähisele rööbiti lülitatud potentsiomeetri abil; 10-voldise m.-s. pingega võrdub modulatsioonitegur keskmiselt 50%. K.-s. ostsillaatori võnkeringi poolid on vahetatavad ja neid tuleb kohandada kasutatavale sagedusastmikule. Juhul, kui soovitakse katta kitsa-

maid sagedusribasid, näiteks vahesagedusvõimendajates kasutatavaid sagedusribasid, tuleb häälestuskondensaatorile C_1 lülitada rööbitine kondensaator C_2, mahtuvusega 100 pF. Vahesageduste katmiseks on poolide L_1 ehituslikud andmed (38 mm poolialuseid kasutades) järgmised:

Sagedusriba kHz	Keerdude arv	Traadi läbimõõt mm ja isolatsioon	Katoodi haruühend, arvates pooli maapoolsest otsast
460	140	0,25 — email	35
1600	42	0,8 — 2-kordne siid	10
5000	11	1,0 — email, keerdude vahe 1 mm	3

Toodud andmed kehtivad, kui 250 pF häälestuskondensaatorile C_1 on rööbiti lülitatud kondensaator C_2 = 100 pF.

M.-s. ostsillaatori lülitus on tavaline. Ta häälestusring on moodustatud väikese lampidevahelise pingevõimendustrafo sekundaarmähisest, mille primaarring on lülitatud väljundisse. Kuna pole olemas standardset lampidevahelist trafot, siis pole võimalik anda ka täpseid suurusi häälestuskondensaatori C_9 kohta. Ta suurus tuleb kindlaks teha katseliselt sellise arvestusega, et resonantssagedus võrduks ligikaudu 400 Hz.

Signaalgeneraatori ehitamisel on eriti oluline, et katsetatavasse vastuvõtjasse pääseks signaal ainult signaalgeneraatori väljundklemmide kaudu, potentsiomeetri R_2 abil reguleeritavas annuses. On väga soovitav, et signaalgeneraatori väljund juhitaks vahetult painduvasse koaksiaalkaablisse, mille mantel on signaalgeneraatori šassii kaudu maandatud, kust ta samuti vahetult saabuks vastuvõtjasse. Vastuvõtja kõrgsagedusvõimendaja häälestamisel tuleb koaksiaalliini väljundi ja vastuvõtja antenni—maanduse vahele lülitada loomulikult kunstlik antenn.

Kuid tegelikult ei seisa signaalipingete hajumise oht mitte ainult väljundi seadmete konstruktiivses ebatäiuslikkuses, vaid veelgi suuremal määral tekib signaalipingete hajumine võrgutrafo mahtuvuste kaudu võrku, kust nad välja kiirgudes katsetatava vastuvõtja häälestamise teevad täiesti võimatuks. Seepärast tuleb signaalgeneraatori võrgutrafo sekundaarmähised hästi varjestada primaarmähisest kas õhukese vaskpleki-kihiga või õige tiheda metallvõrguga (ettevaatust, et varjestus ei tekitaks trafos omaette lühiskeerdu). Tuntud varjestamisviis lahtise otsaga traadikihi mähkimisena primaar- ja sekundaarmähiste vahele osutub sel puhul ebaküllaldaseks. Lisaks eeskujulikule varjestusele tuleb võrgutrafo juures võrgu juhtmetesse lülitada k.-s. filter, mis koosneb kahest paraja jämedusega traadist k.-s. paispoolist (KSP_3 ja KSP_4) ning nende eel risti asuvast kahest kondensaatorist (C_{12} ja C_{13}). Nii kondensaatorite ühenduskoht kui ka trafo varjestus tuleb tugeva juhtme kaudu signaalgeneraatori šassii külge maandada. Samuti tuleb hoolitseda, et signaalgeneraator ise oleks hästi maandatud. On arusaadav, et kogu signaal-

generaator koos võrgu toiteseadmega tuleb monteerida tugevast metallplekist šassiile ja terviklikult ümbritseda tihedasti kokkukäiva metallkastiga. Ainult kõigi loeteldud abinõude tarvituselevõtuga pannakse kindel alus signaalgeneraatori edaspidiseks edukaks tööks.

10. Katoodkiirtetoru-ostsilloskoop.

Katoodkiirtetoru-ostsilloskoop, mille lülitus on toodud joonisel 252, koosneb järgmisest viiest osast: 1) toiteseadisest, 2) tegelikust ostsilloskoobist, 3) kallutussagedus-generaatorist, 4) uuritava pinge eelvõimendajast ja 5) sünkroniseerimisseadmest.

Võrgu toiteseadise olulisemaid osi on võrgutrafo, mis peab vastama eriti kõrgetele isolatsiooni nõuetele, kuna katoodtoru toiteks vajatava kõrgepinge amplituudväärtus ulatub 1200 voldile. Peale selle on tarvilik kallutuspinge-generaatori küttemähis (*bb*) varjestada trafo muudest mähistest.

Katoodtoruks on valitud 78 mm ekraaniga tüüp 906, kuid ka iga teine kõrgepingeline katoodtoru on ostsilloskoobis rakendatav. Katoodtoru toiteks vajalikud kõrgepinged saadakse kõrgepinge alaldaja pingejagajast. Lülitite K_4 ja K_5 kaudu on võimalik X- ja Y-kallutusplaatide ühendused ostsilloskoobist vahetult välja tuua, milline vajadus võib tekkida, kui näiteks ostsilloskoopi rakendatakse televisioonisaadete vastuvõtuks.

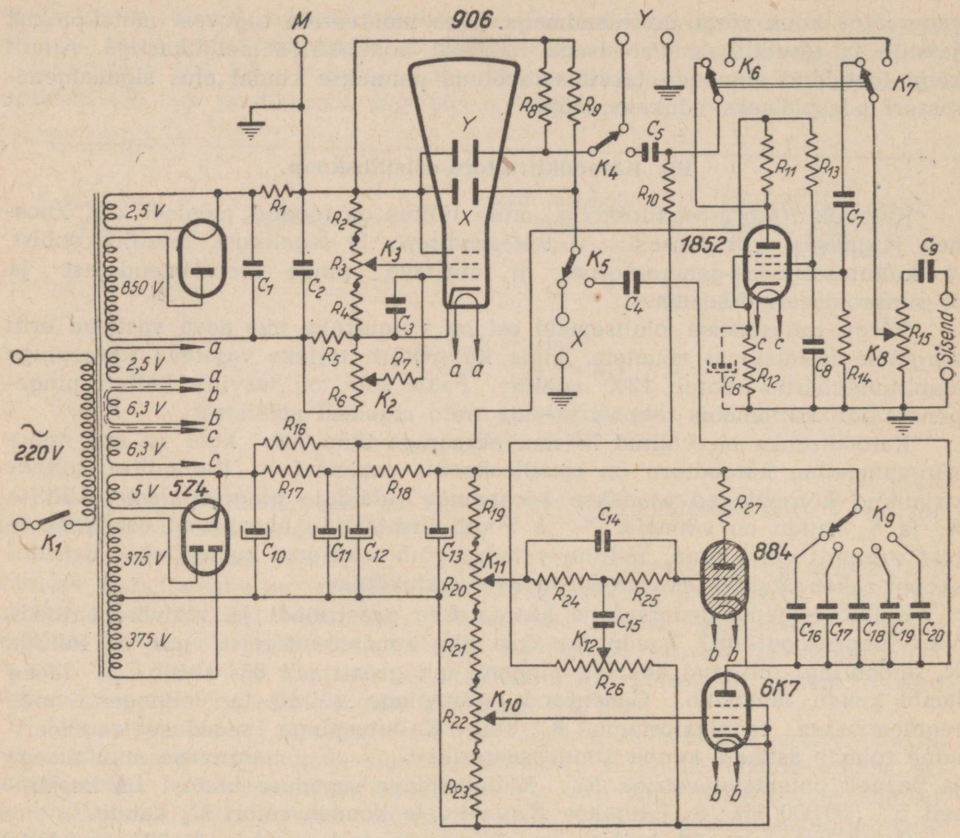
Kallutussagedus-generaatoris kasutatakse gaastrioodi ja varivõrepentoodi. Varivõrepentoodi 6K7 kaudu laetakse üks kondensaatoreist, mis on lülitiga K_9 anoodringi lülitatud, teatava pingeni, mil gaastriood 884 süttib ja laeng lambi kaudu lahendub. Gaastrioodi süütepinge sõltub ta eelpingest, mida reguleeritakse regulaatornupu K_{11} abil. Kallutuspinge sageduse reguleerimine toimub astmete kaupa kondensaatorite $C_{16} \ldots C_{20}$ mahtuvuse muutmisega ja peenelt potentsiomeetriga R_{22}. Kallutuspinge sageduse ulatus on keskmiselt 5 ... 50 000 Hz; ta juhitakse X-plaatidele kondensaatori C_4 kaudu.

Soovi kohaselt võib kallutussagedus-generaatori gaastrioodi 884 asendada tavalise veerandvatise huumlambiga, kusjuures tuleb arvestada, et saadava kallutussageduse muutumise ulatus väheneb. Sel puhul tuleb lülituses teha järgmised muudatused: 1) gaastrioodi võre ja katoodi puksid ühendada kokku, 2) 500-oomine anoodtakisti R_{27} asendada 0,05 ... 0,1 MΩ takistiga. Huumlamp ise lülitatakse gaastrioodi katoodi ja anoodi pukside vahele.

Nõrku uuritavaid sisendpingeid võimendatakse eelvõimendajas, milles kasutatakse kõrge tõusuga varivõrepentoodi 1852. Tugeva vastuside tõttu on võimendus praktiliselt ühtlane sagedustel 10 ... 100 000 Hz, kuid tegelikult ulatub võimendus üle 1 MHz. Suuremat võimendust, kuid kitsamas sagedusastmikus, on võimalik saavutada sel teel, kui lülitada katoodtakistusele rööbiti kondensaator C_6, millega vastuside lakkab.

Sisendpinge sidestamisega kondensaatori C_{15} kaudu gaastrioodi võrega ja sidestuse tugevust potentsiomeetriga R_{26} muutes on võimalik sünkroniseerida kallutuspinget sisendpingega nii, et arenev pingekujutus ekraanil jääb püsima.

Katoodtoru-ostsilloskoop on asendamatu seade tsükliliste vahelduvvoolu ja k.-s. voolu kuju ja nähtuste uurimiseks. Tüüpilisemad neist on: saatja modulatsiooni lineaarsuse ja protsendi määramine ning ostsilloskoobi abil



Joon. 252. Katoodkiirtetoru-ostsilloskoop. Osad: C_1, C_3, C_4, C_5, C_7, C_8, C_9, $C_{17} = 0{,}1$ μF, C_2, $C_{16} = 0{,}5$ μF, $C_6 = 50$ μF, C_{10}, C_{11}, C_{12}, $C_{13} = 8$ μF, $C_{14} = 100$ pF, $C_{15} = 2000$ pF, $C_{18} = 0{,}02$ μF, $C_{19} = 3000$ pF, $C_{20} = 250$ pF; R_1, R_3, R_{24}, $R_{25} = 0{,}1$ MΩ, R_4, R_6, R_{11}, $R_{20} = 0{,}05$ MΩ, $R_2 = 0{,}3$ MΩ, R_5, $R_{16} = 0{,}02$ MΩ, R_7, $R_{19} = 1$ MΩ, R_8, $R_9 = 3$ MΩ, R_{12}, $R_{27} = 500\,\Omega$, $R_{13} = 0{,}15$ MΩ, R_{14}, R_{15}, $R_{26} = 0{,}5$ MΩ, R_{17}, $R_{18} = 0{,}01$ MΩ, R_{19}, R_{21}, $R_{22} = 0{,}025$ MΩ, $R_{23} = 5000\,\Omega$.

Lülitid, nupud ja klemmid:

K_1 — võrgulüliti, K_2 — heleduse regulaator, K_3 — tulipunkti (fookuse) regulaator, K_4 — Y-plaatide ümberlüliti (otse — võimendaja), K_5 — X-plaatide ümberlüliti (otse — kohalik kallutuspinge), K_6, K_7 — võimendaja lüliti (otse — võimendaja), K_8 — sisendi tugevuse regulaator, K_9 — kallutussageduse astmevalija, K_{10} — kallutussageduse peenregulaator, K_{11} — kallutuspinge amplituudi regulaator, K_{12} — sünkroniseerimise regulaator, Y — välise vertikaalpinge klemmid, X — välise horisontaalpinge klemmid, M — maandusklemm.

saatja moduleerimise protsessi õigesti väljareguleerimine, vastuvõtja ribafiltri kuju uurimine ja ribafiltri väljareguleerimine, lampide iseloomustuskõverate uurimine, trafo moonutuste määramine, võimendaja moonutuste määramine, sageduse kalibreerimine ja (kuna katoodtoru sisend kujutab väga kõrget impedantsi) ideaalse voltmeetrina kasutamine. Need on ainult üksikud katoodtoru rakendamise võimalused.

11. Lamp-voltmeeter.

Tavalisi a.-v. ja v.-v. voltmeetreid saab kasutada edukalt sääraste vooluallikate pingete ja lülituselementides tekkivate pingelangude mõõtmiseks, mille omatakistus voltmeetri takistusega võrreldes on väike. Kui aga vooluallika või vooluringi omatakistus muutub võrreldavaks voltmeetri takistusega, nagu näiteks saatjas ja vastuvõtjas töötavate lampide elektroodidel ning võnkeringide klemmidel arenevate pingete mõõtmisel, kutsub tavaliste voltmeetrite rakendamine esile märgatava tööolukorra muutumise ning saadavad mõõtetulemused osutuvad selle tagajärjel petlikuks.

Kui õnnestubki hoolika konstruktsiooniga voltmeetri omatakistust tõsta küllaldaselt kõrgeks a.-v. ja m.-s. pingete mõõtmiseks, siis langeb sääraste mõõteriista sisendtakistus ikkagi kõrgsagedustel mõõteriista enda ja ühendusjuhtmete vaheliste mahtuvuste tagajärjel. Kaasaegne mõõtetehnika nõuab, et mõõteriistad ja -abinõud peavad säilitama oma elektrilisi omadusi kuni üli- ja ultrakõrgsagedusteni, sest sääraseid sagedusastmikke kasutavad seadmed nagu televisioon ja kõrgekvaliteediline kohalik ringhääling on jõudnud välja laboratoorsest katsetuseast ning arendavad õigustatult oma võidukäiku.

Neis tingimustes on voltmeeter leidnud õige lahenduse moodsas lamp-voltmeetris, mis on eelloeteldud puudustest praktiliselt vaba. On tõsi, et lamp-voltmeetrite konstruktsioon ja käsitsemine on mõnevõrra keerukam kui tavaliste voltmeetrite juures, kuid vähesegi vilumisega on need raskused kergesti ületatavad.

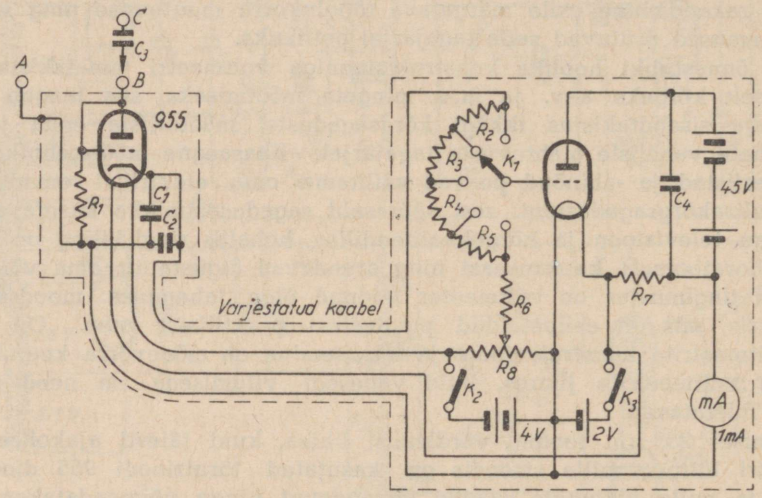
Joonisel 253 on toodud võrdlemisi lihtsa, kuid täiesti ajakohase lamp-voltmeetri lülitus, mille sisendis on kasutatud tõrutrioodi 955 diooddetektorina[1] ja mille väljundis saadud õgvendatud pinge võimendatakse järgnevas alalisvoolu võimendajas trioodiga УБ-153. Voltmeetrit võiks koostada ka üheastmelisena, s. o. diooddetektorist koosnevana, kuid sel puhul peaks õgvendatud voolu mõõtjaks kasutatama väga kõrge tundlikkusega laboratoorset mõõteriista, mis praktiliseks käsitsemiseks on liiga õrn. Käesoleval juhul on voltmeetri indikaatorina rakendatud küllaldaselt tugeva ehitusega 1-milliamprilise mõõteulatusega mõõteriista, mis on paigutatud võimenduslambi anoodringi ja seega näitab võimendatud voolu tugevust. Diooddetektoriks on kasutatud tõrutrioodi sellepärast, et ta sisendmahtuvus on väga väike ja sisendimpedants on ühtlaselt kõrge sagedustel kuni 100 MHz, mille tulemusena voltmeetri mõõteriista skaala kalibreering säilib samuti sagedustel 0 ... 100 MHz. Sellega lihtsustub voltmeetri esialgne kalibreerimine, mida saab sooritada suure täpsusega (näiteks 50 Hz sagedusega vahelduvvoolu pinge abil) tavalise laboratoorse voltmeetriga.

Võimenduslambiks on kõlblik iga 2- või 4-voldise küttepingega triood, eeldusel, et ta eviks võimalikult suurt tõusu (S); käesoleval juhul on võimenduslambiks valitud 2-voldise küttepingega triood УБ-153. Kuna triood 955 vajab 6-voldist küttepinget, siis liigne 4 volti (4-voldise küttepingega lambi puhul 2 volti) kasutatakse võimenduslambi eelpingestamiseks, mida

[1] Kui voltmeetrit kavatsetakse kasutada ainult madal- ja tavalisil kõrgsagedusil pinge mõõtmiseks, või kui üli- ja ultrakõrgsagedusil ei nõuta suurt mõõtmistäpsust, võib tõrutrioodi asendada tavalise trioodiga, millel võre on ülalt välja toodud, näiteks 6F5.

reguleeritakse potentsiomeetriga R_8. Anoodtoite saab võimendaja 45-voldisest kuivpatareist.

Voltmeetri töötamispõhimõte seisab järgmises. Mõõdetav vahelduvpinge rakendatakse voltmeetri sisendklemmide AB kaudu 6-megaoomise takisti R_1 klemmidele. Juhul, kui on tarvis mõõta alalispingega liidetud vahelduvpinget, rakendatakse pinge klemmile B kondensaatori C_3 kaudu (klemm C). Sisendunud vahelduvpinge õgvendatakse dioodidetektoris; kondensaatorite



Joon. 253. Kantava lamp-voltmeetri lülitus. Osade suurused: $R_1 = 6$ MΩ, $R_2 = 5$ MΩ, $R_3 = 0{,}6$ MΩ, $R_4 = 0{,}3$ MΩ, $R_5 = 0{,}07$ MΩ, $R_6 = 21\,000$ Ω, $R_7 = 750$ Ω, $R_8 = 0{,}01$ MΩ, $C_1 = 0{,}1$ μF, $C_2 = 500$ pF, $C_3 = 0{,}01$ μF, $C_4 = 1$ μF; lülitid: K_1 — 5-astmeline, K_2 — K_3 — kahepooluseline survelüliti.

C_1 ja C_2 klemmidel arenev alalispinge rakendatakse võimendaja võreringi pingejagaja $R_2 \ldots R_6$ kaudu. Kuna on oluline vähendada miinimumini ühendusjuhtmete mahtuvust lamp-voltmeetri ja mõõdetavate pingete rakenduspunktide vahel, viiakse diood painduva varjestatud kaabli kaudu eemale voltmeetri võimendaja osast, mis asetseb metallkastis. Diood paigutatakse erilisse metallsilindrisse, millest ulatuvad välja ainult mõõteklemmid A ja B. Sellega välditakse täielikult ühendusjuhtmete kahjulik mõju, sest varjestatud kaablis tsirkuleerivad vaid alalisvoolud, mida kaabli mahtuvused ei ohusta.

Võimendaja eelpingestatakse potentsiomeetri R_8 abil, et vältida võrevoolu tekkimist. Takistuse R_7 suurus valitakse selliselt, et 2-voldise küttepinge elemendi toimel takistust läbiv vool parajasti tasakaalustaks mõõteriista läbiva anoodvoolu, millised voolud on teineteisele vastassuunalised. Seega üldine voolutugevus mõõteriistas võrdub nulliga, kui mõõtepinge dioodi klemmidel puudub.

Mõõtepinge rakendamisega voolude tasakaal mõõteriistas muutub ning voolu tugevnemine areneb võrdeliselt mõõtepingega. Eelpinge väärtus reguleeritakse R_8 abil koos R_7 muutumisega selliselt, et 1-voldise mõõtepinge juures

voolumõõtjat läbiv vool võrduks täpselt mõõteriista mõõteulatusega, s. o. 1 mA. Mõõtepinge tõusuga suureneb võrdeliselt ka alalispinge pingejagajas $R_2 \ldots R_6$. Käesoleval juhul on pingejagaja koostatud 5-astmelisena, kusjuures pingejagaja õlgade takistuste väärtused on valitud nii, et astendamisel 5-, 10-, 50- ja 200-voldisele mõõtepingele säilitatakse mõõteriistas alati 1 mA voolutugevus.

Dioodmeetodi kasutamisega saavutatakse seda, et mõõteriista skaalajaotused on teatavais piirides küllaltki lineaarsed, kusjuures skaalajaotused on ühtlased kõigil mõõtepiirkondadel, millist omadust paljud lamp-voltmeetrid ei evi. Nagu eespool mainitud, võrdub voltmeetri sisendimpedants 6 megaoomiga, millest jätkub täielikult kõigiks praktilisteks otstarveteks.

12. Väljundimõõtja.

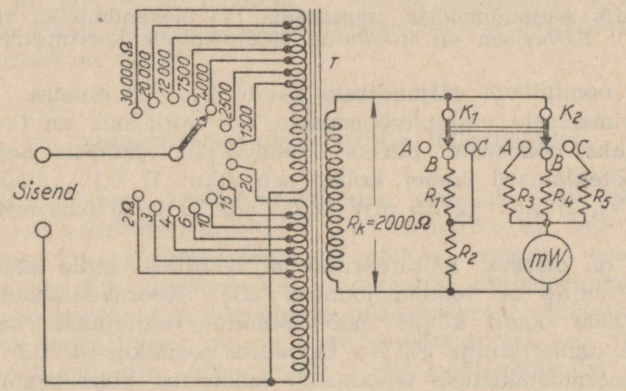
Madalsagedusvõimendaja väljundvõimsust on võimalik mõõta vahelduvvoolu voltmeetriga, mis mõõtmisel lülitatakse väljundi koormustakistuse klemmidele. Seejuures saadav väljundvõimsus

$$P_v = \frac{U_{efv}^2}{R_k} \quad \text{(vatti)},$$

milles U_{efv} — efektiivne väljundpinge voltides, R_k — koormustakistus oomides.

Mõõtmisel on oluline, et lülitatav koormustakistus vastaks võimenduslambi optimaalsele koormustakistusele ja et koormustakistus oma võimsuskaolt vastaks temas soojuseks muunduvale võimsusele.

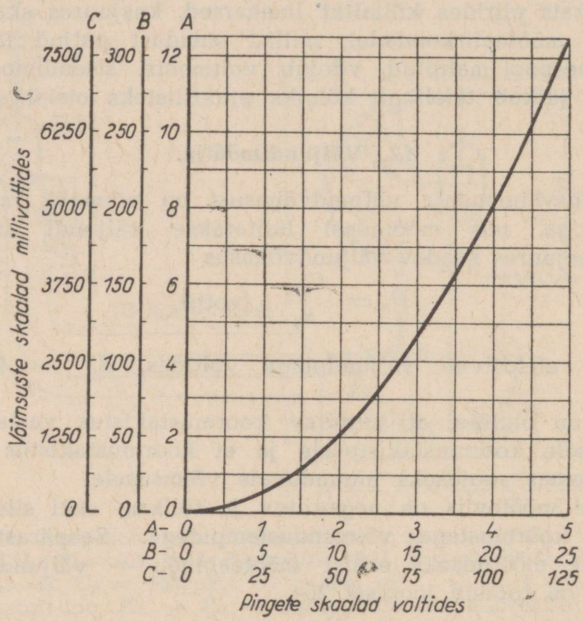
Kuid selline mõõteviis on aegaviitev ja tülikas, eriti siis, kui on tegemist erinevate koormustega võimenduslampidega. Seepärast rakendatakse väljundvõimsuste mõõtmiseks erilist mõõteabinõu — väljundimõõtjat, mille lihtsaim lülitus on toodud joonisel 254.



Joon. 254. Väljundimõõtja lülitus. Kasutatava mõõteriista andmed koos õgvendajaga: voolutarvitus — 2 mA, üldine takistus koos astendatavate lisatakistitega asendis A — 2000 Ω (v.-v. pinge 5 V), B — 10 000 Ω (v.-v. pinge 25 V), C — 50 000 Ω (v.-v. pinge 125 V); takistid $R_1 = 417\,\Omega$, $R_2 = 1950\,\Omega$. Mõõteulatused: asendis A — 12 mW, B — 300 mW, C — 7500 mW.

Vaadeldav väljundimõõtja koosneb astendatava primaarmähisega sobitustrafost T, mille sekundaarmähises säilitatakse koormustakistus R_k konstantsena 2000 oomil, ja muudetavate mõõtepiirkondadega v.-v. voltmeetrist (metallõgvendajaga varustatud 2 mA voolutarvitusega 50-oomise takistusega pöördpool-mõõteriist).

Trafo primaarmähise haruühendite valikuga on võimalik sobitada kõiki praktiliselt esinevaid lõpplampe, kas otseselt koormustakistuste ulatuses



Joon. 255. Graafik väljundimõõtja pingeskaala (V) ülekandmiseks võimsuse skaalasse (mW). Kõverjoon on koostatud 2000-oomisele koormustakistusele.

1500 ... 30000 oomini või väljundtrafo kaudu 2 ... 20 oomini. Trafo on arvestatud maksimaalsele väljundvõimsusele 7,5 vatti, mis on tavalistes tingimustes esinevaks võimsuste piiriks vastuvõtjate juures. Sekundaarpoolel lülitatakse mõõteulatused ümber kolme astmikku: 1) 0,1 ... 12,5 mW (vastavalt 0,45 ... 5 V), 2) 2,5 ... 312,5 mW (2,2 ... 25 V) ja 3) 62,5 mW ... 7812 mW (11 ... 125 V).

Mõõteriist on otseselt kalibreeritud millivattides, mille skaala ülekandekõver pingete suhtes on toodud joonisel 255. Koormustakistuse säilitamist konstantsena 2000 oomil kõigis mõõteastmikes teostatakse kahepooluselise kolmeastmelise ümberlülitiga K_1 K_2, kusjuures astmikus A (12 mW — 5 V) 2000-oomise koormustakistuse moodustab mõõteriist koos lisatakistusega R_3, astmikus B (312, mW — 25 V) moodustavad 2000-oomise koormustakistuse mõõteriist koos lisatakistusega R_4 ja rööbitise takistusega R_1+R_2 ning astmikus C (7812 mW — 125 V) — mõõteriist koos lisatakistusega R_5 ja rööbitise takistusega R_2.

Kõigi kolme astmiku mõõteskaalad on ühised, välja arvatud väikesed

kõrvalekaldumised alla 5 mW, mis tekivad mõõteriista õgvendaja takistuse suurenemise tagajärjel.

Tarbe korral võib väljundimõõtjat rakendada väljundi taseme mõõtmiseks, kui ta skaala kalibreerida vastavalt detsibellidele. Harilikult võetakse väljundvõimsuse nullise taseme, s. o. 0 dB aluseks 50 mW. Sellise aluse juures vastaksid

—20 dB	0,5 mW	+ 3 dB	100 mW
—17 dB	1 „	+ 6 dB	200 „
—14 dB	2 „	+ 8 dB	316 „
—11 dB	4 „	+11 dB	630 „
— 8 dB	8 „	+14 dB	1250 „
— 6 dB	12,5 „	+17 dB	2500 „
— 3 dB	25 „	+20 dB	5000 „
0 dB	50 „	+22 dB	7810 „

Väljundimõõtja valmistamisel on oluline, et koormus- ja mõõteriista lisatakistused oleksid väikese induktiivsusega. Osutub küllaldaseks, kui takistused valmistada õhukestele vilgukivist ribadele mähitud takistustraadist.

Väljundimõõtjat saab kasutada mitmesugusteks ülesanneteks. Tähtsaimaks neist on vastuvõtja häälestamine koos signaalgeneraatoriga. Samuti saab väljundimõõtjaga ligikaudu kindlaks teha võimendajalt või vastuvõtjalt arendatavat maksimaalset väljundvõimsust. Sel puhul lülitatakse algul võimendaja väljundisse valjuhääldaja ja pööratakse võimendaja tugevuse regulaatorit seni, kui väljundis hakkavad parajasti ilmnema kõrvaga tähelepandavad moonutused. Kui jätta tugevuse regulaatori asend endiseks ja lülitada võimendaja valjuhääldajalt ümber väljundimõõtjale (loomulikult võrdsele koormustakistusele), näitab mõõtja osuti hälve maksimaalset väljundvõimsust.

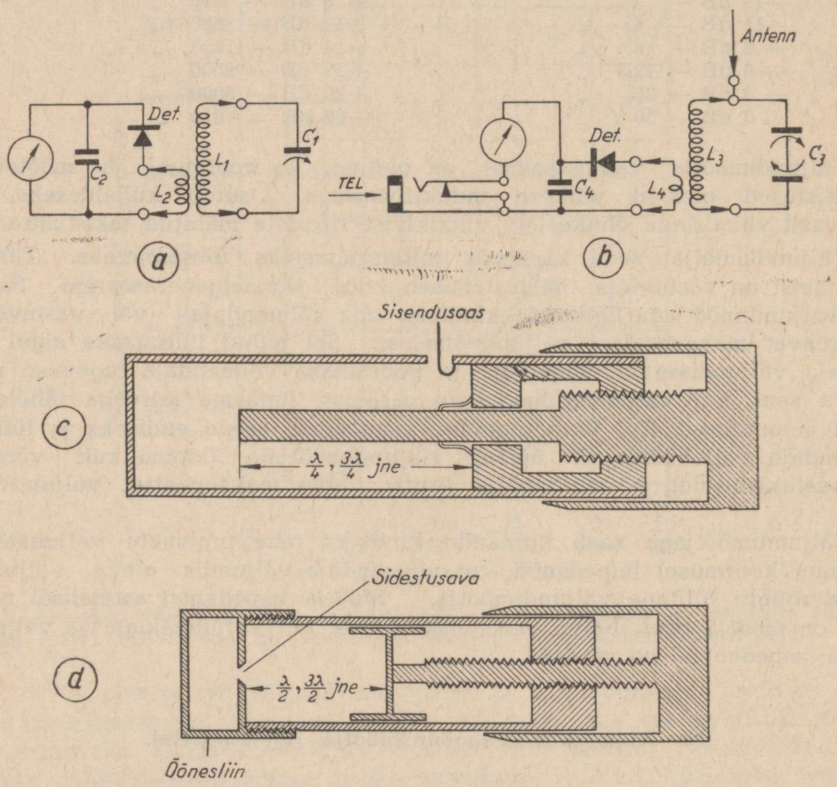
Väljundimõõtjaga saab ligikaudu kindlaks teha tundmatu valjuhääldaja (või muu koormuse) impedantsi, kui võimendaja väljundis oleva valjuhääldajaga rööbiti lülitada väljundimõõtja. Mõõtja impedantsi astmelisel muutmisel on mõõtja osuti hälve maksimaalne siis, kui valjuhääldaja ja väljundimõõtja impedantsid on võrdsed.

13. Absorptsioon-sagedusmõõtja (lainemõõtja).

Lihtsaimaks sageduse kindlaksmääramise abinõuks saatjate juures on absorptsioon-sagedusmõõtja (lainemõõtja), mis ise ei genereeri k.-s. võimsust, vaid võtab suhteliselt väikese võimsuse osa mõõdetavalt allikalt, mis on tarvilik sagedusmõõtja indikaatori töössepanekuks. Säärane sagedusmõõtja koosneb saatja sagedusele häälestatavast võnkeringist, millega kas vahetult või induktiivselt on sidestatud indikaatorina kas väikese voolutarvitusega taskulambipirn või tundlik pöördpool-mõõteriist õgvendajaga, tavaliselt kristalldetektoriga.

Joonisel 256 *a* on kujutatud säärase sagedusmõõtja lülitus. Absorptsioontüüpi sagedusmõõtja näitetäpsus ei saa olla suur kahel põhjusel: esiteks on indikaatori resonantsi näitamine suhteliselt lame, suure takistuse sisseviimise tagajärjel võnkeringi (võnkeringi Q väheneb), teiseks tekib võimsuse

ülekandmiseks vajatava tugeva sidestuse tagajärjel saatja ja sagedusmõõtja võnkeringide vahel saatja ja sagedusmõõtja võnkeringide kõrvalehäälestus. Tundliku indikaatori rakendamisel ei tarvitse sidestus olla kuigi tugev ning mõõtetulemused osutuvad küllaltki rahuldavaiks. Kuna absorptsioon-sagedusmõõtja ise võimsust ei genereeri, siis puuduvad ta võnkeringis harmoonilised sagedused. See omadus väldib arusaamatusi, mis võivad tekkida teiste heterodüüntüüpi sagedusmõõtjate juures genereeritavate harmooniliste sageduste käsitamisel. Seetõttu kujuneb ta väärtuslikuks mõõteabinõuks saatja



Joon. 256. Sagedusmõõtja (*a*) ja monitor-väljatugevusmõõtja (*b*) lülitused. Osade suurused: $C_1 = 150$ pF, $C_2 = 1000$ pF, $C_3 = 2 \times 25$ pF; $C_4 = 100$ pF, mõõteriistad — 1 mA, Det — kristalldetektor, L_1, L_3 — häälestuspoolid, L_2, L_4 — sidestuspoolid, mille suurused sõltuvad mõõdetavast sagedusastmikust. Lülituse *b* rakendamisel ülikõrgsageduslikeks mõõtmisteks sagedusastmikus 90...180 MHz koosneb L_3 2 keerust 2 mm läbimõõduga traadist, pooli läbimõõt 28 mm, keerdude vahekaugus 2 mm; 125...250 MHz astmikus kujutab L_3 32 mm pikkust 2 mm jämedusega traadist haaki, kõveruse läbimõõduga 20 mm; L_4 — mõlemas sagedusastmikus ühine 57 mm pikkusest 2 mm jämedusega traadist painutatud haak, kõveruse läbimõõduga 20 mm.

Mikrolainelisi sagedusmõõtjaid: *c* — koaksiaaltüüpi sagedusmõõtja, milles sageduse muutmine toimub seesmise koaksiaaljuhtme pikkuse reguleerimisega, *d* — õõnsustüüpi sagedusmõõtja, milles sagedust muudetakse õõsresonaatori pikkuse reguleerimisega, mis on sidestatud ava kaudu õõnesliiniga.

põhi- ja harmooniliste ning ühtlasi ka parasiitsageduste kindlaksmääramisel nende tekkimiskohal.

Ostsillaatorite sageduse määramiseks võib indikaatorina kasutada käsitatava ostsillaatori anoodvoolu mõõteriista, milles täpsel häälestamisel sidestatud sagedusmõõtja sagedusele tekib osuti järsult tõusev hälve.

Samuti võib sagedusmõõtjat rakendada ka superi ostsillaatorsageduse kindlaksmääramiseks, kui vastuvõtja töö ajal sagedusmõõja sidestada nõrgalt ostsillaatori võnkeringiga. Selleks tuleb vastuvõtja häälestada püsivale vastuvõtusignaalile ning lülitada sisse tuike-ostsillaator. Täpse resonantsi korral vastuvõetava signaali toon muutub.

Kogu sagedusmõõtja komplekt — häälestuskondensaator, detektor ja mõõteriist ehitatakse ühisesse metallkasti, kusjuures häälestuspoolid koos sidestusmähisega tehakse vahetatavaina ja asetsevad sagedusmõõtja välisküljel.

Tarbe korral võib sagedusmõõtja sidestuspoolile külge lülitada 75 ... 100 cm pikkune varras-antenn ning järjestikku mõõteriistaga peatelefonid, nagu on näidatud joonisel 256 *b*. Sel teel saab sagedusmõõtjat kasutada proovitava telefonisaatja monitorina (F7) ning saatja väljatugevuse mõõteabinõuna.

Sagedusmõõtja kalibreerimist on soovitav teostada suurema täpsusega sagedusmõõtjaga. Võrdlemisi suure täpsusega sageduse kalibreerimist saab teostada häälestatud liini abil, mis on eriti sobiv ülikõrgsagedusil, mil juhtmete pikkus kujuneb suhteliselt väikeseks. Mõõtmise otstarbeks peab liin olema vähemalt ühe terviklaine pikkune. Liini juhtmed asetatakse teineteisest 25 ... 40 mm vahekaugusele ja tõmmatakse otstest pinguli, kusjuures pole soovitav isolaatoreid kasutada mujal kui liini otstes, kinnituskohtades. Voolupaisude asukohad liinis leitakse terava servaga metall-juhtmelühistajaga. Üks liini otstest sidestatakse sidestushaagi kaudu nõrgalt saatja võnkeringiga. Indikaatorina võib mõõtmistel kasutada väikese voolutarvitusega taskulambipirni, mille kontaktidele on joodetud ühekeeruline, saatja pooli läbimõõduga pool. Mõõtmiste ajaks indikaator sidestatakse saatja võnkeringiga selliselt, et lamp hõõguks keskmise valgusega. Mõõtmiseks tuleb lühistajaga liikuda piki mõõteliini, jälgides, et liikumisel lühis juhtmete vahel ei katkeks. Liinil selguvad kaks õige täpselt määratavat punkti, kus indikaatorlambi valgus järsult langeb. Nende punktide vahekaugus vastab mõõdetava sageduse poolele lainepikkusele, kusjuures mõõtmise täpsus oleneb sellest, kuivõrd täpselt punktide vahekaugus liinil kindlaks määratakse. Sagedus *f* megahertsides võrdub sel juhul, kui *l* on punktide vahekaugus meetrites:

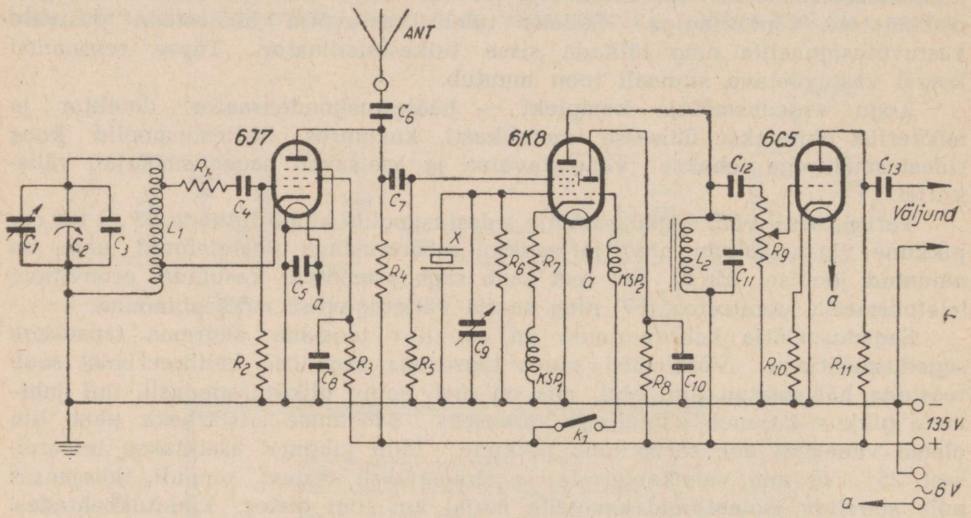
$$f = \frac{146{,}2}{l}.$$

14. Standard-sagedusmõõtja.

Suurima täpsusega sageduste mõõtmiseks ning ühevõrra rakendatav nii saatja kui ka vastuvõtja juures on standard-sagedusmõõtja, mis koosneb 100 või 1000 kHz kristall-ostsillaatorist ja heterodüün-sagedusmõõtjast. Säärase standard-sagedusmõõtja tüüpilisemaid lülitusi on toodud joonisel 257.

Lülitus koosneb 1000 kHz kristall-ostsillaatorist — detektorist 6K8,

elektronsidestusega k.-s. ostsillaatorist 6J7 ja m.-s. võimendusastmest 6C5. Kristall-ostsillaatori ülesandeks on genereerida põhisagedusele harmoonilisi sagedusi, mis kordudes iga 1000 kHz järel määravad kindlaks rea täpse sagedusega punkte. Neid punkte kasutatakse heterodüün-sagedusmõõtja sagedusastmikus kontrollpunktidena, nende kaudu korrigeeritakse ühtlasi ka heterodüün-sagedusmõõtja lahkujooksu, kui see ühel või teisel põhjusel tekib.



Joon. 257. Standard-sagedusmõõtja lülitus. Osade loetelu: $C_1 = 3$ pF, $C_2 = 160$ pF, $C_3 = 20$ pF, negatiivse temperatuuriteguriga, $C_4 = 100$ pF, C_5, C_{10}, $C_{11} = 1000$ pF, C_6, $C_7 = 10$ pF, C_8, $C_{13} = 0{,}1$ μF, $C_9 = 20$ pF, $C_{12} = 0{,}02$ μF, R_1, R_3, $R_8 = 0{,}01$ MΩ, $R_2 = 0{,}15$ MΩ, $R_4 = 0{,}05$ MΩ, R_5, $R_6 = 1$ MΩ, $R_7 = 200\,\Omega$, $R_9 = 0{,}5$ MΩ, $R_{10} = 500\,\Omega$, $L_1 = 9$ mH, $L_2 = 100$ H, $KSP_1 = 16$ μH, $KSP_2 = 735$ μH, X — kristall 1000 kHz. Kaetav sagedusastmik 125 ... 2000 kHz.

Heterodüün-sagedusmõõtja olulisemaiks ehituslikeks tingimusteks on hästi varjestatud, mehaaniliselt tugev ja elektriliselt väikesekaoline konstruktsioon ning väga suure täpsusega sageduse kalibreerimise ja skaala lugemise võimalus. Ehitus peab tagama kalibreerimise säilivuse pikemaks ajaks.

Ostsillaatoris on kasutatud elektronsidestust selleks, et saavutada suurt sageduse stabiilsust ja rida kõrgemaid harmoonilisi sagedusi. Ostsillaator häälestub kindlale sagedusastmikule 125 ... 2000 kHz ning evib väljundis kasutatavaid harmoonilisi sagedusi kuni 30 MHz. Stabiilsuse säilitamise eesmärgil pole poolide vahetamine mõeldav; ehituse lihtsuse ja võimalike komplikatsioonide tõttu on loobutud ümberlülitatavaist kinnispoolidest.

Väga olulise tähtsusega on häälestuskondensaatori aeglustatud veomehhanismi täpsus ja hea loetavusega suur skaala; harilikud lihtülekandega mehhanismid ja tavalised skaalad pole sagedusmõõtjas kõlblikud.

Tähtsamaks ülesandeks on heterodüün-sagedusmõõtja kalibreerimine kristall-ostsillaatori põhi- ja harmooniliste sageduste abil. Selleks lülitatakse kristall-ostsillaator lülitiga K_1 töösse ja kalibreerimisgraafikule kantakse üksikud 1000 kHz võrra üksteisest eemal asuvad punktid, mis hiljem ühendatakse

pideva kõverjoonega. Peale selle kasutatakse kristall-ostsillaatorit veel heterodüün-ostsillaatori häälestuspunktide kontrollimiseks.

Ostsillaatori stabiilne väljund nii põhi- kui ka harmoonilistel sagedustel juhitakse detektor-kristallostsillaator-astmesse 6K8 heptoodosa kolmandale võrele. Samasse saabuvad antenni sidestuse kaudu ka mõõdetavad signaalid, mis detekteerudes kanduvad väljundist järgnevasse võimenduslampi 6C5.

Kui tundmatu sagedusega signaal, milleks võib olla oma saatja signaal, satub antenni kaudu detektorisse, häälestatakse heterodüün-ostsillaatori sagedus temaga nullisele sagedusele. Märkides skaalalt täpse jaotuse, leitakse kalibreerimise graafikust signaali õige sagedus.

Säärase seadmega on võimalik saavutada küllaldaselt suurt, keskmiselt 0,05% mõõtetäpsust.

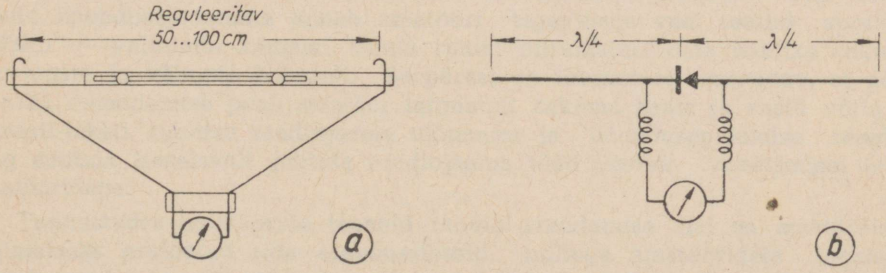
On soovitav ostsillaatori toitepinged stabiliseerida huumlamp-stabilisaatori abil.

15. Antenni mõõtmised.

Antenni mõõtmiste ülesandeks on kindlustada maksimaalset võimsuse ülekannet saatjast antenni ja reguleerida suundantenne vastavalt ettenähtud kiirguse suunamise nõuetele. Antenni mõõtmise all mõeldakse üheaegselt ka transmissioonliini õigesse töökorda seadmist.

Seisevlainete olemasolu uurimist transmissioonliinis teostatakse voolu mõõtmise teel liini juhtmetes, milleks kasutatakse erilist, joonisel 258 *a* kujutatud seadist. Selline liinivoolu mõõteseadis koosneb tundlikust termomilliampermeetrist (150 ... 250 mA), mis tugevate juhtmete abil kinnitatakse tellitava pikkusega puust liistu otstele; puuliistule kinnitatud juhtme otsad ühendatakse teravate servadega metallkonksude külge. Mõõtmiseks asetatakse seadis piki mõõdetavat liinijuhet, kusjuures konksude vahekaugus reguleeritakse mõõteriista osuti parajale hälbele, mis kogu liini pikkuses peab püsima ühtlasena nii ühes kui teises juhtmes. Veerandlainelistel kaugustel piki liini teostatud mõõtmistega saab kindlaks teha, kas liinis seisevlaineid on olemas ja kui suur on seisevlaine harisuhe.

Antenni reguleerimisel maksimaalsele kiirgusele ning kiirguse suunavuse määramiseks kasutatakse väljatugevuse mõõteseadmeid. Põhimõtteliselt koosneb väljatugevusmõõtja võimalikult poollaine-antennist ning indikaatorist, milleks võivad olla a.-v. mikroampermeeter koos õgvendajaga või lihtne



Joon. 258. Liinivoolu-mõõteseadise (*a*) ja väljatugevusmõõtja (*b*) ehituse põhimõte.

häälestatud võnkeringiga lamp-voltmeeter. Oluline tähtsus on väljatugevusmõõtjal ülikõrgsagedusliku kiirgusvälja suhtelise tugevuse määramisel tegelikes kiirguse tingimustes, suundantennide kiirgusomaduste kindlakstegemisel ja suunavuse reguleerimisel. Väljatugevuse mõõtmised tuleb sooritada mitme lainepikkuse kaugusel saateantennist ja kõrgustel, mis vastavad soovitava kiirgusnurga suurusele.

Joonisel 258 *b* on kujutatud lihtsa väljatugevusmõõtja ehitus, milles indikaatorina kasutatakse kristalldetektorit ja 1 mA a.-v. mõõteriista. Suurema tundlikkuse saamiseks asendatakse detektor lamp-voltmeetriga, mille abil saab koostada saatja üksikasjalise kiirgusdiagrammi. Kristalldetektorseadisel on pigem indikaatori kui mõõtja tähtsus.

N. TÖÖ RAADIOJAAMAS.

1. Üldiselt.

Raadioamatööri eesmärgiks on saada häid teadmisi raadiotehnika teoreetilises osas ja vähemalt samahästi omandada oskusi raadio rakenduslikus osas. Raadioteooria on amatöörile relvaks, millega ta edukalt suudab võita raskusi oma praktilises töös. Tõelise amatööri eesmärgiks on omandatud teoreetiliste teadmiste ja praktiliste kogemuste varal sooritada katselist uurimistööd, mida tunduvalt soodustab isiklike kogemuste vahetamine teiste amatööridega oma raadiojaama kaudu. Iga amatööri lõppeesmärgiks on tema isiklik panus raadiotehnika kui tehnilise teaduse arendamise ja edasiviimise hüveks.

Need eesmärgid seavad amatöörile väga suured kohustused, mille täitmine pole mõeldav kuiva ametlikkusega, nagu eriala kursuse lõpetamisega, dokumendi või diplomi omandamisega jne., nende kohuste täitmine on võimalik ainult vabatahtlikus korras, suunatuna sügavast armastusest teaduse enda vastu. Raadio eriala kursuse lõpetanud amatöör, tehnik, insener pole õigustatud kandma amatööri austavat nime seni, kuni ta pole end veel lülitanud amatöörtöö loovasse tegevusse. Administratiivtöö asutises, tootlustöö tehases või töökojas — kuigi raadio erialal — ei tee eriteadlast oma töökoha järgi veel amatööriks seni, kuni ta hingestunult pole andunud raadio loomingulisele katsetus- ja uurimistööle.

Raadio võidukäik on seni olnud tohutu, ta rakendamine on kujunenud niivõrd universaalseks, et vaevalt leidub praegu ühtegi eluavaldust, kuhu raadio kas otseselt või kaudselt pole sisse tunginud. Seesugune maailma vallutamine raadio poolt just näitabki, et ta arenemisel ei saa olla piire. Amatööridel seisab siin ees laialdane tööpõld raadio rakenduslike võimaluste selgitamiseks ja elluviimiseks.

Amatööri uurimise ja loova töö keskuseks on ta raadiojaam, mis koosneb raadio saate-vastuvõtuseadmeist ja laboratooriumist. Oma raadiojaama peab amatöör alati tehniliselt viimisteldud seisukorras ja kasutab seda ühendusepidamiseks teiste kodumaa ja välismaa amatööridega tehniliste kogemuste vahetamise ja raadiolainete levimisomaduste uurimise otstarbel. See ruumi kaudu ühendusepidamine annab amatööri tegevusele veel teatud sportliku kallaku — vallutada kaugusi, tunda ruumi piiramatust oma isiklike oskuste, kogemuste ja võimete kohaselt. Seepärast on iseenesest arusaadav, et peale tehnika omandamise peab amatöör laitmatult oskama saata ja vastu võtta telegraafi-teksti, tundma raadiojaama töötamise ja ühendusepidamise reegleid ning suutma iseseisvalt juhtida raadiojaama tööd teadete vahetamisel teiste amatööridega.

Tunnustades amatööride teeneid raadio arendamise alal on amatööridele töötamiseks eraldatud rida sagedusribasid, millega amatööridele tagatakse ühendusepidamise võimalused igal aastaajal, igal ööpäeva- ja kellaajal. Sel-

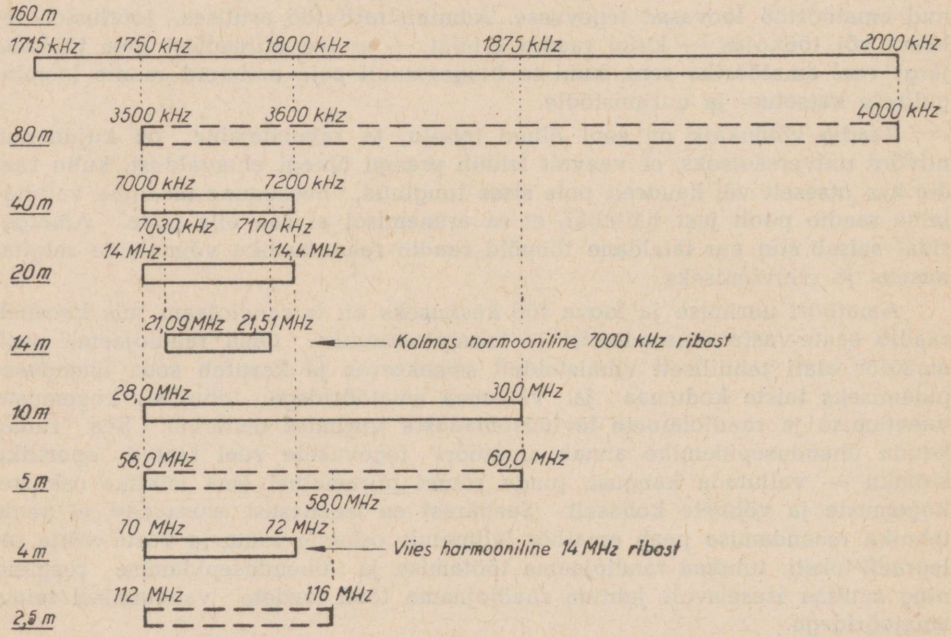
listeks NSVL Sideministeeriumi poolt 1946. a. täpsustatud sagedusribadeks NSV Liidu amatööridele on:

Sagedusribade nimetus	Sagedusribade piirid MHz
1,75 MHz (160 m)	1,715 ... 2,000
7 MHz (40 m)	7,000 ... 7,200
14 MHz (20 m)	14,000 ... 14,400
21 MHz (14 m)	21,090 ... 21,510
28 MHz (10 m)	28,000 ... 30,000
70 MHz (4 m)	70,000 ... 72,000

Kõik loeteldud sagedusribad asuvad üksteise suhtes harmoonilises sageduste vahekorras, mis soodustab sageduspaljundajate rakendamist eeskätt saatjate juures. Amatöörsagedusribade harmoonilisuse vahekord on kujutatud joonisel 259.

2. Kuidas saada raadioamatööriks.

Raadioamatööri tegevus algab 250-tunnise amatööri kursuse sooritamisega Armee Abistamise Vabatahtliku Ühingu Vabariikliku Raadioklubi või ta filiaalide juures, millele järgneb amatöörkuulaja (URS) staaž individuaalsel raa-



Joon. 259. Amatöörsagedusribade graafik. Graafik on koostatud sageduste harmoonilisuse vahekorras. Punktiiriga märgitud sagedusribad pole praegu amatöörtööks kasutamisel.

diovastuvõtjal vastuvõtu kiiruse ja praktika omandamiseks. Minimaalseks vastuvõtu kiiruseks, millega amatöör oma tööd saab alustada, on keskmiselt 60...70 märki minutis. Iga kuuldejaam registreeritakse Armee Abistamise Vabatahtliku Ühingu Keskkomitee eriväljaõppe osakonnas, kust jaama kasutajale — amatöörile antakse kuuldejaama kasutamise luba. Selle loa omandamisega avaneb amatööril võimalus saata iga vastuvõetud ühenduse kohta ühendustpidanud jaamadele ametlikud kviitungid, nn. QSL-kaardid, mida vahetalitatakse Vabariikliku Raadioklubi kaudu.

Selline algaja amatööri staaž kuuldejaama omanikuna kestab 6 kuud, mille kestel amatöör oma tööga peab tõestama jaamapraktika oskuste täiendamist. Selle hinnanguks on aktiivne osavõtt ühendusepidamise tööst ja selle tõestuseks on väljasaadetud QSL-kaartide hulk. 6-kuulise kuuldestaaži eduka lõpetamise järel avaneb amatööril — Raadioklubi liikmel — võimalus asuda kahepoolsete ühenduste pidamisele ruumis Raadioklubi või ta filiaalide kollektiivsetes raadiojaamades. Säärast praktikumi sooritab kuuldejaama omanik kollektiivjaamas valvekorda pidades, eeldusel, et ta 6-kuulise eelstaaži kestel on omandanud iseseisvaks ühendusepidamiseks vajalike oskuste ja kogemuste tagavara. Loomulikult on ta avalikult ruumi astudes kohustatud täitma ja rangelt kinni pidama reegleist, mis eriseadluste ja määrustega on kehtestatud tööks raadiojaamades. Kollektiivjaamas töötamise staaži kestel antakse amatöörile kollektiivjaama operaatori (UOP) nimetus, mida ta kasutab nüüdsest peale QSL-kaartide väljasaatmisel kahepoolsete ühenduste pidamisel teiste amatöörjaamadega.

Amatööri staaž operaatorina kollektiivses raadiojaamas kestab samuti 6 kuud. Kui selle aja kestel amatöör on kollektiivses raadiojaamas töötamisel näidanud suurt aktiivsust ja ta käitumine kehtivaist eeskirjadest kinnipidamises on olnud eeskujulik, on tal õigus taotleda isikliku saate-vastuvõtujaama omandamise ja töötamise luba. Loa taotlemine toimub Raadioklubi või selle filiaali kaudu vastavates eeskirjades ettenähtud korras.

Saanud individuaalse jaama ehituse ja kasutamise loa, on amatööril kõik võimalused osavõtuks suurejoonelistest amatööride omavahelistest ja kollektiivsetest võistlustest, näitustest ja muudest üritustest. Nõukogude amatöör on eriti soodsas seisukorras seepoolest, et õppekursuste sooritamine, jaama praktika võimaldamine, võistlustest, näitustest ja muudest üritustest osavõtt toimub täielikult riigi kulul. Peale selle määratakse võistlustel parematele kohtadele tulnud amatööridele väärtuslikud auhinnad ja rahalised ning materiaalsed tasud.

3. Telegraafitähestiku ja jaama töökorra tundmaõppimine.

Telegraafitähestiku täielikuks omandamiseks ja jaama töökorra tundmaõppimiseks on vaja pingsat tööd ja püsivust. Telegraafitähestiku õppimise edukuse pandiks on tähestiku omandamine kuuldemälu põhimõttel, mis viib sihile palju kiiremini ja kindlamalt kui märkide piltlik-visuaalne meelespidamine. Tuleb harjuda telegraafimärke meeles pidama pigem helirütmidena kui punktide ja kriipsudena. On soovitav telegraafitähestiku tabelit kasutada ainult niipalju, kuivõrd see on tarvilik uute märkide lisamiseks õppe-

kursuse jätkamisel, kuid mitte tähestiku lugemiseks. Pole kunagi soovitav õppelaual nähtavas kohas pidada telegraafitähestiku tabelit — ta pigem segab kui soodustab kuuldemälu treenimist. Neil põhimõtteil toimides ei muutu telegraafimärkide omandamine igavaks, tüütavaks sunduseks, vaid huvitavaks sportlikuks mälutreeninguks.

On selge, et ainult kursuse sooritamisest on vähe telegraafitähestiku eeskujulikuks omandamiseks. Selleks on vajalik pidev, ühtlane treening, nagu iga sportliku ürituse juures. On soovitav treeningu ajal pühendada iga päev kas või veerand tundi märkide saate harjutuseks kodus. See vajab lihtsa lampgeneraatori või telefoni summeri töösse rakendamist telegraafivõtme abil. Telegraafivõtme käsitsemine nõuab amatöörilt algul siiski kõrvalist instruktori abi. Ainult võtme õige haaramisega ja õige käsitsemisega võib saatekiirus areneda progressiivselt. Juhusliku võtmekäsitsemisega käsi väsib, ebaõige töötamise juures on käerefleksside paindlikkus ja liikumiskiirus piiratud. Õige võtme-haaramine toimub tavaliselt kolme esimese sõrme otsaga, käe liikumine telegraafimärkide rütmis peab arenema samuti vabalt. Käsi liigub randmest.

Rööbiti telegraafimärkide saate ja vastuvõtu oskusega tuleb amatööril õppekursuse kestel ära õppida rida kasutatavamaid ühendusepidamiseks vajalikke koode, mis amatöörtöös üldiselt sarnanevad üldistes raadioteenistustes kasutatavate koodidega, ning omandada teadmisi teadete vahetamise korra ja koodide kasutamise kohta.

Eristatakse kahte töö põhiliiki: telegraafitööd ja telefonitööd. Üldiselt sarnanevad nad teineteisega, kuid siiski on neil teatavaid omapärasusi.

Telegraafitöös kasutatavad koodid on:

1) telegraafitähestik,
2) Q-kood — üldiseks ühendusepidamiseks,
3) amatöörlühendite kood,
4) üldtarvitusel olevate lühendite kood,
5) RST-kood — signaalide loetavuse, tugevuse ja tooni kood,
6) jaamade kutsungite kood maade, riikide, vööndite, rajoonide järgi.

Telefonitööks täiendavalt:

1) tähtede veerimise koodid,
2) modulatsiooni kood.

Kõik need koodid on toodud käesoleva käsiraamatu lisadena koos näitlike tööproovidega.

4. Amatööri töökord ühendusepidamisel.

Arvestades seda, et amatööridele eraldatud laineribad on võrdlemisi kokku surutud ja et amatööre üle kogu maakera on kümneid tuhandeid, on arusaadav, miks on vaja tarvitusele võtta kõik abinõud selleks, et ruumi liigne koormamine ja asjatu häirimine oleks minimaalne. Rangeid abinõusid sel alal kehtestada ei suuda seadusandlus, vaid see on iga amatööri isikliku südametunnistuse ja eetiliste nõuete täitmise küsimus. Seepärast oma saatjaga ruumi astudes peab iga amatöör olema täielikult veendunud, et ta saatja on tehniliselt laitmatus töökorras, et saatesagedus püsib konstantsena kogu saate kestel ja et saatesagedus tingimata asub eraldatud sagedusribades. Väl-

jaoole amatöörribasid töösse astumist tuleb pidada rahvusvaheliseks roimaks. Seepärast on jaamas tarvilik eeskujulik, suure täpsusega kalibreeritud sagedusmõõtja, millega tuleb perioodiliselt kontrollida saatja sagedust määravate häälestuselementide piirväärtusi. Kui säärased täpsed sageduse kontrollimise võimalused puuduvad, siis tuleb piirata saatesagedusega nihkumist sagedusribade servadele, kus ribast väljasattumise oht on suurim.

Saatja tehnilisteks ebatäiuslikkusteks, mis põhjustavad häireid ruumis, on veel jaama halb toon, tingituna anoodi toitevoolu puudulikust filtreerimisest, harmooniliste sageduste väljakiirgumine, ebasümmeetriline ja üle-moduleerimine. Kõigi nende puuduste kõrvaldamine kuulub täielikult jaama omaniku — amatööri kompetentsi. Iga amatöör peab arvestama, et tehniliselt puuduliku saatjaga ruumi astudes ta kompromiteerib mitte ainult enda isikut, vaid mis on palju tähtsam — oma maad. Nõukogude amatöör kui eesrindlikum peab näitama oma jaama viimistluses eeskuju teistele.

Peale selle tekib väga palju häireid ruumis amatööri oskamatu ja vastutustundetu töötamise tagajärjel. Üheks suurimaks puuduseks on lõpmata, või täpsemalt öeldes, lõputa pikkade kutsungite andmine, mis mõnikord võtab enda alla vähemalt 75% kogu peetavast ühendusest. Sageli unustatakse kutsungite saatmisel isegi oma kutsungit andmast või tehakse seda liiga harva. Praktika näitab, et soodsalt kokkusattunud tingimustes ei vaja kaugühenduse loomine sugugi pikemat kutsungi protseduuri kui lähisühendusedki. Aitab täielikult paari-kolmekordsest eeskirjakohasest kutsesarjast isegi kaugühenduse (Dx) loomiseks. Eriti palju patustavad amatöörid kutsungite andmisel telefonilisel saatel. Paljudel amatööridel on kujunenud kombeks rikkuda ruumi pidevalt rea minutite kestel leierdava kordamisega „*CQ twenty, CQ twenty* .....", kuna nii amatöör ise kui ka teda kuulavad teised amatöörid teavad ilma meelde tuletamatagi, et saade toimub 20 m sagedusribal. Aitab täielikult, kui anda kutsung telefonil lühidalt: kes kutsub ja keda kutsutakse, lisades seejuures suunavus, kellega, missuguse maaga soovitakse ühendusse astuda.

Lõpuks on oluline jaamas pidada täpset päevikut, kuhu sisse märkida täielikult, ilma ühegi kõrvalekaldumiseta, kogu trafik. Ühenduste pidamisel tuleb rangelt meeles pidada, et amatöörühenduste pidamine piirdub ainult tehniliste andmete ja kogemuste vahetamisega, mis käsitlevad puhtakujuliselt ainult amatöörtööd. Igasugune väiksemgi kehtivaist reegleist kõrvaleastumine on mitte ainult amatööri-eetika seisukohalt lubamatu, vaid on seaduse täie valjusega karistatav.

Iga amatöör kuulub eelkõige oma kodumaale. Seda suuremad on kohustused nõukogude amatööril, kes oma suure kodumaa patrioodina rakendab kogu oma oskused, teadmised ja võimed kodumaa raadio arengu hüvanguks.

O. RAADIOJAAMA EHITUSPRAKTIKA.

Raadiojaama ehitamiseks ei piisa ainult raadiotehnilistest teadmistest ja jaama teoreetilisest projekteerimise oskusest paberil. Küllalt suur osatähtsus jaama tegelikul väljaehitamisel on oskustel ja kogemustel praktilises töös, eeskätt elektromontaaži ja lukksepatöö alal. Heade raadiotehniliste teadmiste oskuslik praktiline rakendamine kindlustab edu jaama ehituses. Käesolevas peatükis antakse mõningaid näpunäiteid raadiojaama ehitamiseks.

1. Osade ja materjalide valik.

Suurem osa saatjas ja vastuvõtjas kasutatavaid üksikosi, näit. lambid, kondensaatorid, takistid, lambipesad jne. hangitakse valmistootena, kuid küllaltki kaalukas osa esemeid, nagu šassiid, jõu- ja sobitustrafod, häälestuspoolid, paispoolid, traattakistid, igasugused paneelid jne. tuleb amatööril valmistada endal käepärast olevast või samuti hangitavast materjalist. Hangitavate osade ja materjalide kõlblikkusele ning kvaliteedile tuleb pöörata erilist tähelepanu, et seadme töös ei tekiks häireid ega katkestusi. Peale õigete elektriliste suuruste on osade ja materjalide valikul otsustavamaks mõõdupuuks nende isolatsiooniväärtus, läbilöögipinge, tööpinge, elektriliste omaduste säilivus, lubatavad kaod ning peale selle mehaaniline ja termiline vastupidavus ning kompaktsus. Eriti hoolikalt tuleb jälgida, et valitav ese oma omadustelt vastaks täielikult just neile tingimustele, millistes ta hakkab töötama. Kuid teiselt poolt pole vajadust osi valida liiga suurte tagavaradega, mis tähendab kõrgemat hinda ja kujuneva seadme ebakompaktsust.

K o n d e n s a a t o r i t e valikul tuleb üldiselt jälgida, et nende tööpinged vastaksid tegelikele töötingimustele. Seejuures tuleb arvestada, et mitte alati ei säili töötingimused püsivatena, vaid teatud juhtudel, näit. seadme töösselülitamise hetkel, mil lampe veel ei läbi anoodvool, võivad pinged tõusta märgatavalt kõrgemaks kui normaalsetes töötingimustes.

Erilist tähelepanu pälvivad ses suhtes alaldaja filterkondensaatorid ja võre sidestuskondensaatorid. Näiteks 450-voldise tööpingega elektrolüütkondensaatorit võib kasutada alaldaja esimeseks filterkondensaatoriks ainult kuni 320-voldise trafopingeni ($320\sqrt{2} = 450$). Eriti on see maksev astmetevaheliste sidestuskondensaatorite kohta, millelt peale selle on nõutav väga kõrge, vähemalt 50 ... 100-megaoomine isolatsioonitakistus. Kui näiteks paigutada 10-megaoomise (ainult!) isolatsioonitakistusega kondensaator kahe takistussidestuses võimendusastme vahele sidestuskondensaatorina ja kui eelneva lambi anoodtakisti väärtus on 0,1, sidestatava lambi võretakisti 0,5 megaoomi, siis 250-voldise anoodpinge puhul läbib kondensaatorit 23,6 μA vool $\left[\frac{U_A}{R} = \frac{250}{(0{,}1 + 10 + 0{,}5)\ 10^6} = 23{,}6 \cdot 10^{-6}\right]$. Sellest tekib võretakistuses ($U_G = IR = 23{,}6 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}5 \cdot 10^6 = 11{,}8$) 11,8-voldine positiivne eelpinge

mis vähendatuna katoodtakistil areneva automaatse negatiivse eelpinge, näiteks 1,8 voldi võrra, kujuneb ikkagi 10 volti positiivseks. Selle tagajärjel võrevoolust tekkivad lubamatult suured ebalineaarsed moonutused kindlasti panevad kogenematu konstruktori jahmatama.

Pole ülearune tähelepanu juhtida elektrolüütiliste katoodkondensaatorite õige tööpinge valikule. Kui näiteks vastuvõtja madalsagedusastmes toimivad lambid 6Q7 ja 6F6, arenevad nende katoodtakisteis 250-voldise anoodi toitepinge puhul vastavalt —2,5- ja —16,5-voldised pinged. Kuid samal ajal võivad töötamise ajal areneda katoodtakistite klemmidel $\sqrt{2}$ korda kõrgemad pingete tippväärtused, s. o. 3,5 ja 23 volti, mis tingivad vastavalt 5- ja 25-voldise tööpingega kondensaatorite valikut.

Eri käsitlust nõuavad kõrgsageduslikesse võnkeringidesse lülitatavad kondensaatorid, mis peale kõrge isolatsioonitakistuse ja vastava tööpinge peavad evima väga väikesi dielektrilisi kadusid. Selleks on kõlblikud ainult vilgukivi-, keraamilise ja õhkdielektrikuga kondensaatorid; viimaste nõrgaks kohaks on staatori (mõnikord ka rootori) tugimaterjal, milleks heade kondensaatorite juures võivad olla kas keraamilised ained või kvarts.

Lahtisidestus-kondensaatoreilt nõutakse vastavat pinge läbilöögi kindlust, kuid isolatsioonitakistuse suhtes on lubatud suuremad kõikumised.

Takistite valikul on otsustavamaks hindeks kaovõimsus ning takistuse säilivus. On vähe üksi sellest, et tegelikes töötingimustes soojuseks muunduv võimsus vastaks takistile peale märgitud nimi-kaovõimsusele, mille all valmistajad mõtlevad harilikult takisti koormust heades jahtumistingimustes. Šassii alla asetatuna on jahtumistingimused harva rahuldavad, mistõttu takisti temperatuur tõuseb lubatavaist piiridest kõrgemaks. Seepärast peab koormuse all olevate takistite kaovõimsuse valikul ühtlasi arvestama jahtumistingimusi. Suuremate kaovõimsuste puhul kasutatakse harilikult traattakisteid, mis oma takistuse nimiväärtuse säilitavad ka kõrgemate temperatuuride juures. Suure võimendusega võimendajate juures on oluline kõrgekvaliteediliste takistite valik, et vähendada neis arenevaid kohalikke müra-sid.

Isolatsioonimaterjali valikul tuleb eeskätt arvestada, millises lülitusosas materjali kasutatakse. Madalsageduslikes lülitustes piirdub materjali valik peamiselt isolatsioonitakistusega (pind- ja mahttakistus), kõrgsageduslikes lülitustes on peale selle eriti oluline, et materjali kaonurk oleks väike. Seega piirdub eriti vastutusrikastes kohtades, nagu poolialustes, kontaktpaneelides, lülitites, lambipesades jne. isolatsioonimaterjal peamiselt keraamiliste ja moodsate sünteetiliste ainetega, näit. trolituul, polüetüleen jt. Madalama kvaliteediga materjalid, näit. tekstoliit, pertinaks jne., on lubatavad ainult vähem vastutusrikkais kohtades ja sedagi ainult madalamate sageduste puhul.

2. Šassiide valmistamine.

On kujunenud välja kolm raadioseadmete ehituse-monteerimise viisi (joon. 260): 1) lauataoline (*a*), 2) šassiitaoline (*b*) ja 3) kapitaoline (*c*).

Lauataolisel ehitusviisil valmistatakse põõnadega aluslaud kas 1 ... 2 cm paksusest puitvineerist või 1 ... 2,5 mm paksusest raud- või alumiiniumple-

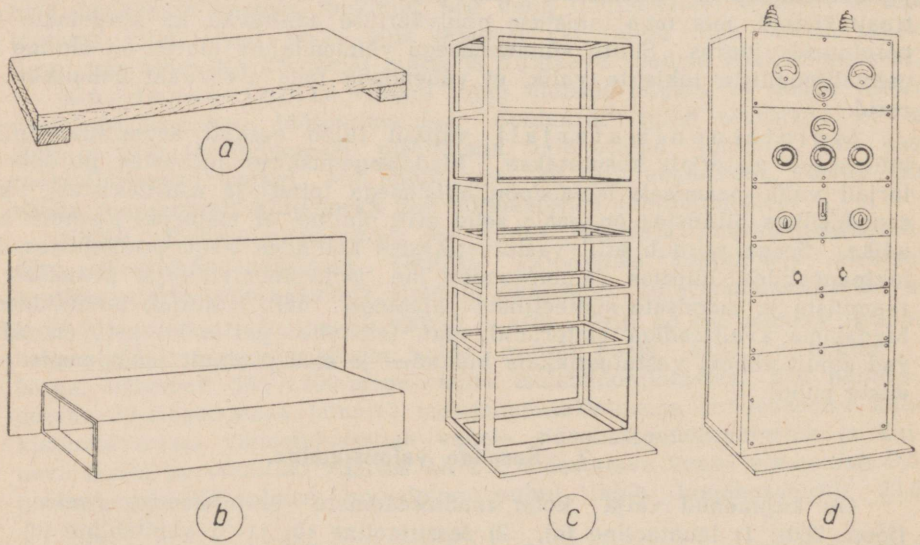
kist. Raadioseade monteeritakse lauale ja osaliselt laua alla. Kasutatakse peamiselt ajutiste ja lihtsamate seadmete juures.

Šassiitaolise ehitusviisi juures, mis praegusel ajal on standardseks ehitusviisiks, monteeritakse kogu seade pannitaolisele, külgedelt ja alt tugevdatud rauast (harvem alumiiniumist) alusele, mille esiküljele on kinnitatud vertikaalne paneel lülitite, häälestus- ja regulaatornuppude, mõõteriistade jne. paigutamiseks. Tavaliselt valmistatakse paneel samast, kuid paksemast materjalist. Alusest ja paneelist koosnev šassii paigutatakse harilikult sahtlitaoliselt metallkasti. Šassiitaoline ehitusviis võimaldab mitte ainult otstarbekat osade monteerimist, vaid vastab ühtlasi paremini osade varjestustingimuste täitmisele.

Kapitaoline ehitusviis tuleb küsimusse peamiselt suuremates seadmetes, nagu võimsamates saatejaamades jne. Ta koosneb raudraamistikust, millele lükatakse sahtlitena sisse eraldi valmistatud šassiid. Kapp varustatakse eest, tagant ja külgedelt lahtikäivate ustega. Kapitaoline ehitusviis võimaldab väga otstarbekat osade paigutamist üksikute astmetena. Tavaliselt moodustab saatja juures alumine šassii toiteseadet, järgmine modulaatorit, ülemised järjekorras saatja ostsillaatorit, vahepealseid võimendusastmeid ja antenni häälestusseadist. Kõik häälestus- ja regulaatornupud, lülitid ning mõõteriistad tuuakse ette paneelidele.

Väiksemate šassiide valmistamine on võimalik koduste tööriistade ja -vahenditega, kappšassiide valmistamine on seotud metallraamistiku keevitamisega ning vajab töökoja kaasabi.

Pärast valmistamise lõpetamist ja vajalike avade tegemist lambipesadele, elektrolüütkondensaatoritele, trafodele, juhtmete läbiviimisele jne., tuleb šassiile anda korralik välimus kas metalliga katmise või värvimise teel. Hari-



Joon. 260. Raadioseadmete montaažaluste ehitusviise: *a* — hakklaua-taoline alus, *b* — sahtel-šassii, *c* — kapitaoline sõrestik, *d* — kapp-ehitus sissepandud sahtel-šassiidega lõplikul kujul.

likult kaetakse šassiide siseküljed metalliliselt, paneelid ja katted — nitrolakiga.

Osade paigutamise kavandamisel šassiidele tuleb alati silmas pidada ventilatsiooniküsimuse lahendamist, mis on väga oluline mitte ainult saatjate, vaid samuti ka vastuvõtjate juures. Kaugelt suurem osa sageduse triivimise nähtusi raadioseadmeis tuleb panna just ventilatsiooniküsimuse puuduliku lahendamise arvele. Ventilatsiooni õigel plaanimisel tuleb lähtuda seadmeis olevate soojusallikate asukohtadest, leides igal üksikjuhul võimaluse kiireks soojuse ärajuhtimiseks. Sellisteks soojusallikateks on: iga lamp (!), trafod, paispoolid, takistid. Kuna normaalseis tingimustes soojuse ärajuhtimine toimub alt üles kulgeva õhuvoolu kaudu konvektsiooni teel, tuleb teha avarad avad šassii põhja ja kohastikku nendega kasti kaande. Sellised otsesed õhukanalid peavad haarama kõiki soojusallikaid. Lampe ümbritsevate metallvarjete pikkus ei tohi piirduda lambiga, vaid nad peavad ulatuma võimalikult šassii pinnalt kuni laeni. Samal ajal tuleb šassiisse lambipesa ja varje vahele ning üles lambi kohta teha avad soojuse vabaks ärajuhtimiseks. Raskematel juhtudel, näiteks võimsamate saatelampide juures, ei ole normaalsel soojusjuhtimisel põhinev ventilatsioonisüsteem küllaldane. Neil juhtudel tuleb soojuse äravoolu tõsta kunstliku ventilatsiooniga väikeste mootorventilaatorite abil.

Osade paigutamine šassiile kujutab pigem individuaalset küsimuse lahendust, kusjuures alati tuleb väljuda põhimõttest, et kõik kõrgsageduse all asuvad ühendusjuhtmed olgu otsesed ja lühikesed, toitejuhtmed ja madalsagedust kandvad juhtmed, mille juures lühiduse nõue pole oluline, viidagu üldise kaabelühendusena (või kaablitaoliselt kõrvuti paigutatuna) šassii servi mööda oma ühenduskohtadesse. Seejuures peetagu silmas seda, et sääraselt kulgevad helisageduslikke voolusid kandvad või helisageduslike pingete all asuvad juhtmed oleksid varjestatud.

3. Tööriistad ja -vahendid.

Kuigi ka väheste koduste tööriistadega võib valmistada nägusa välimusega šassiisid, siiski lihtsustub ja kiireneb töö märksa, kui on olemas vajalikul arvul lukksepa-tööriistu. Tööriistade hulk peab sooritatava töö kogusega olema umbes tasakaalus. Seepärast neil amatööridel, kes on innustunud seadmete alatisest viimistlusest ja täiendamisest, on soovitav soetada võimalikult rohkem, kuid häid tööriistu.

Allpool toodavas nimestikus on loetletud need tööriistad, töövahendid ja materjalid, mis amatööri töökojas-laboratooriumis peaksid leiduma:

vasar, 300 . . . 400 g,
metallisaage, mitmesuguses tiheduses hammastega,
lauakruustangid, 10 cm haardepikkusega,
hea elektritõlvik, 100 vatti,
joode,
jootmispasta või piirituses lahustatud kampol,
kruvikeerajaid suuruse järgi vähemalt 3 tükki,
hea käsipuurmasin,

näpitstangid (harilikud, pikkmokk, ümarmokk),
lõiketangid, diagonaalsed,
plekikäärid,
pussnuga,
mõõdulint,
metalljoonlaud,
metalli sirkel,
jäme viil, 25 . . . 30 cm,
peenviile 5, valimik,
spiraalpuure 12 (1 . . . 10 mm),
kärn,
märkimisnõel,
luisud,
liiva- ja smirgelpaber (mitmes jämeduses),
õlikann õliga,
viilihari,
pintslid,
amüülatsetaat,
piiritus,
bensiin,
šellak,
atsetoon,
tselluloid-lakk,
trolituul-lakk,
šellak-lakk,
tselluloid, pertinaks, trolituul-lehed,
montaažpoldid 2, 3 ja 4 mm,
isoleertoru mitmesuguses jämeduses,
isoleerpael,
lakktraati 0,1, 0,16, 0,2, 0,4, 0,6, 1,0, 1,3 mm,
lihtne poolide kerimise seade.

Tööriistad ja -vahendid tuleb alati paigutada oma õigetesse ettenähtud kohtadesse ja hoida korras ning puhtana, sellega säästetakse aega töötamisel. Vedelikel, lakkidel, traatidel olgu alati peale kirjutatud õiged nimetused ja väärtused.

4. Praktilisi töövõtteid.

Ainult praktilise tööga omandatakse pidevalt uusi töövõtteid, mis tõstavad mitte ainult töö kiirust, vaid ühtlasi ka töö kvaliteeti ja valmistoodete nägusust. Seepärast pole võimalik siinkohal anda üldisema sisuga sellekohaseid töövõtteid, vaid piirdutakse mõne üksikuga, neist iseloomustavamaga.

a) Jootmistehnikat.

Jootmine on olulisemaid töid amatööri tööpraktikas, sest oskuslikult joodetud jätkudest ja ühenduskohtadest sõltub õige suurel määral valmistatava seadme kvaliteet. Puudulikud jootekohad on raadioseadmes väga häi-

rivad, nende avastamine väga tülikas. Seepärast peab amatöör laitmatult tundma jootmistehnikat.

Korraliku jootmise esimeseks nõudeks on hea elektritõlvik, veel parem kaks — 75- ja 150-vatine. Teiseks nõudeks on tõlviku hoidmine puhtana, mis tähendab, et tõlviku tera peab olema alati hästi ja ühtlaselt tinakorraga kaetud, aukude ja plekkideta. Kuna ülekuumenemisel tõlviku tera paratamatult muutub mustaks, tuleb aeg-ajalt ette võtta uus tera kruntimine, mis seisab selles, et algul puhastatakse kuumutatud tõlviku tera peenikese viiliga ja seejärel kaetakse jootega, veel parem — puhta tinaga. Enne jootmisele asumist pühkida kuumutatud tera lapiga puhtaks. Kolmandaks nõudeks on kuum tõlvik, sest puudulikult kuumutatud tõlvikuga tehtud jootekohad kujunevad rabedateks. Neljandaks nõudeks on joodetavate metallesemete jootekohtade hoolikas puhastamine viili ja smirgelpaberiga. Jootmisel kantakse puhastatud jootekohad kas happevaba jootepastaga või kampoli piirituselahusega. Seejärel soojendatakse tõlvikuga joodetavad metallesemed (vask, messing, raud, kuid mitte alumiinium) jootekohalt, kuhu juhitakse joode. Kui joode on sulanud ja ühtlaselt katab jootekoha, tuleb tõlvik eemaldada ja hoida jootekoht paigal seni, kuni ta on jahtunud. Jootekoha liikumisel enne joote jahtumist kujuneb jootekoha elektriline kontakt ning mehaaniline tugevus halvaks. Seepärast tuleb säärased jootekohad uuesti kuumutada. Ainult ühtlaselt jootega kaetud ja hõbedaselt läikivat jootekohta tuleb lugeda rahuldavaks.

Oluline on jootmise juures isiklik osavus eriti siis, kui joodetavad esemed puutuvad kokku madala temperatuuri juures sulavate isoleerainetega, näiteks pigitatud paberkondensaatorite ja tselluloidist või trolituulist ühenduspaneelide juures. Neil juhtudel tuleb jootmist sooritada kiiresti, et soojeneks ainult jootekoht.

Koostiselt parimaks jooteks tuleb elektrotehnilisel jootmisel pidada suure tinasisaldusega tina-plii sulamit.

b) Kõrgsagedus-kiudtraatide (litsede) jätkamine.

Kõrgsagedus-kiudtraatide jätkamine on ilma erivõtteta praktiliselt võimatu, kuna kümneid 0,05 ... 0,07 mm läbimõõduga lakitud kiudusid ei saa lihtsal teel, näiteks smirgelpaberiga hõõrudes või noa otsaga kraapides, täielikult puhtaks teha. Ja kuigi see peaks osaliselt õnnestuma, siis mõne kiu katkedes tuleb puhastamist hakata otsast peale, kuna isegi üks katkine kiud juhtmes halvab täielikult kogu kiudtraadi paremuse. Kiudtraadi jätkamisel rahuldavate tulemuste saamiseks on peale väikese elektri-jootmistõlviku tarvilik veel piirituslamp ja väike nõu piiritusega (võib olla denaturaat) või veel parem — atsetooniga. Jätkamiseks tuleb kiudtraadi ots 1 ... 1,5 cm pikkuselt vabastada pealmisest isolatsioonikihist ja keerata üksikud kiud tihedasse kimpu. Kuuma tõlviku, kampolilahuse ja piirituse (atsetooni) nõu valmis olles asetada kiudtraadi puhastatud ots ühtlaselt piirituslambi leeki ja hoida seal seni, kuni ta muutub punakasvalgeks. Seejärel tõmmata helendav kiudtraadi ots leegist välja ja kasta kiiresti piirituse (atsetooni) enumasse, kust väljavõtmisel üksikud kiud on läikivpuhtad. Jääb üle kasta puhas kiudtraadi ots kampolilahusesse ja sooritada tavaline jootmine.

Sama võtet saab edukalt kasutada kõigi peenikeste traatide (0,1 mm läbimõõduga ja peenemate) jätkamisel. Seejuures tuleb meeles pidada, et peenikeste traatide jätkukohti pole lubatav palja käega puudutada, sest puhastatud traadi jätkukoht ei kattu alati terviklikult jootega ja käega puudutamisel kandub puhta vase pinnale higi, mis happeid sisaldades tekitab mähises korrodeerumise ja hiljem katkestuse.

c) Kõrgsagedus-paispoolide valmistamine.

Kõrgsagedus-paispoolid võivad raadioseadme, eriti saatja tegevuses tekitada väga tõsiseid häireid, kui paispooli elektrilised suurused kasutatavale sagedusele täpselt ei vasta. Nimelt moodustab iga paispool teatud sagedusele poollaine-pikkuse liinilõik-võnkeringi, mis sel puhul ei kujuta vooluallikale enam reaktantsi, vaid lühist. Sellest võib järeldada, et õigesti toimiva paispooli juhtme pikkus peaks võrduma rakendatava sageduse veerandlaine pikkusega. Nii siis, 6 MHz sagedusele vastavale 50 m lainepikkusele sobiva k.-s. paispooli juhtme pikkus peaks võrduma 50 m : 4 = 12,5 m. Vastavalt juhtme pikkusele valitakse aluse mõõted, millele juhe mähkida. Lühemate lainete puhul võetakse alusteks 20, 15 ja 8 mm keraamilised, trolituul- või pertinakspulgad, millele ühekihilise mähisena keerd keeru kõrvale või traadijämeduse vahedega keritakse mähis harilikult 2-kordse siidisolatsiooniga traadist. Alltoodud tabelis on antud mõned tüüpnäited.

Sagedus MHz	Lainepikkus m	Vajalik traadipikkus m	Keerdude arv		
			20 mm alusel	15 mm alusel	8 mm alusel
70	4	1,00	—	—	40
60	5	1,25	—	—	50
43	7	1,75	—	37	70
30	10	2,5	40	53	100
15	20	5,0	79	105	—
10	30	7,5	119	159	—
7,5	40	10,0	158	212	—
6,0	50	12,5	197	265	—
5,0	60	15,0	238	318	—
4,3	70	17,5	278	370	—
3,75	80	20,0	317	424	—
3,34	90	22,5	357	—	—
3,0	100	25,0	396	—	—

Harilikult ei piirdu vajadused ühe kindla sagedusega, vaid ühe paispooliga soovitakse katta tervet sagedusastmikku, näiteks 15 ... 60 m. Sel puhul määratakse paispooli traadipikkus optimaalseks pikemaile lainepikkustele ning tehakse kindlaks traadipikkus ka lühimale lainele. Ühtlasi jaotatakse mähkimisel traat nii mitmeks sektsiooniks, kui mitu korda pikim laine on suurem lühimast, käesoleval juhul 60 : 15 = 4. Seesugused üksiksektsioonid mähitakse alusele, jättes neile vahed umbes $^1/_3$ aluse läbimõõdust

Veel parem on sektsioonid moodustada ebavõrdse keerdude arvuga,

kusjuures keerdude arvude suhe sektsioonides ei tohi olla paaris arv. Toodud näite kohaselt vajatakse 60 m lainele 20 mm alusel 238 keerdu, mida on tarvis jaotada 4 sektsiooniks. Sektsioonide suhteks 7 : 9 : 11 : 13 valimisel kujunevad keerdude arvud sektsioonides vastavalt 43, 53, 65 ja 77.

Kuna säärased paispoolid oma kogult on liiga suured, siis on võimalik neid valmistada ristmähisena peenikestele 6 ... 8 mm alustele samuti 4 ... 5 sektsioonina, kusjuures keerdude arvud sektsioonides tuletatakse samadel põhimõtetel.

Sellised k.-s. paispoolid käituvad ühtlaselt kogu kaetavas sagedusastmikus.

5. Varjestamine.

Raadioseadmete ehitamisel evib eriti olulist tähtsust varjestamise probleemi õige lahendamine häirivate elektriliste ja magnetiliste hajuvväljade suhtes. Mida kõrgem on seadme võimendamine ühel ja samal sagedusel või sagedusastmikul, seda ohtlikumaks kujunevad häireväljad, seda kergemini tekivad seadmes parasiitvõnkumised ja mürad, seda viimistletumad peavad olema nende vältimiseks või vähendamiseks tarvitusele võetavad abinõud varjestamise alal.

Hajuvväljade kahjulikku toimet ja varjestamise üldpõhimõtteid käsitlesime lähemalt eespool (B 21 h, B 48); siinkohal vaatleme ainult varjestuse praktilise teostamise põhimõtteid ehitatavais raadioseadmeis.

Põhimõtteliselt tuleb erineva võimendusastmega raadioseadme osad üksteisest varjestada nende paigutamise teel eraldi metallkastidesse, kuivõrd ei võimalda seda teostada nende osade otstarbekas paigutamine seadme šassiil (all- ja pealpool šasiid, üksteist mõjutavate osade paigutamine suurematele vahemaadele või/ja risti nurkade all jne.). Seejuures tuleb alati arvestada igal üksikul juhul väljade liiki, intensiivsust ja sagedust.

Elektriväljade paiknemist erinevate potentsiaalide all asuvate osade vahel on võrdlemisi hõlpus kindlaks teha, mille järgi seda liiki varjestamine piirdub harilikult lihtsate metallvaheseinte asetamisega sääraste osade vahele risti elektrivälja suunaga. Loomulikult tuleb need varjed elektriliselt hästi ja võimalikult lühikeselt ühendada nende esemete ühise potentsiaalilise punktiga, tavaliselt šassiiga. Kaugelt raskem on lugu hajuvmagnetväljadega, kuna nende haaramine on ulatuslikum ja sõltub peale selle sagedusest. Seepärast hajuvmagnetväljade haaramist saab piirata ainult intensiivseid magnetvälju hajuvate esemete (poolid, trafod) täieliku ümbritsemisega metallvarjetega. Seejuures valitava varje materjal ja varje paksus peavad vastama varjestatava magnetvälja sagedusele: ülikõrgsagedustel jätkub väga õhukestest vaskvõi alumiinium-varjestustopsidest ja sama on üldiselt kehtiv ka tavaliste kõrgsageduste kohta, kuid madalsagedustel, eriti tehnilistel sagedustel ei piisa sellest, vaid varjed tuleb valmistada küllaldase seinapaksusega kõrge permeaablusega rauast. Kuna magnetvälju arendavad mitte ainult poolid ja trafod, vaid kõik elektrivoolu kandvad juhtmed, siis normaalses ehituspraktikas varjestatakse metall-varjestuskastidega iga üksik võimendusaste terviklikult. Sellega välditakse ühtlasi ka hajuvelektriväljade kahjulik toime.

Varjestuskastide kasutamisel tuleb tähelepanu juhtida sellele, et varjestuskasti ennast, mis ühendatakse šassii külge ja millel seega on šassiiga ühine maapotentsiaal, ei kasutataks lülituselementide maandusjuhtmena, sest see põhjustab ühenduspunktide vahelistes metallkasti osades kohalikke voole. Need voolud võivad tekitada kahjulikke sidestusi eri vooluringide vahel, kui see kasti osa moodustab ühise vooluringi osa neile vooluringidele. Seepärast on nõutav, et kõik lülituselemendid ühendataks varjestuskastis eraldi monteeritavatele jämedatele ühendusjuhtmetele või -lattidele (siinidele), mis omakorda „maandatakse", s. o. ühendatakse šasiiga ühistes ühenduspunktides varjestuskastiga. Et väljade mõjutusel varjestuskasti seintes endis arenevad kohapealsed voolud, tuleb täiuslikuma varjestuse saavutamiseks poolid ja trafod kasti sees täiendavalt veelkordselt varjestada omaette varjestustopsidega.

Kõik need abinõud ei väldi kastivoolude tekkimist, mille teekond piirdub ainult sisekülgedega seni, kuni kasti seinte paksus on küllaldane ja kuni kast on ümberringi elektriliselt suletud terviklikult. Et aga kastis on alati suuremad või väiksemad avad, näiteks toitejuhtmete, häälestus- ja reguleerimisnuppude läbiviimiseks jne., pääseb nende kaudu osa kastivoole kasti väliskülgedele, mis võib märgatavalt vähendada kasti varjestusomadusi. Neil juhtudel, kui varjestus peab olema täiuslik, nagu näiteks väga kõrge võimendusega võimendajate esimene aste, mõõteabinõud jne., asetatakse varjestuskasti ümber veel teine varjestuskast, kusjuures on oluline, et elektriline kontakt mõlema kasti vahel teostataks ainult ühes, võimalikult šassiiga ühises ühenduspunktis. Sellega välditakse praktiliselt täielikult seesmisest kastist arenevate väljade toime väljapoole väliskasti, ja ümberpöördult, väliste hajuvväljade toime seesmises kastis asetsevatele lülituselementidele.

Hoolikalt teostatud varjestuse mõju võib muutuda nulliks, kui kasti avadest läbiviidavate ühendusjuhtmete suhtes pole tarvitusele võetud vajalikke ettevaatusabinõusid. Selleks kõik voolukandvate juhtmete paarid, s. o. vooluallikast tarbijani tulev ja sinna minev juhe, peavad olema omavahel punutud või asetsema varjestustorus, kui see on lubatav lülituslike iseärasuste poolest juhtmete vahel suureneva mahtuvuse tõttu. Viimasel juhul peab varjestustoru olema metalliliselt hästi ühendatud vastavate varjestuskastidega mitte ainult alguses ja lõpus, vaid sõltuvalt ülekantava voolu sagedusest peab ta olema maandatud ka vahepealsetes punktides (ultrakõrgeil sagedusil veerandlaine-pikkustel vahekaugustel). Peale selle tuleb toitejuhtmed, s. o. kütte, anood- ja võretoite juhtmed kastidesse sisendamisel varustada häiresagedustele dimensioneeritud summutusfiltritega. Tingimuste rangel täitmisel peavad filtrid ise (paispoolid ja kondensaatorid) asuma eraldi varjestustopsides. Viimati mainitud abinõude rakendamine on loomulikult tarvilik eri juhtudel, tavalistes tingimustes jätkub harilikest varjestustopsidest, -kastidest ja toitejuhtmete vajalikust korrapärastamisest.

Lisaks loeteldud üldistele juhtudele tuleb tähelepanu juhtida varjestamise teostamisele eri tingimustes. Säärasteks tüüpjuhtudeks võivad olla mikrofonide ja helipeade ühendamine võimendajate sisendisse, antenni toitejuhtmete ja mõõteabinõude toitetrafode varjestamine.

Üldise reeglina kõik mikrofoni juhtmed, alates mikrofoni väljundist kuni võimendaja sisendini, peavad olema kaetud pideva metalse toruga. Seejuures

varje tuleb mikrofoni juures elektriliselt hästi ühendada mikrofoni metallkorpusega, võimendaja juures — šassiiga, väiksemgi katkestus seejuures pole lubatav. See on ühevõrra kehtiv helipeade ja kõigi muude ülesvõtte-seadmete (ikonoskoobi jne.) kohta. Juhul, kui ühendusjuhtmetesse paigutatakse sobitustrafod (see käib ka liini kaudu võimendajasse toodava signaalsisendi kohta), maandatakse sobituskohal nii siseneva kui ka väljuva varjestustoru otsad; samuti ümbritsetakse sobitustrafo varjestuskastiga, mis maandatakse ühises punktis.

Antenni toitejuhtmete varjestamise kohta on lähemad juhised antud eespool (J 10).

Erilist märkimist väärib mõõteabinõude toitetrafode varjestamine, kus harilikult ei piisa trafo primaar- ja sekundaarmähise vahelisest varjestusest, vaid kumbki mähis varjestatakse omaette, teineteisest isoleeritud metallvaheseintega, mis maandatakse lülituse kohaselt kas vahetult või kondensaatorite kaudu. Tarbe korral asetatakse mõlema vaheseina vahele veel kolmas isoleeritud vahesein.

Lõpuks vajavad eri käsitlust katoodkiirtetorud, mis on eriti tundlikud väliste hajuvväljade suhtes ja milles hajuvväljad võivad ekraanil projekteeritavas kujutises esile kutsuda õige häirivaid moonutusi (soovitaksin lugejal katsetada käepärast oleva püsivmagneti mõju vastuvõtja häälestusindikaatorile!). On vähe katoodkiirtetoru paigutamisest eemale võrgutrafost ja filterpaispoolist, mida seesuguste seadmete plaanimisel alati on soovitav ette näha, vaid katoodkiirtetoru tuleb täiendavalt ümbritseda heade magnetiliste omadustega ning küllaldase paksusega raudtoruga, mis loomulikult tuleb hästi maandada. Sama on kehtiv kõigi elektronide vihu toimel töötavate elektronseadmete, nagu ikonoskoobi jne. kohta.

Toodud varjestusprobleemi käsitlus ei sisalda kindlat retsepti, mis oleks rakendatav alati ja igal juhul, vaid pigem üldisi põhimõtteid, mis suuremalt osalt on alati rakendatavad.

Varjestusprobleemi lahendamine vajab alati individuaalset käsitlust, sest varjestamise seisukohalt erineb mitte ainult iga konstruktsioon, vaid ka seesama konstruktsioon valmistatuna eri konstruktori poolt.

6. Antennide püstitamine.

Antenni tüübi valik ei esita erilisi raskusi neile, kel on kasutada hektaari suurune vaba maa-ala. Harilikult aga on raadiojaama asukohas vaba ruum seevõrra piiratud, et tekib tõsiseid raskusi isegi ühe poollaine-pikkuse antenni püstitamiseks madalaimale kasutatavale sagedusribale. Lühidalt, peaaegu alati määrab antenni tüübi valiku ja ta tegeliku väljaehitamise kohapealne vaba ruum.

Avara vaba ruumi puhul tuleb kindlasti eelistada terve antennisüsteemi väljaarendamist. Selline antennisüsteem peaks koosnema eraldi antennidest igale kasutatavale sagedusribale, võimalusega teostada suundsaatmist või -vastuvõttu soovitavais suundades. Sel puhul ei tekita sobivatesse asukohtadesse vajaliku pikkusega antennimastide püstitamine raskusi. Kõrgustel kuni 15 m osutuvad sobivamaks vabaltseisvad telefoniposti-taolised puust mastid,

mis kaevatuna 1,5...2,0 m sügavusse on küllalt vastupidavad igasugustes ilmastikutingimustes. 20...30 m maste võib valmistada samuti vabaltseisvaina, kui selleks rakendada sõrestikkonstruktsioone, niihästi puust kui ka terasest. Ehituselt lihtsamaks ja odavamaks kujunevad tavaliselt jätkatud konstruktsioonid, kui tõmmitsate kinnitamine ei muutu häirivaks. Püstitatavad mastkonstruktsioonid on soovitav katta värviga, puumastide maasse ulatuv osa immutada fenolaadiga või mõne immutusõliga, millega mitmekordselt tõstetakse masti iga ja antakse mastile ühtlasi ka nägus välimus. Tarbe korral võib masti asendada kasvava puuga, kuid antenni kinnituskohaks tuleb valida puu tüvi, mitte oks ega latv. Sääraste asemastide õõtsumisest tingitud antenni kõikumisi tuleb antenni kinnituskohas alati tasakaalustada ploki ja kohase raskusega.

Piiratud ruumiga asukohas ei ole tavaliselt võimalusi mastide püstitamiseks ja siis tuleb leppida hoonete katuste ja korstnate külge kinnitatavate lattidega või abimastide püstitamisega katusele (kuivõrd see ei riku hoone üldist välimust!). Seejuures peab hoolikalt arvestama seda, et antenni kiirgusosa ulatuks väljapoole hoonete ja ehitiste üldist ruumala. Kuigi neil juhtudel tuleks eelistada sääraseid antenni toiteviise, kus toitejuhtmetes kiirgust ei teki, tuleb harilikult kahjuks siiski leppida häälestatud pingetoitega süsteemidega (näiteks tsepeliin-antenn), kuna nad on ainsad, mis kõigil harmoonilistel sagedustel töötavad enam-vähem korralikult.

Antenni kinnitamine ühel või teisel teel loodud antenni toetuspunktidele toimub isolaatorkettide ja pingutusnööride abil. On alati soovitav vähemalt üks antenni kinnitusots tõmmata üle ploki, et alati oleks võimalik antenni hoida püsivana, pinguli. Antenni pingutusnööriks kasutada ainult head kanepnööri, mida on soovitav immutada masinaõliga ning väliselt pigitada. Ühtlasi on soovitav kinnitusnööride seisundit aeg-ajalt kontrollida ja neid õigeaegselt asendada, kuna katkenud pingutusnööri asendamine uuega on tänamatumaid töid.

Antenni materjaliks, vastupidi harilikule arvamisele, on sobivaim emailitud vasktraat, läbimõõduga: kuni 100-vatise antennivõimsusega — 1,5... 2,0 mm, 100...200-vatisele võimsusele 2,0...2,5 mm. Harilikult soovitatavad kiudtraadid toimivad hästi ainult niikaua, kui pealispind on haljas, korrodeerumisel muutub säärase antennijuhtme juhtivus küsitavaks. Antennijuhe tuleb toitekohas tingimata joota toiteliini juhtmetega.

Ultra- ja superkõrgsageduslikes astmikes töötavad antennid valmistatakse harilikult vabalt seisvaist, alustele kinnitatavaist 6...10 mm läbimõõduga vasktorudest.

Kasutatavaimaks antenni toiteliini materjaliks on sama antenni juhtmeks kasutatav emailitud vasktraat. Võimaluste kohaselt on soovitav säärane lahtine toiteliin asendada korraliku k.-s. koaksiaalkaabliga. Lihtsat valgustusvõrgu installatsioonis kasutatavat kummi-isolatsiooniga ja puuvillsukaga kaetud kahekordset punutud nööri meie suhteliselt kiiresti vahelduvais ilmastikutingimustes ei saa soovitada.

Ultra- ja superkõrgsageduslikes astmikes töötavate antennide ainsa toiteliini materjalina tuleb küsimusse peamiselt koaksiaalkaabel, kuna iga avatud liin tekitab liigseid kadusid, mida ei tohi lubada nende raskuste tõttu, millega on seotud võimsuste genereerimine neil sagedustel. Veelgi lühemail,

alla 3 cm lainetel, moodustab õõnesliin ainsa ratsionaalse antennitoite süsteemi.

Antenni kinnituse ja toiteliini juhtmete vaheliste eraldusisolaatorite valik sõltub ülekantavatest võimsustest. Üldiselt on soovitav, et mõlemal juhul kasutataks häid keraamilisi isolaatoreid. Nõudeid võib vähendada ainult häälestamata toiteliini eraldusisolaatorite suhtes, kuna neis ei arene pinged nimetamisväärsete kõrgusteni ja isegi parafiiniga immutatud puupulgad osutuvad rahuldavaiks. Igal juhul on soovitav aeg-ajalt koos antenni pingutusjuhtme ja tõmmitsate seisundi kontrollimisega ette võtta isolaatorite puhastus, mis on eriti tarvilik suitsukülastes tööstuslikes rajoonides.

Samuti kui muiski raadiojaamade ehituspraktikat käsitlevais küsimustes, pole ka antennide püstitamiseks olemas ühist retsepti, vaid antennid erinevad üksteisest individuaalselt veelgi rohkem kui muud raadiojaama osad.

7. Supervastuvõtja reguleerimine signaalgeneraatoriga.

Kuigi supervastuvõtja reguleerimine on mõeldav ilma spetsiaalsete eriseadmeteta, on reguleerimise täpsuse ja kiiruse huvides siiski eriseadmete olemasolu tarvilik. Säärasteks seadmeteks on signaalgeneraator, väljundimõõtja ja muud väiksemad tarberiistad, nagu kunstlik antenn, kruvikeerajad jne.

Põhimõtteliselt seisab superi reguleerimine kolmes tegevuses — vahesagedusvõimendaja, kõrgsagedusvõimendaja ja ostsillaatori reguleerimises, mida sooritatakse harilikult samas järjekorras.

Vahesagedusvõimendaja reguleerimist teostatakse astmete vastupidises järjekorras, alates viimasest (s. o. demodulaatori eel asuvast) vahesagedusastmest ja lõpetades muundusastmega.

Superi reguleerimise alguseks asendatakse valjuhääldaja väljundimõõtjaga, viimase puudumisel lülitatakse vastuvõtja väljumistrafo primaarmähisega rööbiti kõrgetakistuslik v.-v. voltmeeter, millega ühendatakse järjestikku 1 ... 2 μF kondensaator, et vältida a.-v. komponendi sattumist voltmeetrisse. Seejärel seatakse signaalgeneraator täpselt õigele vahesagedusele, m.-s. modulatsioon sobitatakse umbes 25%-liselt ning ta väljund ühendatakse varjestatult viimase v.-s. võimendaja astme lambi võre ja maanduse vahele. Kogu reguleerimise ajaks on soovitav ATR tegevusest välja lülitada ATR-i juhtme lühistamisega (ühe võimendusastme juures). Seejärel lülitatakse töösse nii vastuvõtja kui ka signaalgeneraator, misjärel väljundimõõtja osut peab andma püsiva väljalöögi, mis näitab, et detektor ja järgnevad m.-s. astmed töötavad.

Viimase v.-s. astme reguleerimiseks sobitatakse esmalt viimase v.-s. trafo primaarmähisega rööbiti asuva trimmerkondensaatori mahtuvust (raudsüdamikega trafode juures primaarmähise induktiivsust raudsüdamiku asetuse sobitamisega) maksimaalsele väljundimõõtja hälbele (näitamise absoluutne väärtus pole seejuures oluline). Samal ajal tuleb pidevalt vähendada signaalgeneraatori väljundit, et säilitada võimenduslambi normaalne töörežiim. Primaarringi reguleerimise lõppedes tuleb maksimaalsele hälbele reguleerida ka v.-s. trafo sekundaarring, misjärel veelkordselt korrata primaarringi häälestust.

Analoogiliselt teostatakse ka eelnevate v.-s. astmete võnkeringide reguleerimist. Seejuures tuleb tähelepanu juhtida sellele, et esimese v.-s. trafo häälestamiseks tuleb signaalgeneraatori väljund lülitada vahetult muunduslambi

võre ja šassii vahele ühendatava takisti (0,5 ... 1 megaoomi) otstele, samal ajal k.-s. võnkeringi võrelt vabastades. Esimese v.-s. trafo häälestamise lõppemisel peab v.-s. võimendaja arendama maksimaalset tundlikkust, millega ühtlasi tuleb esimene osa reguleerimistööst lugeda lõpetatuks. Kui vastuvõtja vahesagedusvõimendaja peab läbi laskma laia sagedusriba, siis ei häälestata kõik võnkeringid ühele, vaid mitmele sageduskanali sagedusele või vähendatakse võnkeringide Q-d võnkeringi takistuse suurendamisega.

Järgmisena reguleeritakse kõrgsagedus-võnkeringid. Selleks asendatakse ostsillaatorringi häälestuskondensaator ajutiselt eraldi-häälestatava pöördkondensaatoriga, lülitades signaalgeneraatori väljundi kunstliku antenni kaudu vastuvõtja sisendklemmidele (antenn—maa). Häälestades signaalgeneraatori kolmele (tarbe korral kuni viiele) kontrollsagedusele, millest kaks asuvad kaetava sagedusriba otste läheduses ja kolmas keskel (näiteks ringhäälingu sagedusribas f_1 = 1400 kHz, f_2 = 1000 kHz ja f_3 = 600 kHz), sooritatakse neil sagedusil vastuvõtja täpne häälestamine üldise häälestuskondensaatori ja ajutise ostsillaatorkondensaatoriga maksimaalsele väljundimõõtja hälbele. Kui kõrgsagedus-võnkeringe on rohkem kui üks, siis reguleeritakse samal ajal nende täpset kokkujooksu trimmerkondensaatorite abil. Igale kontrollsagedusele vastav häälestuskondensaatori asend märgitakse täpselt skaalale. Need skaala asendid peavad jääma lõplikeks.

Seejärel asendatakse ajutine ostsillaatorkondensaator õige häälestuskondensaatoriga ning asutakse ostsillaatorringi kokkujooksu reguleerimisele k.-s. ringidega. Õige kokkujooks kolmel kontrollsagedusel saavutatakse ostsillaatorringi pooli induktiivsuse (L_{os}) ja trimmerkondensaatori (C_T) ning lühenduskondensaatori (C_P) mahtuvuste õigete väärtuste juures (eeldusel, et pöördkondensaatori kõigil sektsioonidel lahkujooksu ei esine). Seega ostsillaatorringi kokkuajamise probleem seisab L_{os}, C_T ja C_P väärtuste väljareguleerimises, mis lihtsustub siis, kui pooli induktiivsus on muudetav reguleeritava raudsüdamikuga.

Ostsillaatorringi kokkuajamisel seatakse häälestuskondensaatorid skaalal tehtud märkuste järgi ning signaalgeneraator esmalt täpsele kolmandale kontrollsagedusele (f_3 = 600 kHz) ning lühenduskondensaatori (C_P) mahtuvus reguleeritakse väljundimõõtja maksimaalsele hälbele. Seejärel seatakse häälestuskondensaatorid ja signaalgeneraator esimesele kontrollsagedusele (f_1 = 1400 kHz) ning taotellakse maksimaalset hälvet trimmerkondensaatoriga (C_T). Analoogiliselt toimub kolmas reguleerimine teisel kontrollsagedusel (f_2 = 1000 kHz), mille juures reguleeritavaks elemendiks on pooli induktiivsus (L_{os}).

Et C_T ja L_{os} muutmisega nihkus paigalt ka kolmanda kontrollsageduse õige häälestamine, siis tuleb reguleerimist samas järjekorras paar korda korrata.

Teiste sagedusribade k.-s. võnkeringide reguleerimist ja kokkuajamist ostsillaatorringiga teostatakse samal viisil.

8. Supervastuvõtja reguleerimine ilma signaalgeneraatorita.

Kuigi superi häälestamine on põhimõtteliselt mõeldav ainult signaalgeneraatoriga, on siiski võimalik teatavaid tulemusi saavutada ka ilma selleta, eriti siis, kui pole tegemist täiesti uue vastuvõtja esmakordselt töösse rakendami-

sega, vaid häälestusest väljaläinud vastuvõtja töökorda seadmisega. Selliseks superi lihtsaks reguleerimiseks on ainult tarvis 7,5 ... 10 mA mõõtjat ja lihtsalt valmistatud ning isolatsioonimaterjalist käepidemega varustatud kruvikeerajat.

Kuna vastuvõtja reguleerimist saab teostada ainult väliste signaalipingete abil, kasutatakse käesoleval juhul signaalipingeteks antenni kaudu vastuvõetavaid ringhäälingujaamade signaale. Loomulikult on säärane vastuvõtja reguleerimine mõeldav ainult õhtuti, kui vastuvõtu tingimused on head ja kuuldavaid jaamu küllaldaselt.

Reguleerimiseks tuleb algul ATR-i poolt reguleeritava vahesagedusvõimendaja lambi anoodringis asuva v.-s. primaarmähise plussots ajutiselt toitejuhtmest lahti joota ning vabade otste vahele ühendada eespoolmainitud voolumõõtja. Ühtlasi on soovitav ühenduskohal voolumõõtja juhtmete otstele joota 2000 ... 10 000 pF kondensaator, et vältida võimalikku kõrgsageduslikku tagasisidet pikkade voolumõõtja ühendusjuhtmete kaudu. Pöördpool-mõõteriista kasutamisel tuleb jälgida, et mõõteriist oleks vooluringi ühendatud õige polaarsusega (+ toitejuhtmesse, — trafosse). Seejärel ühendatakse vastuvõtjasse antenn ja valjuhääldaja (kui see polnud varem külge ühendatud) ja lülitakse vastuvõtja töösse. Vastuvõtja töötamisel normaaltingimustes peab voolumõõtja näitama v.-s. võimenduslambi keskmist anoodvoolu (3 ... 6 mA).

Järgnev vastuvõtja reguleerimine, nagu eespool käsiteldud signaalgeneraatoriga reguleeriminegi, seisab üldiselt v.-s. ja k.-s. võnkeringide väljahäälestamises ning võnkeringide kokkujooksu reguleerimises ostsillaatorringiga. Kõigil häälestamistel ja reguleerimistel toimib indikaatorina v.-s. võimendusastme anoodringi lülitatud voolumõõtja, mille hälve ATR-i toimel muutub: mida tugevam on vastuvõetav signaal ja/või mida täpsemalt võnkeringid on välja häälestatud ning mida paremini ostsillaatori võnkeringid k.-s. võnkeringidega kokku on aetud, seda väiksemaks muutub lambi anoodvool. Reguleerimiseks häälestatakse vastuvõtja ühele tugevamale jaamale ning minimaalsele mõõteriista hälbele. Seejärel reguleeritakse kruvikeerajaga 2-se v.-s. trafo primaarmähise trimmerkondensaator (või kui kondensaator on püsiv, siis raudsüdamik) mõõteriista minimaalsele hälbele. Sama toimingut jätkatakse järjekorras 1-se v.-s. trafo sekundaarringiga ja primaarringiga ning lõpuks 2-se v.-s. trafo sekundaarringiga. Erandina käitub 2-se v.-s. trafo sekundaarring häälestamisel vastupidiselt — õigele väljahäälestusele vastab lame ja nõrk mõõteriista hälbe tõus.

Edasi korratakse sedasama, seades häälestusskaala nõrgemalt vastuvõetavale saatjale, kuna vastuvõtja vahepeal on muutunud hoopis tundlikumaks. Sellega lõpeb v.-s. trafode reguleerimine.

K.-s. võnkeringide reguleerimine ja kokkuajamine ostsillaatori võnkeringiga sooritatakse koos. Selleks häälestatakse algul vastuvõtja ühele häälestusskaala kõrgemasageduslikul otsal töötava tuntud jaama signaalile ($f \approx 1400$ kHz). Seejuures jälgitakse, kas vastuvõetava saatja häälestus vastab täpselt skaalal märgitud sagedusele või saatja nimetusele. Kui jaama häälestuses selgub lahkuminek, siis reguleeritakse ostsillaatorringi trimmerkondensaatorit (või raudsüdamiku asendit) seni, kui saavutatakse häälestuse täpne kokkulangemine skaalaga. Seejärel häälestatakse vastuvõtja skaala

teises otsas töötavale tuntud saatjale ($f \approx 600$ kHz)) ja kontrollitakse samuti häälestuse kokkuminekut skaalaga. Kui selgub lahkuminek, reguleeritakse ostsillaatorringi lühenduskondensaatori mahtuvust (või kui see on püsiv, siis raudsüdamiku asendit) seni, kui saavutatakse häälestuse ja skaala kokkulangemine. Veendudes veelkordse järelkontrolliga skaala kokkuminekus 1400 kHz sagedusel, peab häälestuse kokkujooks skaalaga olema tagatud kogu skaala ulatuses ning ostsillaatorringi reguleerimine tuleb lugeda selles sagedusastmikus lõpetatuks.

Edasi jätkub k.-s. võnkeringide kokkuajamine ostsillaatorringiga, k.-s. võnkeringide trimmerite reguleerimises 1400 kHz sagedusel ja võnkeringide raudsüdamike (kui on olemas) reguleerimises 600 kHz sagedusel mõõteriista minimaalsele hälbele. Kui see on saavutatud, tuleb kontrollida, kas kokkujooks püsib ühtlasena üle terve skaala.

Kui kokkujooksus peaksid tekkima suuremad lahkuminekud, mis avaldub vilede ilmnemises häälestamisel või vastuvõtja tundlikkuse vähenemises skaala keskosas, tuleb oletada, et: 1) skaala on nihkunud oma õigelt asukohalt või 2) vahesagedus on välja häälestatud ebaõigele sagedusele. Esimese võimaluse kontrolliks tuleb taotleda uut k.-s. ja ostsillaatori võnkeringide kokkujooksu kolme saatja sagedusel, milledest kaks asuksid endiselt 1400 ja 500 kHz ümbruses, kolmas aga 1000 kHz läheduses (reguleerides kõigi võnkeringide reguleeritavaid elemente, kaasa arvatud ostsillaatori võnkering). Kui seegi ei anna tulemusi, tuleb katset algusest peale korrata uutele vahesagedustele häälestamisega. Viimast meetodit tuleb rakendada ka täiesti uue, esmakordselt häälestatava vastuvõtja reguleerimisel.

Kui kesklaineala on lõpuks õigesti välja reguleeritud, tuleb sama toimingut jätkata teistel lainealadel. Nende reguleerimine on lihtsam, sest vahesageduse häälestamist enam korrata ei tule ning ühtlasi on selgunud, kas skaala püsib paigal, või kui ta on nihkunud, siis missuguses ulatuses.

Nagu eeltoodust selgub, kujuneb superi reguleerimine ilma signaalgeneraatorita võrdlemisi raskepäraseks ja kohati ebamääraseks toiminguks. Peale selle raskendab tööd veel kindlusetus mõõteriista hälvetes, kuna õhtuti kuuldavate saatjate tugevus feedingu tõttu pidevalt muutub. Viimast nähtust tuleb tõsiselt arvestada, et mitte sattuda väärnäidete vastuoksustesse.

Kuna alati pole võimalik vastuvõtja reguleerimiseks hankida signaalgeneraatorit, siis kujuneb signaalgeneraatorita reguleerimise meetod amatöörpraktikas kahjuks sagedasti kasutatavaks. Arvestades seda, et amatööri vastuvõtja peab olema kõige eeskujulikumas töökorras, tuleb tõsiselt soovitada kas või lihtsaima, ajutiselt kokkupandava signaalgeneraatori valmistamist, mis kujuneb väärtuslikuks lisandiks amatööri laboratooriumis. Säärast signaalgeneraatorit vajab amatöör peale oma vastuvõtja korrastamise ka saatja reguleerimisel ja muudel laboratoorsetel töödel.

NELJAS OSA

ERIRAKENDUSALAD

P. TELEVISIOON.

1. Üldiselt.

Televisiooni ehk kaugnägemise all mõeldakse liikuvate kujutiste edasiandmist eemalseisvaisse vastuvõtupunktidesse elektrilisel teel, kasutades saatja ja vastuvõtja vahelülina kas elektromagnetilisi laineid ruumis või elektrivoolu kaabelliinis. Nii üks kui teine televisiooni ülekandeviis evib oma paremusi ja oma puudusi ning mõlemad leiavad rakendamist eri otstarveteks.

Käesolev peatükk käsitleb raadio-televisiooni, mis viimase aastakümne kestel on arenenud kõrgele tehnilise küpsuse tasemele ja on praegu astumas ühiskonna teenistusse samuti kui ringhääling 30 aasta eest. Siiski ei saa televisioon kujuneda ringhäälingule võistlejaks, vaid ta täiendab ringhäälingut kui kõrgemaastmelisem tehnilise levi liik. Televisioon koos helilise saatega, s. o. ringhäälinguga, annab lõpliku lahenduse sündmuste, ettekannete, esitiste, meelelahutuste jne. täiuslikus kaugülekandes.

Suured ülesanded seisavad televisioonil ees ka rahvamajanduse, teaduse ja tehnika teenistuses. On raske ette näha kõiki televisiooni laialdasi rakenduse suundi ja võimalusi, kuid asendamatuks kujuneb ta kasutamine raskesti juurde pääsetavate eemalasuvate esemete vaatlusel ja uurimisel, nagu näiteks veealustel uurimistel, teatud piiratud vaatealaga sooritatavate operatsioonide massilisel jälgimisel jne.

2. Televisiooni üldpõhimõte.

Tehnilise teostamise üldpõhimõttelt sarnaneb televisiooniline ülekanne mõningal määral telefonilise ülekandega. Samuti kui telefonisaates, kus algul helilained muudetakse mikrofoni abil vastavaiks muutliku väärtusega elektrivooludeks, toimub ka televisiooni juures liikuva kujutise muutmine sellekohaste tehniliste seadmete abil vastavaks elektrivooluks. Kuid liikuva kujutise ülekandmine kujutab endast tunduvalt keerukamat tehnilist protsessi, sest liikuvat kujutist ei ole võimalik muuta kujutisele igal hetkel otseses mõttes vastavaks elektrivoolu kompleksiks lihtsal teel, nagu see on teostatav helilainete ülekandmisel elektrivooluna. Helilainete ülekandmisel on mikrofoni ülesandeks muuta pidevalt elektrivoolu väärtust või genereerida EMJ kooskõlas helilaine tugevuse ehk surve muutumisega. Niisama lihtsalt toimub vastuvõtupunktis helisagedusliku voolu muutmine telefoni abil uuesti helilaineteks.

Liikuva kujutise muutmise protsess elektrivooluks ja ta hilisem taastamine kujunevad märksa keerukamaks. Liikuvat kujutist iseloomustab kõigepealt pidevalt muutuv pinnavalgustus igas vaadeldava kujutise üksikpunktis. Seepärast pole kujutise edasiandmine mõeldav tervikuna üheaegselt, vaid ainsaks probleemi tehniliseks lahenduseks kaasaegse tehnilise taseme

juures on kujutise lahutamine paljudeks üksikpunktideks, mida televisioonis nimetatakse piltelementideks. Iga säärast kujutise piltelementi võib vaadelda kui ühtlaselt valgustatud ja konstantse pinnavalgustusega miniatuurset pilti. Liikuvat kujutist võib käsitella omakorda, nagu see on tarvitusele võetud kinos, kui üksikute püsivate tervikpiltide ehk raamide pidevat vaheldumist, milles järjestikku, vastavalt kujutise arenemisele, muutuvad piltelemendid. Televisioonis lahutatakse raamid üksikuiks piltelementideks kui ühtlaselt valgustatud ja püsiva valgustusega miniatuursed tervikpildid, millistena nad kindlas järjekorras võetakse saatjas üles, muundatakse vastava tugevusega elektrivoolu pulssideks ja saadetakse vastuvõtjasse liikuva kujutise taastamiseks. Liikuva kujutise lahutamise toimingut piltelementideks saatmisel ja kujutise koostamist, s. o. taastamist vastuvõtul nimetatakse pildi täppimiseks (tastimiseks). Piltelementide pinnavalgustuse muundamine elektrivoolu pulssideks toimub fotoelektrilisel teel. Muundamisel saadavad väga nõrgad elektrivoolu pulsid võimendatakse vajalikul määral ning kasutatakse seejärel saatja kandevlaine moduleerimiseks. On arendatud välja kaks moduleerimisviisi: positiivne ja negatiivne. Positiivsel moduleerimisel jääb piltsignaalide tugevus võrdeliseks piltelementide pinnavalgustusega, negatiivsel moduleerimisel muudetakse kandevlaine tugevus pöördvõrdeliselt piltelementide pinnavalgustusega, s. o. kantakse üle kujutise negatiiv. Meil Nõukogude Liidus on tarvitusele võetud negatiivne moduleerimisviis, mis võimaldab paremat ülekannet eriti neil juhtudel, kui tööstuslike häirete tase on suhteliselt kõrge. Positiivsel moduleerimisel on tööstuslikest häiretest põhjustatud moonutused taastatud kujutises üldiselt suuremad kui negatiivsel moduleerimisel.

Piltelementide täppimise järjekorra valikus on üldiselt peatatud kirjalugemise järjekorral, s. o. igas raamis piltelemendid antakse üle (s. o. täpitakse) ridades vasakult paremale ja ridadena ülalt alla. Selline järk-järguline täppimisviis võimaldab liikuvat kujutist üle kanda üheainsa saatekanali kaudu. Seejuures on oluline, et saabuvaist piltelementide voolupulssidest liikuva kujutise taastamine toimuks vastuvõtjas suurima täpsusega samas täppimise järjekorras, nagu teostus kujutise lahutamine saatjas, s. o. sünkroonselt.

Kujutise piltelementideks lahutamise ja taastamise menetlus ei kujuta endast midagi iseäralikku, kui piltelementide arv on küllaldaselt suur, sest sama põhimõtet rakendatakse mitte ainult kõigis trükitud piltides, vaid samuti ka fotoülesvõtetes. Isegi kõige ühtlasema ja peenetoimelisema pinnaga fotoülesvõte või film näib teralisena, s. o. koosnevana üksikuist piltelementidest, kui neid uurida küllaldase suurendusega läätse või mikroskoobi all. Kuna silma võrkkest koosneb teatavasti samuti suurest arvust nägemisrakukestest, siis kogu nägemisprotsessi tuleb käsitella kui miniatuursete valgustuselementide tunnetamist silma võrkkesta rakkude kaudu. Säärast piltelementide järjestikust ülekandmist soodustab õnneks veel silma eriomadus — nägemisaistingu lühiajaline jätkumine pärast seda, kui valgusefekt ise on juba lakanud. Kui liikuva kujutise täppimist teostada küllaldase kiirusega, siis taastatuna vastuvõtja ekraanil üksikud piltelemendid tekitavad silmas tervikliku kujutise mulje. Ainult tänu sellisele silma eriomadusele on olnud võimalik lahendada nii kino kui ka televisiooni rakenduse probleemi.

Valgusefekti säilimise kestus silma võrkkestas võrdse tsükliliselt vahelduva valgustamise ja pimendamise sageduse juures pole püsiv väärtus, vaid muutuv, olenedes mitmest kõrvaltegurist, näit. piltelemendi valgustus- ja pimendusaja suhtest, värvilisusest ja eriti tähelepandavalt piltelemendi pinnavalgustusest. Puudulik valgusefekti säilimise kestus silma võrkkestas avaldub vilkumisena, mis väsitades silmi mõjub liikuva kujutise tajumisel häirivalt. Seepärast heakvaliteedilisel liikuva kujutise ülekandel peab vilkumine olema minimaalne. Loeteldud kõrvaltegureist suurendab vilkumist pinnavalgustuse tõstmine, samuti suurendab vilkumist valgustus- ja pimendusaja suhte liigne tõus; värvilisel ülekandel vilkumine väheneb.

Kinofilmi-ülekande praktikas on kindlaks tehtud, et hea liikuva kujutise mulje saamiseks jätkub 24 pildi ehk nn. r a a m i vaheldumissagedusest sekundis, kuid vilkumise suhtes osutub see sagedus ebarahuldavaks. Seepärast pimendatakse iga raami kinoekraanil täiendavalt veelkordselt, millega saavutatakse raamide arvu tõstmist kunstlikult 24-lt 48-le. Vastavalt sellele iga valgustatud ja pimendatud pildi terviktsükli periood võrdub $^1/_{48}$ sekundiga.

Kuna televisiooni juures piltpunktide valgustamine toimub samuti tsükliliselt, s. o. igale piltpunkti valgustamisele, mis kestab väga lühikest aega[1], järgneb suhteliselt pikaajaline pimendamine, siis kinoülekandega võrdse kvaliteedi saavutamiseks peaks televisiooni juures iga piltelemendi valgustusepimenduse tsükli periood võrduma samuti vähemalt $^1/_{48}$ sekundiga. Praktiliselt rakendatakse televisioon-ülekandes üldiselt $^1/_{50}$-sekundilist valgustusepimenduse tsükli perioodi. Valgustus- ja pimendusaja suhte ühtlustamiseks ja keskmise valgustugevuse tõstmiseks kasutatakse televisiooni-vastuvõtjate kineskoopides lühikese järelvalgustusajaga ekraane.

3. Televisiooniseadmeile esitatavaid nõudeid.

Kooskõlas televisiooni toimimise põhimõttega on liikuva kujutise loomutruuks ülekandeks tarvilik:

1) piltelementide pindalad peavad olema võimalikult väikesed ja piltelementide arv sellele vastavalt suur, see on tarvilik kujutisele vajaliku ü l e k a n d e t e r a v u s e andmiseks;

2) kujutise lahutamine piltelementideks saatjas ja kujutise taastamine vastuvõtjas peab toimuma absoluutse s ü n k r o o n s u s e g a nii ruumiliselt kui ka ajaliselt, et ei tekiks kujumoonutusi ülekantavas kujutises;

3) piltelementide täppimise kordumise kiirus või nn. r a a m i d e v a h e l d u m i s e k i i r u s peab olema küllaldaselt suur, et vähendada miinimumini piltelementide vaheldumisel tekkivat virvendust;

4) kujutise piltelementide v a l g u s t u g e v u s e k o n t r a s t s u s peab olema küllaldane ja valgustugevused üle kantama õigetes vahekordades;

5) ülekandes peavad säilima kujutise õ i g e d v ä r v u s e d;

6) ülekanne peab evima a l g u p ä r a s t r u u m i l i s u s t, s. o. s t e r e o s k o o p i l i s u s t.

[1] Kui televisiooni-ekraani laiuse ja kõrguse suhe võrdub $^4/_3$ ja kui raamide arv sekundis on 50, siis 625-realisel täppimisel kujuneb piltpunktide arv sekundis üle 13 miljoni ja ühe piltpunkti valgustuskestus alla 0,077 mikrosekundi.

Kaasaegse tehnilise seadmega on neli esimest nõuet leidnud lõpliku lahenduse, värvilise televisiooni praktilisele rakendamisele on samuti tegelikult juba asutud, kuid stereoskoopiline televisioon, samuti kui stereoskoopiline kinogi, on alles laboratoorse uurimise ja katsetuse ajajärgus.

4. Televisiooni tehnilise seadme lahendamise põhimõtteid.

Ülesseatavate ülesannete keerukuse tõttu endised mehaanilised kujutise lahutamise ja täppimise meetodid televisiooni probleemi rahuldavat lahendamist ei võimaldanud. Murranguline pööre televisiooni arengus tekkis siis, kui rakendati tegevusse puhtelektriline inertsivaba süsteem. Elektronilise televisiooni süsteemi juures kasutatakse kujutise täppimiseks saatmisel ikonoskoopi (C 10) või moodsamat, märksa tundlikumat seadist — ortikoni, mis võimaldab teostada liikuva kujutise ülesvõtet väga nõrga valgustuse juures, isegi videvikus, kuuvalgusel või tikutule paistel. Vastuvõtul kasutatakse suurendatud ekraaniga vaakum-katoodkiirtetoru — kineskoopi, milles elektronide vihu kallutamist teostatakse peaaegu eranditult magnetiliselt. Magnetilise kallutusviisi paremuseks on suurem paindlikkus ja toru ehitusest tingitud ebasümmeetrilisuste parandamise võimalus kujutise taastamisel.

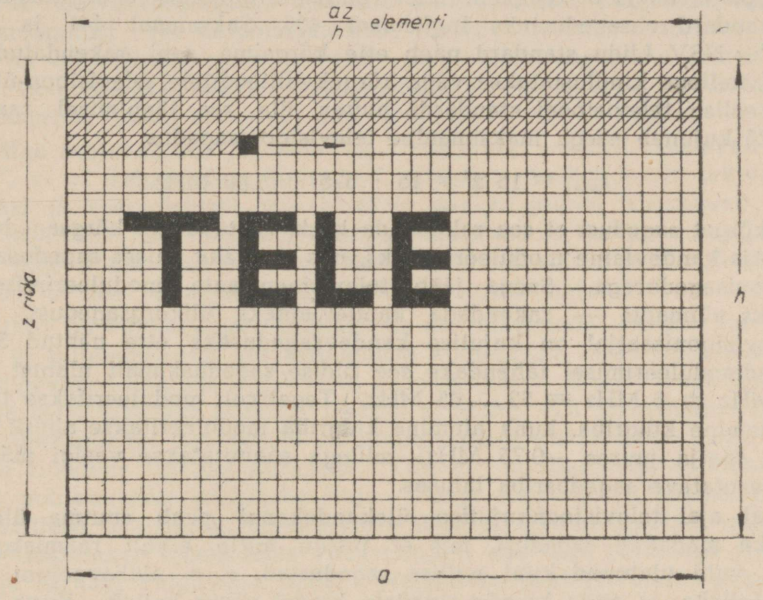
Vajaliku pilditeravuse saavutamiseks peab piltelementide arv olema küllaldaselt suur. Kui iga piltelementi vaadelda ruuduna, mille küljed võrduvad täppimisrea laiusega, ja kui ridade üldine arv võrdub z ning rea pikkus vastab a ja kujutise kõrgus h (joon. 261), siis rea laius (s. o. piltelemendi külg) võrdub $\frac{h}{z}$. Sel juhul mahub igasse ritta piltelemente $a : \frac{h}{z} = \frac{az}{h}$ ning piltelementide üldarv n võrdub ridade arvuga korrutatult elementide arvuga igas reas, s. o. $n = z\,\frac{az}{h} = \frac{az^2}{h}$, või kui asendada $\frac{a}{h}$ kujuteguriga p, siis $n = pz^2$. Kui näiteks kujutegur $p = {}^4/_3$, siis 625-realises raamis kujuneb piltelementide arv $n = pz^2 = {}^4/_3 \cdot 625^2 = 520\,833$.

Praktilisel kujutise täppimisel jätkub täielikult pilditeravusest, kui ridades üksteisele järgnevatele ruudukujulistele piltelementidele vastavad voolupulsid asendada siinuselise vooluga. Tõenäoliselt on piltelementide vaheldumise sagedus maksimaalne siis, kui iga järgnev piltelement evib eelnevaga vastupidist polaarsust, s. o. kui valged elemendid vahelduvad mustadega. Sel puhul iga vahelduva valgustusega piltelementide paar moodustab ühe vahelduvvoolu terviktsükli ning üldine terviktsüklite arv, s. o. siinuselise vahelduvvoolu sagedus ühe raami kohta kujuneb maksimaalsest piltelementide arvust kaks korda väiksemaks. Seega voolu maksimaalne täppimissagedus ühe raami kohta kujuneb $\frac{pz^2}{2}$, ja kui raamide arv sekundis ehk raamisagedus vastab F, mis praktilistel kaalutlustel, nagu eespool on käsiteldud, ei või olla alla 50 (et virvendus ei kujuneks häirivaks), siis piltelementidelt täpitava voolu maksimaalne sagedus ehk maksimaalne televisioonisagedus f_{max} võrdub

$$f_{max} = \frac{pz^2F}{2} = 25\,pz^2 \text{ (Hz)}.$$

Eelneva näite kohaselt kujuneks täppimisvoolu maksimaalne sagedus $f_{max} = 25\ pz^2 = 25 \cdot 520\,833 = 13\,020\,825$.

Selliselt arvutatav maksimaalne televisioonisagedus kujuneb väga kõrgeks, et säilitada pilditeravus ühtlasena kogu pildi ulatuses ning vähendada virvendus minimaalseks. See tähendab saatelaine moduleerimist väga kõrgete, mitmesse megahertsi ulatuvate sagedustega, mis esitab omakorda väga ranged tingimused ülekandekanalile, mis peab ühtlaselt üle kandma mitte ainult kõrgeima televisioonisageduse f_{max}, vaid, nagu selgub allpool, kogu laia sagedusspektri alates sagedusest 0 kuni f_{max}. Arvestades raskusi, mis esinevad sellise laiaribalise võimendaja koostamisel, ollakse sunnitud sageduskanali laiust



Joon. 261. Näide televisioonkujutise lahutamise kohta piltelementideks: kolm ülemist rida on juba täielikult täpitud, täppimine jätkub parajasti neljandal real.

mitmesuguste otstarbekaks osutunud võtetega praktiliselt veelgi vähendama Kõigepealt selgub praktikast, et televisioonisagedust võib vähendada 75 ... 90 protsendile, ilma et selle all kujutise teravus tähelepandavalt halveneks. Kuna teiselt poolt pildi mõõdete, s. o. laiuse a ja kõrguse h suhe NSV Liidu standardi järgi on kindlaks määratud $p = \frac{a}{h} = \frac{4}{3}$, siis eelnenud sagedusvõrrandi kohaselt kujuneb maksimaalne televisioonisagedus, kui piirata vähendamist 90%-ga,

$$f_{max} = 0{,}9 \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{z^2 F}{2} = 0{,}6\, z^2 F = 30 z^2 \text{ (Hz)}.$$

Peale selle vähendatakse maksimaalset televisioonisagedust sel teel, et ridade järjestikuse täppimise asemel rakendatakse üle rea täppimise meetodit, mis seisab selles, et täppimine toimub vaheldumisi paaritute (1, 3, 5 ...) ja paaris (2, 4, 6 ...) ridadena. Selle menetlusega suureneb piltelementide, ridade ja täisraamide arvu endiseks jäädes poolraamide arv

kahekordselt, mis avaldub virvenduse vastavas vähenemises. Et aga 50 raamisagedusega ülekannet võis pidada täiesti rahuldavaks, siis virvendust endiseks jättes on võimalik üle rea täppimisega täisraamide arvu vähendada 50-lt 25-le, millega maksimaalne televisioonisagedus väheneb veelgi kahekordselt:

$$f_{max} = 0{,}3\, z^2 F = 15\, z^2 \text{ (Hz)}.$$

Kujutise kvaliteedi, eeskätt ta teravuse tõstmise eesmärgil on ridade arvu järjekindlalt tõstetud. Esimesed praktilised saatekatsed alustati mehaanilise täppimisviisiga 30-realiselt. Elektronilisele täppimisele üleminekul kujunesid standard-reasagedusteks Inglismaal 405, Saksamaal 441 ja Ameerikas 525[1]. NSV Liidu standard näeb ette kõrgeima seni rakendatud ridade arvu 625, millega kindlustatakse väga kõrgekvaliteediline televisioon-ülekanne.

625-realise televisiooni standardi juures üle rea täppimisel raamisagedusega 25 kujuneb seega maksimaalne televisioonisagedus

$$f_{max} = 15\, z^2 = 15 \cdot 625^2 \approx 5{,}86 \text{ MHz}.$$

Säärast kõrget sagedust ei saa rakendada kesk- ja tavalisel kõrgsagedusel toimiva saatja kandevlaine moduleerimiseks, mis asetseks ühises sagedusastmikus televisioonisagedusega. Seega jääb televisioonisaate moduleerimiseks üle ainult üks võimalus — rakendada kandevlaineks ülikõrgsagedust. Moskva uuel televisioonisaatjal on kujutise kandevsageduseks ette nähtud 59 MHz. Amplituudmoduleerimisel tähendaks see üldise sageduskanali ulatust keskmiselt 59 MHz $\pm$ 6 MHz = 53 ... 65 MHz. Tegelikult moduleeritakse täielikult ainult ülemine külgriba, kuna alumine külgriba moduleeritakse ainult osaliselt (Moskva saatja juures —0,75 MHz), millega saavutatakse veelgi märgatavat säästu kasutatava sagedusriba laiuses.

Samal ajal televisioonkujutise ülekandekanal peab suutma üle kanda ühtlasi ka madalaid sagedusi, mis ei piirdu mitte ainult raamisagedusega ($F = 50$), vaid ulatuvad kuni nullise sageduseni, s. o. alalisvooluni, mis on tarvilik selleks, et anda kõigile ridadele kindel püsiv kallak. Kuna kujutise ülekandel ridades järgemööda täpitavate piltelementide pinnavalgustus võib muutuda väga erinevates nüanssides, alates ühetoonilistest laikudest ja ulatudes üksiku piltelemendi külje laiusega võrreldavate detailideni, siis on arusaadav, et kanali sagedusribasse peavad mahtuma kõik sagedused alates 0 kuni f_{max}.

Sellega pannakse õige ranged nõuded televisioonkujutise ülekande tehnilise seadme kõigile üksiklülidele, alates kujutise ülesvõttest ikonoskoobiga või ortikoniga ja lõpetades vastuvõtja ekraaniga. See on ühevõrra kehtiv saatel raadio või kaabli kaudu. Mõlemal juhul peavad televisioonisagedust käsitavad võimendajad suutma ühtlaselt üle kanda sagedusi 0 ... 6 MHz, mis tingib erilise ehitusega alalisvoolu võimendajate kasutuselevõtmist. Kuna ülekantavate sageduste riba on tohutult lai, kujuneb säärane võimendaja palju-

[1] Sääraste ridade arvude (225, 243, 315, 343, 375, 405, 441, 525, 625 jne.), mis kujutavad endist paaritute lihtarvude (3, 5, 7) korrutisi, tarvituselevõtmine on tingitud üle rea täppimise menetlusel vajadusest sünkroniseerida raami- ja reasagedus võrguvoolusagedusega (50 Hz), et sellega vältida võimalikke võrgumüra-häireid ülekandes.

astmeliseks, sest vaatamata kõrge tõusuga eritüüpi võimenduslampide kasutamisele kujuneb astmevõimendus suhteliselt madalaks (4...5). Samuti peavad nii saatja kui ka vastuvõtja antennid olema eri ehitusega, et tagada kogu laia sagedusriba ühtlast ülekannet, näiteks murtud dipool (J 8 c), milles antenni radiaatorina kasutatakse suure läbimõõduga toru ja millega koos väheneb märgatavalt antenni Q. Saadete puhul koaksiaal-kaabelliini kaudu peab kaabel olema võimalikult madalate kadudega.

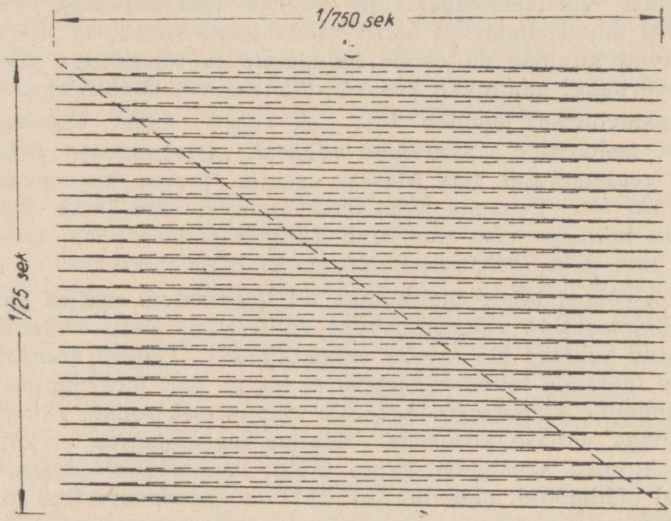
Peale selle ei tohi televisioon-ülekande lülides tekkida faasimoonutusi, mis aga helilisel ülekandel ei oma praktilist tähtsust. Tekkivad faasimoonutused nihutavad televisioonkujutise suhtelist asukohta, mis põhjustab kas kujutise üldist moonutust või iseloomustavate varjude tekkimist kujutises. Viimane nähtus on eriti tähelepandav ja häiriv madalamate sageduste juures, mis ülekandes vastavad kujutise ühtlastele heledatele ja tumedatele aladele ja mis faasimoonutuse puhul muutuvad kas vöödilisteks või laigulisteks.

Üldine saatevõimsus jaguneb f_{max} ja f_{min} vahel vastavalt kujutise „sisule", s. o. iseloomule. Suuremad võimsuse keskendused tekivad raamisagedusel ja reasagedusel, mis Moskva saatja juures kujunevad vastavalt 50 Hz ja 15 625 Hz. Esimene neist on madalatooniline ja on valjuhääldajas kuulda pideva mürana, teist, mis asub kuuldesageduse piiril, tavaline vastuvõtja läbi ei lase ja ta jääb valjuhääldajas kuuldamatuks.

Ühtlasi on võimendajate ülesandeks nii televisiooni saatjas kui ka vastuvõtjas, et piltelementide valgustugevuse kontrastsus oleks küllaldane ning et valgustugevused kantaks üle õigetes vahekordades. Õigesti koostatud võimendajatega selle ülesande täitmine raskusi ei tekita, sest ülesvõtmine ikonoskoobiga ja ülekandmine kineskoobi ekraanile toimub elektronide vihuga, mis läbib kujutise ridadena ühtlase kiirusega. Oluline on seejuures, et kallutuspinged eviksid puhtakujulist saehamba kuju. Kuigi ikonoskoobi juures, mis toimib fotoelektrilisel põhimõttel, genereeritav EMJ on pöördvõrdeline pinnavalgustusega, taastatakse kineskoobis võimendajate abil õige polaarsus ja vahekord pinge ja ekraani valgustuse vahel. Negatiivse moduleerimise puhul säilitatakse vahekord samuti endisena, vahe seisab ainult selles, et kujutise muutmiseks positiiviks tuleb võimendajale vastuvõtjas juurde lisada (või vähendada) lisa-võimendusaste, millega automaatselt saavutatakse 180° faasipööramine. Kineskoobis elektronide vihk kontsentreeritakse läätsede abil sääraselt, et ta laius kogu aeg vastaks rea laiusele, jättes muutuvaks ainult ta intensiivsuse.

Suurimaks probleemiks televisiooni saate-vastuvõtu süsteemis on kujutise lahutamise ja taastamise sünkroonsuse tagamine. Seda saavutatakse sel teel, et elektronide vihud kallutatakse sünkroonselt nii ikonoskoobis kui ka kineskoobis horisontaalselt reasageduslikele ja vertikaalselt raamisageduslikele saehambakujulistele kallutuspingetele (magnetilise kallutuse juures — vooludele). Joonisel 262 on näidatud kujutise täppimine kineskoobis saehambakujuliste rea- ja raamisageduslike pingetega. Lihtsuse tõttu on raamide arv sekundis valitud 25, ridade arv raamis 30 ja sekundis vastavalt 750; kujutise read on näidatud pidevate joontena, elektronide vihu tagasijooksu teekond — punktiirina. Täppimisel liigub elektronide vihk, alates vasakpoolsest ülemisest nurgast, suhteliselt aeglaselt tõusva horisontaalse saehambakujulise kallutuspinge (lame külg) toimel ühtlase kiirusega vasakult paremale. Liikumine kestab

seni, kui saehambakujuline pinge jõuab amplituudväärtuseni. Sellele järgneb saehambakujulise pinge järsk langus (järsk külg), mille kestel elektronide vihk kulgeb suure kiirusega kujutise vasakpoolsesse serva tagasi (joonisel näidatud punktiirina). Ent samaaegselt, mõjutatuna vertikaalsest raami saehambakujulisest kallutuspingest, kaldub elektronide vihk ühtlasi allapoole, nii et ta järjekordne liikumine vasakult paremale horisontaalse kallutuspinge järgneva tsükli toimel areneb eelmisega võrreldes rööbitiselt, kuid ühe rea võrra madalamalt. Säärane ridade joonestamine areneb seni, kui elektronide vihk jõuab kujutise alumise serva parempoolse nurgani (käesoleval juhul 30. rea lõpuni),



Joon. 262. Televisioonkujutise täppimine saehambakujuliste rea- ja raamisagedusega pingetega; raamide arv 1 sekundis — 25, ridade arv 1 raamis — 30, 1 sekundis — 750.

mil vertikaalne kallutuspinge on aeglaselt arenenud amplituudväärtuseni. Sellele järgneb vertikaalse kallutuspinge järsk langus, mille toimel ja kestel elektronide vihk viiakse suure kiirusega diagonaalselt üle kujutise tagasi ülemisse vasakpoolsesse nurka, s. o. punkti, kust ta teekonda alustas.

Sooritanud $^1/_{25}$ sekundi vältel esimese raami, jätkub elektronide vihu liikumine ridadena analoogiliselt teises, kolmandas jne. raamis. Väikese ridade arvu juures, nagu vaadeldaval juhul, ei kujune read kujutise ülemise ja alumise servaga täielikult rööbitiseks, vaid asuvad väikese kallaku all; suure ridade arvu juures (näit 625) muutuvad nad praktiliselt rööbitisteks. [1]

Üle rea täppimine erineb vaadeldust ainult sellepoolest, et elektronide vihu vertikaalse kallutuspinge sagedus on kaks korda suurem ja vastavalt

[1] Käsiteldavat täppimisviisi, mida kasutatakse kõigis televisiooniseadmeis, nimetatakse sirgjooneliseks täppimiseks; peale sirgjoonelise täppimise tuntakse veel spiraalset, ringikujulist jt. täppimist, mida rakendatakse raadiolokatsiooniseadmeis, katoodkiirte-ostsilloskoopides jne.

sellele toimub vertikaalne kallutus kaks korda kiiremini, mille tagajärjel ridade järjekordsel täppimisel jääb alati üks rida vahele, kuna täpitavate ridade arv ühes raamis on kaks korda väiksem. Ühtlasi aga rakendatakse vertikaalne kallutuspinge selliselt, et iga järgneva raami algus oleks eelmisest ajaliselt nihutatud kindlaarvuliselt kas ühe või mitme paaritu ridade arvu võrra. Sel teel kaks järgnevat raami täiendavad üksteist ning summeerituna moodustavad tervikkujutise.

Elektronide vihu tagasijooksu vältel horisontaalselt ja vertikaalselt pimendatakse kineskoobi ekraanil kujutis, kasutades tagasijooksuaega sünkroniseerimiseks vajalike pulsside üleandmiseks-vastuvõtmiseks. Sellega avaneb võimalus rakendada ühist sageduskanalit (s. o. kandevlainet) kujutise ja ka sünkroniseerimissignaalide edasiandmiseks.

Meil tarvitusele võetud negatiivse moduleerimise süsteemiga teostatakse kujutise ja sünkroniseerimissignaalide eraldamist sel teel, et kujutis moduleeritakse kandevlainele 0 kuni maksimaalselt 75%, kusjuures nulline modulatsioon vastab heledalt valgustatud piltelemendile ning 75% modulatsioon vastab valgustamata, s. o. mustale piltelemendile; ülejäänud 25% kandevlaine modulatsioonist, s. o. 75...100% kasutatakse sünkroniseerimissignaalide üleandmiseks, mille kestel kujutis muutub „mustemaks" kui valgustamata piltelement.

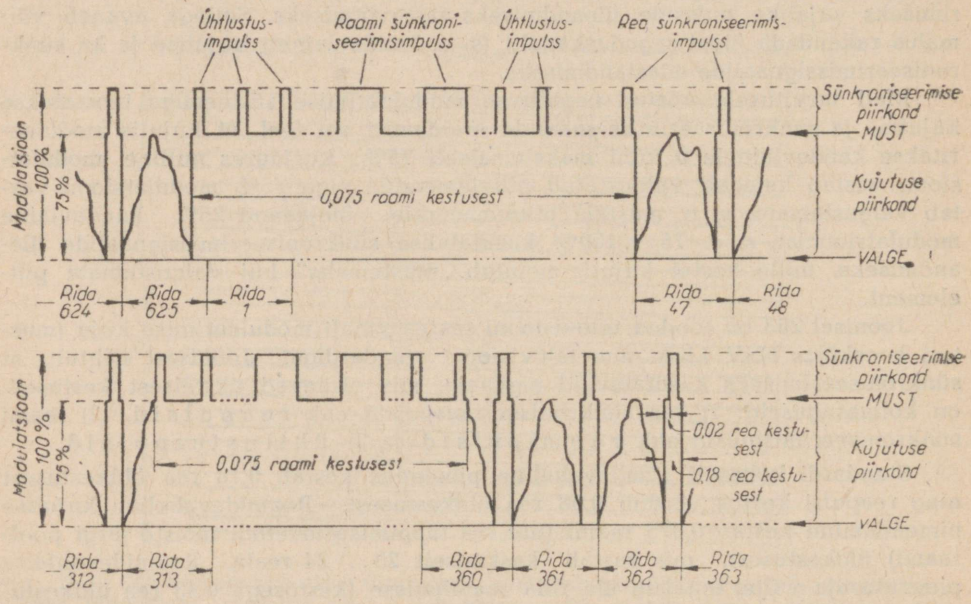
Joonisel 263 on toodud televisiooni saatesignaali moduleerimise kuju (muster) kooskõlas NSV Liidu uue televisiooni standardiga. Joonisest nähtub, et sünkroniseerimiseks kasutatavaid signaale, mis erinevad üksteisest kestuselt, on kolmesuguseid: 1) rea sünkroniseerimispulsid ehk r e a p u l s i d, 2) raami sünkroniseerimispulsid ehk r a a m i p u l s i d ja 3) ü h t l u s t u s p u l s i d.

Standardi kohaselt ridadevaheline pimendus kestab 0,18 rea üldkestusest ning reapulsi kestus võrdub 0,08 rea üldkestusest. Raamidevaheline kujutise pimendamine kestab 0,075 raami (üle rea täppimise meetodi mõiste järgi poolraami) üldkestusest, mis vastab keskmiselt 23...24 reale. Raamidevahelise pimendusaja vältel antakse üle rida raamipulsse (kestusega 0,43 rea üldkestusest), ühtlustuspulsse ja reapulsse. Peale selle antakse iga reapulsi ees eelsignaal, kestusega 0,02 rea üldkestusest. Eelsignaali ülesandeks on tagada reapulsi täielik sõltumatus eelnevast kujutise modulatsioonist.

Sünkroniseerimispulsside genereerimine, vormimine ja sünkroniseerimine üldvalgustusvõrgu voolu sagedusega toimub saatjas eriseadmete abil suure täpsusega. Neid pulsse kasutatakse peale kandevlaine moduleerimise veel ikonoskoobi elektronide vihu saehambakujuliste kallutuspingete sünkroniseerimiseks.

Antenniga kinnipüütud televisioonisignaalid juhitakse vastuvõtjas esmalt võimendajasse, mis võib toimida kas superheterodüün-, superregeneratiiv- või otsevastuvõtja põhimõttel. Seejärel sünkroniseerimispulsid eraldatakse kujutise signaalidest ning kumbki võimendatakse täiendavalt omaette võimendajas. Võimendatud kujutise pinged rakendatakse vahetult kineskoobi võrele; sünkroniseerimispulsid eraldatakse omakorda madalläbivusfiltris ja seejärel rakendatakse rea- ja raamisageduse generaatorite sünkroniseerimiseks. Mainitud generaatorite ülesandeks on toota täpse sünkroonsusega ja küllaldase amplituudiga saehambakujulisi pingeid (või voolusid), mis on tarvilikud kineskoobi elektronide vihu kallutamiseks horisontaalselt ja vertikaalselt.

Televisioonkujutisega kaasnev helisaade teostatakse eraldi saatja kaudu, mis toimib samuti ülikõrgsageduslikus astmikus. Helisaateks kasutatakse nii amplituud- kui sagedusmodulatsiooni, kuid kõrgema helikvaliteedi saavutamiseks on viimasel ajal eelistatavamaks kujunenud sagedusmodulatsioon, mida näeb ette ka uus NSV Liidu standard. Kuna helisaate sageduskanal on kujutise saatekanalist märksa kitsam isegi sagedusmoduleeritud kandevlaine puhul, siis vastuvõtuseadmete koostamine helisaatele ei esita erilisi raskusi, vaid sooritatakse tavalise ülikõrgsagedusliku praktika kohaselt, rakendades super-



Joon. 263. Televisiooni saatesignaali üldkujutus (kooskõlas Moskva uue televisioonisaatja standardiga, milles raamide arv sekundis on 25, pooiraamide arv sekundis 50, ridade arv raamis 625).

või otsevastuvõtja lülitust. Tehnilise seadme säästmise huvides on superlülituse puhul peaaegu üldist rakendamist leidnud ühise vastuvõtja koostamine nii kujutise- kui ka helisaatele. Arvestades seda, et mõlemad saated tavaliselt oma sagedustelt asuvad teineteisega lähestikku, toimub mõlema saate vastuvõtt ühisel antennil ja eelvõimendus ühises k.-s. võimendajas, samuti on ühine ka ostsillaatoraste. Saated eraldatakse teineteisest alles muunduslambi väljundis eraldi vahesagedusvõimendajates (joon. 264). Vahesagedusvõimendajad läbinud, rakendatakse mõlema kanali väljundid vastavalt kineskoobi ja valjuhääldaja toiteks. Ühtlasi eraldatakse kujutise vahesageduse väljundist pärast detekteerimist sünkroniseerimispulsid, mis kasutatakse rea ja raami kallutuspingete generaatorite sünkroniseerimiseks.

Kujutise vahesagedus valitakse harilikult maksimaalsest televisioonisagedusest 2 ... 3 korda kõrgem, mis 625-realise ülekandeteravuse juures kujuneb 12 ... 18 MHz. Kui kujutise vahesageduseks võtta keskmine, s. o. 15 MHz

kujuneb Moskva televisioonisaate (kujutise kandevsagedus $f_k = 59$ MHz, heli kandevsagedus $f_h = 66$ MHz) vastuvõtul ostsillaatorsagedus $f_{os} = f_k + f_l = 59 + 15 = 74$ MHz ning helisaate vahesagedus $f_l = f_{os} - f_h = 74 - 66 = 8$ MHz.

Rööbiti standardse kahe kanaliga süsteemiga on välja arendatud ülekandesüsteemid, milles nii kujutise kui ka heli ülekandeks kasutatakse ühist kanalit, s. o. ühist kandevlainet. Sel puhul moduleeritakse heli kandevlainesse kujutise ridade vahedel, s. o. ajavahemikel, mil elektronide vihk, täppinud eelmise rea, liigub tagasi uuele reale. Et samal ajal toimub ühtlasi ka sünkroniseerimispulsside ülekanne, siis kujuneb helimoduleerimiseks eraldatav ajavahemik sünkroniseerimispulsside vahel väga lühikeseks, kuid ajaliselt väga täpselt piiritelduks. Loomulikult ei saa ühe kanaliga süsteemi puhul rakendada helimoduleerimiseks tavalist amplituudmodulatsiooni, vaid selleks kasutatakse kas pulss-sagedus- või pulss-laiusmodulatsiooni. Kuigi ühe kanaliga süsteemiga muutub ühelt poolt keerukamaks saatja konstruktsioon pulssmenetluse suurema viimistluse tõttu, siis teiselt poolt lihtsustub märgatavalt vastuvõtja ehitus ning väheneb ruumi koormamine. Ühtlasi võib ühe kanaliga süsteemi juures tekkida kahtlus väga kõrge heliülekande kvaliteedi kindlustamises, milleks eraldi helikanali kasutamine esitab tehniliselt soodsamaid võimalusi.

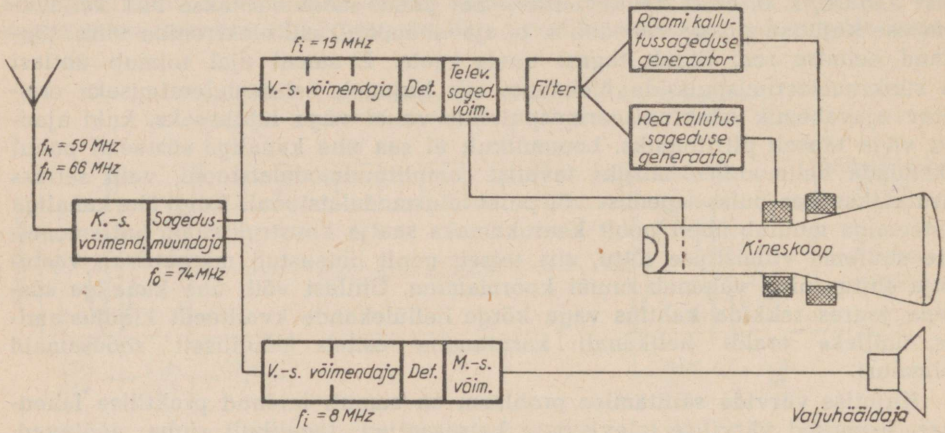
Kujutise värvide säilitamise probleem on samuti leidnud praktilise lahenduse. Esimesed värvilise televisiooni katsesaatjad tegelikult juba töötavad. Värvilisel saatel rakendatakse kujutise ülesvõttel ja ka ülekandel kolme täiendusvärviga filtrit (näiteks rohelist, sinist, punast), nagu värvilise trükigi juures. Sel puhul pöörlevad sünkroonselt nii saatjas ortikoni optilise süsteemi ees kui ka vastuvõtjas kineskoobi ekraani ees kolmevärvilised valgusfiltrid. On arusaadav, et raamide ja ridade arvud ja koos sellega ka piltelementide ja sünkroniseerimispulsside arv ning sageduskanali laius peavad tunduvalt tõusma, eriti kui samal ajal kasutatakse ühe kanaliga süsteemi kujutisele ja helile. Värviline televisioon-ülekanne tõstab märgatavalt ülekantava liikuva kujutise kvaliteeti, kujunedes uueks tähtsaks etapiks kaugnägemise täiustamisel.

Viimasel ajal on värvilise televisiooni vastuvõtjates kasutusele võetud eritüüpi katoodkiirtetoru, kromoskoop, mis üldiselt meenutab tavalist televisiooni-vastuvõtjas kasutatavat suure ekraani-läbimõõduga kineskoopi. Erinevalt kineskoobist on kromoskoobis ühe ekraani asemele paigutatud kohakuti neli, üksteisest 1 ... 3 mm kaugusel asuvat üksikekraani. Kolm välimist ekraani fluorestseerivad igaüks eraldi spektri põhivärvidele (näiteks punasele, sinisele ja rohelisele), kui neile lülitada vastav positiivne potentsiaal.

Ekraanide õiges järjekorras kommuteerimine teostub saatesignaalis ülekantavate eriliste ekraani-impulsside toimel. Sel viisil tekib igal ekraanil vastavavärviline kujutis ja kuna ekraanid asuvad kohakuti, siis liitununa nad tekitavad kromoskoobi ekraani ees asuva vaatleja silmis ühtse värvilise kujutise mulje. Kromoskoop annab võimaluse fluorestseerivate ekraanide pingete kõrguse reguleerimisega kombineerida vastuvõtja juures põhivärve igas soovitavas vahekorras ja anda seega taastatavale liikuvale kujutisele soovikohane värvivarjund.

Televisiooni stereoskoopiline ülekanne, millega säilitatakse liikuva kujutise ruumilisus, pole veel välja jõudnud laboratoorse katsetuse ajajärgust. Selle

teostamine on võimalik kahekordse saate projekteerimisega ühisele ekraanile, kusjuures mõlemad saated peavad olema üles võetud kahest eri punktist, mis teineteisest on ruumiliselt nihutatud inimese silmapaari taoliselt. Ruumilise televisiooni probleemi lahenduse reaalsemaks võimaluseks on tõenäoliselt polariseeritud valguse kasutamine, nagu see on leidnud rakendamist stereokinos.



Joon. 264. Televisiooni-vastuvõtja põhimõtteline lülitus.

Et televisioonisaadete teostamine raadio teel on olnud võimalik ainult ülikõrgsagedusliku astmiku tarvituselevõtuga, siis arusaadavalt on nende saadete vastuvõtu tingimused otseselt seotud ülikõrgsageduslike lainete levimisomadustega. Teatavasti levib ülikõrgsageduslik laine ainult sirgjooneliselt, mis piirab laine levimisulatuse vaatekaugusega (keskmiselt 30 ... 40 km). Arvestades seda, et säärase laine pikkus oma mõõdetelt kujuneb võrreldavaks hoonete ja ehitistega, on lainete väga keerukad peegeldused neilt esemeilt paratamatud, mis eriti suuremais linnades televisioonisaadete vastuvõttu märgatavalt häirivad. Saatja laine levimisulatuse tõstmise kindlaimaks abinõuks on saatja asukoha ja/või saateantenni kõrguse tõstmine. Sama on kehtiv, vähemalt antenni kõrguse valiku suhtes, ka vastuvõtja kohta. Et suurtes linnamajades, kus on kümneid ja isegi sadu elukortereid, on võimata välja arendada tingimustele vastavat individuaalsete antennide võrku, siis on niisugustel juhtudel otstarbekas kas suuremates majades või majade gruppides sobivamas asukohas üles seada ainult üks suure võimsusega televisiooni-vastuvõtja, mille väljund ühendatakse koaksiaalkaablite kaudu individuaalsete vastuvõtjatega. Sellega lihtsustub õige tunduvalt individuaalse televisiooni-vastuvõtja ehitus, mis piirdub ainult kineskoobiga, valjuhääldajaga ja kallutuspingete seadmega.

Televisioonisaate ülekandmist kaugematesse punktidesse, sadade ja isegi kuni tuhandete kilomeetrite kaugusteni, teostatakse kahel teel — kas raadio releejaamade või k.-s. kaabli kaudu. Esimesel juhul asetatakse piki releeliini rida relee-, s. o. vastuvõtu-saatejaamu, mille vahekaugus sõltuvalt maastiku reljeefist ja kasutatavate antennimastide kõrgusest võib ulatuda 30 ... 80 km.

Teisel juhul paigutatakse piki kaabelliini rida võimendusjaamu, millega tasakaalustatakse võimsuskaod ja tagatakse vajalik väljund liini lõpus.

Lõpuks, televisioonisaadete ulatuse tõstmine ei näi piirduvat ainult raadio releejaamade ja kaabelliini süsteemide väljaarendamisega, vaid sel alal esineb üha uusi ja huvitavaid ettepanekuid. Üks sääraseid on televisioonisaate retransleerimine õhusviibiva lennuki kaudu, millega on võimalik katta sadadesse kilomeetritesse ulatuvaid kaugusi. Üks fantastilisemaid ettepanekuid näeb ette suure võimsusega televisioonisaadete teostamist saatelaine tagasipeegeldumise võimaluse rakendamises Kuu pinnalt Maakerale. Selle kohaselt peaksid saateulatused tõusma tohutult, kuna vastuvõtu-ulatus haaraks ühtlaselt kogu seda Maakera pindala, kus Kuu asub taevalaotuse nähtavas osas!

5. Televisioon amatööride katsetusalana.

Võrreldes hariliku amatöörsaatja ja -vastuvõtjaga on televisiooniseadmed märksa keerukama ehitusega. Kuid see ei piira sugugi katsete ja uurimiste sooritamist televisiooni alal, vaid ümberpöördult — avab selleks laialdased võimalused, seda enam, et televisioon ei ole veel jõudnud lõpliku tehnilise täiuslikkuseni, millest edasi arenemine oleks võimatu. Eriti tänulikeks ülesanneteks amatöörile on uute lihtsamate, väikese lampide arvuga vastuvõtja konstruktsioonide leiutamine, antenni tüüpide uurimine ja katsetamine, maja televisioonivõrgu ja -seadmete ehitamine, ülikõrgsageduslike lainete levimise uurimine seoses televisiooni praktiliste katsetega jne. Raskusi tekitab meil esialgu oma televisioonisaatja puudumine, isegi lähim neist, Leningradi televisioonisaatja pole Eestis vastuvõetav. Kuna aga kõik sellelaadsed katsed eeldavad kohaliku televisioonisaatja olemasolu, siis on täielikult mõeldav amatöör-televisioonisaatjate ehitamine kohapeal. Loomulikult ei tarvitse säärased saatjad evida kõrgeimat kujutise ülekande teravust. Täiesti rahuldavaid tulemusi on võimalik saavutada näiteks 25-raamiliselt 125-realiselt televisiooni süsteemilt, mille ehitamine ei valmista sugugi ülepääsmatuid raskusi. Sellise süsteemi juures piirdub ridade arv 3000-ga sekundis ning maksimaalne televisioonisagedus $f_{max} = \frac{z^2 F}{2} = \frac{125^2 \cdot 25}{2} \approx 200$ kHz, mis vastab sageduskanali üldlaiusele 400 kHz. Sellise süsteemiga ülekantava kujutise suuremad detailid kujunevad küllaltki headeks, näiteks kõnelejate, üksikesitiste jne. ülekanded.

6. Amatöör-televisioonijaam.

a) Üldiselt. Käesolevaga pole mõeldud anda üksikasjalist amatöör-televisioonijaama ehituskirjeldust, vaid ainult põhimõtteid sellise jaama koostamiseks. Amatöörjaama ehitusel tuleb alati arvestada piiratud tehnilisi ja majanduslikke võimalusi, mis kujunevad otsustavateks teguriteks jaama võimsuse, töötamiskvaliteedi ja muude omaduste määramisel. Kuigi otstarbekalt plaanitud ja tehniliselt õigesti teostatud seade alati annab küllaltki rahuldavaid tulemusi, ei piirdu amatöörtöö ülesanne ainult sellega, vaid jätkub pideva katselis-uurimistööga ja seadme tehnilise viimistlemisega. See on eriti kehtiv televisiooniseadmete kohta, mis pole veel jõudnud lõpliku viimistlusastmeni ja mille täiustamiseks, kuid ühtlasi ka lihtsamaks ja praktilisemaks muutmiseks pole kasutatud kõiki võimalusi.

Televisiooniala katsetamine on seotud suuremate raskustega, vähemalt käesoleval ajal, kuni puudub kohalik saatja. Seepärast televisioonialal peab amatöörtöö algama eeskätt saatja ja seejärel vastuvõtja valmistamisega. Kui saatja kord juba töösse on rakendatud, avaneb amatööridel võimalus suuremal arvul lülituda vastuvõtjate ehitamise töösse.

Televisioonisaatja koosneb järgmistest osadest: 1) k.-s. kujutise-saatjast (amatöör-sagedusastmikus 70 ... 72 MHz), 2) modulaatorist, 3) kujutise ülesvõtteseadmest ikonoskoobiga, 4) toiteseadmest, 5) antenniseadmest ja 6) kontrollseadmest katoodkiirte ostsilloskoobiga. Peale selle kuulub televisioonisaatejaama juurde veel k.-s. helisaatja (toimib kujutise-saatjaga ühisel sagedusastmikul) koos modulaatoriga ja muude vajalike seadmetega, milles kasutatakse üldisi saatja ehituse põhimõtteid ja mida seepärast käesolevas ei käsitelda. Samuti jääb käsitlemata ka helivastuvõtja ehitus.

b) Modulaator. Kõigist televisioonisaatja loeteldud osadest olulisem ja ehituselt ühtlasi keerukam on modulaator, kuna just modulaatoris moodustatakse lõplikult viimisteldud kujul televisioonisignaal, mida rakendatakse saatja k.-s. võimendaja moduleerimiseks. Seega televisioon-ülekande kvaliteet ja muud omadused sõltuvad peaaegu täielikult modulaatorist.

Üldiselt kujutab televisioonisignaal endast komplekssignaali, sisaldades: 1) kujutise piltpunktide signaali, 2) horisontaalkallutuse (rea) sünkroniseerimispulsse, 3) vertikaalkallutuse (raami) sünkroniseerimispulsse, 4) horisontaalkallutuse (rea) vahepulsse, 5) vertikaalkallutuse (raami) vahepulsse. Sünkroniseerimispulsid on tarvilikud selleks, et vastuvõetava kujutise read ja raamid algaksid õigetel aegadel. Ridade ja raamide vaheaegadeks, mil elektronide vihk sooritab tagasikäiku uue rea või raami algpunkti, lülitavad vahepulsid välja vastuvõtja kineskoobi ekraanil valgustäpi, et see ei segaks vastuvõetavat kujutist.

Sellise komplekssignaali tootmiseks on tarvilikud järgmised seadmed: 1) ikonoskoop koos televisioonisagedusliku võimendajaga, mille abil nõrk väljund võimendatakse k.-s. võimendaja moduleerimiseks vajaliku tasemeni; 2) kontroll-kineskoop, mis on tarvilik ülesvõetud kujutise jälgimiseks; 3) ikonoskoobi ja kineskoobi täppimisseadmed; 4) vahe- ja sünkroniseerimispulsside generaatorid ning abinõud nende pulss-signaalide segustamiseks kujutise signaaliga; 5) kõrgepingeline toiteseadis ikonoskoobile ja kineskoobile; 6) madalapingeline stabiliseeritud toiteseadis.

Lihtsustamise mõttes on algul soovitav kasutada elektrostaatilise kallutusega elektronseadmeid nii ikonoskoobina kui ka kineskoobina, mida hiljem võib asendada magnetilise kallutusega seadmetega. Reasageduseks tuleks valida 150 rida (või 125 rida) raamis ning raamisageduseks 25 raami sekundis, millele vastavalt ridade arv sekundis kujuneb 3750. Sellise raamisageduse valikuga lihtsustub sünkroniseerimise küsimus, kuna ta on kohaliku valgustusvoolu sagedusega harmoonilises vahekorras. Sel puhul kujutise kanali laius kujuneb umbes 250 kHz ning moduleeritud laine kanali laius mõlema külgriba moduleerimise korral umbes 500 kHz. Amatöörtööks eraldatud sagedusribas 70 ... 72 MHz võiks valida kujutise kandevsageduseks 71,0 MHz (lainepikkus 4,2 m), mis moduleerituna kataks enda alla sagedusriba 70,75 ... 71,25 MHz. Ühtlasi jääb küllaldaselt üle ruumi 70,0 ... 70,75 või 71,25 ... 72,0 MHz sagedusribade osas helisaate kanali paigutamiseks.

Kui saatja väljundvõimsuseks antennis võtta keskmiselt 25 vatti, peaks võremoduleerimise menetluse rakendamisel modulaator arendama väljundis umbes 1,5 . . . 2 vatti signaalvõimsust madalaimpedantsilises koormuses.

Eeltoodud põhimõtete üks lihtsamaid televisioonisaatja modulaatori lahendusi on kujutatud põhimõttelise lülitusena joonisel 265. Selle kohaselt koosneb kujutise signaali võimendaja neljast takistussidestuses astmest, millele järgneb jugatetrood-modulaatoraste. Selleks, et säilitada meil standarditud negatiivne televisiooni modulatsioon, peaks võimendusastmete arv olema paaris, sest ikonoskoobi väljund on negatiivne. Kuna neljaastmelisest võimendajast ei jätku moduleerimiseks vajaliku võimsuse arendamiseks, siis on võimendajale viienda astmena lisatud juurde modulaator, mis on lülitatud katoodjärgijana. Sellega säilitatakse väljundi endine, s. o. negatiivne polaarsus ja ühtlasi saavutatakse madal väljundimpedants. Eraldi generaatoreis tekitatud vahepulsid ja sünkroniseerimispulsid sisendatakse üldisesse moduleerimiskanalisse neljanda võimendusastme sulgvõre ja lõppastme varivõre moduleerimismenetlusega. Nende pulsside sisendamisel on samuti oluline säilitada pingete õige polaarsus.

Lihtsuse huvides võetakse moduleerimiskanalile vahe- ja sünkroniseerimispulsid samadelt ostsillaatoritelt, mis varustavad ikonoskoopi ja kineskoopi kallutuspingetega. Ostsillaatoreid on kaks: vertikaalne ja horisontaalne. Vertikaalne ostsillaator toimib lahendusvoolu ostsillaatori lülituses ja olles sünkroniseeritud 50 Hz võrgupingega arendab konstantse 25 Hz sagedusega väljundpinget. Seda väljundpinget pärast vormimist ja võimendamist rakendatakse ikonoskoobi ja kineskoobi kallutuse sünkroniseerimiseks ning moduleerimissignaali moduleerimiseks vertikaalsete (raami) vahe- ja sünkroniseerimispulssidega.

Sõltumatu sageduskonstantsuse säilitamiseks toimib horisontaalne ostsillaator tavalise siinusvoolu-generaatorina reasagedusel (3750 Hz). Samuti kui vertikaalse ostsillaatori juures, rakendatakse horisontaalse ostsillaatori väljundpinget ikonoskoobi ja kineskoobi kallutuse sünkroniseerimiseks ning moduleerimissignaali moduleerimiseks horisontaalsete (rea) vahe- ja sünkroniseerimispulssidega.

Pulsside amplituud, kuju ja faasiline vahekord reguleeritakse erilülituste abil, mida lähemalt on käsiteldud peatükis „Pulsstehnika" (F 15 b).

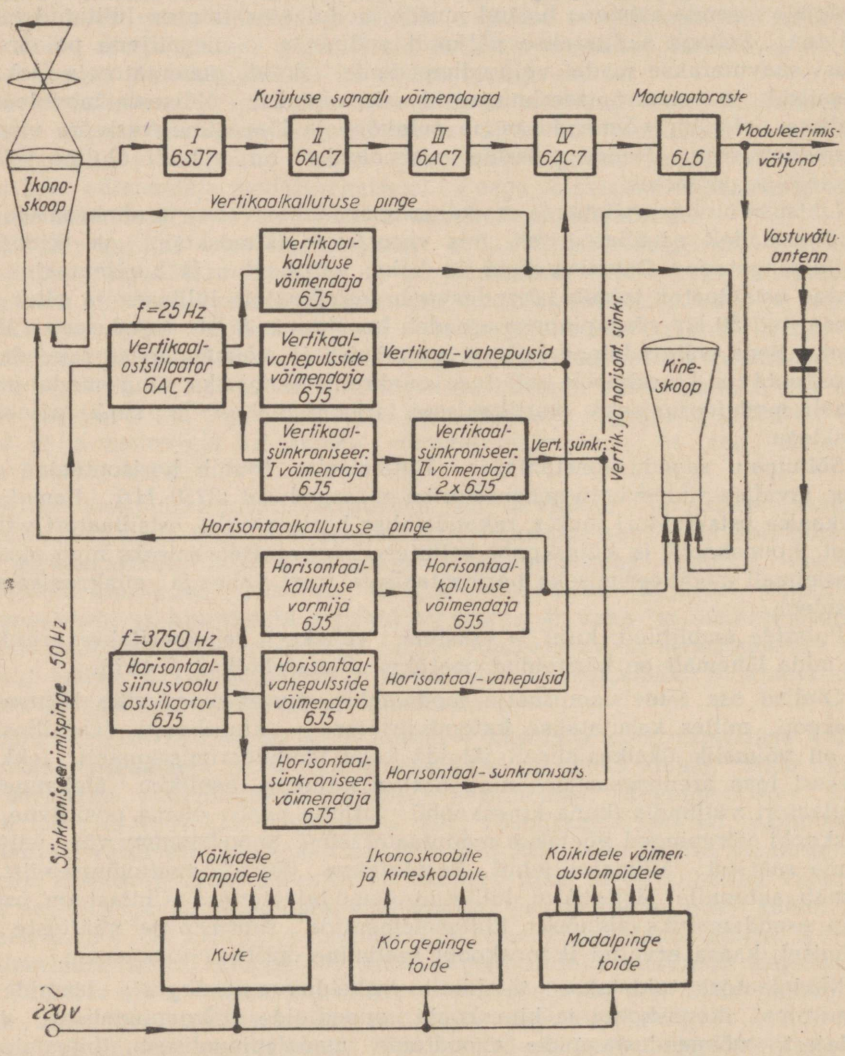
Olulise osa televisioonisaatja modulaatori juures moodustab kontroll-ostsilloskoop, milles kasutatakse katoodkiirtetoru — kineskoopi. Ostsilloskoobi abil on võimalik üksikasjaliselt jälgida kogu moduleerimissignaali tekkimise protsessi igas arenemisastmes ning ühtlasi kujutise tegelikku ülekannet kas modulaatori väljundis (kuna kineskoobil kujutis peab olema positiivne, siis kineskoobi võrepinged võetakse modulaatorastme anoodringist) või väljakiirgununa saatjast. Viimasel juhul kasutatakse lihtsat vastuvõtuseadist, mis koosneb antennile järjestikku lülitatud demodulaatorist. Ühtlasi on ostsilloskoop asendamatuks abinõuks lülituselementide suuruste ja väärtuste reguleerimisel, kaasa arvatud ikonoskoobi seadmine optilisse fookusesse.

Modulaatorit toidetakse täielikult vahelduvvooluvõrgust: lampide küte võrgutrafost, ikonoskoobi ja kineskoobi anoodtoide kõrgepingelisest võrgualaldajast, võimenduslampide anoodtoide madalapingelisest toitealaldajast. Olgu lisatud, et modulaatoris kasutamiseks on kohased kõrge tõusuga lam-

bid — varivõrepentoodid 6AC7 ja trioodid 6J5. Viimaseid saab asendada tavalise varivõrepentoodi 6J7 lülitamisega töösse trioodina (varivõre ja sulgvõre ühendada anoodiga).

c) Saatja. 71,0 MHz kandevsagedusel töötava saatja osa plaanimine on lihtsam, kuna põhimõtteliselt televisioonisaatja kõrgsagedusliik osa ei erine heli-ülekandeks määratud saatja osast. Arvestades suhteliselt kõrget saatesagedust, tekivad ainsad raskused vajaliku 25-vatise väljundvõimsuse tagamises ja kandevsageduse küllaldases stabiliseerimises.

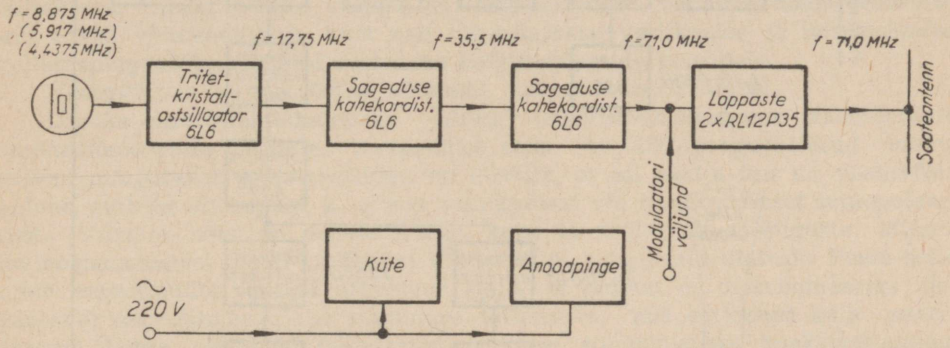
Alustame saatja plaanimist väljundist. 25-vatist väljundvõimsust võremoduleerimise režiimis 500 . . . 600-voldise anoodtoitepinge juures suudab küllalda-



Joon. 265. Amatöör-televisioonisaatja modulaatori põhimõtteline lülitus.

selt kindlustada tavaline väikese võimsusega ülikõrgsageduslik saatepentood, kuid paremaid tulemusi annavad kaks säärast lampi lülitatuna sümmeetriliselt vastastakti. Suurema anoodi kasuteguri saamiseks on soovitav väljundastme anoodring koostada häälestatud sümmeetrilisest liinilõigust.

Saatesageduse stabiilsuse kindlustamist on hõlpsam teostada kristalljuhtimisega, mis määrab ära saatja astmete arvu minimaalselt neljale: kristalliga tüüritav tri-tet-lülituses juhtaste, sellele järgnevad kaks sageduskahekordistaja-astet ja saatesagedusel toimiv vastkäsiteldud väljumisaste (joon. 266). Kõigis kolmes eelastmes on kohane kasutada tavalisi jugatetroode (6L6). Kahe-



Joon. 266. Amatöör-televisioonisaatja kõrgsagedusosa põhimõtteline lülitus.

kordse sageduskahekordistamise puhul ostsillaatori väljundi sagedus kujuneb 17,75 MHz, mis annab võimaluse ostsillaatori rakendamiseks tri-tet-lülituses kas sageduse kahe-, kolme- või neljakordistajana. Vastavalt sellele kujuneksid valitava kristalli sagedused kas 4,4375 MHz, 5,917 MHz või 8,875 MHz.

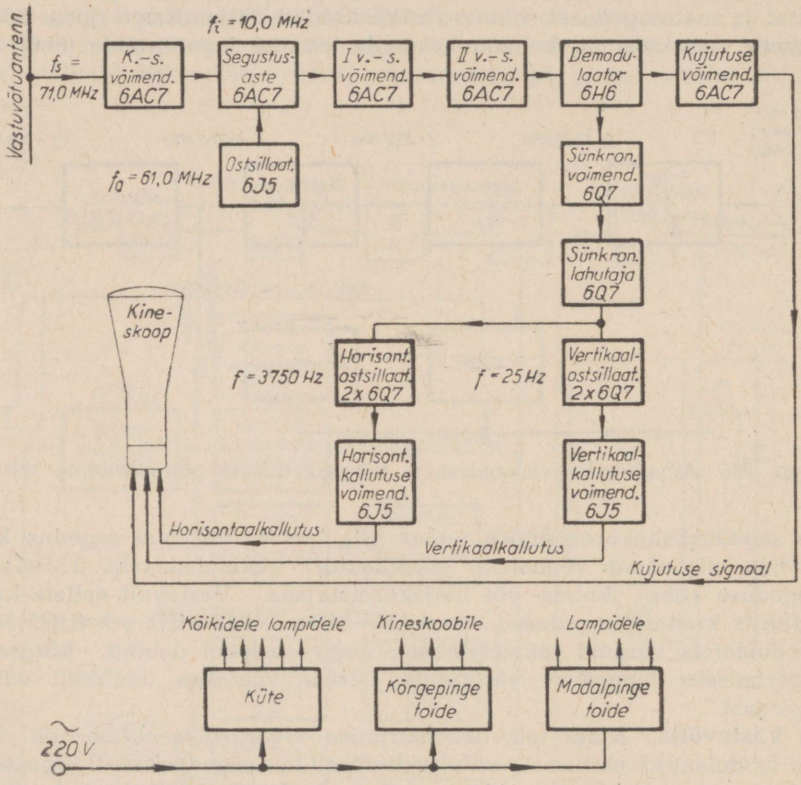
Modulaatori väljund rakendatakse, nagu eespool öeldud, kõrgsageduse moduleerimiseks lõppastme võreringis. Toide võetakse täielikult vahelduvvooluvõrgust.

d) Vastuvõtja. Kuigi televisioonkujutise vastuvõtja ehitus on märksa lihtsam modulaatori ehitusest, esitab suhteliselt laia sageduskanali ja pulssmenetluse käsitamine siiski rea ehituslikke erinõudeid. Joonisel 267 toodud vastuvõtja kujutab endast tüüpilist supervastuvõtjat, mis koosneb ühest kõrgsageduse võimendusastmest, eraldi ostsillaatoriga segustusastmest, kahest vahesageduse võimendusastmest ja demodulaatorist. Demodulaatoris kasutatakse ära 6H6 mõlemad dioodid, millega madalsageduslik väljund eraldatakse kahte kanali: kujutise taastamiseks kineskoobis ja kineskoobi kohapealsete kallutuspingete sünkroniseerimiseks.

Peegelsageduslike häirete vältimiseks on vahesageduseks valitud suhteliselt kõrge sagedus — 10,0 MHz. Vahesageduse valik määrab ühtlasi ära ka ostsillaatorsageduse, mis võib olla signaalisagedusest vahesageduse võrra suurem või väiksem. Arvestades sageduse tõusmisega suurenevaid raskusi, on otstarbekam valida ostsillaatorsageduseks madalam neist, s. o. 61,0 MHz.

Nagu selgus eespool, määras saatesüsteemis valitud piltpunktide arv kindlaks kõrgsagedusliku kanali laiuse 500 kHz, mis tuleb säilitada ühtlasena, ilma

märgatava sagedusmoonutuseta nii k.-s. kui v.-s. võimendajas. Selleks osutub paratamatuks šuntida vastavad võnkeringid (välja arvatud k.-s. astme võrevõnkering, mille sumbuvust saab vajalikul määral muuta sidestuse muutmise teel antenniga) lisatakistuste sisseviimisega võnkeringi. Seda saab teha kas summutustakistite lülitamisega rööbiti võnkeringiga või valides lampide anoodi koormustakistid, mida võib vaadelda kui ekvivalentseid võnkeringidega



Joon. 267. Amatöör-televisioonivastuvõtja põhimõtteline lülitus.

rööbiti lülitatud takisteid, takistuse väärtuselt madalaina. Käesoleval juhul, mil on tegemist suhteliselt kitsa sageduskanaliga (suure teravusega televisioonisaadete kanalilaiused ulatuvad 4 ... 6 MHz), piirduvad selliste takistuste väärtused 6000 ... 10 000 oomiga. Loomulikult langeb sel puhul astmelt saadav võimendus seevõrra, et kahe vahesagedusastme rakendamine osutub vältimatuks (suure teravusega televisioonisaadete vastuvõtjais kasutatakse 3 ja enam v.-s. võimendusastet).

Demodulaatorist eraldunud kujutise kanali pinged võimendatakse veelkordselt lisavõimendusastmes ja rakendatakse kineskoobi võrele. Kuigi need pinged sisaldavad sünkroniseerimis- ja vahepulsse, ei häiri nad kujutise moodustumist ekraanil, sest negatiivsel moduleerimismenetlusel on pulsside ampli-

tuud kujutise tumeda piltpunkti amplituudist kõrgem (25%) ja seega pulss peaks ekraanil andma „mustema kui musta" piltpunkti.

Demodulaatorist eraldunud teise kanali väljund juhitakse pärast üheastmelist võimendamist pulsside lahutusastmesse, mis piiraja (G 11, K 8) põhimõttel toimides tõkestab pääsu kujutise signaalidele ja laseb läbi ainult pulsid. Seejärel juhitakse eraldunud pulsid multivibraatorina toimivate vertikaalse ja horisontaalse kallutuspinge-generaatorite sünkroniseerimiseks. Kummagi kallutuspinge-generaatori vooluringide ajakonstandid on valitud nii, et nad ostsilleerivad vastavalt raami- (25 Hz) ja rea- (3750 Hz) sagedustel. Seepärast lukustub kumbki neist ainult oma sagedusele vastavate sünkroniseerimispulssidega. Generaatorite väljundite hambulispinged võimendatakse veelkordselt eraldi võimendajates, kust nad rakendatakse vertikaalse ja horisontaalse kallutuspingena kineskoobi vastavate kallutusplaatide paaridele.

Vastuvõtjale vajalik toide võetakse valgustusvooluvõrgust.

Lõpuks olgu veel tähelepanu juhitud televisiooniseadmeis kasutatavate antennisüsteemide valikule. Arvestades seda, et ülikõrgsageduslikud lained evivad märgatavat polariseeritust, on tarvilik, et nii saatja kui ka vastuvõtja antenn eviksid ühesugust, s. o. kas vertikaalset või horisontaalset lainepolaarsust. Viimane neist on eelistatavam, kuna ta sõltuvalt seesuguste lainete levimisomadustest tagab kindlamat ühendust ja kaugemaid ulatusi. Peale selle tuleb antennitüübi valikul arvestada seda, et antenn ei diskrimineeriks ülekantavat sagedusriba. Selle tingimuse täitmiseks, mis esijoones käib saateantenni kohta, osutuvad televisiooniseadmeis sobivamateks koaksiaal-antenn ja murtud dipool.

LISAD

AMATÖÖR-SAGEDUSASTMIKUD.

(Kooskõlas rahvusvahelise raadioühenduste konventsiooni Kairo reglemendiga 1938. a.; täpsustatud NSVL Sideministeeriumilt 1946. a.)

Sagedus kilohertsides (kilotsüklites sekundis)	Ligikaudne lainepikkus meetrites
1715... 2000	174,9 ...150,00
7000... 7200	42,86 ... 41,67
14000...14400	21,43 ... 20,83
21090...21510	14,20 ... 13,94
28000...30000	10,71 ... 10,00
70000...72000	4,285... 4,166

TELEGRAAFIMÄRGID.

Tähed.

Ladina tähestik	Vene tähestik	Märgid	Ladina tähestik	Vene tähestik	Märgid	Ladina tähestik	Vene tähestik	Märgid
a	а	· —	k	к	— · —	v	ж	· · · —
b	б	— · · ·	l	л	· — · ·	w	в	· — —
c	ц	— · — ·	m	м	— —	x	ь, ъ	— · · —
d	д	— · ·	n	н	— ·	y	ы	— · — —
e	е	·	o	о	— — —	z	з	— — · ·
é	э	· · — · ·	p	п	· — — ·	ä	я	· — · —
f	ф	· · — ·	q	щ	— — · —	õ, ö	ч	— — — ·
g	г	— — ·	r	р	· — ·	ü	ю	· · — —
h	х	· · · ·	s	с	· · ·	ch	ш	— — — —
i	и	· ·	t	т	—			
j	й	· — — —	u	у	· · —			

Numbrid.

1 · — — — —	5 · · · · ·	8 — — — · ·
2 · · — — —	6 — · · · ·	9 — — — — ·
3 · · · — —	7 — — · · ·	0 — — — — —
4 · · · · —		

Kirjavahemärgid.

Punkt (.) · — · — · —	Murrujoon (/) — · · — ·
Koma (,) — — · · — —	Klambrid ( ) — · — — · —
Koolon (:) — — — · · ·	Allakriipsutus · · — — · —
Küsimärk (?) · · — — · ·	Lahutus- ehk kaksikkriips(=) — · · · —
Apostroof (') · — — — — ·	Jutumärgid („ “) · — · · — ·
Sidejoon (—) — · · · · —	Semikoolon (;) — · — · — ·

Teenistuslühendid.

Eksitus · · · · · · · · ehk · · · — ·	Algusemärk — · — · —
Telegrammi ehk	Lahutusmärk · — · · —
teate lõpumärk · — · — ·	Sõna kordamine · · · ·
Kutse vastamisele — · —	Sain aru · — · ehk — — — — · — (ok)
Oodata · — · · ·	
Töö lõpp · · · — · —	

Märkused.

Märkide pikkus ja vahe:

kriips võrdub kolme punktiga;

vahe ühe ning sama tähe märkide vahel võrdub ühe punktiga;

vahe kahe tähe vahel võrdub kolme punktiga;

vahe kahe sõna vahel võrdub viie punktiga.

Q-KOOD.

(Amatöörtöös enamtarvitatavamaid lühendeid.)

Lühend	Küsimus	Vastus või soovitus
QRA	Mis on teie jaama nimi?	Mu jaama nimi on.....
QRB	Kui kaugel ligikaudu te minu jaamast olete?	Ligikaudne kaugus meie jaamade vahel on..... meremiili (või..... kilomeetrit).
QRD	Kuhu lähete ja kust tulete?	Lähen.../...ja tulen.....
QRG	Kas te ei teataks mulle mu täpse sageduse (lainepikkuse) kilotsüklites (või meetrites)?	Teie täpne sagedus (lainepikkus) on ..... kts/s (või .....m).
QRH	Kas minu sagedus (lainepikkus) muutub?	Teie sagedus (lainepikkus) muutub.
QRI	Kas minu saate tonaalsus on korrapärane?	Teie saate tonaalsus muutub.
QRJ	Kas saate mind halvasti? Kas mu märgid on nõrgad?	Ma ei saa teid vastu võtta. Teie märgid on liiga nõrgad.
QRK	Missugune on minu märkide loetavus (1 kuni 5)?	Teie märkide loetavus on... (1 kuni 5).
QRL	Kas olete töös?	Ma olen töös [või Ma olen töös..... (kellega või millega)]. Palun mitte segada.
QRM	Kas teid segatakse?	Mind segatakse.
QRN	Kas teid õhulahendused segavad?	Mind segavad õhulahendused.
QRO	Kas pean suurendama võimsust?	Suurendage võimsust.
QRP	Kas pean vähendama võimsust?	Vähendage võimsust.
QRQ	Kas pean üle andma kiiremalt?	Andke üle kiiremalt (..... sõna minutis).
QRS	Kas pean üle andma aeglasemalt?	Andke üle aeglasemalt (.... sõna minutis).
QRT	Kas pean üleandmise katkestama?	Katkestage üleandmine.
QRU	Kas teil on midagi minu jaoks?	Mul pole midagi teie jaoks.
QRV	Kas olete valmis?	Olen valmis.

Lühend	Küsimus	Vastus või soovitus
QRW	Kas pean teatama....., et kutsute teda..... kts/s (või m)?	Palun teatada....., et ma teda kutsun.... kts/s (või .....m).
QRX	Kas pean ootama? Millal kutsute mind?	Oodake [või Oodake kuni lõpetan ühenduse..... (kellega)].
QRY	Millal on minu järg?	Teie järg on number..... (või mõne teise tähistusviisi järgi).
QRZ	Kes kutsub mind?	Teid kutsub.....
QSA	Missugune on minu märkide tugevus (1 kuni 5)?	Teie märkide tugevus on.... (1 kuni 5).
QSB	Kas minu märkide tugevus on muutuv?	Teie märkide tugevus on muutuv.
QSD	Kas minu töötamine on korralik; kas minu märgid tulevad selgesti välja?	Teie töötamine on korratu. Teie märgid on halvad.
QSL	Kas võite mulle anda vastuvõtu teate?	Annan teile vastuvõtu teate.
QSM	Kas pean kordama viimast telegrammi, mille teile üle andsin?	Korrake viimast telegrammi, mille mulle üle andsite.
QSO	Kas võite astuda ühendusse ..... (kellega) otsekohe või ..... (kelle) kaudu?	Võin astuda ühendusse..... otsekohe (või.... kaudu).
QSP	Kas teie ei annaks edasi.... (kellele) tasuta?	Annan edasi..... (kellele) tasuta.
QSQ	Kas pean iga sõna üks kord üle andma?	Andke iga sõna üks kord üle.
QSV	Kas pean andma rea märke vvv?	Andke rida märke vvv.
QSW	Kas teie ei annaks....kts/s (või...m) ja/või A1, A2, A3 või B tüüpi lainetel?	Hakkan andma (või saan andma) ... kts/s (või ... m) ja/või A1, A2, A3 või B tüüpi lainetel.
QSX	Kas teie ei kuulaks... (kutsungmärk)... kts/s (või... m) lainel?	Ma kuulan ... (kutsungmärk) ...kts/s (või...m) lainel.
QSY	Kas pean üle minema...kts/s (või ... m) lainele, ilma lainetüüpi muutmata? või Kas pean üle minema muule lainele?	Minge üle ... kts/s (või ... m) lainele, ilma lainetüüpi muutmata, või Minge üle muule lainele.

Lühend	Küsimus	Vastus või soovitus
QSZ	Kas pean iga sõna või rühma kaks korda üle andma?	Andke iga sõna või rühm kaks korda üle.
QTC	Mitu telegrammi teil on üle anda?	Mul on teile ... telegrammi [või ... (kellele)].
QTH	Missugune on teie asukoht laiuse ja pikkuse kraadides (või mõne teise tähistusviisi järgi)?	Minu asukoht on ... laiuse ja ... pikkuse kraadi (või mõne teise tähistusviisi järgi).
QTR	Mis on täpne kellaaeg?	Täpne aeg on ...
QTU	Millal on teie jaama lahtioleku-tund?	Minu jaama lahtioleku-tunnid on kella ... kuni ...

Märkus: Lühenditel on küsimuse iseloom, kui neile järgneb küsimärk.

AMATÖÖRLÜHENDITE KOOD.

Lühend	Täielik vaste	Tähendus
ABT	about	umbes, millegi kohta
AC	alternative current	vahelduvvool
ACCT	account	põhjusel, pärast, arvel
AER	aerial	antenn
AGN	again	jälle, uuesti
AHD	ahead	edasi
AM	ante meridiem	enne lõunat
AMP	ampere	amper
AMT	amount	kogu, hulk
ANI	any	igaüks, keegi, mõni
ANT	antenna	antenn
BA	buffer amplifier	vahevõimendusaste
BAND	frequency band	sagedusriba, laineriba
BCL	broadcast listener	ringhäälingu kuulaja
BCUZ	because	seepärast et
BD	bad	halb
BFR, B4	before	enne
BI	by	juures, kaudu
BKG	breaking	katkestan töö, vastake dupleksina
BLV	believe	arvama, uskuma
BN	been, all between	olnud, kõik ..... vahel
BUT	but	aga, kuid
BTR	better	paremini, parem
BUG	vibroplex key	poolautomaatne võti
CC	crystal controlled	kristallitüüritav
CFM	confirm	kinnitama, kinnitan, kinnitage
CK	check	katsetama, proovima
CKT	circuit	lülitus
CL, CLD	closing station; call, called	jaama sulgema; kutsung, kutsutud, kutsuma
CLG	calling	kutsuma
CNT	can't	ei saa
CO	crystal oscillator	kristall-ostsillaator
CONDX	conditions	tingimused (harilikult kuulamise kohta)
CONGRATS	congratulations	õnnitelud
CRD	card	kaart (QSL)
CU	see you	kohtuma
CUD	could	võiks
CUL	see you later	kohtume hiljem, kohtumiseni
CW	continuous wave	kustumatu laine (A_1)

Lühend	Täielik vaste	Tähendus
DA	day	päev
DC	direct current	alalisvool
DD	добрый день	tere päevast
DNT	don't	ei saa, ärge
DR	dear	kallis
DSW	до свидания	hüvasti
DX	distance	kaugus, kaugühendus
ECO	electron-coupled oscillator	elektronsidestusega ostsillaator
ES	and	ja
FB	fine business	suurepärane, tore
FD	frequency doubler	sageduse kahekordistaja
FIL	filament	kütteniit
FR, FM	from; for	(-st, -lt); (-le)
FONES	telephones	peatelefonid
FREQ	frequency	sagedus
GA	go ahead; good afternoon	jätkake saatmist; tere päevast
GB	good-bye	hüvasti
GE	good-evening	tere õhtust
GG	going	minemas, tegemas
GM	good-morning	tere hommikust
GN	good-night; gone	head ööd; läinud
GND	ground	maandus, maapind
GV	give	annan, andke
HAM	amateur	raadioamatöör
HD	had	oli, olin, olite
HF	high frequency	kõrgsagedus
HI	—, high	naeru väljendus; kõrge
HR	here; hear	siin; kuulma
HRD	heard	kuuldud, kuulnud
HT	high tension	kõrgepinge
HV	have	evima, olema
HW	how	kuidas
ICW	interrupted CW	moduleeritud telegraafitöö (A$_2$)
IF	intermediate frequency	vahesagedus
LF	low frequency	madalsagedus
LID	—	algaja, halb operaator
LT	low tension	madalpinge
LTR	later; letter	hiljem; kiri
MA	milliampere	milliamper
MC	megacycle	megatsükkel (MHz)
MG	—	mootorgeneraator
MI	my	minu

Lühend	Täielik vaste	Tähendus
MIKE	—	mikrofon
MILLS	milliamperes	milliamprid
MNI	many	palju
MO	master oscillator; more	juhtsaatja; enam
MOD	—	modulatsioon, moduleerima
MSG	message	sõnum, teatis
ND	nothing doing	pole midagi teha
NM	no more	enam ei ole
NR	number; near	number; lähedal
NW	now	nüüd, praegu
OB	old boy	sõber („vanapoiss“)
OC	old comrade	sõber („vana seltsimees“)
OK	all correct	hüva, võtsin vastu õigesti, korras
OM	old man	sõber („vanamees“)
OPN	operation	töötamine
OP, OPR	operator	operaator
OT	old timer	muistne amatöör, kes on tegelnud amatöörraadioga selle algaastaist
OW	old woman	naisamatöör („tädi“)
PA	power amplifier	võimsusvõimendaja
PM	post meridiem	pärast lõunat
PSE	please	palun
PUNK	poor operator	halb operaator
R	are; OK	hüva, korras, kõik vastu võetud
RAC	rectified AC	õgvendatud vahelduvvool
RCD	received	vastu võetud
RCVR	receiver	vastuvõtja
RX		
SA	say	öelge, teatage
SED	said	öeldud, teatatud
SEZ	says	ütleb, teatab
SIG, SG	signature	allkiri
SIGS	signals	signaalid, saade
SKED, SKD	schedule	tööplaan, kavakohane töö
SRI	sorry	kahjuks, andestage
SS	single signal	ainusignaalne vastuvõtt
STN	station	jaam
TC	termocouple	termosidestusega mõõteriist
TEN	ten metre band	kümnemeetriline laineriba
TFC	traffic	trafik, korrapärane sideühendus
TKS, TNX	thanks	tänan
TNG	thing	asi, ese
TMW	to-morrow	homme

Lühend	Täielik vaste	Tähendus
TOW	товарищ	seltsimees
TPTG	tuned plate — tuned grid	häälestatud anoodi ja võrega ostsillaator
TT	that	see, too
TX	transmitter	saatja
U	you	teie
UNLIS	unlicensed	registreerimata jaam
UOP	—	NSV Liidu kollektiivjaama operaator
UR	your; you're	teie; te olete
URS	—, yours	NSV Liidu kuuldejaama-amatöör; teie
USW	ultra short wave	ultralühilaine
VT	vacuum tube	elektronlamp
VY	very	väga
WAC	worked all continents	töötanud kõigi maailmajagudega
W, WDS	word; words	sõna; sõnad
WKD	worked	töötatud (ühendust sooritanud)
WKG	working	töötades (sooritan ühendust)
WL	will	tahan, saan
WT	what; wait; watt	mis; oodake; vatt
WUD	would	peaks, saaks
WV, WL	wave; wavelength	laine; lainepikkus
WX	weather	ilmastik
XMTR	transmitter	saatja
XTAL	crystal	kristall
YL	young lady	neiu
YR	your	teie
30	—	lõpp
73	best regards	parimaid soove
88	love and kisses	palavamaid soove

ÜLDTARVITATAVAD MITMESUGUSED LÜHENDID.

Lühend	Tähendus
C	Jah.
K	Kutse vastamisele.
N	Ei.
R	Sain aru.
W	Sõna (sõnu).
AA	Kõik pärast ... (tarvitada küsimärgi järel kordamise nõudmiseks).
AB	Kõik enne ... (tarvitada küsimärgi järel kordamise nõudmiseks).
AL	Kõik, mis praegu üle anti (tarvitada küsimärgi järel kordamise nõudmiseks).
AS	Oodata.
BN	Kõik ... vahel (tarvitada küsimärgi järel kordamise nõudmiseks).
BQ	Vastus RQ-le.
CL	Sulen oma jaama.
CS	Kutsungmärk (tarvitada kutsungmärgi nõudmiseks või korrata laskmiseks).
CQ	Kutsungmärk kõigile.
GA	Jätkake üleandmist.
JM	Kui ma võin üle anda, andke rida kriipse. Et katkestada minu üleandmist, andke rida punkte.
MN	Minut või minutid (tarvitada ootamisaja vältuse märkimiseks).
NW	Jätkan üleandmist.
OK	Me oleme ühel nõul.
RQ	Nõudmise äramärkimine.
SK	Täielik töölõpp.
TU	Tänan teid kaasabi eest.
UA	Kas oleme ühel nõul?
WA	Sõna pärast ... (tarvitada küsimärgi järel kordamise nõudmiseks).
WB	Sõna enne ... (tarvitada küsimärgi järel kordamise nõudmiseks).
XS	Atmosfäärilised häired.
YS	Vaadake oma ametiteadet.
ADR	Aadress (tarvitada küsimärgi järel kordamise nõudmiseks).
CFM	Kinnitage või kinnitan.
GMT	Greenwichi keskmine aeg.
MEZ	Kesk-Euroopa aeg.
MSK	Moskva aeg.
NIL	Mul ei ole teile midagi üle anda (tarvitada Q-koodi lühendi järel näitamiseks, et vastus esitatud küsimusele on eitav).

Lühend	Tähendus
PWR	Võimsus.
RPT	Korrake (või kordan) (tarvitada terve trafiku või trafiku osa kordamise nõudmiseks või kordamise andmiseks, lastes lühendile järgneda vastavad äratähendused).
SIG	Allkiri (tarvitada küsimärgi järel kordamise nõudmiseks).
SPK	Rääkima, räägin, rääkige.
TXT	Tekst (tarvitada küsimärgi järel kordamise nõudmiseks).
WRK	Töö, töötama, töötan.

SIGNAALIDE TUGEVUSE, LOETAVUSE JA TOONI KOODID.

Signaali omaduste hindamist teostatakse Q-koodi lühendite QSA ja QRK alusel või amatööri RST- või RSM-koodi järgi.

1. Q-koodi järgi.

Signaalide tugevus.

QSA 1 — vaevalt vastuvõetav;
QSA 2 — nõrk, juhuslikult vastuvõetav;
QSA 3 — rahuldav; vastuvõetav raskustega;
QSA 4 — hea; vastuvõetav raskusteta;
QSA 5 — väga hea.

Signaalide loetavus.

QRK 1 — mitteloetav;
QRK 2 — vahetevahel loetav;
QRK 3 — raskustega loetav;
QRK 4 — raskusteta loetav;
QRK 5 — väga hea loetavusega.

Toon.

T 1 — halb, 25, 50 või 60 Hz vahelduvvoolu-toon;
T 2 — toores vahelduvvoolu-toon;
T 3 — halvasti alaldatud vahelduvvoolu-toon (filtrita);
T 4 — kaunis hästi alaldatud vahelduvvoolu-toon (ebaküllaldane filtreerimine);
T 5 — peaaegu alalisvoolu-toon (hea filter, kuid võtme plaksumine märgatav);
T 6 — peaaegu alalisvoolu-toon (hea filter);
T 7 — puhas alalisvoolu-toon, kuid võtme plaksumine märgatav;
T 8 — puhas alalisvoolu-toon;
T 9 — puhas kristallitüüritud alalisvoolu-toon.

Näide: Üleandmisel koostatakse teade järgmiselt: „ur sigs QSA 5 QRK 5 T 9".

2. RST-koodi järgi.

Signaalide loetavus (R).

1 — mitteloetav;
2 — vaevalt loetav, juhuslikud sõnad arusaadavad;
3 — loetav märgatavate raskustega;
4 — loetav praktiliselt raskusteta;
5 — täiuslikult loetav.

Signaalide tugevus (S).

1 — äärmiselt nõrgad, vaevalt vastuvõetavad signaalid;
2 — väga nõrgad signaalid;
3 — nõrgad signaalid;
4 — keskmised signaalid;
5 — kaunis head signaalid;
6 — head signaalid;
7 — mõõdukalt tugevad signaalid;
8 — tugevad signaalid;
9 — väga tugevad signaalid.

Toon (T).

1 — äärmiselt toores urisev toon;
2 — väga toores, täiesti ebamuusikaline vahelduvvoolu-toon;
3 — toores, madalaheliline vahelduvvoolu-toon;
4 — toorevõitu, kuid keskmiselt muusikaline vahelduvvoolu-toon;
5 — muusikaline vahelduvvoolu-toon;
6 — moduleeritud toon, väga nõrga vilega;
7 — peaaegu alalisvoolu-toon, nõrga võrgu-urinaga;
8 — hea alalisvoolu-toon, väga nõrkade vahelduvoolu-urina jälgedega;
9 — puhtaim alalisvoolu-toon.
Kui signaal on kristallitüüritud, lisatakse vastavale tooninumbrile järele X.

Näide: Teate tekst signaali omaduste kohta: „ur sigs RST 599X".

3. RSM-koodi järgi.

Kasutatakse telefonisaadetel modulatsiooni kvaliteedi hinnangu tegemisel. Sel puhul signaalide loetavus (R) ja tugevus (S) antakse nagu RST-koodi järgi, kuid toon (T) asendatakse modulatsiooniga (M).

Modulatsioon (M).

1 — väga halb modulatsioon, täielikult arusaamatu;
2 — halb modulatsioon, arusaadavad üksikud sõnad;
3 — kõik sõnad arusaadavad, kuid moonutused õige suured;
4 — hea modulatsioon, moonutused väikesed;
5 — suurepärane modulatsioon, täielikult moonutusvaba.

Näide: Teate tekst moduleeritud signaalide omaduste kohta: „ur sigs RSM 594".

TÄHTEDE VEERIMISE TABEL.

Kasutatakse raadiotelefonilisel ühendusepidamisel lühendite ning sõnade veerimiseks.

Ladinakeelne tähestik.

Üle-andmisele kuuluv täht	Tarvitatav sõna	Üle-andmisele kuuluv täht	Tarvitatav sõna	Üle-andmisele kuuluv täht	Tarvitatav sõna
A	Amsterdam	**I**	Italia	**R**	Roma
B	Baltimore	**J**	Jerusalem	**S**	Santiago
C	Casablanca	**K**	Kilogram	**T**	Tripoli
D	Danemark	**L**	Liverpool	**U**	Upsala, United
E	Edison	**M**	Madagascar	**V**	Valencia
F	Florida	**N**	New York	**W**	Washington
G	Gallipoli, George	**O**	Oslo	**X**	Xantippe
		P	Paris	**Y**	Yokohama
H	Havana	**Q**	Quebec	**Z**	Zürich

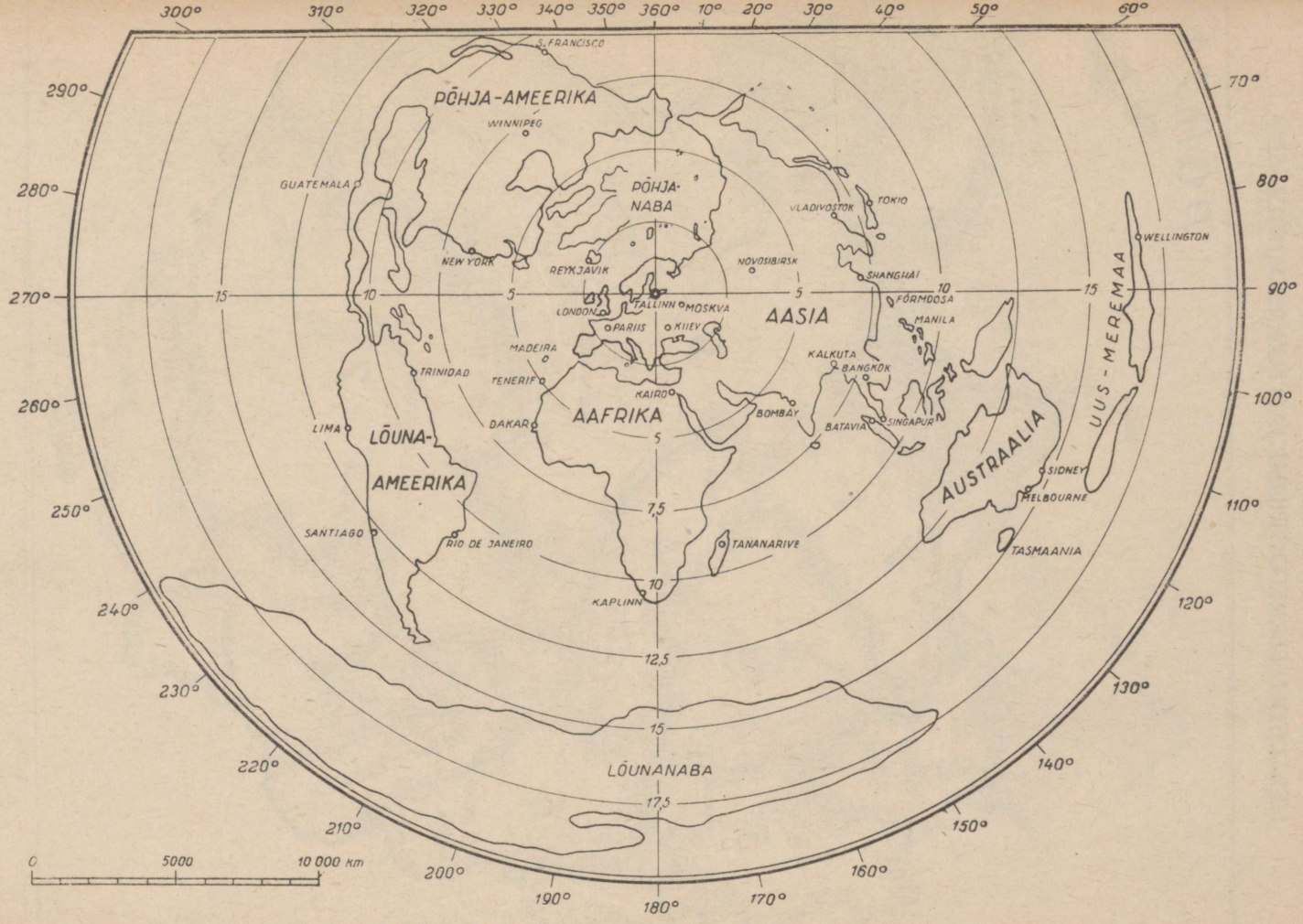
Venekeelne tähestik.

Üle-andmisele kuuluv täht	Tarvitatav sõna	Üle-andmisele kuuluv täht	Tarvitatav sõna	Üle-andmisele kuuluv täht	Tarvitatav sõna
А	Анна	**К**	Константин	**Ф**	Фёдор
Б	Борис	**Л**	Леонид	**Х**	Харитон
В	Вера	**М**	Михаил	**Ц**	Цезарь
Г	Григорий	**Н**	Надежда	**Ч**	Человек
Д	Дмитрий	**О**	Ольга	**Ш**	Шура
Е	Елена	**П**	Пётр	**Щ**	Щука
Ж	Женя	**Р**	Роман	**Ы**	Еры
З	Зинаида	**С**	Семён	**Ю**	Юрий
И	Иван	**Т**	Татьяна	**Ь**	Мягкий знак
Й	Иван Краткий	**У**	Ульяна	**Я**	Яков

Numbrid.

Numbrid antakse **üle numbri nimetusena. Igasugune** numbrite üleandmine algab ja lõpeb sõnadega „numbritega", mida korratakse kaks korda.

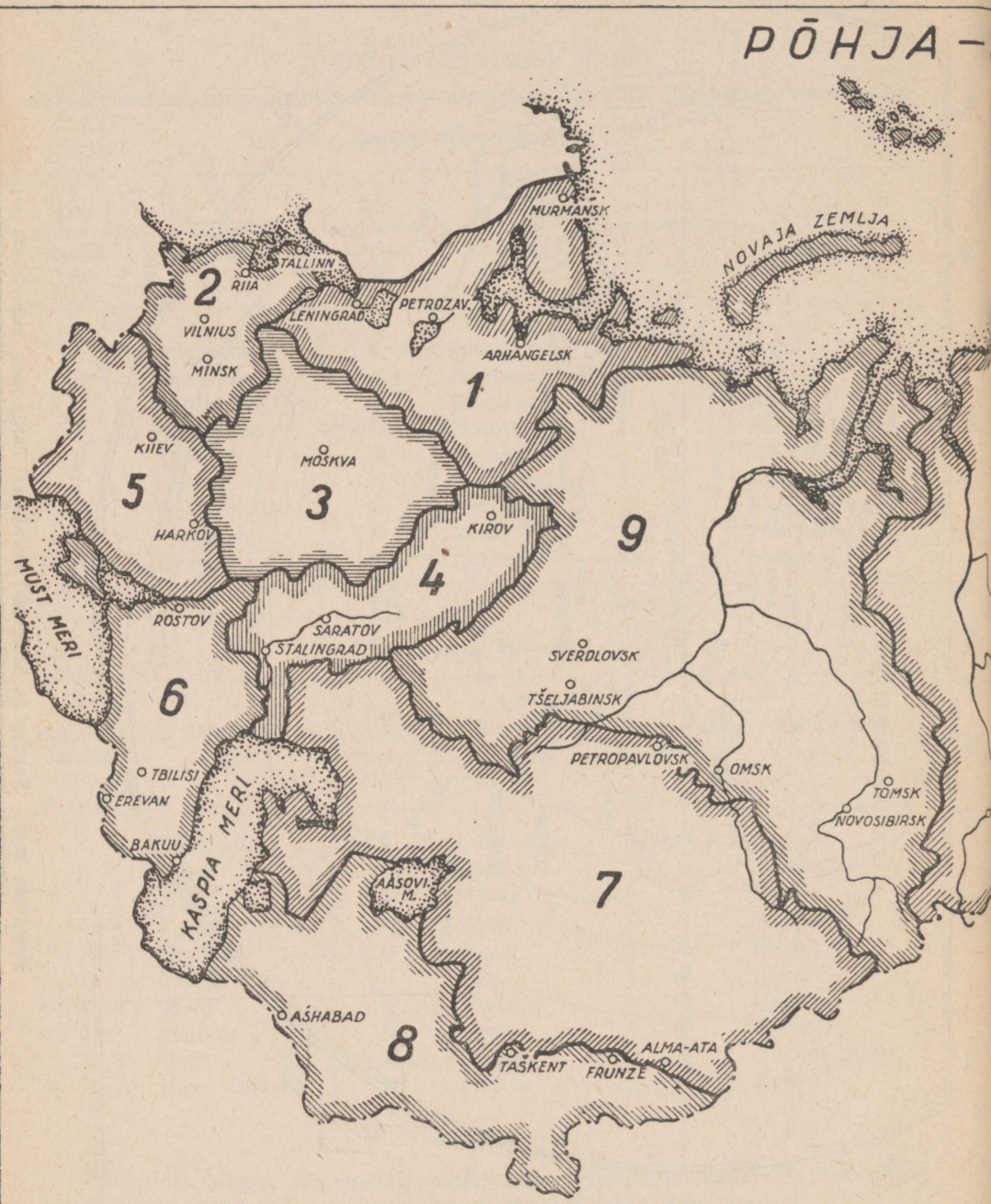
Samuti antakse **üle vastava nimetusena ka kirjamärgid.**



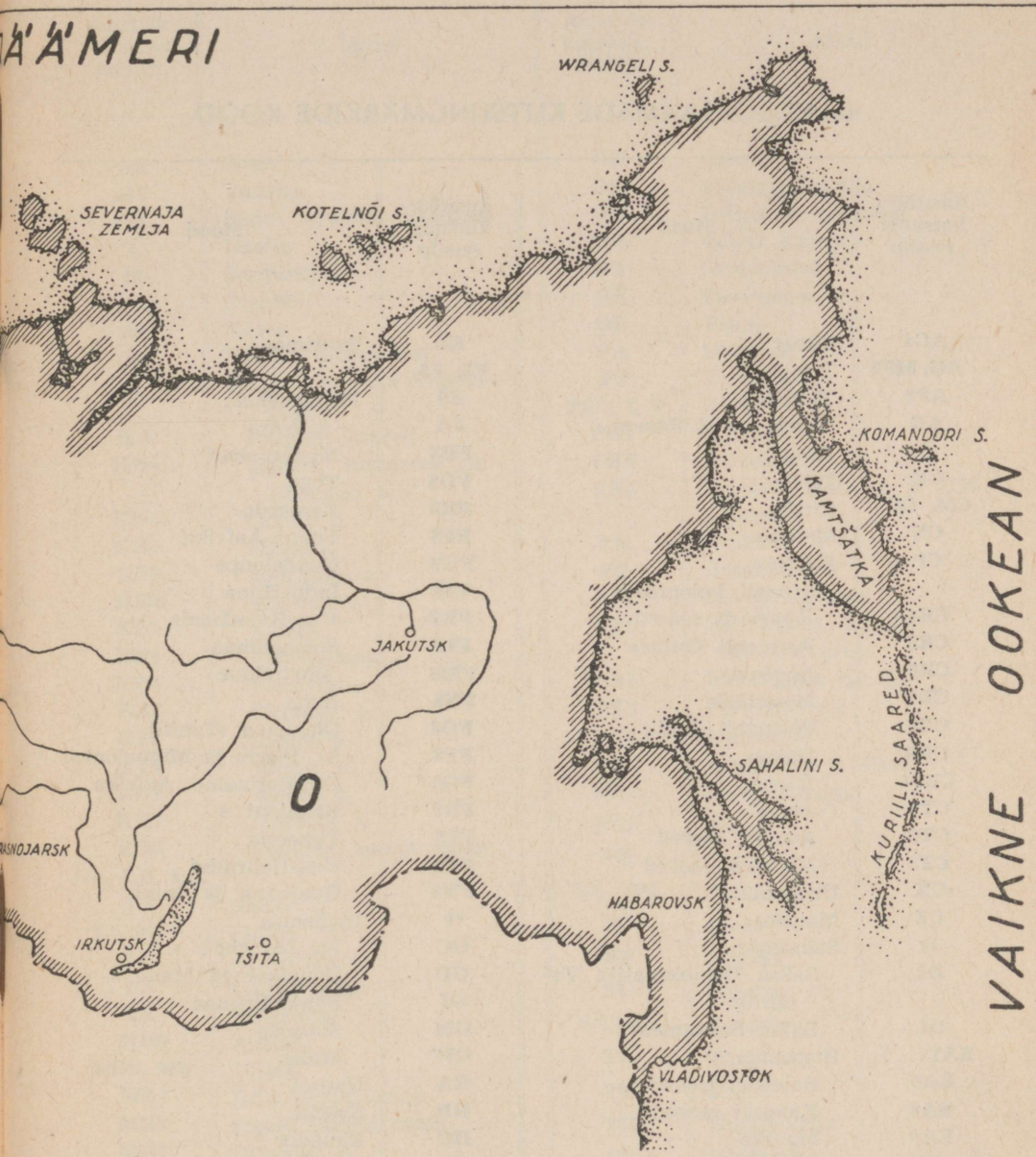
Kauguste kaart. Suunad ja kaugused arvatakse Tallinnast, kuhu kaart on tsentreeritud; kontsentrilised ringid on tõmmatud iga 2500 km järel.

Lisa nr. 8.

NSV LIIDU TERRITOORIUMI JAOTUS TSOONIDESSE



AMATÖÖRJAAMADE KUTSUNGITE RÜHMADE JÄRGI.



AMATÖÖRJAAMADE KUTSUNGMÄRKIDE KOOD.

Amatöörkutsungi eessilp	Maad	Amatöörkutsungi eessilp	Maad
AC4	Tiibet	**EZ**	Saarimaa
AG, MF2	Triest	**F3, F8,**	
AP2	Pakistan	**F9**	Prantsusmaa
AR	Süüria ja Liibanon	**FA**	Alžeeria
C	Hiina	**FB8**	Madagaskar
CE	Tšiili	**FD8**	Togo
CM, CO	Kuuba	**FE8**	Kamerun
CN	Maroko	**FF8**	Lääne-Aafrika
CP	Boliivia	**FG8**	Guadeloupe
	Portugali kolooniad:	**FI8**	Indo-Hiina
CR4	Kapverdi saared	**FK8**	Uus-Kaledoonia
CR5	Portugali Guinea	**FL8**	Somaalimaa
CR6	Angoola	**FM8**	Martinique
CR7	Mosambik	**FN8**	India
CR8	Portugali India	**FO8**	Okeaania (Tahiti)
CR9	Makao	**FP8**	St. Pierre ja Miqueloni s.
CR10	Timor	**FQ8**	Ekvatoriaalne Aafrika
CT1	Portugal	**FR8**	Reunioni s.
CT2	Assoori saared	**FT8**	Tuneesia
CT3	Madeira saared	**FU8**	Uus-Hebriidid
CX	Uruguai	**FY8**	Guajaana ja Inini
CZ	Monako	**G**	Inglismaa
D	Saksamaa	**GC**	La Manche'i s.
D1	Saksa Demokraatlik Vabariik	**GD**	Douglase ja Man'i s.
		GI	Põhja-Iirimaa
DL	Lääne-Saksamaa	**GM**	Šotimaa
EA1 . . . 7	Hispaania	**GW**	Wales
EA6	Baleaari saared	**HA**	Ungari
EA8	Kanaari saared	**HB**	Šveitsi
EA9	Maroko	**HC**	Ekuador
EI	Iiri	**HH**	Haiti
EK	Tanžer	**HI**	Dominikaani vabariik
EL	Libeeria	**HJ, HK**	Kolumbia
EP	Iraan	**HP**	Panama
ET	Etioopia	**HR**	Honduras

Amatöörkutsungi eessilp	Maad
HS	Siiam
HV	Vatikan
HZ	Saudi Araabia (Hedžas)
I	Itaalia
IS	Sardiinia
JA	Jaapani
J8	Korea
J9	Taivan (Formoosa)
K	Põhja-Ameerika Ühendriigid
KA	Filipiini saared
KB6	Bakeri, Howlandi ja Phoenixi s.
KG6	Guami s.
KH6	Havai s.
KJ6	Johnstoni s.
KM6	Midway s.
KL7	Alaska
KP4	Puorto-Rico
KP6	Palmyra s.
KR6	Okinava s.
KS6	Samoa s.
KV6	Virgini s.
KW6	Wake'i s.
KX5	Maršalli s.
KZ5	Panama kanali tsoon
LA, LB, LF, LJ	Norra
LI, MD1	Liibüa
LU	Argentiina
LX	Luksemburg
LZ	Bulgaaria
MB9	Austria
MD2, MT	Tripoli
MD4	Briti Somaalimaa
MD5	Suessi kanali tsoon
MD7	Küprose s.
MF2, AG	Triest
MI3	Eritrea
OA	Peruu
OE, MB9	Austria
OH	Soome
OK	Tšehhoslovakkia
ON	Belgia ja asumaad
OQ	Belgia Kongo
OX	Gröönimaa
OY	Faeroeri s.
OZ	Taani
PA	Hollandi
PJ	Curaçau
PK1, 2, 3	Jaava
PK4	Sumatra
PK5	Borneo
PK6	Celebes, Molucca ja Uus-Guinea
PX	Andorra
PY	Brasiilia
PY1	Rio de Janeiro
PY2	São Paulo, Parana, St. Catharina
PY3	Rio Grande do Sul
PY5	Pernambucco
PY6	Maranhao
PY7	Amazonas ja Para
PY8	Matto-Grosso
PY9	Minas
PZ	Surinam
SL, SM	Rootsi
SP	Poola
ST	Sudaan
SU	Egiptus
SV, SX	Kreeka
TA	Türgi
TF	Island
TG	Guatemaala
TI	Kostariika
U	NSVL
UA1	Arhangelski, Vologda, Novgorodi, Pihkva, Leningradi, Murmanski oblast

Amatöörkutsungi eessilp	Maad	Amatöörkutsungi eessilp	Maad
UA3	Moskva, Kalinini, Smolenski, Orlovi, Jaroslavi, Kostroma, Velikije-Luki, Tuula, Voroneži, Tambovi, Rjasani, Gorki, Ivanovo, Vladimiri, Kurski, Kaluuga, Brjanski oblast	**UO5**	Moldaavia NSV
		UQ2	Läti NSV
		UP2	Leedu NSV
		UR2	Eesti NSV
		VE	Kanada
		VE1	Uus-Šotimaa, Uus-Brunswick
		VE2	Quebec
UA4	Stalingradi, Saraatovi, Pensa, Kuibõševi, Uljanovi, Kirovi oblast; Tatari, Mari, Mordva, Udmurdi, Tšuvaši ANSV	**VE3**	Ontario
		VE4	Manitoba
		VE5	Saskatchewan
		VE6	Alberta
		VE7	Briti Kolumbia
UA6	Krasnodari ja Stavropoli krai, Rostovi, Krimmi, Astrahani oblast; Põhja-Osseedi, Dagestani, Kabardiini ANSV	**VE8**	Jukon
		VK	Austraalia
		VK2	New South Wales
		VK3	Victoria
		VK4	Queensland (Papua)
UA9	Tšeljabinski, Sverdlovski, Molotovi, Tomski, Tjumeni, Omski, Novosibirski, Kurgani, Tškalovi, Kemerovo oblast; Baškiiri ja Komi ANSV; Altai krai	**VK5**	Lõuna-Austraalia
		VK6	Lääne-Austraalia
		VK7	Tasmaania
		VK8	Põhja-Austraalia
		VK9	Uus-Guinea
		VO	Newfoundland
		VP	Briti asumaad ja protektoraadid
UAO	Krasnojarski, Habarovski, Primorski krai; Burjaadi-Mongoli ja Jakuudi ANSV, Irkutski ja Tšita oblast	**VP1**	Honduras
		VP2	Tulemaa
		VP3	Guajaana
		VP4	Trinidad ja Tobago
UB5	Ukraina NSV	**VP5**	Jamaika ja Kaimani s.
UC2	Valge-Vene NSV	**VP6**	Barbadose s.
UD6	Aserbaidžani NSV	**VP7**	Bahama s.
UF6	Gruusia NSV	**VP8**	Falklandi s.
UG6	Armeenia NSV	**VP9**	Bermuda s.
UN8	Turkmeeni NSV	**VQ1**	Sansibar
UI8	Usbeki NSV	**VQ2**	Põhja-Rodeesia
UJ8	Tadžiki NSV	**VQ3**	Tanganjika
UL7	Kasahhi NSV	**VQ4**	Keenia
UM8	Kirgiisi NSV	**VQ5**	Uganda
UN1	Karjala-Soome NSV	**VQ6**	Somaalimaa

Amatöörkutsungi eessilp	Maad
VQ8	Mauritiuse ja St. Helena s.
VQ9	Seychelli s.
VR1	Gilberti ja Ellice'i ja Vaikse ookeani s.
VR2	Fidži s.
VR3	Fanningi s.
VR4	Saalomoni s.
VR5	Tonga s.
VR6	Pitcairni s.
VS1	Straits Settlements (Singapore)
VS2, 3	Malai riigid
VS4	Põhja-Borneo
VS5	Sarawak
VS6	Hongkong
VS7	Tseilon
VS8	Bahreini s.
VS9	Maldive'i s.
VU	Briti India
W	Ameerika Ühendriigid
W1	Osariigid: Maine, New-Hampshire, Vermont, Massachusetts, Connecticut, Road-Island
W2	New Yorgi linn ja osariik ja osa New Jersey osariigist
W3	Osariigid: Delaware, Maryland, osa New Jersey osariigist ja Pennsylvania
W4	Osariigid: Alabama, Põhja- ja Lõuna-Carolina, Georgia, Florida, Tennessee, Kentucky, Virginia
W5	Osariigid: Louisiana, Texas, Arkansas, Oklahoma, New Mexico, Mississippi
W6	Osariigid: California, osa Arizonast
W7	Osariigid: Oregon, Idaho, Montana, Wyoming, Washington, Nevada, Utah, osa Arizonast
W8	Osariigid: Lääne-Virginia, Ohio, osa Pennsylvaniast, osa New Jerseyst, Michigan
W9	Osariigid: Illinois, Indiana, Visconsin
W0	Osariigid: Colorado, Minnesota, Põhja- ja Lõuna-Dakota, Nebraska, Iova, Missouri, Kansas
XE	Mehhiko
XU	Hiina
XZ	Burma
YA	Afganistan
Y1	Iraak
YJ	Uus-Hebriidi s.
YK	Damaskus
YN	Nikaraagua
YO, YR, YQ	Rumeenia
YS	San-Salvador
YU	Jugoslaavia
YV	Venetsueela
ZA	Albaania
Z	Briti asumaad ja protektoraadid
ZB1	Malta
ZB2	Gibraltar
ZC1	Transjordaania
ZC2	Kookos'e s.
ZC3	Christmas'e s.
ZC4	Küprose s.
ZC6	Palestiina
ZD1	Sierra Leone
ZD2	Nigeeria ja Kamerun

Amatöörkutsungi eessilp	Maad	Amatöörkutsungi eessilp	Maad
ZD3	Gambia	ZM	Samoa
ZD4	Kullarannik ja Togo	ZP	Paraguai
ZD6	Njassa	ZS	Lõuna-Aafrika Liit
ZD8	Ascensioni s.	ZS1, 2	Capetown
ZE	Lõuna-Rodeesia	ZS3	Edela-Aafrika
ZK ... ZM	Uus-Meremaa	ZS4	Oranje
ZK1	Cooki s.	ZS5	Natal
ZK2	Niue s.	ZS6	Transvaal
ZL	Uus-Meremaa	ZZ	Oman
ZL1	Oakland	ZU9	Tristan da Cunha s.
ZL2	Wellington	3V8	Vietnam
ZL3	Canterbury	4X4	Iisrael
ZL4	Tahiti		

AJA REDUTSEERIMISTABEL.

Meridiaanid		± tund	NSV Liidu rajoonid	Välismaad ja -riigid
Läänepikkus	0	—3		Lääne-Euroopa — Inglismaa, Prantsusmaa, Hispaania, Portugal, Belgia, Iiri Lääne-Aafrika — Maroko, Assoorid, Nigeeria, Togoland
	15	—4		Lääne-Aafrika — Libeeria, Cambia Saared — Madeira, Kanaari, Island, Sierra Leone Gröönimaa
	30	—5		Gröönimaa Saared — Assoori, Trinidad
	45	—6		Lõuna-Ameerika idaosa — Brasiilia Gröönimaa
	60	—7		Lõuna-Ameerika keskosa — Tšiili, Boliivia, Uruguai, Ekuador, Porto-Rico, Paraguai, Argentiina, Brasiilia Kanada Saared — Bermuuda, Newfoundland, Jamaika Gröönimaa
	75	—8		Põhja-Ameerika idaosa — USA, Kanada Lõuna-Ameerika lääneosa — Kuuba, Dominikaani, Kolumbia, Panama, Venetsueela, Peruu, Brasiilia, Tšiili Gröönimaa, Haiti s.
	90	—9		Põhja-Ameerika keskosa — USA, Kanada, Nikaraagua, Salvador Kesk-Ameerika — Honduras, Guatemaala, Kostariika

	Meridiaanid	± tundi	NSV Liidu rajoonid	Välismaad ja -riigid
Läänepikkus	105	—10		Põhja-Ameerika lääneosa — USA, Kanada, Mehhiko
	120	—11		Põhja-Ameerika lääneosa — USA, Kanada, Alaska
	135	—12		Alaska, Kanada
	150	—13		Alaska Vaikse ookeani saared — Havai, Christmas'e s
	165	—14		Alaska, Coaki s.
Idapikkus	180	+ 9		Uus-Meremaa, Samos, Fidži, Tonga
	165	+8		Uus-Kaledoonia
	150	+7	Ida-Siber, Primorje, Jakuudi ANSV	Ida-Austraalia, Uus-Guinea Tasmaania, Saalomoni s. Ida-Aasia — Hiina
	135	+6	Ida-Siber	Ida-Aasia — Jaapan, Korea, Uus-Guinea; Kesk-Austraalia
	120	+5	Kesk-Siber	Ida-Aasia — Hiina, Formoosa, Uus-Guinea, Celebes, Põhja-Borneo, Hongkong Lääne-Austraalia Filipiini s.
	105	+4	Kesk-Siber Novosibirsk	Kesk-Aasia — Hiina, Indoneesia, Siiam, Jaava, Borneo, Malaia
	90	+3	Lääne-Siber, Usbekistan, Turkmeenia	Kesk-Aasia — Ida-India, Indo-Hiina, Burma, Sumatra, Tiibet
	75	+ 2	Lääne-Siber	Kesk-Aasia — Lääne-India, Lääne-Hiina Tseilon

Meridiaanid		± tundi	NSV Liidu rajoonid	Välismaad ja -riigid
Idapoolkuus	60	+1	NSVL Euroopa-osa idarajoonid	Lääne-Aasia — Iraan, Afganistan
	45	0	Tallinn, Moskva, NSVL Euroopa-osa keskrajoonid	Ida-Aafrika — Alžiir, Tanganjika, Madagaskar, Somaalimaa Lääne-Aasia — Iraak, Iraan, Süüria
	30	−1		Ida-Euroopa — Bulgaaria, Soome, Rumeenia, Kreeka, Türgi Ida-Aafrika — Süüria, Etioopia, Mosambik, Egiptus, Palestiina, Transjordaania, Põhja-Rodeesia, Keenia, Uganda, Lõuna-Rodeesia Lõuna-Aafrika Liit
	15	−2		Kesk-Euroopa — Saksamaa, Rootsi, Tšehhoslovakkia, Taani, Norra, Ungari, Šveitsi, Itaalia, Austria, Hollandi, Poola, Jugoslaavia, Albaania Kesk-Aafrika — Tuneesia, Kongo, Malta

Märkused: 1) Tabelis on maad paigutatud nende geograafilise asendi järgi, välja arvatud NSV Liidu territooriumi rajoonid, kus ametlik aeg on geograafilisest ajast ühe tunni võrra ees. NSV Liidu territooriumi osad on seepärast nihutatud 15° võrra itta.

2) Tallinna aeg võrdub Moskva ajaga.

3) Eri maade õige aja leidmiseks tuleb kohalikule ajale juurde arvata või lahutada tulbas „± tundi" toodud tundide arvud. Näiteks, kella 18.00 Tallinnas vastab Uus-Meremaa õige aeg 18.00 + 9 = 27.00 — 24.00 = 03.00, samal ajal New Yorgis 18.00 — 8 = 10.00.

QSO-NÄIDIS.

Raadiojaam UR2KAA	Raadiojaam UA1KBB (telegraafitöös) Raadiojaam G6DK (telefonitöös)

1. Telegraafiside.

CQ CQ CQ de UR2KAA UR2KAA UR2KAA ec pse k

Vastuvõtt

UA1KBB UA1KBB de UR2KAA UR2KAA rr gd dr tow es vy tnx fr call = ur rst 589 fb = QTH Tallinn = ok pse QSL? ec UA1KBB de UR2KAA ec k

Vastuvõtt

UA1KBB de UR2KAA rr fb dr tow es vy tnx = QSL sure = nw hr also QRU = vy 73 es tks fr fb QSO = cheerio es hpe cuagn = gb dr tow ec UA1KBB de UR2KAA ec sk

Vastuvõtt

Vastuvõtt

UR2KAA, UR2KAA, UR2KAA de UA1KBB, UA1KBB, UA1KBB ec k

Vastuvõtt

UR2KAA de UA1KBB rr gd dr tow es tks fr rprt = ur rst 579 = hr QTH Leningrad = pse QSL sure via box 88 Moskwa = hr sure QSL = nw QRU = QRU? ec UR2KAA de UA1KBB ec k

Vastuvõtt

UR2KAA de UA1KBB rr fb es tks fr QSO = cheerio es gb dr tow ec UR2KAA de UA1KBB ec sk

2. Telefoniside.

CQ CQ CQ calling Soviet station UR2KAA, UR2KAA in Tallinn, Estonian SSR, Soviet station U-as United, R-as Roma, number two, k-as kilogram, A-as Amsterdam, A-as Amsterdam, calling any 20 meters phone station (või dx, või Soviet, Australian jne.), key some one please, over.

Vastuvõtt

Raadiojaam UR2KAA	Raadiojaam UA1KBB (telegraafitöös) Raadiojaam G6DK (telefonitöös)
	UR2KAA, UR2KAA, Soviet station U — United, R — Roma, number two, K — kilogram, A — Amsterdam, A — Amsterdam, British station G6DK in London is replying, British Station G — George, number six, D — Danemark, K — kilogram is replying. Come in please. UR2KAA G6DK is replying. I am standing by.
Vastuvõtt	
G6DK, G6DK, British station G — George, number six, D — Danemark, K — kilogram calling UR2KAA in Tallinn Estonian SSR. Good afternoon old man. I am very much pleased to get your signal. It is a very nice signal, although the conditions are rather poor. Your signals readability is 4, signal strength 6, modulation 5. How you are receiving me? Will you report RSM of mine signals, please? G6DK calling UR2KAA, stand by, over.	
	Vastuvõtt
	UR2KAA, UR2KAA, British station G6DK is replying. Good afternoon. Thank you very much for your call. Many thanks for report. Your signals QSA 4, QRK 4, modulation 4. UR2KAA calling G6DK, key please.
Vastuvõtt	
G6DK, G6DK calling UR2KAA. Very many thanks for fine QSO. Please QSL via post box 88 Moscow. Good wishes and best Dx old man. Hope to meet you again. Good bye dear old man. Soviet station UR2KAA is signing off with British station G6DK.	
	Vastuvõtt
Vastuvõtt	UR2KAA calling G6DK. Many thanks for excellent QSO old man. Sure, I'll send QSL and please yours QSL too. Cheerio and best 73-s. Good night. Calling UR2KAA the British station G6DK is closing down.

JAAMA PÄEVIKU NÄIDIS.

Kella-aeg MSK	Välja-kutsutava jaama kutsung	Välja-kutsuva jaama kutsung	Side täpne tekst	Sagedus-riba MHz	RST	Märkused	QSL-kaardid	
							Saade-tud	Saa-dud

Lisa nr. 13.

ARMEE ABISTAMISE VABATAHTLIKU ÜHINGU KOLLEKTIIVSEID AMATÖÖRJAAMU.

Kutsung	Nimetus	Aadress
	Esimene rajoon.	
UA1KAA	Raadioklubi	Sestroretsk Leningradi obl.
UA1KAB	Raadioklubi	Sestroretsk Leningradi obl.
UA1KAC	Sideinseneride Instituut	Leningrad
UA1KAE	Raadioklubi	Leningrad
UA1KAO	Raadioklubi	Luuga
UA1KBA	Raadioklubi	Leningrad
UA1KBB	Lenini-nim. Instituut	Leningrad
UA1KFA	Raadioklubi	Arhangelsk
	Teine rajoon.	
UR2KAA	Raadioklubi	Tallinn
UR2KAC	Polütehniline Instituut	Tallinn
UR2KAE	Raadioklubi filiaal	Tartu
UR2KAB	Raadioklubi filiaal	Rakvere
UQ2KAA	Raadioklubi	Riia
UQ2KAB	Raadioklubi filiaal	Riia
UP2KPA	Raadioklubi	Vilnius
	Kolmas rajoon.	
UA3KAA	Kesk-raadiojaam	Rastorgujevo Moskva obl.
UA3KAB	Kesk-raadioklubi	Moskva
UA3KAC	Kesk-raadiolaboratoorium	Moskva
UA3KAE	Raadioklubi	Moskva
UA3KAG	Mehhaniseerimise Instituut	Moskva
UA3KAH	Sideinseneride Instituut	Moskva
UA3KAM	Raadioklubi	Moskva
UA3KAZ	Raadioklubi	Moskva
UA3KDA	Raadioklubi	Mõtištši
UA3KET	Raadioklubi	Kalinin
UA3KGA	Raadioklubi	Pavlov Possad
UA3KIB	Raadioklubi	Kostroma

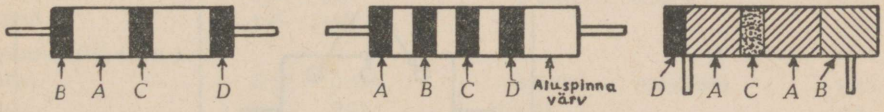
Kutsung	Nimetus	Aadress
UA3KMB	Raadioklubi	Tambov
UA3KMC	Raadioklubi	Tambov
UA3KNB	Raadioklubi	Rjasan
UA3KQB	Raadioklubi	Ivanovo
UA3KUA	Raadioklubi	Kursk
	Neljas rajoon.	
UA4KCB	Raadioklubi	Engels
UA4KCC	Raadioklubi	Engels
UA4KPA	Raadioklubi	Kaasan
UA4KPB	Raadioklubi	Kaasan
UA4KWW	Raadioklubi	Iževsk
	Viies rajoon.	
UB5KAB	Raadioklubi	Stalino
UB5KAD	Raadioklubi	Dnepropetrovsk
UB5KAE	Raadioklubi	Kiiev
	Kuues rajoon.	
UA6KOB	Raadioklubi	Rostov Doni ä.
UD6KBB	Raadioklubi	Bakuu
UF6KAB	Raadioklubi	Tbilisi
UD6KBA	Merekool	Bakuu
	Seitsmes rajoon.	
UL7KAA	Raadioklubi	Alma-Ata
	Kaheksas rajoon.	
UI8KAA	Raadioklubi	Taškent
UH8KAA	Raadioklubi	Ašhabad
	Üheksas rajoon.	
UA9EAA	Raadioklubi	Sverdlovsk
UA9KAB	Raadioklubi	Tšeljabinsk
UA9KCA	Raadioklubi	Sverdlovsk
UA9KOA	Raadioklubi	Novosibirsk
UA9KYA	Raadioklubi	Barnaul
UA9KWA	Raadioklubi	Ufa
	Nulline rajoon.	
UA0KAA	Raadioklubi	Diksoni saar
UA0KGA	Raadioklubi	Šmidti maanina
UA0KFA	Raadioklubi	Habarovsk
UA0KUA	Raadioklubi	Tšita

VÄRVUSTE KOOD.

1) Takistid.

Värvus	1. tunnus A	2. tunnus B	Numbrid C
Must	—	0	,0
Pruun	1	1	0
Punane	2	2	00
Oranž	3	3	000
Kollane	4	4	0000
Roheline	5	5	00000
Sinine	6	6	000000
Lilla	7	7	0000000
Hall	8	8	00000000
Valge	9	9	—

Tolerantsid: Kuld — 5%, hõbe — 10%, ilma — 20%.



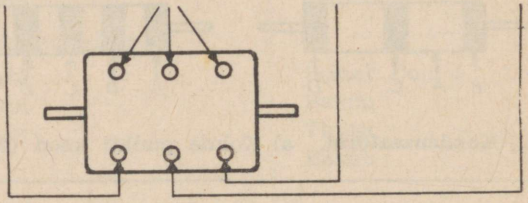
2) **Kondensaatorid.** a) Kolme punkti kood (tulemused pF).

Punkti värvus	1. tunnus A	2. tunnus B	Numbrid C
Must	—	0	,0
Pruun	1	1	0
Punane	2	2	00
Oranž	3	3	000
Kollane	4	4	0000
Roheline	5	5	00000
Sinine	6	6	000000
Lilla	7	7	0000000
Hall	8	8	00000000
Valge	9	9	—



b) Kuue punkti kood (tulemused pF).

Punkti värvus	Tööpinge volti	Punktide arvuline tähendus	Kümnendik-korrutaja	Tolerants
Must		0	1	—
Pruun	100	1	10	1%
Punane	200	2	100	2%
Oranž	300	3	1000	3%
Kollane	400	4	—	4%
Roheline	500	5	—	5%
Sinine	600	6	—	6%
Lilla	700	7	—	7%
Hall	800	8	—	8%
Valge	900	9	—	9%
Kuld	1000	—	0,1	—
Hõbe	2000	—	0,01	10%



3) **Keraamilised kondensaatorid** (Hescho).

Keraamilistes kondensaatorites kasutatav dielektriline materjal määratakse tehase andmetel kindlaks alljärgneva värvuste koodiga:

Värvus	Dielektrik	Dielektriku kaotegur $10^{-2} \cdot \operatorname{tg}\delta$	ε sõltuvus temperatuurist $\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} \cdot 10^4/^0\,C$
Hall	Tempa S	0,08	+0,4
Kollane, hele	Tempa N	0,3	—0,3
Kollane, tume	Kondensa N	0,2	—3,6
Oranž	Kondensa C	0,2	—7,2
Roheline	Kaliit	0,15	+1,4
Sinine	Kalaan	0,08	+1,4

ELEKTRIJUHTIDE ANDMEID.

Aine nimetus	Eritakistus ϱ 15^0 C juures ($\Omega\,mm^2/m$)	Temperatuuri-tegur α 15^0 C juures ($\Omega/^0C$)	Erikaal γ g/cm^3
Alumiinium	0,03	0,0037	2,7
Elavhõbe	0,95	0,0009	13,6
Ferraal (Al+Fe+Cr)	1,15 . . .1,3	0,00008	7,6
Hõbe	0,0016 . . . 0,00175	0,0036	10,5
Inglistina	0,12	0,0045	7,3
Kadmium	0,068	0,0038	8,6
Konstantaan (Cu+Ni)	0,49 . . . 0,51	—0,00005	8,9
Kroomnikkel (Ni+Fe+ +Cr)	1,0 . . . 1,1	0,00012 . . . 0,0004	8,2
Maapind	10^8 . . . 10^{10}		
Manganiin (Ni+Cu+ +Mn)	0,42 . . . 0,43	—0,00001 . . . +0,00006	8,43
Nikkel	0,10 . . . 0,12	0,0041	8,9
Nikeliin (Ni+Cu)	0,40 . . . 0,44	0,00022	8,9
Plaatina	0,104	0,0024	21,4
Plii (seatina)	0,21	0,0041	11,3
Raudplekk — dünamo-plekk	0,15		7,8
„ — nõrgalt legeerit.	0,30		7,75
„ — keskm. legeerit.	0,40		7,65
„ — tugevasti legeerit.	0,60		7,55
Raudtraat	0,14	0,0047	7,65
Räni (Si)	10 000	negatiivne	
Süsi (grafiit)	40 . . . 600	—0,0003 . . . —0,0008	
Teras	0,1 . . . 0,25	0,0045 . . . 0,005	7,8
Tsink	0,06	0,0039	7,2
Uushõbe (Ni+Cu+Zn)	0,35 . . . 0,41	0,00007	8,8
Valgevask (Cu+Zn)	0,07 . . . 0,08	0,0015	8,3
Vask, pehme	0,0172	0,004	8,9
Vask, kõva	0,0175	0,004	8,9
Volframtraat	0,07	0,0051	19,2

DIELEKTRIKUTE ANDMEID.

Materjali nimetus	Dielektri-ku-konstant ε	Kaotegur 10^{-4} tg δ						Dielektriku tugevus U—kV/mm	Ruum-takistus S'—Ω/cm	ε sõltuvus tempera-tuurist $\frac{\Delta\varepsilon}{\varepsilon} \cdot 10^4/°C$
		50 Hz	1 kHz	1 MHz	10 MHz	100 MHz	1000 MHz			
Asfalt	2,7 . . . 3,1		230					1 . . . 1,2		
Bakeliidid:										
„ asbest-alusel	7,5			1500				3,5 . . . 6,0		
„ must	5 . . . 5,5			350				16 . . . 20		
„ paber-alusel	3,8 . . . 5,5			250. . .400				25 . . . 29	10^{10} . . . 10^{13}	
„ puhas	5,0			100				16 . . . 19	$1{,}5 \cdot 10^{12}$	
„ vilgukivi-täitega	5,0 . . . 6,0			80. . .100				18,5 . . . 23,5		
„ värviline	5,0 . . . 6,5			350...1100				6 . . . 20		
Bakeliitlakk (kresoolvaigud)	6	10						16		
Diakond (Mg titanaat)	16		10	1				20	10^{14}	+0,5
Eboniit	2,0 . . . 3,5			50. . .100			80	18	10^{14}	
Ergaan (Mg silikaat)	4,5			3 . . . 5			20			+1,0
Ekstselsiorriie	2 . . . 2,5			200. . .300				17 . . . 21		
Fiiber	4,1 . . . 7,5			670				5		
Frekventa (Mg silikaat)	5,5 . . . 6,5		10	2 . . . 5				30 . . . 50	10^{14}. . .10^{15}	+1,0
Frekventiit	6,1			8						
Galaliit (kunstsarvained)	6,1 . . . 6,4			5,2 . . . 6,0				6,5		
Gutapertš	2,5 . . . 4,9							8 . . . 20	5.10^{14}. . .10^{15}	
Kalaan	6,6	3,6	3,2	2,8						+1,2 . . . +1,6
Kaliit (Mg silikaat)	6,0 . . . 6,5		9,0	5,8			7	35 . . . 45	10^{14}. . .10^{15}	+1,2 . . . +1,6
Kastoorõli	4,3 . . . 4,7			700				15		
Kerafaar R (rutiilisisaldusega)	80	300	300	5 . . . 15				10	10^{14}	—7,0
„ S „	70	300	30	5 . . . 15				10	10^{14}	—6,0
„ T tsirkoonoksüüd + rutiil)	45	7	7	5				15 . . . 20	10^{14}	—4,0
„ U „	65	5	5	3				15 . . . 20	10^{14}	—6,0
„ V (rutiilisisaldusega)	18			10 . . . 15				15 . . . 20	10^{14}	—1,0
Klaas: akna	7,6 . . . 8,0			140				8 . . . 10		
„ elektri	4 . . . 5			50			180	80	8.10^{14}	
„ flint	7 . . . 10		45	40						
„ koobalt	7,3			70						
„ pyrex	4,2 . . . 4,9		50	70		54		13	10^{14}	

Lisa nr. 17.

Kondensa C (rutiilisisaldusega)	80	300	300	3,2 . . . 7,2			15	10	10^{14}	−7,0 . . . −7,4
„ F „	65		5...10	3 . . . 5				15 . . . 20	10^{14}	−7,0 . . . −7,4
„ N „	40		300	4.6 . . . 8,5			15	15 . . . 20	10^{14}	−3,4 . . . −3,8
Kvarts (sulatatud)	3,5 . . . 4	1	1	1,5 . . . 3,0	1	5	8	25 . . . 40(8)	10^{17}. . . 10^{18}	
Luksiit	2,5 . . . 3	700	500	150. . .300	190			19 . . . 20		
Marmor	7,3. . .11,6		1000						10^{9}	
Merivaik	2,8			50					10^{18}. . . 10^{19}	
Mikaleks	6 . . . 8			18 . . . 30				10 . . . 14	10^{13}	
Mikaniit	4,5 . . . 6							25 . . . 35		
Paber	1,8 . . . 2,6		40					49		
Parafiin (kõva)	1,7 . . . 2,6		0,8	3 . . . 9	3. . 9				10^{17}	
Pertinaks	4,8 . . . 5,4		250	230. . .390	1000	900	800	10 . . . 20		
Pleksiklaas	2,6 . . . 3,5			20 . . . 60				13		
Polüetüleen	2,3 . . . 2,4	2	2	2 . . . 5				40	10^{17}	
Portselan (glasuuritud)	5,4 . . . 7,5		200	55. . .150			220	34 . . . 37	10^{14}	+5,5
Presspaan (kõvapapp)	2,9 . . . 4,5			265	580			11 . . . 22	10^{11}	
Puu (kuiv tamm)	2,5 . . . 6,8		380	420						
Puu (parafiinitud)	4,1							4,5		
Rutiil (titaandioksüüd)	90 . . . 170		10							
Steatiit	4,4 . . . 6,5	2	20	10						
Tempa N (rutiilisisaldusega)	12,5			20	18	13		6 . . . 12	10^{14}. . . 10^{15}	
Tempa S	14 . . . 16			8 . . . 15				15 . . . 20	10^{14}	−0,2 . . . −0,4
Troliit BC	3,5		10	1				20	10^{14}	+0,14. . . +0,16
Trolituul (polüstüreen, polüstürool)	2,4 . . . 2,9	2	50	110				40	3.10^{12}	
Tselloon	7,0		1,8	2	2	2	10	20 . . . 100	10^{20}	
Tselluloid	4,0 . . . 4,1		700							
Tseresiinvaha	2,1 . . . 2,6			500						
Šellak	2,5 . . . 4,0		0,3	12 . . . 21						
Ultrakalaan	7,1			9				35	10^{16}	
Vaakum	1,0	0	0	1,0	1,1	1,1				
Vilgukivi	7,0 . . . 8,0	2	2	0	0	0	0			
Vilgukivi, puhas, india	6,4 . . . 7,5	1,0	1,7	2	2	2		50 . . . 100	10^{13}. . . 10^{15}	+0,6 . . . +1,0
Vinüülvaigud	4,0			1,7	1,7			24 . . . 60		+0,8
Vitrolex	6,4			1,4 . . . 1,7				16 . . . 20	10^{14}	
Õhk	1,0006	0	0	30						
Õlipaber	2,0			0	0	0	0	0,9		

Traadi läbimõõt mm	Ristlõike-pind mm²	Keerdusid ühe cm kohta [1]					Keerdusid ühe cm²		
		Email ПЭ	1 × siid ПШО	2 × siid ПШД	1 × puuvill ПБО	2 × puuvill ПБД	Email ПЭ	1 × siid ПШО	2 × siid ПШД
0,05	0,00196	167	91	59			18000	10000	5300
0,06	0,00283	143	84	56			12600	8200	4600
0,07	0,00385	125	77	52,5			10000	6800	4000
0,08	0,00503	111	72	50,6			8200	5700	3520
0,10	0,00785	87,0	62,5	45,5		35,7	5700	4250	2800
0,12	0,01131	74,1	55,5	41,5		33,3	4000	3320	2280
0,14	0,0154	64,5	51	38,6		31,4	3130	2250	1900
0,15	0,0177	60,6	47,5	37,0		30,3	2800	2400	1720
0,16	0,0201	57,2	46	36,0		29,6	2500	2170	1600
0,18	0,0254	51,3	42	33,5		28,0	2070	1800	1360
0,20	0,0314	45,5	38,5	31,3	34,3	26,3	1720	1530	1180
0,22	0,0380	41,6	35,7	29,6	32,0	25,0	1400	1260	1020
0,25	0,0491	37,1	32,0	27,0	29,4	23,3	1140	1020	835
0,30	0,0707	30,6	27,8	23,8	25,5	20,8	810	740	630
0,35	0,0962	26,3	24,5	21,3	21,7	18,2	565	567	493
0,4	0,1257	23,3	21,9	19,4	20,3	17,0	470	450	395
0,5	0,1964	18,5	17,7	16,7	16,8	14,7	308	392	274
0,6	0,283	15,5	15,1	13,9	14,2	12,2	217	217	193
0,7	0,385	13,3	13,1	12,1	12,4	11,2	164	164	148
0,8	0,503	11,76			11,0	10,0	125	128	117
0,9	0,636	10,53			9,9	9,0	101	103	95
1,0	0,785	9,52			9,0	8,3	83	85	79
1,1	0,95	8,66				7,5	69	70	64
1,2	1,13	7,94				6,9	58,5	59,5	55
1,3	1,33	7,35				6,5	50,5	51	48
1,4	1,54	6,85				6,1	44,5	45	42
1,5	1,77	6,41				5,7	39	,5	37
1,6	2,01	6,02				5,43	35		
1,7	2,27	5,71				4,85	31		
1,8	2,54	5,36				4,62	28		
1,9	2,84	5,12				4,42	25		
2,0	3,14	4,83				4,23	23		
2,5	4,91	3,90				3,54	15		
3,0	7,07	3,27				3,0	10,5		

Et traadi isolatsioonikihi paksus võib muutuda, on keerdude arvud ühe cm ja ühe

[2] Keerdude arvud ühe cm² kohta on arvatud masinaga tihedalt mähituna.

[3] Kohasteks koormusteks on: sobitustrafodes 1,0 . . . 1,5 A/mm², jõutrafodes tes 2,5 A/mm².

ANDMEID.

kohta [1,2]		Email-traadi pikkus m 1 kg kohta	Takistus oomides 100 m kohta 25° C	Koormus amprites [3]				Lähem B&S kaliiber	Lähem SWG kaliiber
1 × puuvi ПБО	2 × puuvill ПБД			1,0 A/mm²	1,5 A/mm²	2,0 A/mm²	2,5 A/mm²		
		54700	892	0,00196	0,00294	0,00392	0,0049	44	47
		38300	618	0,00283	0,00425	0,00566	0,00708	43—42	46
		28200	454	0,00385	0,00578	0,00770	0,00962	41	45
		21700	348	0,00503	0,00755	0,0101	0,0126	40	44
2070		13800	223	0,00785	0,0118	0,0157	0,0196	38	42
1720		9660	155	0,0113	0,0169	0,0226	0,0283	37—36	40
1470		7140	114	0,0154	0,0231	0,0304	0,0385	35	39
1360		6290	98,8	0,0177	0,0265	0,0354	0,0443		38
1260		5460	87,0	0,0201	0,0301	0,0402	0,0503	34	38—34
1100		4330	68,6	0,0254	0,0381	0,0508	0,0635	33	37
940	665	3500	55,7	0,0314	0,0471	0,0628	0,0785	32	36
835	595	2960	46,0	0,0380	0,0570	0,0760	0,0950	31	35
700	515	2305	35,6	0,0491	0,0736	0,0982	0,125	30	33
540	413	1590	24,8	0,0707	0,106	0,141	0,177	29—28	31
395	202	1145	18,2	0,0962	0,144	0,192	0,241	27	29
325	245	896	13,9	0,126	0,187	0,251	0,314	26	27
231	182	573	8,92	0,196	0,295	0,393	0,488	24	25
172	134	398	6,18	0,283	0,425	0,566	0,707	23—22	23
134	108	292	4,55	0,385	0,577	0,770	0,963	21	22
108	88	223	3,48	0,503	0,755	1,01	1,26	20	21
88,5	73,5	177,6	2,75	0,636	0,955	1,27	1,59	19	20
73,5	62,5	141,5	2,33	0,785	1,18	1,57	1,96	18	19
62,5	53,5	118,5	1,84	9,950	1,43	1,90	2,38	17	
53,5	46,5	97,8	1,55	1,13	1,70	2,26	2,83		18
46,5	41	83,8	1,32	1,33	2,00	2,66	3,33	16	
41	36	72,3	1,14	1,54	2,31	3,08	3,85	15	17
36	32,2	63,0	0,989	1,77	2,65	3,54	4,43		
31,3	27,8	55,4	0,870	2,01	3,02	4,02	5,03	14	16
28	25	49,1	0,770	2,27	3,40	4,54	5,67		
25,3	22,8	43,9	0,689	2,54	3,81	5,08	6,35	13	15
23	20,8	39,2	0,616	2,84	4,26	5,68	7,10		
21	19	35,5	0,557	3,14	4,71	6,28	7,85	12	14
	12,3	22,7	0,356	4,91	7,3	9,82	12,5	10	13—12
	7,5	15,75	0,248	7,07	10,6	14,14	17,7	9	11

cm² kohta toodud umbkaudselt.

1,5 . . . 2,0 A/mm², väga hea jahutuspinnaga väikestes jõutrafodes ja ühendusjuhtme-

ELEKTRONLAMPIDE ANDMETE TABELID.

Kodumaiste lampide tähistamisviise.

Kodumaiste lampide märkimises käesoleval ajal minnakse üle uuele tähistamisviisile, mis kujuneb tulevikus kõigile väljalastavaile lampidele ühtseks standardiks. Selle tähistamisviisi põhimõtted on kokkuvõtlikult järgmised.

I. Vastuvõtu- ja võimenduslambid.

Vastuvõtu- ja võimenduslampide tähised koosnevad järgmistest numbritetähtede rühmadest:

1. kohal number, mis näitab küttepinget voltides ümardatult;
2. kohal täht, mis määrab lambi liigi:

Д — dioodid,
Х — kaksikdioodid,
С — trioodid,
Э — tetroodid,
П — võimsuspentoodid ja jugatetroodid,
К — eksponentsed varivõre-pentoodid ja -tetroodid,
Ж — lühikese tunnusjoonega varivõre-pentoodid ja -tetroodid,
А — kahe tüürvõrega sagedusmuunduslambid,
Р — ühe või kahe dioodiga trioodid,
Б — ühe või kahe dioodiga pentoodid,
Н — kaksiktrioodid,
Ф — kaksikpentoodid ja -tetroodid,
Е — häälestusindikaatorid;

3. kohal (koht koosneb kas ühe- või kahenumbrilisest arvust) numbrid, mis tähistavad lambi kavanduse järjekorranumbrit;
4. kohal täht, mis näitab lambi välist kujundamist:

Б — metallkestaga lamp,
Ж — tõrulamp,
П — miniatuurlamp,

klaaskestaga lampide tähises puudub lõpptäht.

Näiteid: — 2К2 tähistab 2-voldise küttepingega klaaskestaga eksponentset varivõre-pentoodi,
— 6Ж1Ж tähistab 6-voldise küttepingega tõrutüüpi lühikese tunnusjoonega varivõre-pentoodi,
— 1Б1П tähistab 1-voldise (ümardatult, tegelikult 1,2-voldise) küttepingega miniatuurset diood-pentoodi (tegelikult ühe dioodiga lühikese tunnusjoonega varivõre-pentoodi).

II. Saatelambid.

Uue standardi järgi koosneb saatelampide tähis tähtede-numbrite rühmadest:

1. kohal täht, mis näitab:
   - Г — pikk- ja lühilainel (üle 12 m) töötavat saatelampi,
   - К — ultralühilainel (12 m ... 50 cm) töötavat saatelampi,
   - М — modulaatorlampi;
2. ja 3. kohal täht ja numbrid, mis näitavad samuti kui vastuvõtulampidegi juures lambi kavanduse järjekorranumbrit ja välist kujundamist.

Võimsate sundjahutusega saatelampide (s. o. lampides, milles vabast soojuse ärajuhtimisest konvektsiooni ja kiirguse teel ei piisa) tähistele lisatakse lõppu:

- Д — tähistab tugevdatud õhkjahutust,
- В — tähistab vesijahutust.

III. Alaldajalambid.

Alaldajalampide tähis uue standardi kohaselt koosneb:

1) numbrist, mis näitab küttepinget voltides ümardatult (ainult väikese võimsusega lampide juures);
2) tähest, mis määrab ära lambi põhiliigi:
   - В — alaldaja,
   - Р — gaaslahendusega lamp;
3) tähest, mis määrab lambi alaliigi:
   - Г — gaastäidisega alaldaja,
   - И — ignatron (tahke süütajaga gaastäidisega leeklamp),
   - Т — tiratron (gaastäidisega triood),
   - Д — diood,
   - Х — vaakum-kaksikdiood.

IV. Eritüüpi lambid.

Siia alla kuuluvad katoodkiirtetorud, mis märgistatakse uue standardi kohaselt:

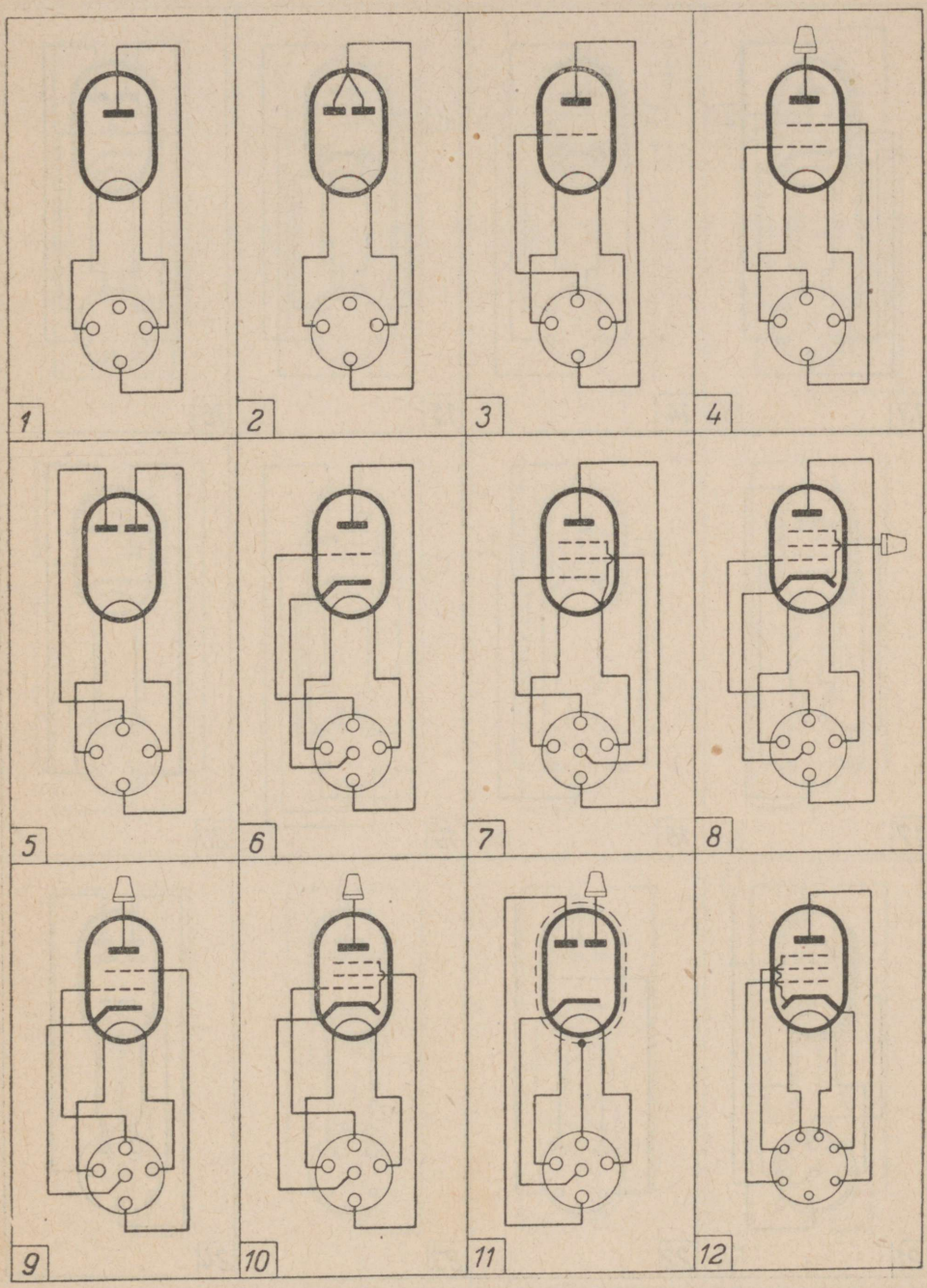
1. kohal number, mis näitab toru läbimõõtu cm;
2. kohal täht Л, mis näitab kuuluvust televisiooni- või ostsillograafitorude hulka;
3. kohal täht, mis määrab toru liigi:
   - О — elektrostaatilise kallutusega ostsillograafilised torud ja kineskoobid,
   - К — magnetilise kallutusega kineskoobid,
   - И — ikonoskoobid ja ortikonid;
4. kohal kavanduse järjekorranumber;
5. kohal täht, mis näitab ekraani valgustuse värvust:
   - Б — valge,
   - С — sinine,

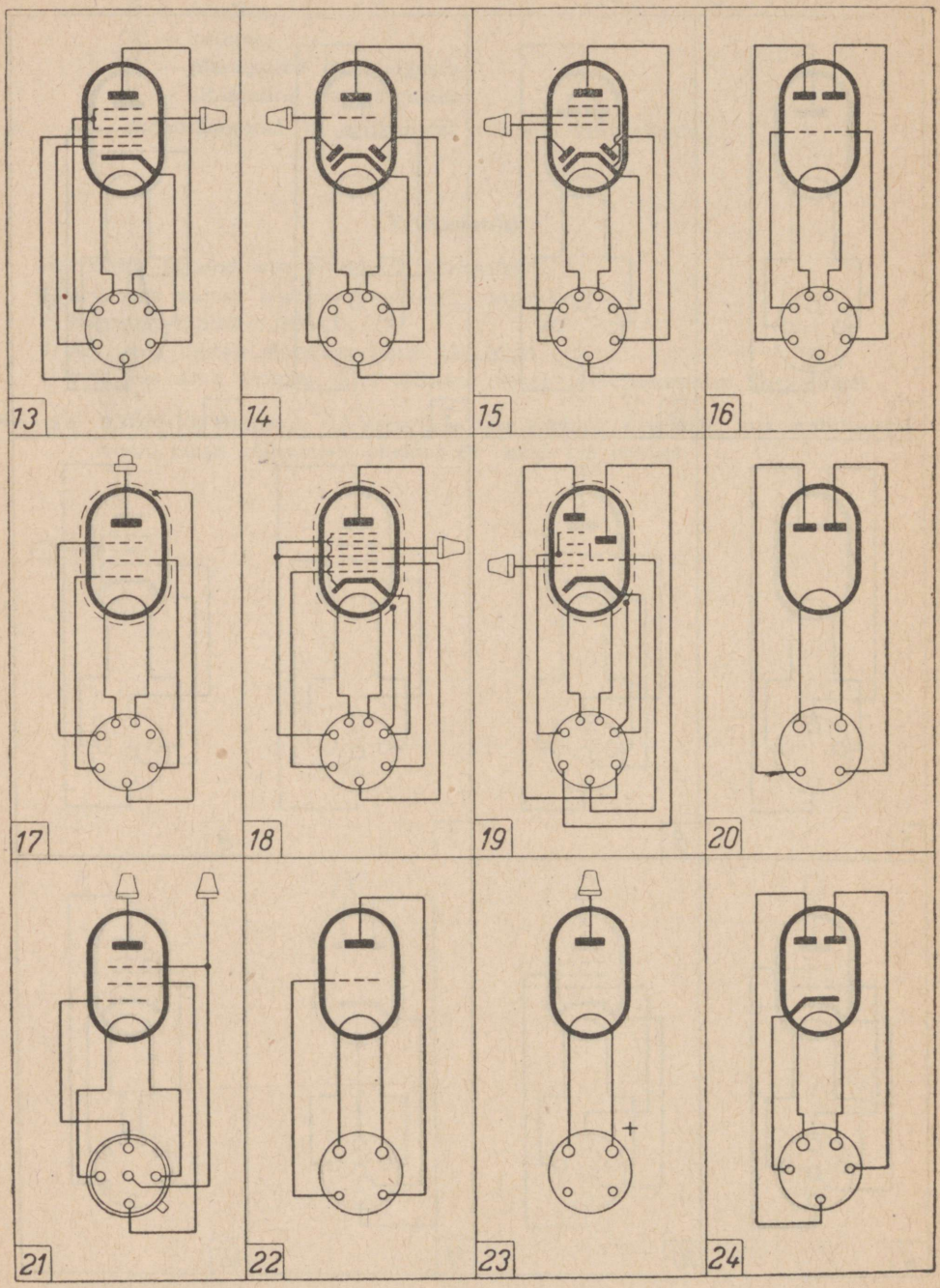
В — roheline,
Ж — kollane,
П — pikaajaline järelvalgustus,
К — lühiajaline järelvalgustus,
ikonoskoopidel ja ortikonidel viimane täht puudub.

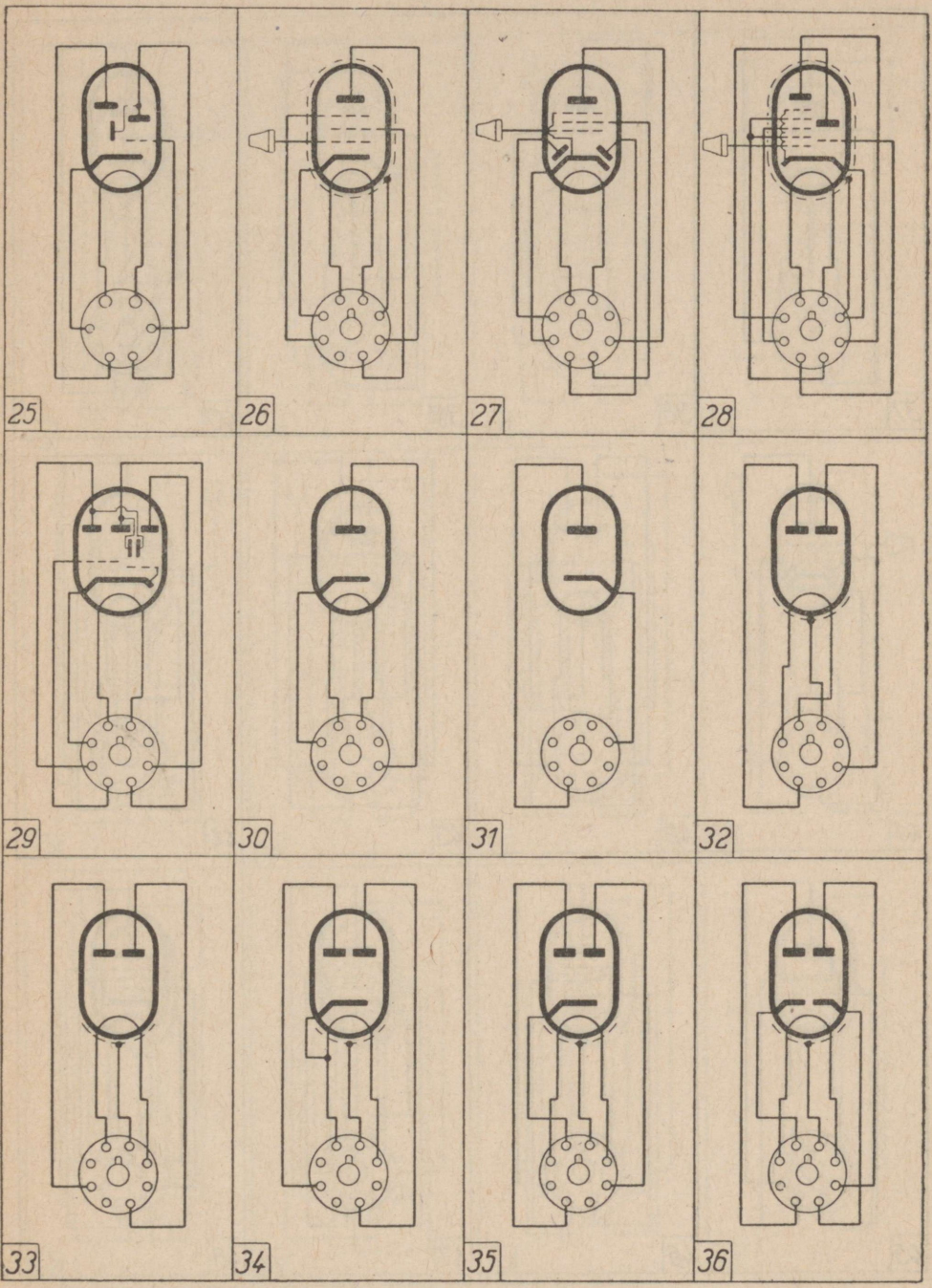
V. Barretrid.

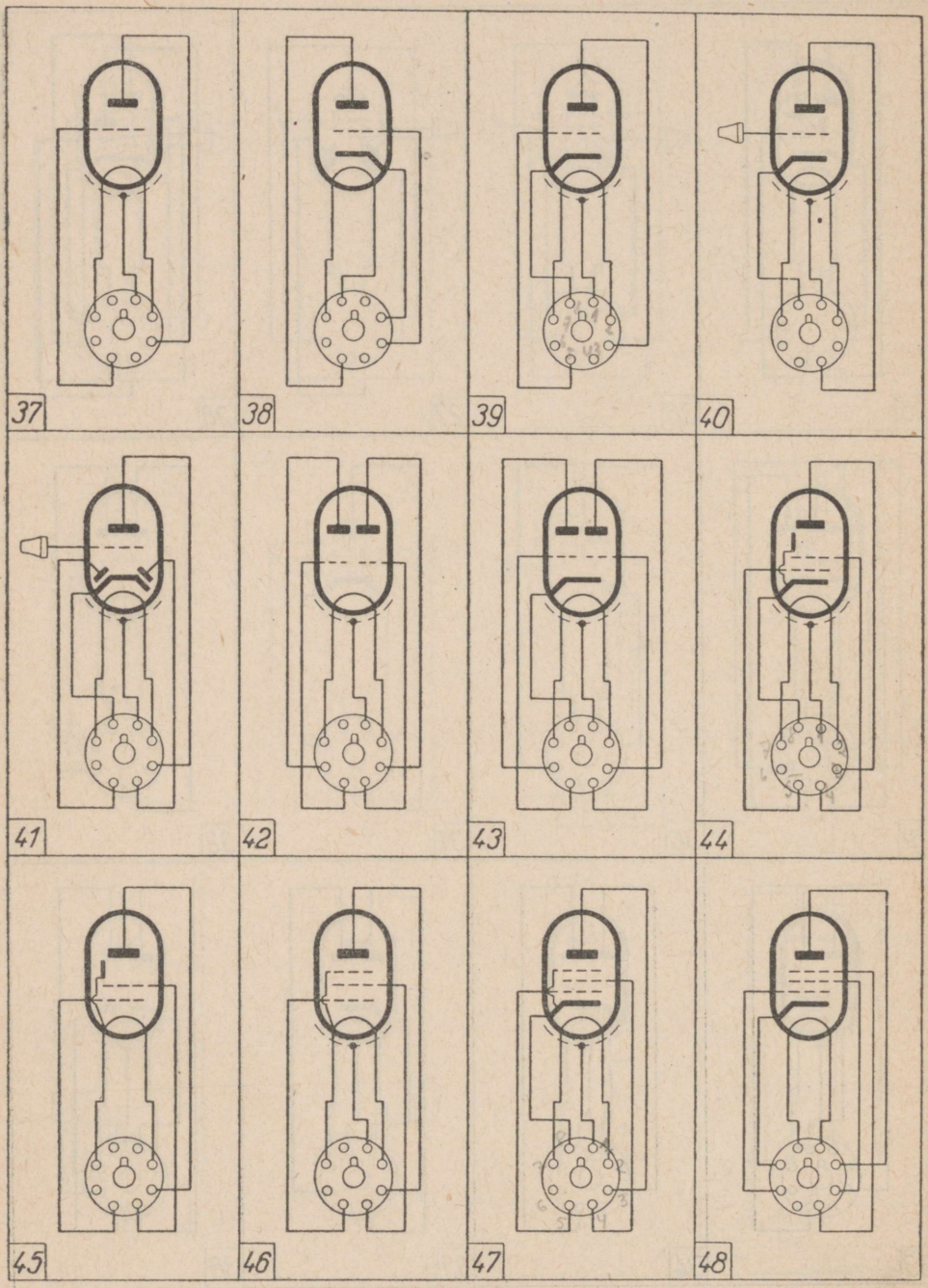
Barretrite tähised uue standardi kohaselt:
1) arv, mis näitab barretri nimivoolu amprites;
2) barretrit tähistav täht Б;
3) arv, mis näitab stabiliseerimise algpinget,
4) arv, mis asub kriipsu järel tähises, näitab stabiliseerimise lõpp-pinget.

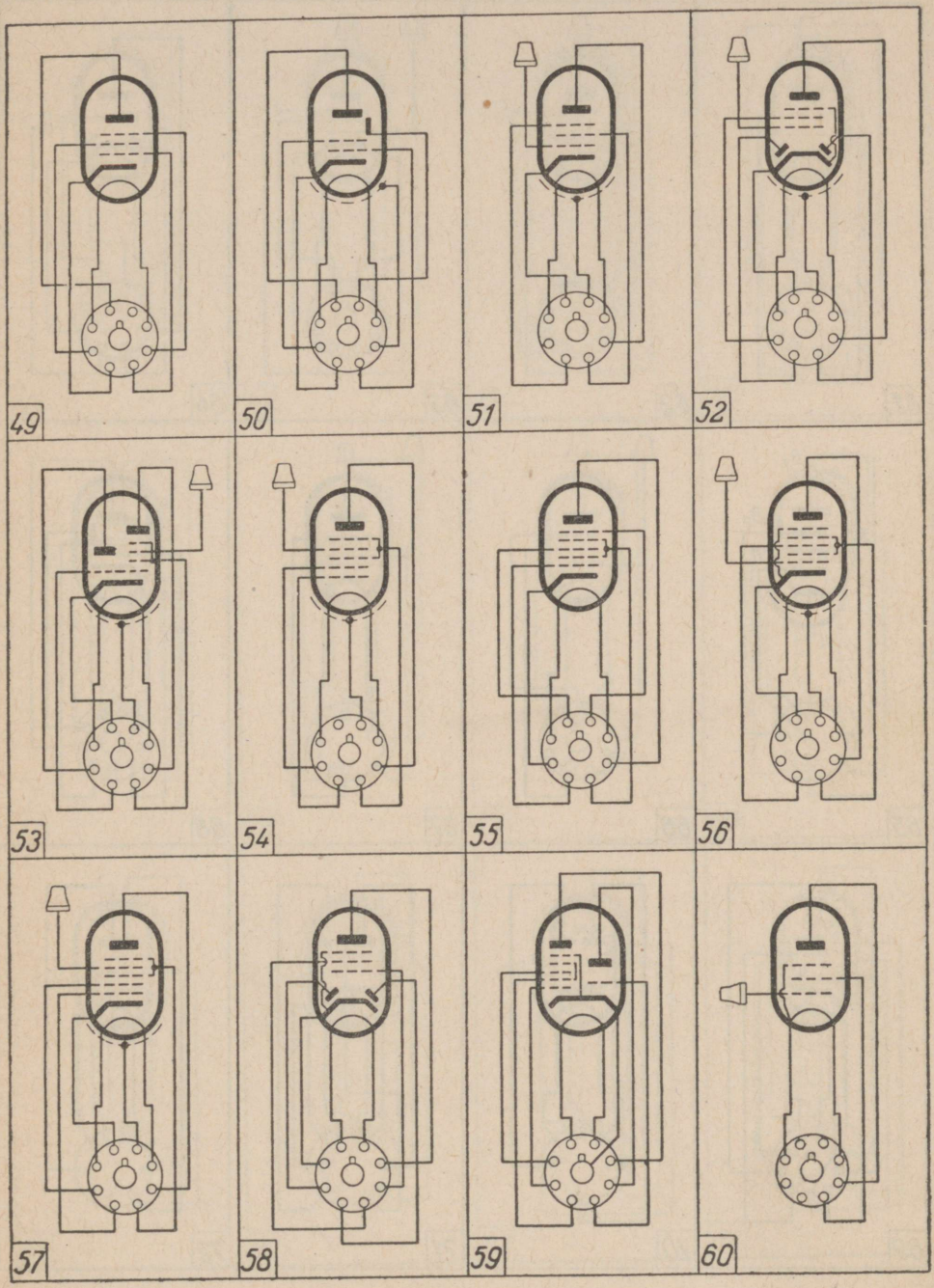
Näide: 0,3Б65-135 tähistab 0,3-amprilise nimivooluga barretrit, mis stabiliseerib voolu pinge kõikumiste piirides 65 kuni 135 voldini.

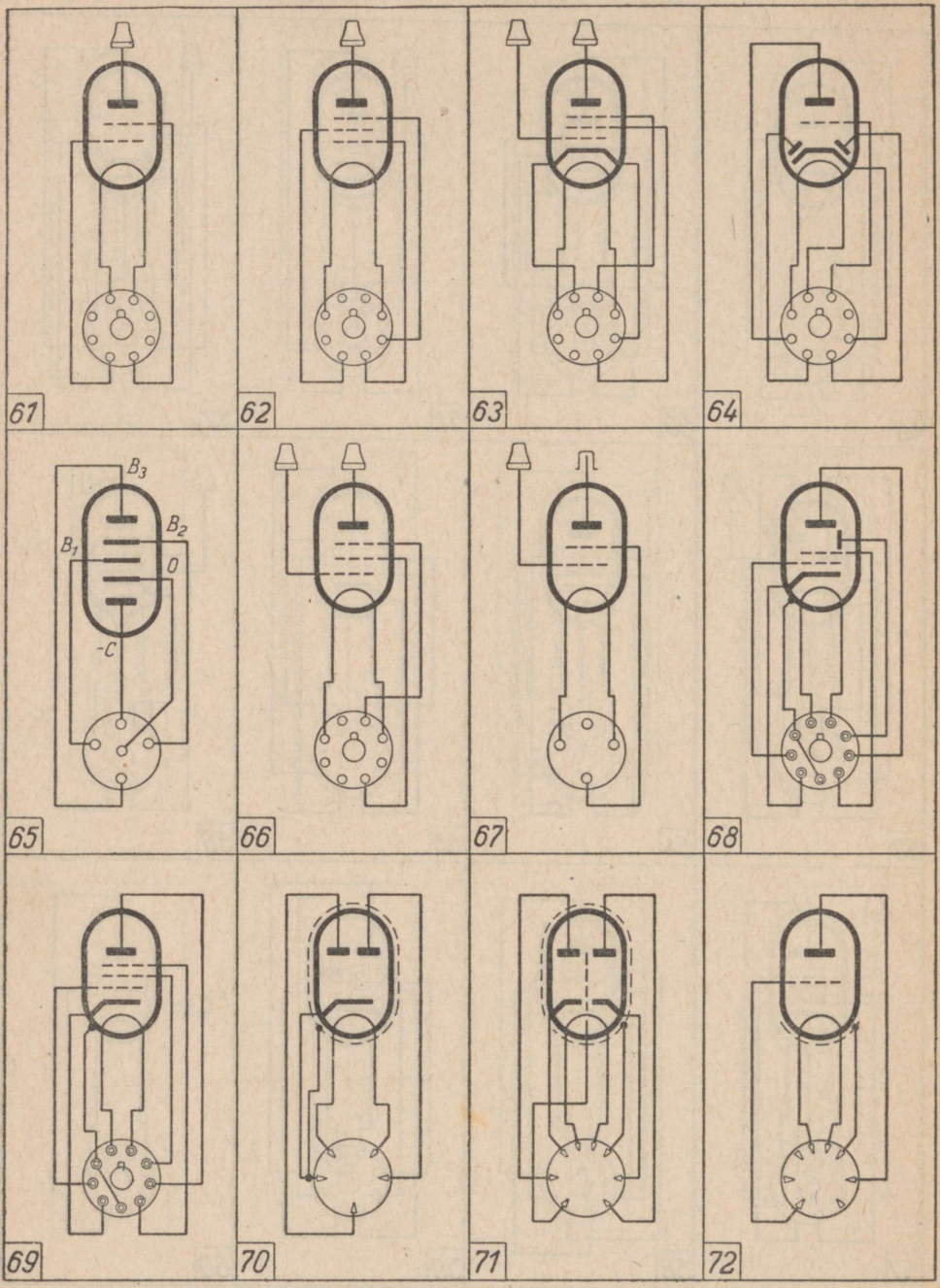

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12

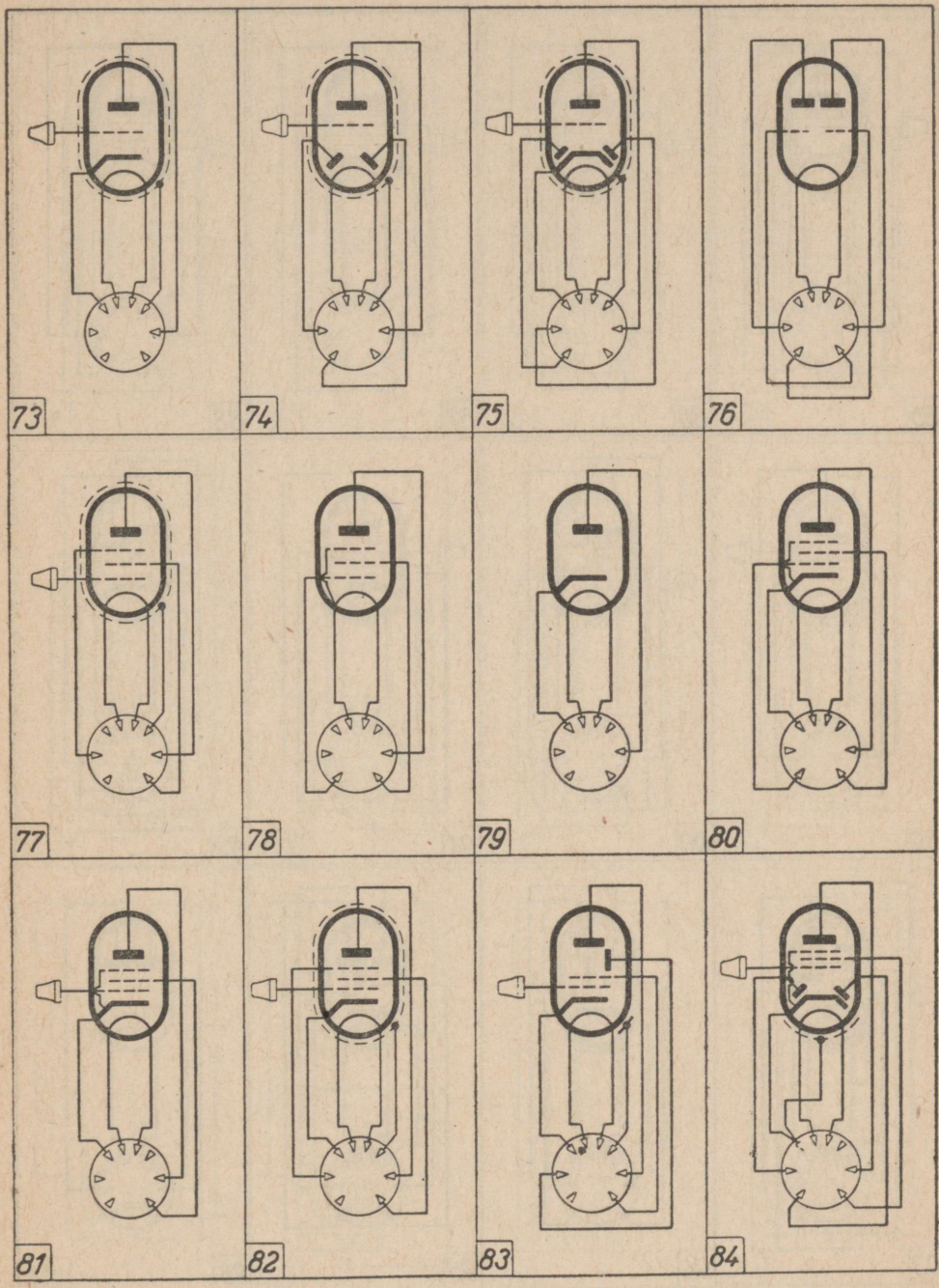

13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
+
24

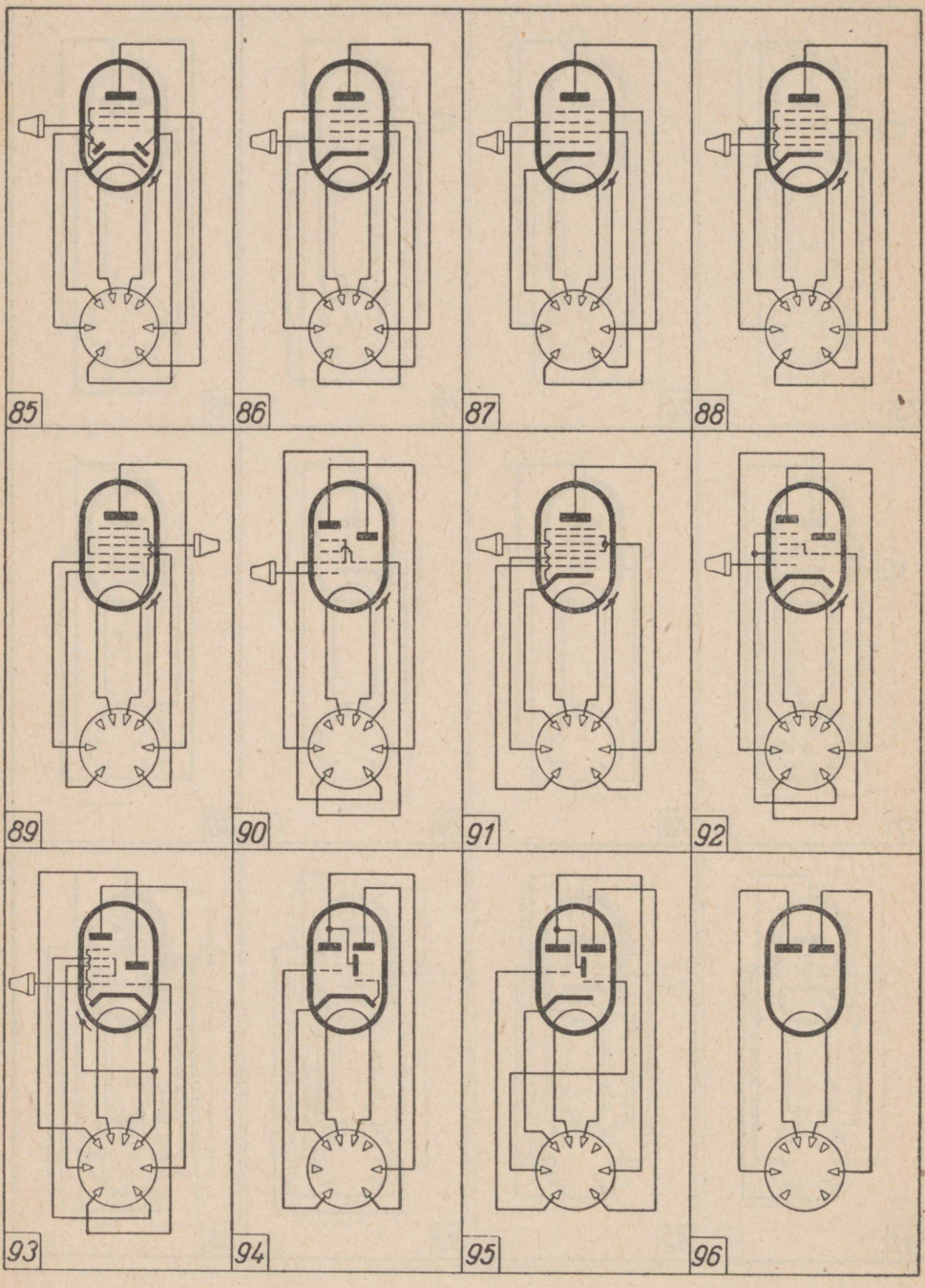

25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36

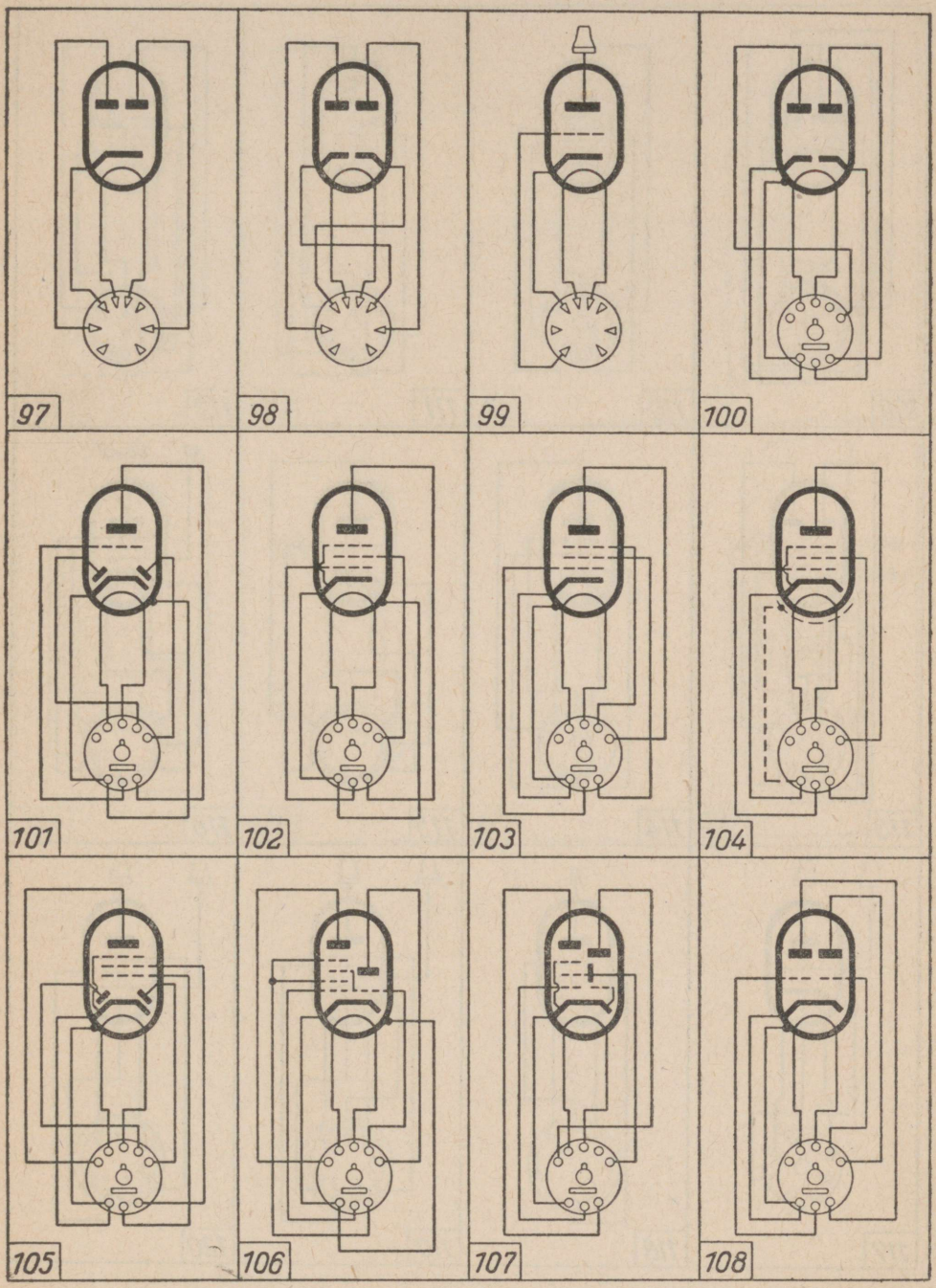

37
38
39
40
41
42
43
44
45
46
47
48

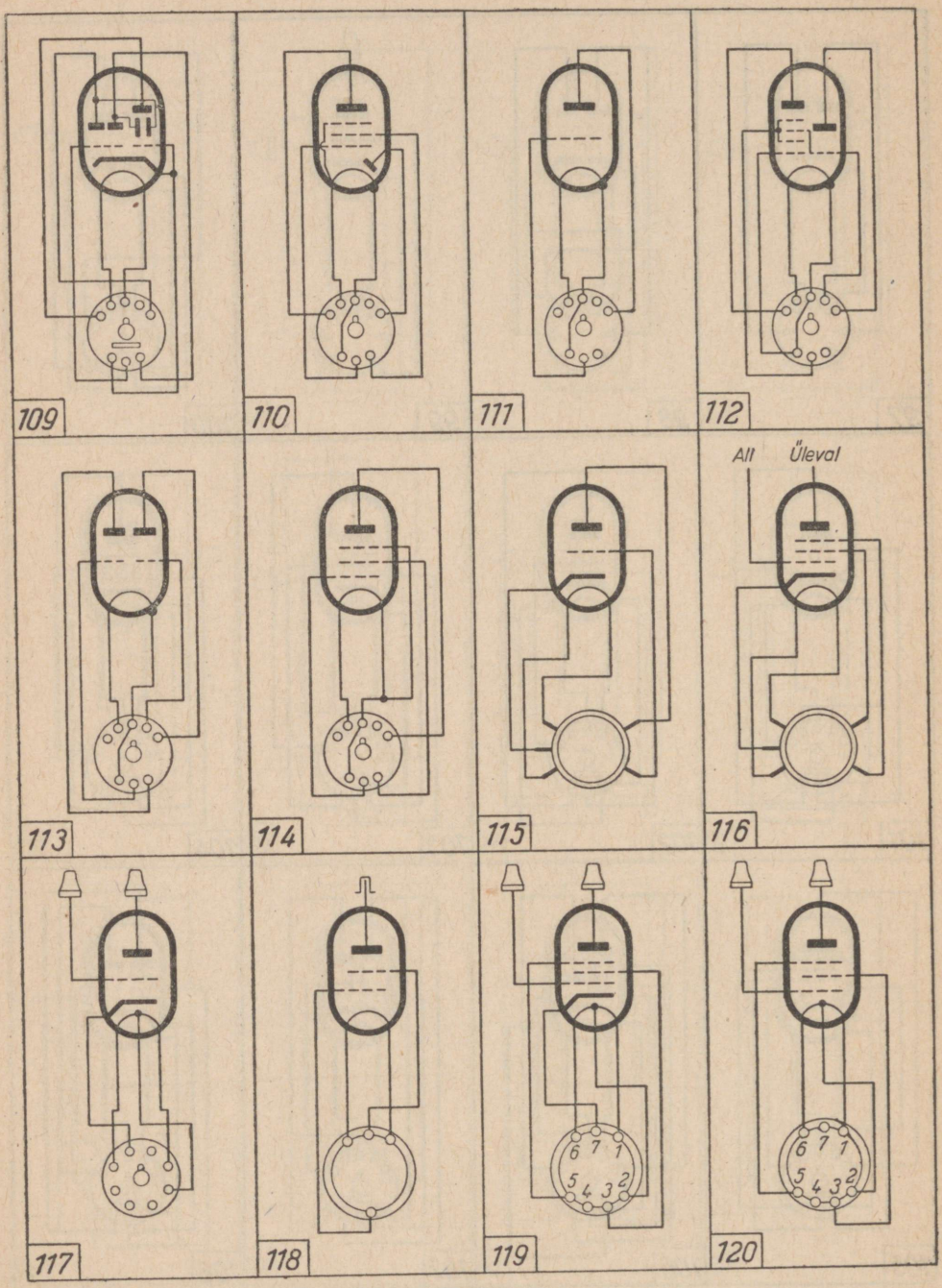

49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60

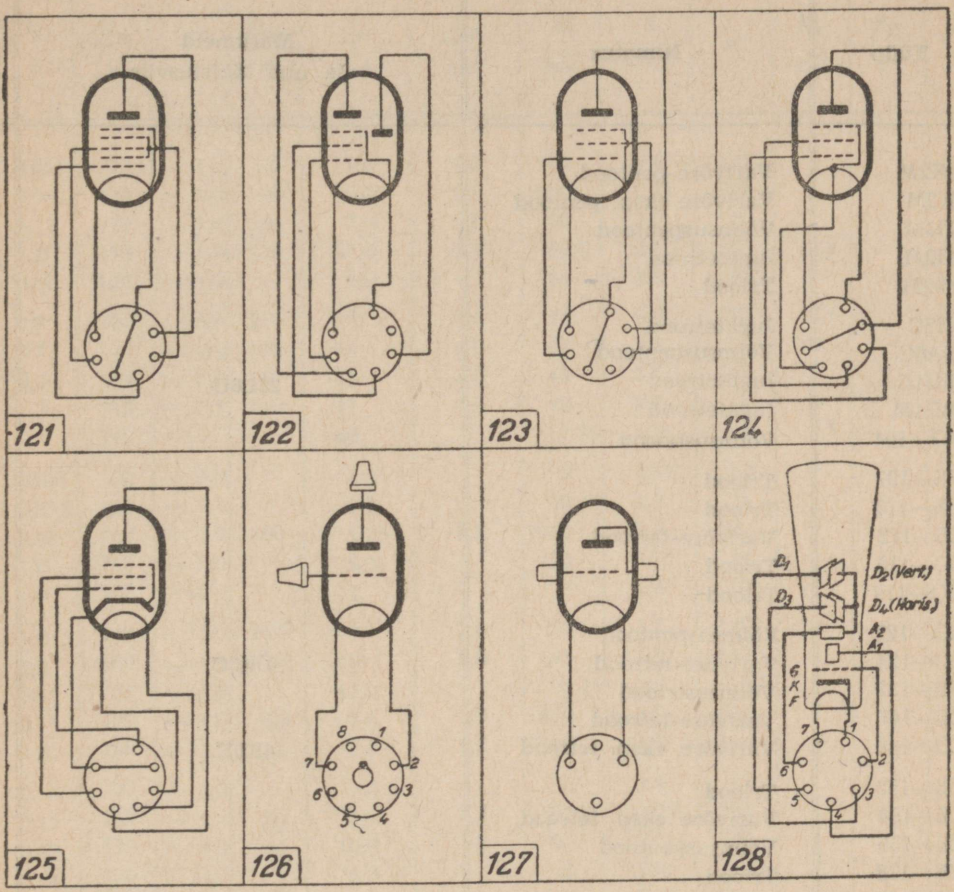

61
62
63
64
B_3
B_2
B_1
0
-C
65
66
67
68
69
70
71
72


73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84


85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96


97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108


109
110
111
112
113
114
115
All
Üleval
116
117
118
6 7 1
5 4 3 2
119
6 7 1
5 4 3 2
120


121
122
123
124
125
126
127
128
D1
D2 (Vert.)
D3
D4 (Horis.)
A2
A1
G
K
F

Tüüp	Nimetus	Märkmeid ja uus tähistusviis	Sokkel
2Ж2М	Varivõre-pentood		60
2К2М	Varivõre eksp. pentood		60
2П4М	Võimsuspentood		45
2П9М	Jugatetrood		45
2Ф2М	Triood		37
6П3С	Jugatetrood		44
15А6С	Võimsuspentood		47
25П1С	Jugatetrood	25L6G	44
30П1М	Jugatetrood		44
УО—104	Võimsustriood		3
УБ—107	Triood		3
УБ—110	Triood		3
СБ—112	Varivõre-tetrood		4
СО—118	Triood		6
ПО—119	Triood		6
СО—122	Võimsuspentood		8
СО—124	Varivõre-tetrood	4Ж5С	9
УБ—132	Võimsustriood		3
СБ—147	Varivõre-tetrood		4
СО—148	Varivõre eksp. tetrood	4К5С	9
УБ—152	Triood		3
СБ—154	Varivõre eksp. tetrood		4
СБ—155	Võimsuspentood		7
УБ—178	Triood		3
СО—182	Varivõre eksp. pentood		10
СО—183	Heptood		13
СО—185	2×diood-triood		14
УО—186	Võimsustriood	4С4	3
СО—187	Võimsuspentood		12
СО—193	2×diood-pentood		15
СБ—194	2×triood		16
УБ—240	Triood	2С3М, 2С2	37
СО—241	Varivõre eksp. pentood	2К1М	60
СБ—242	Heptood	2А1М	54
СО—243	2×triood	2Н1М	42
СБ—244	Võimsuspentood	2П1М	46

U_F V	I_F A	U_A V	U_G V	U_{G2} V	I_A mA	I_{G2} mA	R_i kΩ	S mA/V	μ	R_A kΩ	R_K Ω	P_v W
2	0,06	120	— 1,0	70	1,0	0,3	1500	0,80	1200			
2	0,06	120	— 1,0	70	2,0	0,6	1000	0,95	950			
2	0,12	120	— 4,0	80	7,0	2,0	60	2,0	125	12		0,25
2	1,0	150	— 6,0	150	35,0	1,5	40	2,5	100	2,5		6,0
2	0,06	120	— 4,0		2,0		16	1,2	20			
6,3	0,9	250	—14,0	250	72	5,0	25	6,0	150	2,5		5,5
15	0,3	180	—20,0	135	48	6,0	30	2,5		30		2,0
25	0,3	110	— 7,5	110	45	4,0	10	8,5		2		2,2
30	0,3	110	— 7,5	110	45	4,0	10	8,5		2		2,2
4	0,7	240	—35		40		1,25	3,2	4	2,5		1,5
4	0,075	120	— 2,0		8,0		9	1,35	12			
4	0,075	160	— 1,5		3,8		20	1,2	25			
4	0,08	160	— 1,0	60	1,25	0,2	1000	0,5	500			
4	1,0	240	— 3,0		6,0		20	1,75	34			
4	1,0	240	—10		12		7	1,7	12	15		0,25
4	1,0	240	—12	140	19	7,0	70	1,7	120	20		1,0
4	1,0	160	— 1,5	80	10	3,0	185	1,9	350			
4	0,15	160	— 8,0		12,0		4,25	2,0	8,5	5		0,25
4	0,15	160	— 1,0	60	2,8	1,0	650	1,0	650			
4	1,0	160	— 1,0	60	7,5	1,5	200	1,6	320			
2	0,11	120	— 4,0		5,0		6	2,0	12			
2	0,11	160	— 1,(	80	3,5	1,3	400	1,25	500			
2	0,22	120	— 4,0	100	10,0	1,8	90	2,2	200	8		0,25
2	0,11	120	— 4,(		6,0		6	2,0	12			
4	1,0	160	— 1,5	80	4,2	1,4	700	2,25	1500			
4	1,0	240	— 2,0	100	4,0	8,0	125					
4	1,0	240	— 4,0		5,0		24	1,5	35			
4	1,0	250	—37		57		1,2	3,2	4	3		1,5
4	2,0	250	— 6,0	250	37,5	10,0	90	7,5	600	7		2,5
4	1,0	240	— 6,0	120	7,0	1,2	150	2,0	300			
2	0,3	120	0		5,6			2,5	25	3		1,0
2	0,12	120	— 2,5		1,5		17	1,3	22	40		0,02
2	0,12	120	— 1,0	120	3,5	1,0	750	1,6	1200			
2	0,16	120	0	70	2,2	2,2	150	0,45				
2	0,24	120	0		3,2		16	2,1	32	3		0,8
2	0,18	120	— 2,5	120	4	0,75	150	1,8	270	30		0,15

Tüüp	Nimetus	Märkmeid ja uus tähistusviis	Sokkel
СБ—245	Võimsuspentood		61
СО—257	Võimsuspentood	2Ж4	62
СБ—258	Võimsuspentood	2П2М	46
6A8	Heptood-muundaja		57
6AB7 (1853)	Varivõre-pentood	Televisiooni-võimendaja 6К15Б	49
6AC7 (1852)	Varivõre-pentood	Televisiooni-võimendaja 6Ж14Б	49
6AG7	Jugatetrood	Video-võimendaja 6Ж4Б	50
6B8	2 × diood-pentood	6Б8	52
6C5	Triood		39
6F5	Triood	6Ф5, 6С4Б	40
6F6	Võimsuspentood	6Ф6, 6П6Б	47
		A-klassi vastastaktvõimendaja AB_2-klassi vastastaktvõimendaja	
6H6	2 × diood	6Х6	36
6J5	Triood	6С2Б	39
6J7	Varivõre-pentood	6Ж7	51
6K7	Varivõre eksp. pentood		51
6K8	Triood-heksood		53
6L6	Jugatetrood	6Л6, asendab 6П3	44
		A-klassi vastastaktvõimendaja AB_1-klassi vastastaktvõimendaja AB_2-klassi vastastaktvõimendaja	
6L7	Heptood	6Л7, 6А5Б	56
6N7	2 × triood	6Н7	43
6Q7	2 × diood-triood	6Г7, 6Р7Б	41
6R7	2 × diood-triood		41
6S7	Varivõre eksp. pentood		51
6SA7	Heptood	6А1Б	55
6SF5	Triood		38
6SJ7	Varivõre-pentood	6Ж17Б	49
6SK7	Varivõre eksp. pentood	6К17Б	49
6SQ7	2 × diood-triood	6Р17Б	64
6SR7	2 × diood-triood		64

U_F V	I_F A	U_A V	U_G V	U_{G2} V	I_A mA	I_{G2} mA	R_i kΩ	S mA/V	μ	R_A kΩ	R_K Ω	P_v W
1,8	0,32	160	— 2,0	80	21	4,0	300	1,8	75			
2	0,275	200	— 7,0	100	14	2,5	110	1,8	200	6		1,25
1,8	0,32	160	— 6,0	120	10	1,7	80	2,0	175	2		0,45
6,3	0,3	250	— 3,0	100	3,3	3,2	300	0,55			300	
6,3	0,45	300	— 3,0	200	12,5	3,2	700	5,0	3500		190	
6,3	0,45	300	— 2,0	150	10	2,5	750	9,0	6750		160	
6,3	0,65	300	— 3,0	150	30/30,5	7/9	130	11,0		10		3,0
6,3	0,3	250	— 3,0	125	9,0	2,3	650	1 125	730		250	
6,3	0,3	250	— 8,0		8,0		10	2,0	20		1000	
6,3	0,3	250	— 1,3		0,2		66	1,5	100		3500	
6,3	0,7	250	—16,5	250	34	6,5	80	2,5	200	7	400	3,0
		285	—20	285	38	7,0	78	2,55	200	7	400	4,8
		315	—24	285	62	12				10	350	11,0
		375	—26	250	34	5				10	350	18,5
6,3	0,3	Maksimaalne v.-v. pinge anoodi kohta 100 Vef, väljundvool 4 mA a.-v.										
6,3	0,3	250	— 8,0		9		7,7	2,6	20		900	
6,3	0,3	250	— 3,0	100	2,0	0,5	1500	1,225	1500		1200	
6,3	0,3	250	— 3,0	125	10,5	2,6	600	1,65	990		250	
6,3	0,3	250	— 3,0	100	2,5	6,0	Trioodi anood 100 V, 3,8 mA					
6,3	0,9	250	—14	250	75...78	5,4...7,2	22,5	6,0	135	2,5	170	6,5
		300	—12,5	200	51.. 54,5	3,0.. 4,6	35,0	5,3	185	4,5	220	6,5
		350	—18	250	57.. 66	3,0...6,9	33,0	5,2	218	4,2	365	10,8
		270	—17,5	270	134...145	11.. 17	23,5	5,7	131	5,0	125	18,5
		360	—22,5	270	88.. 100	5...17				9,0	250	24,5
		360	—22,5	270	88. .205	5...16				3,8	—	47
6,3	0,3	250	— 6,0	150	3,3	8,3	>1000	3-võrepinge — 15 V			500	
6,3	0,8	300	0		35.. 70					8		10
		294	— 6,0		7		11	3,2	35	20..40	850	0,4
6,3	0,3	250	— 3,0		1,1		58	1,2	70			
6,3	0,3	250	— 9,0		9,5		8,5	1,9	16	10		0,28
6,3	0,15	250	— 3,0	100	8,5	2,0	1000	1,75	1750		300	
6,3	0,3	250	0	100	3,4	8,0	800	1-võre R_G = 20 000 oomi				
6,3	0,3	250	— 2,0		0,9		66	1,5	100		3500	
6,3	0,3	250	— 3,0	100	3,0	0,8	1500	1,65	2500		800	
6,3	0,3	250	— 3,0	100	9,2	2,4	800	2,0	1600		260	
6,3	0,3	250	— 2,0		0,8		91	1,1	100		3500	
6,3	0,3	250	— 9,0		9,5		8,5	1,9	16	10		0,28

Tüüp	Nimetus	Märkmeid	Sokkel
6V6	Jugatetrood	6П2 AB_1-klassi vastastaktvõimendaja	44
6A3	Võimsustriood	AB_1-klassi vastastaktvõimendaja Otsese küttega A-klassi vastastaktvõimendaja	22
25A6	Võimsuspentood		47
25L6	Jugatetrood		44
	Punane E-seeria.		
EB4	2 × diood		71
EBC3	2 × diood-triood	Pingevõimendus 26	75
EBF2	2 × diood-eksp. pentood	$R_{G2} = 95\,000\ \Omega$	85
EBL1	2 × diood-võimsuspentood		84
EF5	Varivõre eksp. pentood		82
EF6	Varivõre-pentood		82
EF8	Varivõre eksp. pentood		86
EF9	Varivõre eksp. pentood	$R_{G2} = 90\,000\ \Omega$	82
EH2	Heptood	$R_{G3} = 0{,}5\ M\Omega$, $U_{G4} = 100$ V	88
EK2	Oktood	$U_{G3(5)} = 50$ V, $U_{G4} = -2$ V	91
EK3	Oktood	$U_{G3(5)} = 100$ V, $U_{G4} = -2{,}5$	91
EL2	Võimsuspentood		81
EL3	Võimsuspentood		80
EL5	Võimsuspentood		80
EM1	Indikaatorlamp (trioodiga)	Lõikepinge U_G — 5 V	94
ECH3	Triood-hekstood	Trioodi $U_A = 100$ V; $R_G = 50\,000\ \Omega$	92
ECH4	Triood-heptood	$R_{G2(4)} = 24\,000\ \Omega$, trioodi $U_A = 250$ V	93
	Metall-seeria.		
EB11	2 × diood		100
EBC11	2 × diood-triood		101
EBF11	2 × diood-variv. eksp. pent.	$R_{G2} = 85\,000\ \Omega$	105
ECH11	Triood-hekstood	$R_{G2(4)} = 50\,000\ \Omega$, trioodi $U_A = 250$ V	106
EDD11	2 × triood	Ergutusvõimsus 0,1 W	108
EF11	Varivõre eksp. pentood		102
EF12	Varivõre-pentood		102
EF13	Varivõre eksp. pentood		103
EFM11	Indikaatorlamp (pentoodiga)	$R_{G2} = 350\,000\ \Omega$	107
EL11	Võimsuspentood		104
EL12	Võimsuspentood		104
EM11	2 × indikaator (trioodidega)		109

U_F V	I_F A	U_A V	U_{G1} V	U_{G2} V	I_A mA	I_{G2} mA	R_i kΩ	S mA/V	μ	R_A kΩ	R_K Ω	P_V W
6,3	0,45	250	—12,5	250	45...47	4,5...7,0	52	4,1	218	5	240	4,5
		250	— 15	250	70...79	5...13	60	3,75		10	200	10
		285	—19	285	70...92	4...13,5	65	3,6		8	240	14
6,3	1,0	250	—45		60		0,8	5,25	4,2	2,5	750	3,5
		325	—68		80					5,0	850	10
25	0,3	135	—20	135	37	8,0	35	2,45	85	4	450	2
25	0,3	110	— 8,0	110	45...48	3,5...10,5	10	8,0	80	2	140	2,2
6,3	0,2		Maks. dioodi pinge 200 V, maks. dioodi vool 0,8 mA.									
6,3	0,2	250	— 5,5				15	2,0	30	200	4000	
6,3	0,2	250	— 2,0		5	1,6	1300	1,8			300	
6,3	1,5	250	— 6,0	250	36	5	50	9,5		7	150	4,3
6,3	0,2	250	— 3,0	100	8	2,6	1200	1,7			285	
6,3	0,2	250	— 2,0	100	3	0,8	2500	1,8	4500			
6,3	0,2	250	— 2,5	250	8	0,2	450	1,8			305	
6,3	0,2	250	— 2,5		6	1,7	1250	2,2			325	
6,3	0,2	250	— 3,0	100	1,85	3,8	2000	0,4				
6,3	0,2	250	0	200	1,2	2,1	1500	0,55				
6,3	0,6	250	0	100	2,5	5,0	2000	0,67			190	
6,3	0,2	250	—18	250	32	5,0	70	2,8		8	490	3,6
6,3	0,9	250	— 6	250	36	4,0	50	9,0		7	150	4,5
6,3	1,35	250	—14	275	72	7	22	8,5		3,5	175	8,8
6,3	0,2	250	0		0,1	0,13				2000		
6,3	0,2	250	— 2,0	100	3,0	3,0	1300	0,65			215	
6,3	0,2	250	— 2,0		3,0	6,2	1400	0,75			150	
6,3	0,2		Maks. dioodi pinge 200 V, maks. dioodi vool 0,8 mA.									
6,3	0,2	250	— 8,0		5		11,5	2,2	25		1600	
6,3	0,2	250	— 2,0	100	5	1,8	2000	1,8			300	
6,3	0,2	250	— 2,0	100	2,3	3,0	1400	0,65			300	
6,3	0,4	250	— 8,0		7...35					16	1600	5,5
6,3	0,2	250	— 2,0	100	6	2,0	1500	2,2			250	
6,3	0,2	250	— 2,0	100	3	1,0	>1500	2,1			500	
6,3	0,2	250	— 2,0	100	4,5	0,6	>500	2,3			400	
6,3	0,2	250	— 2,0		0,8	0,6				130	900	
6,3	0,9	250	— 6,0	250	36	4,0	50	9,0		7	150	4,5
6,3	1,8	250	— 7,0	250	72	8,0	20	14,5		3,5	90	8,2
6,3	0,2	100/250	−10/−20		0,03/0,1					1000		

Tüüp	Nimetus	Märkmeid	Sokkel
	Loktaal-seeria.		
EBL21	2 × diood-võimsuspentood		58
ECH21	Triood-hektood	$R_{G2(4)} = 24\,000\ \Omega$, trioodi $\underline{U}_A = 250$ V	59
EF22	Varivõre eksp. pentood	$R_{G2} = 50\,000\ \Omega$	48
	Televisiooni-lambid.		
EC50	Gaastriood	$f_{max} = 150$ kHz	99
EE1 (4696)	Sekundaaremissioonlamp		83
EE50	Sekundaaremissioonlamp	$\underline{U}_{K2} = -54$ V	68
EF50	Varivõre eksp. pentood		69
	A-seeria.		
AB1	2 × diood		11
AB2	2 × diood		70
ABC1	2 × diood-triood		75
AC2	Triood		73
ACH1	Triood-heksood	Trioodi $\underline{U}_A = 150$ V	19
AF3	Varivõre eksp. pentood		82
AF7	Varivõre-pentood		82
AH1	Heksood	$\underline{U}_{G4} = 80$ V	87
AK1	Oktood	$\underline{U}_{G3(5)} = 70$ V; $\underline{U}_{G4} = -1{,}5$ V	18
AK2	Oktood	$\underline{U}_{G3(5)} = 70$ V; $\underline{U}_{G4} = -1{,}5$ V	91
AL1	Võimsuspentood		78
AL2	Võimsuspentood		81
AL4	Võimsuspentood		80
AL5	Võimsuspentood		80
AM1	Indikaatorlamp (trioodiga)		94
AM2	Indikaatorlamp (trioodiga)		95
	Punane U-seeria.		
UBL1	2 × diood-võimsuspentood		27
UCH4	Triood-heptood	$R_{G2} = 30\,000\ \Omega$	28
UF9	Varivõre eksp. pentood	$R_{G2} = 60\,000\ \Omega$	26
UM4	2 × indikaator (trioodidega)		29

U_F V	I_F A	$\underline{U}_A$ V	$\underline{U}_{G1}$ V	$\underline{U}_{G2}$ V	$\underline{I}_A$ mA	$\underline{I}_{G2}$ mA	R_i kΩ	S mA/V	μ	R_A kΩ	R_K Ω	P_v Ω
6,3	0,9	250	— 6,0	250	36	4	50	9,5		7	150	4,2
6,3	0,33	250	— 2,0		3	2,6	1400	0,75			150	
6,3	0,2	250	— 2,0		6	1,7	1000	2,2			325	
6,3	1,3	1000	33		10							
6,3	0,6	250	— 2,5	150	8	0,7	75	14			3200	
6,3	0,3	250	— 3,0	250	10	0,6	250	14			1100	
6,3	0,3	250	— 2,0	250	10	3	1000	6,5			32	
4	0,65	200			0,8							
4	0,65	200			0,8							
4	0,65	250	— 7,0		4,0		13,5	2,0	27			
4	0,65	250	— 5,5		6,0		12,0	2.5	30			
4	1,0	300	— 2,0	70	2,5	3,5	> 800	0,75				
4	0,65	250	— 3,0	100	8,0	2,6	> 1200	1,8	2200		300	
4	0,65	250	— 2,0	100	3,0	1,1	2000	2,1	4000		1600	
4	0,65	250	— 2,0	80	1,7	2,6	2000	0,55				
4	0,65	200	— 1,5	90	1,6	3,8	1500	0,6			250	
4	0,65	250	— 1,5	90	1,6	3,8	1600	0,6			250	
4	1,1	250	—15	250	36	6,8	43	2,8		7	340	3,1
4	1,1	250	—25	250	36	5,0	60	2,6		7	340	3,8
4	1,75	250	— 6,0	250	36	5,0	50	9,0		7	150	4,3
4	2,0	250	—14,0	275	72	7,5	22	7,0		3,5	175	8,8
4	0,3	250	0		0,095							
4	0,32	250	0		3		25	2,0	50			
55	0,1	200	—11,5	200	55	7,0	20	8,5		3,5	185	5,2
20	0,1	200	— 2		5,2	3,5	700	2,2				
12,6	0,1	100	— 2,5		3,2	0,85	1000	2,2			325	
12,6	0,1	200	$-4/12{,}5$							1000		

Tüüp	Nimetus	Märkmeid	Sokkel
	K-seeria.		
KB2	2 × diood	Kaudse küttega	70
KBC1	2 × diood-triood		74
KCH1	Triood-heksood	$\underline{U}_{G4} = 55$ V	90
KDD1	2 × triood		76
KF1	Varivõre-pentood		17
KF2	Varivõre eksp. pentood		17
KF3	Varivõre eksp. pentood		77
KF4	Varivõre-pentood		77
KK2	Oktood	$\underline{U}_{G4} = -0{,}5$ V	89
KL1	Võimsuspentood		78
KL2	Võimsuspentood		78
KL4	Võimsuspentood		78
KL5	Võimsuspentood		78
	D-seeria („11").		
DAF11	Diood-pentood		110
DC11	Triood		111
DCH11	Triood-heksood		112
DDD11	2 × triood		113
DF11	Varivõre eksp. pentood	$R_{G2} = 40\,000\ \Omega$	114
DL11	Võimsuspentood		72

U_F V	I_F A	$\underline{U}_A$ V	$\underline{U}_{G1}$ V	$\underline{U}_{G2}$ V	$\underline{I}_A$ mA	$\underline{I}_{G2}$ mA	R_i kΩ	S mA/V	μ	R_A kΩ	R_K Ω	P_v W
2	0,095	125			2 × 0,5							
2	0,1	135	—4,5		2,5		16	1,0	16			
2	0,18	135	—0,5	55	1,0	1,2	700	0,32				
2	0,22	135	0		3 . . . 30					10		2,0
2	0,2	135	0	135	3	1	900	1,8				
2	0,2	135	—0,2	135	3	1	1100	1,3				
2	0,05	135	—0,5	135	2	0,6	1300	0,65	850			
2	0,065	135	—0,5	135	2,6	1	1000	0,8	800			
2	0,13	135		135	0,7	2,1	2500	0,27				
2	0,15	135	—6,0	100	8	1,2	100	1,7				0,4
2	0,265	135	—7,5	135	18	2	30	2,0		6		0,8
2	0,14	135	—5,0	135	7	1	150	2,1		19		0,44
2	0,1	135	—6,5	135	8,5	1,5	135	1,7		16		0,52
1,4	0,05	120	0	20	0,29	0,05	300	0,7	110			
1,4	0,025	120	—4,5		2,0		15	1,0	15	100		
1,4	0,075	120	0	60	0,8		1000	0,3				
1,4	0,1	120	—4,5		3 . . . 18					14		1,4
1,4	0,025	120	0		0,9	0,15	1000	0,7				
1,4	0,05	120	—6,0	120	5,0	1,0	500	1,1	10	22		0,3

Tüüp	Nimetus	Märkmeid	Sokkel	U_F V	I_F A
	Vastuvõtulambid.				
1А1П	Miniatuurne muundusheptood	1R5	121	1,2	0,06
1Б1П	Min. varivõre-pentood-diood	1S5	122	1,2	0,06
1К1П	Min. varivõre eksp. pentood	1T4	123	1,2	0,06
2П1П	Miniatuurne võimsuspentood	3Q4	124	1,2	0,12
6АЖ5	Miniatuurne varivõre-pentood	6AK5	125	6,3	0,175
6F4	Tõrutriood			6,3	0,225
6J4	Maandatud võrega triood			6,3	0,4
6J6	2 × triood			6,3	0,45
6Ж1Ж	Tõru varivõre-pentood	954	116	6,3	0,15
6С1Ж	Tõrutriood	955	115	6,3	0,15
6К1Ж	Tõru varivõre eksp. pentood	956	116	6,3	0,15
7E5/1201	Ü.-k.-s. triood			6,3	0,15
7C4/1203	Ü.-k.-s. diood			6,3	0,15
1204	Ü.-k.-s. pentood			6,3	0,15
1851	Varivõre-pentood		51	6,3	0,45
9004	Tõrudiood			6,3	0,15
	Gaaslaxnbid.				
PT5	Gaastriood	884	39	6,3	0,6
885	Gaastriood			2,5	1,4
	Regulaatorlambid.				
VR90	Huumlamp		31	—	—
VR105	Huumlamp	105С5—30	31	—	—
VR150	Huumlamp	150С5—30	31	—	—
STV140/20	Huumlamp-pingejagaja		65	—	—
STV280/40	Huumlamp-pingejagaja	СГ—226	65	—	—
STV280/80	Huumlamp-pingejagaja	СГ—227	65	—	—
	Indikaatorlambid.				
6E5	Indikaator		25	6,3	0,3
6U5/6G5	Indikaator		25	6,3	0,3
6T5	Indikaator		25	6,3	0,3
	Katoodkiirtetorusid.				
3AP1/906-P1	Elektrostaatilise kallutusega		128	2,5	2,1
3BP1/1802-P1	Elektrostaatilise kallutusega			6,3	0,6
913	Elektrostaatilise kallutusega			6,3	0,6

U_A V	U_{G1} V	U_{G2} V	I_A mA	I_{G2} mA	R_i kΩ	S mA/V	μ	R_A kΩ	R_K Ω	P_v W
90	0	45	0,8	1,9	800	0,25				
90	0	45	1,2	0,3		0,525		1000		
90	0	45	1,8	0,65	800	0,75				
90	—4,5	90	9,5	2,1	100	2,15		10		0,27
180	—2	120	7,5	2,4	690	5,1				
80			13,0		2,9	5,8	17		150	
150			15,0		4,5	12,0	55		100	
100			8,5		7,1	5,3	38		50	
250	—3,0	100	2,0	0,7	1500	1,4	2000			
250	—7,0		6,3		11,4	2,2	25			
250	—3,0	100	6,7	2,7	700	1,8	1440			
180	—3,0		5,5		12		36			
Maks. vahelduvpinge (ef) 150 V, maks. väljundvool 8 mA a.-v.										
250	—2,0	100	1,75	0,6	800	1,2				
300	—2,0	150	10	2,5	750	9,0	6750		160	
Maks. vahelduvpinge (ef) 117 V, maks. väljundvool 5 mA a.-v.										
300			2...300		Võretakistus 25000 oomi					
300			2...300		Võretakistus 25000 oomi					

Süütepinge 125 V, tööpinge 90 V, reguleeritav vool 5...40 mA.
Süütepinge 135 V, tööpinge 105 V, reguleeritav vool 5...40 mA.
Süütepinge 185 V, tööpinge 150 V, reguleeritav vool 5...40 mA.
tööpinge 140 V, 70 V, reguleeritav vool 5...20 mA.
tööpinge 280 V, 210 V, 140 V, 70 V, reguleeritav vool 5...40 mA.
tööpinge 280 V, 210 V, 140 V, 70 V, reguleeritav vool 10...80 mA

250	0	0,25	Ekraanivool 4 mA, lõikepinge $U_G = -8$ V
250	0	0,24	Ekraanivool 4 mA, lõikepinge $U_G = -22$ V
250	0	0,24	Ekraanivool 4 mA, lõikepinge $U_G = -12$ V

1. anoodi pinge V	2. anoodi pinge V	Võre lõikepinge V	Maks. sisend. pinge V	Kallutustundlikkus mm/V		Ekraani läbimõõt mm	Ekraani kujutise värvus
				D_1 D_2	D_3 D_4		
430	1500	—50	550	0,22	0,23	76	Roheline
450	2000	—40	500	0,3	0,33	127	Roheline
100	500	—65	250	0,07	0,1	25	Roheline

Tüüp	Nimetus	Maks. anoodi kaovõimsus W	Maks. varivõre kaovõimsus W	U_F V	I_F A	Kõrgeim saatesagedus MHz	μ
	Saatetrioodid.						
ГК—20	Triood	20		5,6	0,85	20	53
Г—410	„	10		10/20	0,45/0,225	40	23
Г—417	„	10		5	1,15	50	18
ГУ—4	„	35		7	1,8	85	12,5
955	Tõrutriood	1,6		6,3	0,15	250 ja üle	25
6F4	Tõrutriood	2,0		6,3	0,225	300 ja üle	17
6J6	Kahekordne triood	1,5		6,3	0,45	250 ja üle	32
9002	Triood	1,6		6,3	0,15	250	25
811	Triood	55		6,3	4,0	40	160
	Saatetetroodid.						
ГКЭ—20	Varivõre-tetrood	20		4	1,7	20	
ГКЭ—100	„ „	80		11	2,0	20	225
ГКЭ—150	„ „	100		11	6,3	20	250
6V6	Jugatetrood	13	2,5	6,3	0,5	60	218
6L6	„	21	3,5	6,3	0,9	60	
807	„	30	3,5	6,3	0,9	60	
	Saatepentoodid.						
Г—411	Pentood	20		10/20	0,6/0,3	50	110
Г—412	„	20		10/20	0,45/0,28	25	380
Г—413	„	40		20	0,5	20	450
Г—414	„	100		20	1,4	25	450
Г—418	„	20		5	0,75	50	360
Г—440	„	150		20	3,0	20	
Г—440А	„	150		20	3,0	20	
6F6	Pentood	11	3,75	6,3	0,7	30	
837	„	12	8	12,6	0,7	30	
832—А	Varivõre-pentood	15	5	6,3/12,6	1,6/0,8	30	
829—В	„ „	40	7	12,6/6,3	1,125/2,25	30	
RL12P35	„ „	30	5	12,6	0,68	40 ja üle	

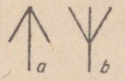
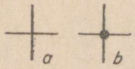
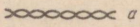
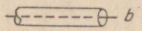
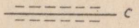
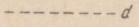
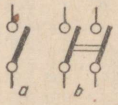
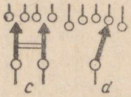
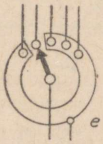
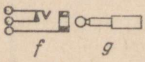
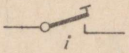
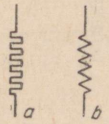
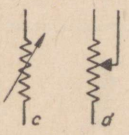
U_A V	U_{G2} V	U_{G3} V	U_{G1} V	I_A mA	I_{G2} mA	I_{G1} mA	Ergutusvõimsus W	Kandevlaine võimsus W	Elektroodidevahelised mahtuvused			Sokkel
									GK pF	GA pF	AK pF	
750			— 10	10				20	3,0	4,5	2,5	3
400			— 5	50				10		3,6		117
500				30				10		3,3		126
700			— 60	55				10		2		127
180			— 35	7		1,5		0,5	1,0	1,4	0,6	115
150			— 15	20		7,5	0,2	1,8	2,0	1,9	0,6	
150			— 10	30		16	0,35	3,5	2,2	1,6	0,4	
180			— 35	7		1,5		0,5	1,2	1,4	1,1	
1500			—113	150		35	8,0	170	5,5	5,5	0,6	
750	150		— 15	20				20		0,05		67
1500	250		— 40	100				100	15,5	0,05	10	118
3000	500		— 80	130				150	17,0	0,17	11,0	118
300	200		— 45	60	7,5	2,5	0,3	12	9,5	0,7	9,5	44
375	200		— 35	88	9,0	3,5	0,18	17	10	0,4	12	44
750	250		— 50	100	8,0	3,0	0,22	50	11	0,2	7,0	
400	250		— 50	95	8,0	2,5		20	11	0,35	7	63
750	250		— 30	40	12,0	3,5		25	6,5	0,1	6	63
750	350		— 55	90	15,0	3,5		40	11	0,2	10,5	63
1500	700	+ 40	— 60	120	30,0	7,5		100	21	0,15	19	119
400	200	+ 35	— 50	85	20,0	3,5		20	12,5	0,125	10	66
1500	400	+ 50		300				250	18	0,15	20	120
1500	400	+ 50		300				300	18	0,15	20	120
350	200		— 35	50	10	3,5	0,22	9,0	6,5	0,2	13	47
500	200	+40	— 70	80	15	4,0	0,4	28	16	0,2	10	
750	200		— 65	48	15	2,8	0,19	26	7,5	0,05	3,8	
750	200		— 55	160	30	12,0	0,8	87	14,5	0,1	7,0	
700	200		— 80	90	23	3,0	1,7	45	18,5	0,05	9,5	21

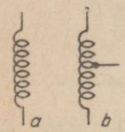
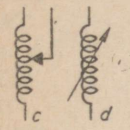
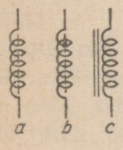
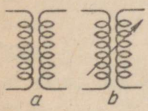
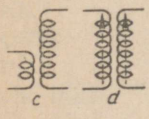
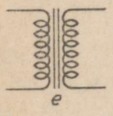
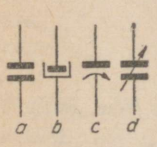
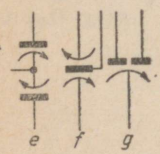
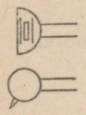
ALALDAJALAMBID.

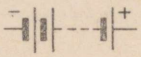
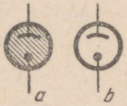
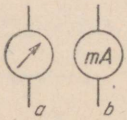
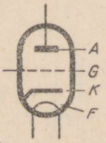
Tüüp	Nimetus	U_F V	I_F A	Maksimaalsed väärtused				Maks. vastupinge V	Märkmeid	Sokkel
				C — sisendiga		L — sisendiga				
				V.-v. efektiivpinge anoodi kohta V	Üldine a.-v. mA	V -v. efektiivpinge anoodi kohta V	Üldine a.-v. mA			
5Ц4С	2 anoodiga vaakumõgv.	5	2	350	125			1400	Kaudse küttega	34
30Ц1М	1 anoodiga vaakumõgv.	30	0,3	250	90			1000	Kaudse küttega	
30Ц6С	2 anoodiga vaakumõgv.	30	0,3	250	90			1000	2 eraldi küttega	
ВО-116	2 anoodiga vaakumõgv.	4	2	400	115			1200		5
ВО-125	2 anoodiga vaakumõgv.	4	0 7	250	30			600		5
ВГ-129	1 anoodiga gaasõgv.	2,5	9,0	1500	500			5000		
ВГ-161	1 anoodiga gaasõgv.	2,5	5,5	750	350			2000		
ВО-188	2 anoodiga vaakumõgv.	4	2,2	500	150			1300		5
ВО-202	2 anoodiga vaakumõgv.	4	0,7	300	50			900		5
ВО-230	1 anoodiga vaakumõgv.	4	0,7	300	50			900		1
ВО-239	1 anoodiga vaakumõgv.	4	2,2	850	180			1800		2
ВО-255	2 anoodiga vaakumõgv.	5	2	350	125			1400	Kaudse küttega	
В-879	1 anoodiga vaakumõgv.	2,5	1,75	2650	7,5			7500		
5U4G (5Z3)	2 anoodiga vaakumõgv.	5	3	450	225	550	225	1550		33(20)
5V4G (83V)	2 anoodiga vaakumõgv.	5	2	375	175	500	175	1400	Kaudse küttega	34
5W4G	2 anoodiga vaakumõgv.	5	1,5	320	90	500	90	1100		33
5X46	2 anoodiga vaakumõgv.	5	3	450	225	550	225	1550		32

5Y3G (80)	2 anoodiga vaakumõgv.	5	2	350	125	500	125	1400		33(20)
5Z4	2 anoodiga vaakumõgv.	5	2	350	125	500	125	1400	Kaudse küttega	84
6X5	2 anoodiga vaakumõgv.	6,3	0,6	325	70	450	70	1250	Kaudse küttega	35
83	2 anoodiga gaasõgv.	5	3	450	225	550	225	1550		20
83V	2 anoodiga vaakumõgv.	5	2	375	175	500	175	1400	Kaudse küttega	20
84/6Z4	2 anoodiga vaakumõgv.	6,3	0,5	325	60	450	60	1250	Kaudse küttega	24
AZ1	2 anoodiga vaakumõgv.	4	1,1	500	60					96
AZ4	2 anoodiga vaakumõgv.	4		500	120					96
CY1	1 anoodiga vaakumõgv.	20	2,2	250	80				Kaudse küttega	71
CY2	1 anoodiga vaakumõgv.	30	0,2	250	120				Kaudse küttega	98
EZ1	2 anoodiga vaakumõgv.	6,3	0,5	250	50				Kaudse küttega	97
EZ2	2 anoodiga vaakumõgv.	6,3	0,4	350	60				Kaudse küttega	97
EZ4	2 anoodiga vaakumõgv.	6,3	0,9	400	175				Kaudse küttega	97
UY1	1 anoodiga vaakumõgv.	50	0,1	250	140				Kaudse küttega	30

LÜLITUSLIKUD LEPPEMÄRGID.

Leppemärk	Seletus
	Antenn: a — saate, b — vastuvõtu.
	Maandus.
	Juhtmete ristumine: a — ristumine elektrilise ühenduseta, b — ristumine elektrilise ühendusega.
	Juhtmestik: a — kokkukeeratud juhtmetepaar,
	b — koaksiaalkaabel,
	c — varjestatud juhe,
	d — varjestus.
	Lülitid: a — ühepooluseline lüliti,
	b — kahepooluseline lüliti,
	c — kahepooluseline ümberlüliti,
	d — ühepooluseline astmelüliti (5-kontaktiline),
	e — ühepooluseline lühisastmelüliti,
	f — lülitiga pistikupesa,
	g — kahepooluseline pistik,
	h — ühepooluseline pistik pesaga,
	i — võti.
	Takistid: a — induktiivsusvaba takisti,
	b — praktiliselt induktiivsusvaba takisti,
	c — muudetav takisti (reostaat),
	d — potentsiomeeter.

Leppemärk	S e l e t u s
	Õhksüdamikuga induktiivsused:
	a — püsivpool või k.-s. paispool,
	b — haruühendiga pool,
	c — astendatava haruühendiga pool,
	d — pidevalt muudetava induktiivsusega pool (variomeeter).
	Raudsüdamikuga induktiivsused:
	a — k.-s. raudsüdamikuga püsivpool,
	b — muudetava induktiivsusega k.-s. raudsüdamikuga pool,
	c — m.-s. paispool.
	Transformaatorid:
	a — õhksüdamikuga, püsiva sidestusega,
	b — õhksüdamikuga, muudetava sidestusega,
	c — lülisidestusega,
	d — k.-s. raudsüdamikuga, püsiva sidestusega
	e — m.-s. raudsüdamikuga.
	Kondensaatorid:
	a — püsivmahtuvusega,
	b — elektrolüütiline,
	c — muudetava mahtuvusega häälestuskondensaator,
	d — reguleeritava mahtuvusega (trimmer),
	e — } f — } lõhestatud staatoriga häälestuskondensaator,
	g — diferentsiaalkondensaator.
	Heliseadmed ja vooluallikad:
	mikrofon (kristall),
	helipea,

Leppemärk	S e l e t u s
	peatelefon,
	valjuhääldaja,
	kuivõgvendaja, kristalldetektor,
	piesokristall,
	elektri-element,
	patarei,
	vahelduvvoolu allikas.
	Fotoelemendid: a — gaastäitega, b — vaakum.
	Huumlamp (pingestabilisaator).
	Mõõteriistad: a — üldkujul, b — milliampermeeter, c — voltmeeter, d — oommeeter.
	Elektronlamp. Elektroodid: F — kütteniit, K — katood, G — võre, A — anood.

TEKSTIS JA JOONISTEL TARVITATAVAID ELEKTRI- JA RAADIOTEHNILISI LÜHENDEID.

A (mA, μA)	amper (milliamper, mikroamper), anood
ANT	antenn
AT	atenuaator
a.-v.	alalisvool
dB	detsibell
D	diood
DET	kristalldetektor
EL	elektronlamp
EMJ	elektromotoorne jõud
F (μF, pF)	farad (mikrofarad, pikofarad), kütteniit
G	võre
H (mH, μH)	henri (millihenri, mikrohenri)
Hz (kHz, MHz)	herts (kiloherts, megaherts)
K	lüliti, katood
k.-s.	kõrgsagedus
KSP	kõrgsagedus-paispool
m (km, cm, mm)	meeter (kilomeeter, sentimeeter, millimeeter)
m.-s.	madalsagedus
NK	neutrodüünkondensaator
OSTS	ostsillaator
P	primaarmähis
sek (μsek)	sekund (mikrosekund)
S	sekundaarmähis
T	transformaator
TEL	telefon
V (kV, mV, μV)	volt (kilovolt, millivolt, mikrovolt)
VH	valjuhääldaja
v.-s.	vahesagedus
VST	vahesagedustransformaator
v.-v.	vahelduvvool
W (kW, mW, μW)	vatt (kilovatt, millivatt, mikrovatt)
ü.-k.-s.	ülikõrgsagedus
Ω (kΩ, MΩ)	oom (kilo-oom, megaoom)

VALEMITE TÄHISEID JA INDEKSEID.

Tekstis, tabelites, diagrammides ja joonistel tarvitatud valemid väljendatakse alljärgnevate ühtsete tähiste ja indeksitega (välja arvatud üksikud erandjuhud, mispuhul selle kohta vastavas kohas on antud lähem selgitus).

Tähised.

A	— mehaaniline töö
a	— vahekaugus, laius
B	— magnetvälja tihedus
b	— laius, pikkus
C	— elektriline mahtuvus
c	— valguse kiirus
D	— elektronlambi läbitavus, pooli diameeter, juhtmete vahekaugus
d	— juhtme diameeter, vaatekaugus
E	— elektromotoorne jõud, indutseeritud pinge (üldkujul)
e	— elektromotoorse jõu hetkväärtus, loomulike logaritmide alus
F	— madalsagedus
f	— kõrgsagedus
H	— magnetvälja tugevus
h	— kõrgus, mähise kõrgus
I	— elektrivool (üldkujul)
I_e	— emissioonvool
I_s	— küllastusvool
i	— voolu hetkväärtus
K	— moonutustegur
k	— sidestustegur, tegur
L	— induktiivsus
l	— pikkus
M	— ühisinduktiivsus
m	— modulatsioonitegur
N	— mehaaniline võimsus
n	— korrutustegur, arv
P	— elektriline võimsus
p	— kujutegur
Q	— elektrilaeng, ristlõikepind, võnkeringi ja selle elementide hindetegur
q	— juhtme ristlõikepind
R	— takistus
r	— raadius, tegevusulatus
S	— elektronlambi tõus, pindala
T	— periood, absoluutne temperatuur
t	— aeg, temperatuur
U	— pinge, potentsiaalide vahe (üldkujul)
u	— pinge hetkväärtus
V	— magneetimisergutus, võimendus, ruumala
v	— kiirus
W	— elektriline töö
w	— keerdude arv
X	— reaktants (ebatakistus)
x	— koordinaatide horisontaaltelg
y	— koordinaatide vertikaaltelg
Z	— impedants (näivtakistus) (üldkujul)
Z_0	— laineimpedants, lainetakistus
z	— ridade arv

$\ddot{u}$	— trafo ülekandesuhe
α	— takistuse temperatuuritegur, nurk
β	— nurk
γ	— erikaal, nurk
Δ	— lõpmata väike muutuvväärtus
δ	— dielektriku kaonurk
ε	— dielektriku-konstant
η	— kasutegur
Θ	— magneetimisergutus, lõikenurk, ruumnurk
λ	— lainepikkus
μ	— permeaablus, lambi võimendustegur
Π	— magnetiline läbitavus
π	— ringi jagatis diameetriga (3,1416 . . .)
ϱ	— eritakistus
Σ	— summeerimismärk
Φ	— magnetvoog
φ	— nihkenurk, nurk
ω	— nurksagedus

Indeksid.

A	— anoodi
AP	— anoodpatarei, -toiteallika
a	— alg-
C	— mahtuvuslik
Cu	— vase
c	— koertsitiiv
D	— dioodi
d	— dünaamiline
e	— ekvivalentne, ebalineaarne
ef	— efektiivne
F	— kütteniidi
FP	— küttepatarei, toiteallika
Fe	— raua
G	— võre-
GP	— võre-eelpinge patarei
i	— sise-, vahe-
K	— katoodi
k	— kao-, koormus-, kesk-
kesk	— kesk-
L	— induktiivne
l	— lõpp-, lõik-, lineaarne
M	— ühisinduktiivsuslik
m	— magnetiline, modulatsiooni, muundus-
max	— maksimaalne
min	— minimaalne
os	— ostsillaatori
P	— primaarne
p	— pulsi
r	— raua, resonants-, remanents- (jääk-)
S	— sekundaarne
s	— sisend-, signaal-
v	— väljund-, vase
õ	— õhk-
ü	— puiste-
1, 2, 3, . . .	— eraldustunnus
', "	— eraldustunnus
0	— algväärtus
—	— (kriips tähise all) alalisvoolu komponent

Märkus: Indeksita vahelduvvoolu väärtused üldiselt tähendavad efektiivväärtusi, elektronlampide rakendusosas — amplituudväärtusi.

Näiteid:

U_{efA} — anood-vahelduvpinge efektiivväärtus (V)

$\underline{U}_G$ — võre-eelpinge (V)

$\underline{U}_{AP}$ — anoodi toiteallika pinge (V)

I_A — anood-vahelduvvoolu amplituud (A)

I_{kesk} — vahelduv- (pulseeriv-) voolu keskväärtus (A)

P_s — vahelduvvoolu sisendvõimsus (W)

C_{GA} — võre ja anoodi vaheline mahtuvus

L_G — puisteinduktiivsus

K_e — ebalineaarne moonutustegur

Q_r — trafo südamiku rauapaki ristlõige (cm^2)

X_L — induktiivne reaktants

Z_v — väljundimpedants

TÄHESTIKULINE SISUNÄITAJA.

aatom 14
AB-klassi modulaator 319
AB-klassi võimendaja 214, 229, 244
absorptsioon 406
absorptsioonikaod 411
absorptsioon-sagedusmõõtja 503
aegmodulatsioon 349
aegrelee 389
ainusignaalne vastuvõtt 456
ajakonstant 61, 356, 382
ajanurk 295
A-klassi kõrgsagedusvõimendaja 267
A-klassi pingevõimendaja 215
A-klassi vastastaktvõimendaja 225
A-klassi võimendaja 214
A-klassi võimsusvõimendaja 241
aktiivmass 64
akumulaator, aku 63, 387
akupatarei 388
alaldaja 389
alaldaja filter 390
alalispinge võimendaja 249
alalisvool, a.-v. 54
alalisvoolu allikad 62
alalisvoolu takistus, lambi 223
alalisvooluvõrk 388
alg-levitüüp 111
alni 36
alnico 36
amatöörlühendite kood 512
amatöör-raadiojaam 8, 9
amatöörsagedusribad 510
amper 18
amperkeerd 31
ampermeeter 490
amplituud 67
amplituudilised mürad 338
amplituudmodulatsioon 318
amplituudmoonutused 211
anood 19, 155
anooddetektor 368
anoodi kaovõimsus 166
anoodi kasutegur 166
anoodi koormustakistus 279
anoodi toitevõimsus 165
anoodkoormus 221
anoodmodulatsioon 318
anoodneutraliseerimine 286
anoodpinge 155
anoodringi tastimine 347
anoodtoide 388
anoodvool 155
anoodvoolu lõikepunkt 167
antenn 98, 404
antenni püstitamine 523
antenni Q 537
antenni toitmine 417
aperioodiline võnkering 90
Armee Abistamise Vabatahtlik Ühing 8
atenuaator 118
AT-lõik, kristalli 117
audion 365
automaatne tundlikkuse regulaator, ATR 360, 457
automaatne võre-eelpinge 253, 397
autotrafo-sidestus 239
avatud liinilõik 105

baarium 154
barreter 207
barreter-urdoks 208
bell 145
B-klassi kõrgsagedusvõimendaja 275
B-klassi modulaator 319
B-klassi võimendaja 215, 227, 241
BT-lõik, kristalli 117

C-klassi moduleeritud võimendaja 291
C-klassi võimendaja 215, 275, 278
CT-lõik, kristalli 117

degenereeruv tagasiside 248, 252
delta-sidestus 427
demoduleerimine 359
demoduleerimismenetlus 334
depolarisaator 62
detektor 359
detekteerimine 359
detektor-vastuvõtja 370
detsibell 144
diamagnetilised ained 33
dielektrik 24
dielektriku kaotegur 26

dielektriku-konstant 24
dielektriku läbilöögipinge 25
dielektriku läbilöögitugevus 25
dielektriku temperatuuritegur 27
dielektrilised kaod 26, 80
diferentsiaalne liit-pöördkondensaator 28
difraktsioon 405
diood 157
diooddetektor 361
diooderaldaja 355
dioodpiiraja 355
direktor 435
diskriminaator 382, 385
DT-lõik, kristalli 117
duplekstöö 344
dünaamiline mikrofon 326
dünaamiline tunnusjoon 166, 216
dünaamiline valjuhääldaja 327
dünatron-ostsillaator 173, 306
džaul 54

ebakatood 245
ebalineaarne moduleerimine 330
ebalineaarsed moonutused 211, 236
ebatakistus 73, 74
Edisoni aku 65
eelmagneetimine 47
eelpinge 162
eeltakisti 490
eelvõimendaja 245, 328, 382
efektiivväärtus, vahelduvvoolu 68
E-kiht 406
ekraani-impulss 541
eksponentlamp 176
ekvivalentne kiirgustakistus 98
elavhõbeda auruga õgvenduslamp 159
elavhõbe-kaarõgvendaja 160
elektrielement 62
elektrienergia 54
elektrijuht 15
elektriline diferentseerimismenetlus 356
elektriline integreerimismenetlus 356
elektriline mahtuvus 23
elektriline takistus 16
elektriline töö 54
elektriline vooluring 18
elektrilised jõujooned 22
elektrivool 17
elektrivool gaasides 19
elektrivool metallides 17
elektrivoolu suund 21
elektrivool vaakumis 20
elektrivool vedelikes 18
elektriväli 17, 22
elektrivõimsus 18, 54
elektrodünaamiline valjuhääldaja 327
elektrolüüs 19
elektrolüüt 63
elektrolüütiline kondensaator 27
elektromagnet 30
elektromagnetiline induktsioon 37
elektromagnetiline laine 13, 15
elektromagnetiline laineenergia 98
elektromagnetiline mõõteriist 488
elektromagnetiline valjuhääldaja 327
elektromagnetilised nähtused 29
elektromotoorne jõud 23
elektron 14
elektrongeneraator 195
elektronide emissioon 154
elektronide läbivusaeg 185
elektronilise tagasisidega ostsillaator 301
elektronkahur 195
elektronkollektor 199
elektronlääts 192
elektronläätsede süsteem 195
elektronpaljundaja 202
elektronide vihk 192, 195
elektroodidevahelised mahtuvused 169, 218
elektrostaatiline kallutamine 196
element 14
emissioonvool 154
emiteerimisekvivalent 154
endamürad 329
endamürade tase 442
ergutusaste 241
ergutusvõimsus 228, 280
eritakistus 16
esimene detektor 380, 446
ET-lõik, kristalli 117

faas 70
faaside vahe, faaside nihe 70, 168
faasideviatsioon 334, 381
faasi-inverter 246
faasimoonutus 169, 213
faasimuundus-modulaator 339
faasimuundus-sagedusmoduleerimine 342
faasipöörde-lülitus 246
faasmodulatsioon 315, 334
farad 24
Faraday-ekraan 94
feeding 409
ferrokart-pool 44
ferromagnetilised ained 33
filterkondensaator 391
F-kiht 407
fluorestseeriv ekraan 194
fotoelektriline emissioon 21, 206
fotoelement 206
fotojuhtivus 207
fotokatood 202
fotomosaiik 199
fotorakk 200, 206
FT-lõik, kristalli 117
fuksantenn 418

gaas-fotorakk 206
gaaslamp 389
gaastriood 159
Gauchmann 7
gauss 32
generaator 37
germaaniumkristall 371
gilbert 32
GT-lõik, kristalli 117

haavliefekt 376
hajuvväli 521
H-antenn 434
hape-aku 63
harisuhe 100, 426
harmoonilised sagedused 68, 97
heksood 177
helidünaamika 258, 335, 339
helisagedus 67
helisagedusgeneraator 252
helisageduslik spekter 335
heli korrigeerimine 122
helipassaažid 336
helisaade 540
helisagedusvõimendaja 214
henri 39
heptood 178
heptood-muundaja 179
heptood-segustuslamp 179
herts 65
heterodüünsagedus 380
hetkväärtus 67
hindetegur 80, 112
hobujõud 38
homogeenne võnkering 98
horisontaalselt polariseeritud laine 404
huumlamp 208, 349
huumlamp-ostsillaator 309
huumstabilisaator 209
hõbenitraat 19
häälestamata transmissioonliin 100
häälestatud liin 98
häälestatud transmissioonliin 100, 102
häälestatud võnkeringiga pingevõimendaja 269
häälestatud võnkeringiga võimendaja 214
häälestusindikaator 197
häälestuskondensaatori mahtuvus 283
häälestuspool 40
hüppetsoon 408
hüsterees, magnetiline 34
hüstereesisilmus 34
hüstereeskaod 80

ikonoskoop 198, 534
impedants 75
impedants, antenni 414
impedantside transformaator 103
individuaalne jaam 511
induktiivne neutraliseerimine 287
induktiivse tagasisidega ostsillaator 299
induktiivsus 39
induktiivsuse arvutamine 40
induktiivsuse korrigeerimine 49
induktiivsustegur 39
induktiivsuslik reaktants 73, 82
induktiivtakistus 72
induktoriline valjuhääldaja 327
induktsioonväli 98
inertgaasid 20
infrapunane valgus 206
ioniseerima 14, 208
ioniseerimispotentsiaal 20
ioniseeritud õhukihid 351
ionosfäär 405
ionosfääriline laine 405
ioon 14, 18
iseloomustussuurused 166
isolaator 15
isolatsioonimaterjal 515

J-antenn 430
jootmine 518
juga-antenn 435
jugatetrood 174
juhtliin, vooluenergia 99
juht-õõsresonaator 193
Jungneri aku 64
jõujooned, elektrilised 22
jõujooned, magnetilised 29
jõutrafo 127, 128
järellaine 345
järelvalgustus 197
järjestikune lampide lülitus 224
järjestikune vooluring 55
järjestikune võnkering 83
jääk-väljatihedus 33

kadmiumnikkel-aku 64
kaheastmeline kristalliga tüüritav saatja 474
kahe elektroodiga lamp 157
kahejuhtmeline kõrgsagedusliin 98
kahejuhtmelise liinilõiguga ostsillaator 311
kahekordne supervastuvõtja 442
kahekordse sagedusmuundusega super 468
kahelambiline regeneratiiv-vastuvõtja 462
kahe sektsiooniga filter 392
kaheksa elektroodiga lamp 179
kahe võrega lamp 175
kahinavaba lamp 245
kahisev müra 460
kahjulik sidestus 93
kaitse-eelpinge 399
kaksikdiood 180

kaksikdiood-pentood 179
kaksikdiood-triood 179
kaksiktriood 180
kallutuspinge 538
kallutuspinge generaator 334
kallutusplaat 196
kaltsium 154
kammantenn 434
kandevlaine 315
kandevsagedus 315
kantav saate-vastuvõtujaam 482, 484
kaonurga tangens 26
kaotegur, dielektriline 26
kasutegur 131
katkestus- ehk kustumissagedus 376
katkestusfaas 376
katkestussageduse ostsillaator 378
katood 19, 155
katooddetektor 369
katoodjärgija 263
katoodkiirtetoru 194
katoodmodulatsioon 318, 323
katoodtastimine 347
katoodtoru-ostsilloskoop 330, 333, 497
kaudne küte 157
kaudne sidestus 90
kaudne toitmine 417
kaugnägemine 531
katteulatus 445
keraamiline kondensaator 27
keskendatud *LC*-resonaator 144
keskendatud *LC*-võnkering 98, 279
kesksagedus 66
keskväärtus, vahelduvvoolu 70
kiirgusenergia 15, 404
kiirguskaod 80
kiirgusnurk, antenni 408, 414
kiirgusväli 98
kiirusmikrofon 245, 326
kiirusmodulatsioonlamp 190
kiloamper 18
kiloherts 66
kilo-oom 16
kilotsükkel 66
kilovatt 38, 55
kilovatt-tund 54
kilovolt 23
kineskoop 197, 534
kiudtraat, kõrgsageduse 519
klüstron 193
koaksiaal-antenn 430
koaksiaalkaabel 103
koaksiaalliiniga sidestus 427
koaksiaalliinilõiguga ostsillaator 312
koaksiaalliinilõik 107
koertsitiivjõud 34
kollektiivjaam 511
kollektiivjaama operaator 511
kollektor 192
kolme elektroodiga lamp 160
kolmelambiline regeneratiiv-vastuvõtja 463
kolmelambiline supervastuvõtja 464
kompleksiaine 317
kompleksvool 68
kondensaator 24, 514
kondensaatormikrofon 325
kondensaatorsisendiga filter 392
kontaktdetektor 370
kontaktimine 200
kontuurjoon 276
koobaltteras 36
koondväärtus, takistuse 56, 57
koormus 18
koormusimpedants 161
koormusjoon 167
koormustakistus 88, 167
koormusvool 59
korgitõmbaja-reegel 30
kriitiline induktiivsus 395
kriitiline nurk 408
kriitiline sagedus 406
kriitiline sidestus 93, 372
kristalldetektor 370
kristallfilter 455
kristallmikrofon 325
kristall-ostsillaator 302
kromoskoop 541
kroomteras 36
kuivelement 62
kuivpatarei 388
kujutegur 534
kujutise lahutaja 198, 202
kujutise signaalvool 200
kulon 18
kunstlik antenn 289
kunstlik koormus 289
kunstlikud liinid 117
kustumispinge 209
kutsungite kood 512
kuue elektroodiga lamp 177
kvadraat-detekteerimine 360, 367
kvarts 115
kõrge *C*-ga võnkering 298
kõrgläbivusfilter 121
kõrgsagedus, k.-s. 66
kõrgsagedusliin 96
kõrgsagedus-paispool 520
kõrgsageduspool 40
kõrgsageduspool, raudsüdamikuga 45
kõrgsagedustakistus 79
kõrgsagedustransformaator 92
kõrgsagedusvõimendaja 214, 442
käemõju 374
külgribade spekter 338
külgsagedusriba 318
küllastuspunkt 353
küllastusvool 155
kütteniit 157

laadimine, elemendi 63
laadimisvool 25
laengute salvestumine 201
lahendusvoolu ostsillaator 307
lahtimagneetimiskõver 36
lahtisidestusfilter 95, 370
lahtisidestussüsteem 399
laineimpedants 100
lainelisus 388
lainelisuse protsent 391
lainemõõtja 503
lainepikkus 66
lainepulss 351
laine sagedusspekter 335
lampvoltmeeter 499
leelis-aku 64
legeeritud plekk 49
leklanšee element 62
levitüüp, laine 110
liblikresonaator 115
lihtaine 14
liinilõik-resonaator 279
liinivoolu-mõõtja 507
liitaine 14
liitlambid 179
liitpulsid 355
liit-pöördkondensaator 28
lineaar-detekteerimine 361
lineaarne ridaantenn 434
lineaarne sagedusmoduleerimine 337
lineaarne võimendaja 275, 321
lineaarsed moonutused 213
lintmikrofon 326
lõikelainepikkus 110
lõikepunkt 215, 353
lõikesagedus 121, 392
lõunapoolus 29
läbivusaja magnetron 189
läviväärtus, ATR-i 459
lühenduskondensaator 28
lühiside-kolb 313
lühisliinilõik 105
lülisidestus 91

maagiline silm 197
maalaine 405
maandatud võrega pingevõimendaja 271
maapinnal peegeldunud laine 405
madalläbivusfilter 121, 365, 390, 539
madal-raadiosagedus 66
madalsagedus, m.-s. 66
madalsageduslik peegelsagedus 455
madalsageduspool 40, 46
madalsagedustransformaator 125
madalsagedusvõimendaja 214, 441
magneetimisergutus 31
magneetimis-eriergutus 32
magneetimiskõver 33
magneetimisvool 126, 131
magnetiline hüsterees 34
magnetiline kallutamine 196
magnetiline küllastumine 33
magnetiline läbitavus 32
magnetiline tõkestus 31
magnetitormid 407
magnetring 31
magnetron 186
magnetvoog 31
magnetväli 18, 29
magnetvälja jõujooned 29
magnetvälja tihedus 31
magnetvälja tugevus 32
mahtuvus, elektriline 23
mahtuvuslik reaktants 74, 82
mahtuvusliku tagasisidega ostsillaator 300
mahtuvustakistus 74
mahutavus 62
majaklamp 185
maksimaalne tippvoolu väärtus 389
maksimaalne vastupinge tippväärtus 159, 389
maksimaalväärtus 67
maksvell 32
manteltüüpi trafo 127
masstakisti 17
materjali eritakistus 16
megaherts 66
megaoom 16
megatsükkel 66
metallkoega varjestus 437
metallõgvendajaga mõõteriist 489
mikroamper 18
mikrofarad 24
mikrofon 315, 324
mikrohenri 39
mikrovolt 23
milliamper 18
millihenri 39
millivatt 55
miniatuursed lambid 183
millivolt 23
modulaator 291, 319
modulaatori lülitus 480
modulatsiooni-indeks 338
modulatsiooni kood 512
modulatsiooni-paispool 320
modulatsiooni protsent 277
modulatsioonitrafo 319
modulatsiooni trapets 330
moduleerimissignaal 335
molekul 14
monitor 330, 333, 505
mootorgeneraator 387, 401
MT-lõik, kristalli 117
multivibraator 308
mumetall 33
murdumine 405
murdumisindeks 405, 410
murtud dipool 431

muudetava mahtuvusega kondensaator 27
muudetav masstakisti 17
muudetav traattakisti 17
muudetava sagedusega juhtsaatja 477
muundaja 380
muundusaste 446
muundusruum 193
muundustõus 451
muutliku tõusuga varivõrepentood 176
mõõteriist 487
mürad 335, 382
mürapiiraja 460
mürapinged 202, 245
müratasandaja 461
müratase 245
müravaba lamp 245
müravaba vastuvõtuantenn 436
müravõimendaja 461
müraõgvendaja 461

negatiivne ioon 18
negatiivne moduleerimine 537
negatiivne tagasiside 252, 372
negatiivne takistus 173
negatiivse takistusega magnetron 188
nelja elektroodiga lamp 170
nepper 148
neutraliseerimine, võimendaja 285, 319
neutraliseerimiskondensaator 286
neutron 14
nulline tase 144
NT-lõik, kristalli 117
nurksagedus 67
nõelakahina filter 124
nõrgendamine, võimsuse 118
näivtakistus 75

Ohmi seadus 55
oktood 179
omainduktiivsus 104
omainduktsioon 39
omamahtuvus 52, 104
oom 16
oommeeter 491
ortikon 198, 202, 534
optiline läätsesüsteem 200
optimaalne induktiivsuse väärtus 395
optimaalne saatenurk 411
optimaalne õhupilu 141
osapinge 56
ostsillaator 252, 297
ostsillaatorsagedus 380
ostsilleerimislävi 375
ostsilleerumine 219
otselaine 405, 411
otsene küte 157
otsene sidestus 90
otsevastuvõtja 442

paberkondensaator 27
paelfilter 93
paindumine 405
paispool 40
paispoolsidestuses võimendaja 214, 237, 268
paispoolsisendiga filter 392, 394
Papaleksi, N. 7
paramagnetilised ained 33
parasiit-ridaantenn 435
parasiitostsilleerumised 290, 332
patarei 63
paukuv müra 460
peegeldumine 96, 405
peegelsagedus 447
peegelsuhe 447, 452
pendel-ostsillaator 308
pentagrid 179
pentood 175
permalloy 33
periood 65
permanentmagnet 36
permeaablus 33
pidurdusjõud 34
piesoelektriline toime 325
piesoelektrilised kristallid 115
piiraja 382, 385
piiramislülitused 353
piiramistakistus 208, 209
pikofarad 24
pilditelegraaf 350
piltelement 532, 534
piltpunkt 201, 352
pinge 23
pingejagaja 59
pingelang 56
pingepaljundaja 400
pingereguleerimine, pingereguleeritavus 322, 333, 388
pingeresonants 84
pingestabilisaator 208
pingetoitega antenn 417, 423
pingevõimendaja 214, 217
pingevõimendustrafo 134
pinnaefekt 79
pinnalaine 405, 410
plaatina 154
plii-aku 63
polaarsuse eraldaja 355
polariseerimine 62, 404, 414
pool 30, 40
pool-duplekstöö 344
pooli kujutegur 41, 44
poollaine-antenn 415
poollaine pikkusega liin 103
pooltsükli-alaldaja 389
pooltsükkel-(pinge-)kahekordistaja 400
Popov, A. S. 5
positiivne ioon 18
positiivne tagasiside 252, 367, 371

potentsiaal, potentsiaalide vahe 23
potentsiaalne energia 22
potentsiomeeter 17, 60
pott-ostsillaator 310
pottresonaator 115
primaarmähis 125
primaarne võnkering 90
primaarsed elemendid 62
prooton 14
proovipinge 26
puisteinduktiivsus 127
puistevoog 127
puisteväljad 54
pulss-amplituudmodulatsioon 351
pulseerivvool 68, 158
pulss-faasmodulatsioon 351
pulsside eraldamine ja valik 355
pulsside genereerimine 353
pulsside kordumissagedus ehk pulss-sagedus 352
pulsside vormimine 353
pulss-laiusmodulatsioon 351
pulssmodulatsioon 350
pulssmüra 382
pulss-sagedusmodulatsioon 351
pulss-tehnika 353
puš-pull-lülitus 215
põhilevitüüp 110
põhjapoolus 29
päikeselaikude tsükkel 407
pöiallambid 183
pöördkondensaator 27
pöördpool-mõõteriist 487
pöörisvoolud 38, 79
püsivkondensaator 27
püsivmagnet 36
püsivmagnetilised nähtused 29
püsiv masstakisti 17
püsiv standard 487
püsiv traattakisti 16
püstkülikuline õõnesliin 111
püüdja 193

Q-kood 512
Q-sidestus 428
QSL-kaart 8, 10, 511
Q-väärtusi 81, 280

raadiopäev 5
raadiosagedusvõimendaja 214
raadiotest 9
raam 201, 532
raamantenn 431
raamide vaheldumise kiirus 533
raamipulsid 352, 539
raamisagedus 534
rauamaht 140
rauaskadu 127
raudnikkel-aku 65
raudsüdamikuga kõrgsageduspool 44
reaktants-modulaator 339
reaktiivvool 78
reaktsioon 371
reapulsid 352
reflekslüstron 194
reflekteerumine 405
reflektor 194, 435
regeneratiivdetektor 371, 374, 442
regeneratiiv-supervastuvõtja 466
regenereerumine 219
regenereeruv tagasiside 252
regulaatorlamp 207
remanentne väljatihedus 33
rennliin 312
reostaat 17
resonants 82
resonantskõver 84
resonantssagedus 82
ribafilter 93
ribalaotuse meetod 444
ribalaotus-kondensaator 444
ribaläbivusfilter 121
ribaläbivusfiltriga võimendaja 274
ribaseade-kondensaator 444
ribatõkestusfilter 121, 344
ridaantenn 433
ringtäppimine 538
ringpermeaablus 48
ristielektriline levitüüp 110
ristimagnetiline levitüüp 110
ristmodulatsioon 458
rombantenn 433
RST-kood 564
roteerivad masinseadmed 401
rošellsool (Rochelle-sool) 115, 325
rumbatron 193
ruumilaine 405, 411
ruumilisus 533
ruumlaeng 20, 161
ruumlaenguvõre 175
ruumlaenguvõrega tetrood 175
Rõbkin, P. 5
räni-(siliitsium-)kristall 370
rööbitine lampide lülitus 224
rööbitine toide 239
rööbitine vooluring 57
rööbitine võnkering 87
rühmitaja 193

saatekaugus 411
sagedus 65
sagedusastmik 66
sagedusdeviatsioon 337, 341, 385
sagedusfilter 118, 121
sageduskanal 535
sageduse triivimine 298, 344
sagedusjaotaja 308
sageduskonverter 471
sagedusmodulatsioon 315, 334, 382

sagedusmoonutused 213
sagedusmuundaja 177, 451
sagedusmuundamine 380
sageduspaljundaja 293
sageduspaljundus 342
segustusaste 380, 446
segustuslülitus 264, 353
segustuspurre 266
seisevlaine 97
seitsme elektroodiga lamp 178
sekundaarmähis 125
sekundaarelektronid 21, 172, 200, 204
sekundaaremissioon 21, 203
sekundaarelektronlamp 205
sekundaarne võnkering 90
sekundaarsed elemendid 63
seleenrakk 207
seleenõgvendaja 371
selektiivne feeding 410
selektiivsus 55, 91, 442
senjett-(Seignette-)sool 115, 325
skin-efekt 79
sidestatud poolid 53
sidestatud võnkeringid 90
sidestus 90
sidestusaas 113
sidestustegur 90, 372
sidestustrafo 128
sidestusvarras 113
signaalelektrood 199
signaalgeneraator 495
signaali/müra suhe 339
signaalisagedus 380
signaalitugevuse indikaator 459
siinuseline vool 67
sildalaldaja 389
silinderpooli induktiivsus 41, 42
silumisfilter 389
sirgjooneline täppimine 538
sisemahtuvus 52
sisemine pingelang 389
sisendimpedants 219
sisendpaispool 396
sisendtakistus 180
sisetakistus 162
S-mõõtja 459
sobitustrafo 137
spiraalne täppimine 538
staatiline tunnusjoon 158, 161
stabiilsus 442
stabilovolt 210
standard-sagedusmõõtja 505
stereoskoopilisus 533
Stoletov, A. 6
strontsium 154
suhteline magnetiline läbitavus 33
sulgvõre 175
sumblüli 117
sumbrakk 119
summutusfilter 522
summutuskondensaator 402
summutusvõre 175
summutusvõre modulatsioon 322
superheterodüün- ehk supervastuvõtja 380, 442
superkõrgsagedus 66, 190
superkõrgsagedustehnika 371
superregeneratiivdetektor 376, 386
superegeneratiiv-vastuvõtja 442
supervastuvõtja reguleerimine 525
suunaja 388
suunavus, antenni 414
suundantenn 432
sädemefilter 345
südamiktüüpi trafo 127, 129
sümmeetriline vastuvõtuantenn 437
sünkroniseerimispulsid 352
sünkroonsus 533, 537
süsimikrofon 325
süsinikteras 36
süütepinge 208

takisti 16, 515
takistus 15
takistuse temperatuuritegur 16
takistus-mahtuvuslik ostsillaator 306
takistussidestuses võimendaja 214, 232, 268
tantaal 154
tasakaalustamata atenuaator 119
tasakaalustatud atenuaator 119
tasakaalustatud elektromagnetiline valjuhääldaja 327
tastimine 253, 343
tastimine elektronlambiga 347
tastimislülitused 346
tehniline sagedus 66
telefonisaatja 476
telegraafitähestik 511
televisioon 350, 531
televisioonijaam 201
televisioonisaatja 546
televisioonisagedus 534
televisioonivastuvõtja 547
televisioonkujutis 535
terituslülitus 353
termiline emissioon 20, 153
termosidestusega mõõteriist 489
termostaat 298
tetrood 170
tiratron 159
toitevoolu tastimine 347
toorium 154
torieeritud volfram 154
traattakisti 16
transformaator 37, 125
transformaatorsidestuses võimendaja 214, 238, 271
transitron-ostsillaator 306
transmissioonliin 99

transmissioonliinilõik 106
trimmerkondensaator 28, 445
triood 160
triood-heksood 177
triood-heptoodmuundaja 179
tri-tet-ostsillaator 304
troposfäär 405
troposfäärilaine 405
tseerium 154
tseesium 154
tsepeliin-antenn 422
tsükkel 65
tuikeostsillaator 341, 442, 446
tundlik faas 376
tundlikkus 442
tunnusjooned 158, 163, 171
tupiktakisti 433
turmaliin 115
tõrulamp 183
tõus, elektronlambi 162
täistee-alaldaja 389
täistsükli-alaldaja (õgvendaja) 384, 389, 392
täppimine 198, 203, 532
täppimisvool 534
töö-eelpinge 399
tööpinge 26
tööriistad ja -vahendid 517
tühjenemine, elemendi 63
tüürvõre 160
Tšernõšov, A. 7

ultrakõrgsagedus 66
ultravioletne valgus 21, 206
universaalne mõõteriist 492
universaalne mõõtesild 492
uraan 15, 154
urdoks-takisti 208

vaakum 24
vaakum-fotorakk 206
vahelduvvool 35
vahelduvvoolu komponent 388
vahelduvvooluvõrk 388
vahepulsid 352
vahesagedus, v.-s. 318, 446
vahesagedustrafo 454
vahesagedusvõimendaja 381, 442, 452
valguse kiirus 66, 102
valjuhääldaja 326
valgustundlikkus 207
V-antenn 432
variaabel-mü lamp 176
variomeeter 54
varivõre 170
varivõrepentood 176
varivõrepinge 171
varivõretetrood 170
varivõrevool 171
varjestamine 94, 521
varjestatud poolid 49
varutud energia 25
vaseskadu 127
vaskoksüduul-õgvendaja 371
vastastaktlülitus 215, 224
vastastakt-sageduspaljundaja 295
vastusidestus 248
vatt 18, 54
vattsekund 54
vatt-tund 54
veeber 32
veerandlaine pikkusega liin 103
veerandlaine resonaator 112
veerimiskood 512
vertikaalselt polariseeritud laine 404
vibraator 401
vibraatoralaldaja 388, 402
viie elektroodiga lamp 175
vilkumine 533
viivitusega ATR 459
viivitusfilter 345
vilgukivikondensaator 27
volfram 154
volframteras 36
volt 23
voltmeeter 490
voolumuundaja 387
voolupuhm 97
voolupulss 96, 351
vooluresonants 87
voolusõlm 97
vooluring 18
voolutrafo 490
voolutugevus 18
võimendatud ATR 459
võimendus 211
võimendustegur 162
võimsusdetektor 368
võimsuse absorbeerimine 27
võimsusekspander 260
võimsuse nõrgendamine 118
võimsuskadu 17, 26, 141
võimsuse kompressor 258, 259
võimsuspentood 176
võimsustegur 72, 74
võimsustetrood 170, 173
võimsusvõimendaja 214
võimsus-õõsresonaator 193
võnkering 82
võnkumisfaas 376
võre 160
võre-anood-ostsillaator 304
võredetektor 365
võre-eelpinge tastimine 347
võre-eelpinge toide 397
võrekondensaator 367
võrekoormus 227
võremodulatsioon 318, 321
võremoduleeritud võimendaja 321
võreneutraliseerimine 286

võrepinge 160
võrepingemoduleerimine 275
võrevool 161, 212, 365
võrevoolu kaod 277
võrgumüra 315
võtmehäired 343
väljatugevusmõõtja 508
väljumistrafo 221
väljundfilter 402
väljundimõõtja 501
väljundvõimsus 166

X-lõik 117

Y-lõik 117

šassii 515
Šuleikin, M. 7
šunttakistus 277, 490

õgvendaja 158, 389
õgvendamine 158, 360
õgvenduslamp 159
õhkdepolarisaator 63
õhkkondensaator 27
õhupilu 48
õhupilu, optimaalne 141
õõnesliin 108
õõsresonaator 112, 189, 193
õõtsuv paispool 395

örsteed 32

üheastmeline kristalliga tüüritav saatja 473
ühejuhtmeline kõrgsagedusliin 98
ühisinduktiivsus 53
ühtluspulsid 539
ühtne liit-pöördkondensaator 28
ülekandeheadus 442
ülekandesuhe, trafo 126, 140
ülekandeteravus 533
ülemoduleerimine 332
üle rea täppimine 535
ülikõrgsagedus, ü.-k.-s. 66
ülikõrgsageduslik saatja 481
ülikõrgsageduslik superregeneratiiv-vastuvõtja 470
ümar-õõnesliin 111

SISUKORD.

Saateks 3

A. SISSEJUHATUS.

Raadioamatörism Nõukogude Liidus 5

Esimene osa.

ELEKTRI- JA RAADIOTEOORIA ALUSEID.

B. RAADIOTEOORIA ALUSEID.

I. Raadioside põhimõte 13

II. Elektri olemus 14

1. Elektronid 14
2. Isolaatorid ja elektrijuhid 15
3. Takistus 15
4. Takistite tüüpe 16
5. Elektrivool 17
   a) Elektrivool metallis 17
   b) Elektrivool vedelikes 18
   c) Elektrivool gaasides 19
   d) Elektrivool vaakumis 20
6. Elektrivoolu suund 21

III. Elektriväli 22

7. Elektrivälja mõiste 22
8. Potentsiaalide vahe. Elektromotoorne jõud 22
9. Mahtuvus 23
10. Kondensaator 24
11. Dielektriku läbilöögipinge 25
12. Kondensaatori kaotegur 26
13. Dielektriku temperatuuritegur 26
14. Praktilisi kondensaatorite tüüpe 27
    a) Püsivkondensaatorid 27
    b) Muudetava mahtuvusega kondensaatorid 27

IV. Magnetväli 29

15. Magnetvälja mõiste 29
16. Magnetring 31
17. Püsivmagnetid 36
18. Elektromagnetiline induktsioon 37
19. Elektrivoolu energia muundumine 37

20. Induktiivsus 38
21. Poolide ja juhtmete induktiivsus 40
a) Poolide liigitus 40
b) Sirge ümmarguse vaskjuhtme induktiivsus 40
c) Kahe rööbitise ümmarguse vaskjuhtme induktiivsus 41
d) Ühekihilise õhksüdamikuga silinderpooli induktiivsus 41
e) Mitmekihilise õhksüdamikuga silinderpooli induktiivsus 42
f) Raudsüdamikuga kõrgsageduspoolide induktiivsus 44
g) Raudsüdamikuga madalsageduspoolide induktiivsus 46
h) Varjestatud poolide induktiivsuse korrigeerimine 49
i) Ühekihiliste silinderpoolide omamahtuvus 52
22. Ühisinduktiivsus 53

V. Alalisvool 54
23. Elektriline töö, energia ja võimsus 54
24. Ohmi seadus 55
25. Järjestikune vooluring 55
26. Rööbitine vooluring 57
27. Pingejagaja 59
28. Ajakonstant 61
29. Alalisvoolu allikad 62
a) Primaarsed elemendid 62
b) Sekundaarsed elemendid 63

VI. Vahelduvvool 65
30. Üldmõiste 65
31. Sagedus 65
32. Vahelduvvoolu kuju ja väärtused 67
33. Vahelduvvoolu faas 70

VII. Vahelduvvooluring 71
34. Induktiivsus vahelduvvooluringis 71
35. Induktiivtakistus 72
36. Mahtuvus vahelduvvooluringis 73
37. Mahtuvustakistus 74
38. Takistus vahelduvvooluringis 75
39. Impedants 75
40. Takistus, induktiivsus ja mahtuvus vahelduvvooluringis 77
41. Kõrgsagedustakistus 79
a) Pöörisvoolud 79
b) Pinnaefekt 79
c) Dielektrilised kaod 80
d) Hüstereeskaod 80
e) Kiirguskaod 80
42. Poolide ja kondensaatorite hindetegur Q 80

VIII. Võnkering 82
43. Üldmõiste 82
44. Järjestikune võnkering 83
45. Rööbitine võnkering 87

IX. Sidestatud võnkeringid 90
46. Üldmõiste 90
a) Otsesidestus 90
b) Kaudne sidestus 91
47. Kõrgsagedustransformaator 92
48. Kahjulikud sidestused 93

X. Kõrgsagedusliinid 96
49. Üldmõiste 96
50. Ühejuhtmeline kõrgsagedusliin 98
51. Kahejuhtmeline kõrgsagedusliin 98
52. Transmissioonliin 100
a) Häälestamata transmissioonliin 100
b) Häälestatud transmissioonliin 102
c) Transmissioonliin võnkeringina 104
53. Õõnesliin 108
54. Eriliiki võnkeringid 114
a) Keskendatud *LC*-resonaator 114
b) Pottresonaator 115
c) Liblikresonaator 115
d) Piesoelektrilised kristallid 115
55. Kunstlikud liinid 117
a) Sumblülid ehk atenuaatorid 118
b) Sagedusfiltrid 121

XI. Madalsageduslikud ülekandeseadmed 125
56. Madalsagedustransformaator 125
a) Üldiselt 125
b) Jõutrafod 128
c) Väikese võimsusega jõutrafo arvutus 128
d) Pingevõimendustrafod 134
e) Sobitustrafod 137
f) Sobitustrafode arvutamine 138
57. Detsibell 144

Teine osa.

RAKENDUSLIKKE PÕHIALUSEID.

C. ELEKTRONLAMBID.

I. Elektronlampide teoreetilisi aluseid 153
1. Termiline emissioon 153
2. Katood ja anood 155

II. Elektronlampide põhitüüpe 157
3. Kahe elektroodiga lamp — diood 157
a) Kahe elektroodiga vaakumlamp — diood 157
b) Elavhõbeda auruga täidetud õgvenduslambid 159
c) Gaastriood — tiratron 159
d) Elavhõbe-kaarõgvendaja 160

4. Kolme elektroodiga lamp — triood 160
a) Trioodi üldomadusi 160
b) Trioodi iseloomustussuurusi 162
c) Dünaamilised tunnusjooned 166
d) Anood- ja võreringi pingete nihkumine faasis 168
e) Lambi elektroodidevahelised mahtuvused 169
5. Mitmevõrelised lambid 170
a) Nelja elektroodiga lamp — tetrood 170
b) Varivõretetrood 170
c) Võimsustetrood 173
d) Ruumlaenguvõrega tetrood 175
e) Viie elektroodiga lamp — pentood 175
f) Kuue elektroodiga lamp — heksood 177
g) Seitsme elektroodiga lamp — heptood 178
h) Kaheksa elektroodiga lamp — oktood 179
i) Liitlambid 179
6. Lampide sisendtakistus 180

III. Üli-, ultra- ja superkõrgsageduslambid 183
7. Miniatuursed lambid 183
8. Eriliiki elektronseadised 186
a) Magnetron 186
b) Kiirusmodulatsioonlamp 190
c) Klüstron 193

IV. Eriotstarbelised lambid 194
9. Katoodkiirtetoru 194
a) Kallutatava elektronivihuga toru 194
b) Häälestusindikaator 197
10. Ikonoskoop 198
11. Kujutise lahutaja 202
12. Ortikon 202
13. Elektronpaljundaja 203
14. Fotorakud 206
15. Regulaatorlambid 207
a) Barreter 207
b) Pingestabilisaatorid 208

D. VÕIMENDAJA TEOORIA.

I. Elektronlamp võimendajana 211
1. Võimenduse põhimõte 211
2. Võimendajate liigitus 214

II. Madalsagedusvõimendaja 215
3. A-klassi pingevõimendaja 215
a) Pingevõimendaja trioodiga 215
b) Pingevõimendaja pentoodiga (tetroodiga) 217
c) Elektroodidevahelise mahtuvuse mõju 218

4. A-klassi võimsusvõimendaja 219
a) Võimsusvõimendaja trioodiga 219
b) Võimsusvõimendaja pentoodiga (tetroodiga) 222
c) A-klassi vastastakt- (puš-pull) võimendaja 224
5. B-klassi võimendaja 227
6. AB-klassi võimendaja 229
a) AB_1-klassi lülitus 230
b) AB_2-klassi lülitus 231
7. Sidestusviise ja põhilülitusi 231
a) Takistussidestus 232
b) Paispoolsidestus 237
c) Transformaatorsidestus 238
d) A-klassi võimsusvõimendaja 241
e) B-klassi võimendaja 241
f) AB-klassi võimendaja 244
g) Võimenduse loomulikud piirid 244
8. Erilülitusi 246
a) Faasipöörde-lülitusi 246
b) Alalispinge võimendaja 249
c) Regenereeruv ja degenereeruv tagasiside 252
d) Võimsuse kompressioon ja ekspansioon 258
e) Katoodjärgija 263
f) Segustuslülitused 264

III. Kõrgsagedusvõimendaja 267
9. A-klassi kõrgsagedusvõimendaja 267
a) Takistussidestuses ja paispoolsidestuses pingevõimendaja 268
b) Pingevõimendaja häälestatud võnkeringiga 269
c) Maandatud võrega pingevõimendaja 271
d) Trafosidestuses pingevõimendaja 271
e) Ribaläbivusfiltriga võimendaja 274
10. B- ja C-klassi kõrgsagedusvõimendajad 275
a) B-klassi kõrgsagedusvõimendaja 275
b) C-klassi kõrgsagedusvõimendaja 278
c) C-klassi moduleeritud võimendaja 291

E. OSTSILLAATORID.

I. Üldiselt 297
1. Ostsillaatorite iseloomustus 297
2. Sageduse stabiilsus 297

II. Ostsillaatori põhitüüpe ja lülitusi 299
3. Tagasiside põhimõttel toimivad ostsillaatorid 299
a) Induktiivse tagasisidega ostsillaatorid 299
b) Mahtuvusliku tagasisidega ostsillaatorid 300
c) Elektronilise tagasisidega ostsillaator 301

4. Kristalliga tüüritavad ostsillaatorid 302
a) Üldiselt 302
b) Kristall-ostsillaatori põhilülitusi 302
c) Kristall-ostsillaatori häälestamine 303
5. Sageduspaljundajad kristall-ostsillaatorid 304
a) Tri-tet-lülitus 304
b) Võre-anood-ostsillaator 305
6. Eri liiki ostsillaatorid 305
a) Dünatron-ostsillaator 306
b) Transitron-ostsillaator 306
c) Takistus-mahtuvuslikud ostsillaatorid 306
d) Lahendusvoolu-ostsillaatorid 307
e) Pendel-ostsillaator 308
f) Huumlamp-ostsillaator 309

III. Ülikõrgsageduslikud ostsillaatorid 309
7. Pott-ostsillaator 310
8. Kahejuhtmelise liinilõiguga ostsillaatorid 310
9. Koaksiaalliinilõiguga ostsillaatorid 312

F. MODULEERIMINE JA TASTIMINE.

I. Moduleerimine 315
1. Üldiselt 315

II. Amplituudmodulatsioon 315
2. Amplituudmodulatsiooni põhimõte 315
3. Anoodmodulatsioon 318
a) Üldiselt 318
b) Anoodmodulatsiooni lülitusi 319
4. Võremodulatsioon 321
5. Katoodmodulatsioon 323
6. Lisaseadmed 324
a) Mikrofonid 324
b) Valjuhääldajad 326
c) Eelvõimendajad 328
7. Telefonisaatja töökontroll 329

III. Sagedusmodulatsioon 334
8. Üldiselt 334
9. Faasmodulatsiooni põhimõte 334
10. Sagedusmodulatsiooni põhimõte 335
11. Sagedusmodulatsiooni lülitusi 339

IV. Tastimine 343
12. Tastimise põhimõte ja iseloomustus 343
13. Tastimislülitusi 345
a) Sädemefiltrid 345
b) Viivitusfiltrid 345
c) Anoodringi tastimine 347
d) Võre-eelpinge tastimine 347

e) Katoodtastimine 347
f) Toitevoolu tastimine 347
g) Tastimine elektronlambiga 347
V. Aeg- ja pulssmodulatsioon 348
14. Aegmodulatsioon 348
15. Pulssmodulatsioon 350
a) Pulssmodulatsiooni põhimõte 350
b) Pulss-tehnika 353

G. DEMODULEERIMINE.

I. Amplituudmoduleeritud vahelduvpingete demoduleerimine 359
1. Üldiselt 359
2. Diooddetektor 359
3. Võredetektor 361
4. Võimsusdetektor 365
5. Anooddetektor 368
6. Katooddetektor 368
7. Kontaktdetektorid 369
II. Detekteerimise erivormid 370
8. Regeneratiivdetektor 371
9. Superregeneratiivdetektor 371
10. Sagedusmuundamine 376
III. Sagedusmoduleeritud vahelduvpingete detekteerimine 380
11. Vastuvõtu põhimõte 381
12. Sagedusmoduleeritud detektori lülitus 381
a) Piiraja 382
b) Diskriminaator 382
383

H. RAADIOSEADMETE TOIDE.

I. Küttetoide 387
1. Küttetoite valik 387
II. Anoodtoide 388
2. Üldised nõuded 388
3. Alaldaja 389
4. Alaldaja filtrid 390
5. Kondensaatorsisendiga filter 392
6. Paispoolsisendiga filter 394
7. Võre-eelpinge toide 397
8. Pingepaljundajad 400
9. Eri toiteseadmed 401

I. RAADIOLAINETE LEVIMINE.

1. Raadiolaine üldisi omadusi 404
2. Levimine ionosfääris 405
3. Levimine troposfääris 410
4. Maalaine levimine 410

J. ANTENNID.

1. Antenni üldisi omadusi 414
2. Poollaine-antenn 415
3. Antenni toitmine 417
4. Sidestamine transmissioonliinidega 420
5. Häälestatud transmissioonliini sidestamine antenniga 423
6. Häälestamata transmissioonliini sidestamine antenniga 425
a) Ühejuhtmeline sidestus 426
b) Punutud liiniga sidestus 427
c) Koaksiaalliiniga sidestus 427
d) Delta-sidestus 427
e) Q-sidestus 428
f) Sidestus transformaatorliinilõiguga 429
7. Pikajuhtmelised antennid 429
8. Ülikõrgsageduslikud antennid 430
a) J-antenn 430
b) Koaksiaal-antenn 430
c) Murtud dipool 431
9. Suundantennid 432
a) V-antenn 432
b) Rombantenn 433
c) Toidetavad ridaantennid 433
d) Parasiit-ridaantennid 435
10. Vastuvõtuantennid 436

Kolmas osa.

RAADIOPRAKTIKA.

K. VASTUVÕTJA EHITUS.

I. Üldisi vastuvõtja ehituspõhimõtteid 441
1. Vastuvõtjale esitatavaid nõudeid 441
2. Häälestamisviise 444

II. Superheterodüün-vastuvõtja 446
3. Supervastuvõtja tööprotsess 446
4. Supervastuvõtja võnkeringide arvutus 447
5. Sagedusmuundaja 451
6. Vahesagedusvõimendaja 452
7. Kristallfilter 455
8. Automaatne tundlikkuse regulaator 457
9. Signaalitugevuse indikaatorid ja mõõtjad 459
10. Mürapiirajad ja -tasandajad 460

III. Vastuvõtjate ehituskirjeldusi 462
11. Kahelambiline regeneratiiv-vastuvõtja 462
12. Kolmelambiline regeneratiiv-vastuvõtja 463
13. Kolmelambiline supervastuvõtja 464
14. Regeneratiiv-supervastuvõtja 466

15. Kahekordse sagedusmuundusega super 468
16. Ülikõrgsageduslik superregeneratiiv-vastuvõtja 470
17. Sageduskonverterid 471

L. SAATJA EHITUS.

1. Saatja plaanimine 473
2. Üheastmeline kristalliga tüüritav saatja 473
3. Kaheastmeline kristalliga tüüritav saatja 474
4. 100...300-vatise väljundvõimsusega telefonisaatja 476
5. Ülikõrgsageduslikud saatjad 481
6. Kantav 60 MHz saate-vastuvõtujaam 482
7. Kantav 400 MHz saate-vastuvõtujaam 484

M. MÕÕTMISTEHNIKA.

1. Üldiselt 487
2. Pöördpool-mõõteriist 487
3. Elektromagnetiline mõõteriist 488
4. Helisageduslike ja kõrgsageduslike voolude mõõteriistad 489
5. Alalisvoolu mõõteriistade lülitamine ampermeetrina ja voltmeetrina . 490
6. Oommeeter 491
7. Universaalne mõõteriist 492
8. Universaalne mõõtesild 493
9. Signaalgeneraator 495
10. Katoodkiirtetoru-ostsilloskoop 497
11. Lamp-voltmeeter 499
12. Väljundimõõtja 501
13. Absorptsioon-sagedusmõõtja (lainemõõtja) 503
14. Standard-sagedusmõõtja 505
15. Antenni mõõtmised 507

N. TÖÖ RAADIOJAAMAS.

1. Üldiselt 509
2. Kuidas saada raadioamatööriks 510
3. Telegraafitähestiku ja jaama töökorra tundmaõppimine 511
4. Amatööri töökord ühendusepidamisel 512

O. RAADIOJAAMA EHITUSPRAKTIKA.

1. Osade ja materjalide valik 514
2. Šassiide valmistamine 515
3. Tööriistad ja -vahendid 517
4. Praktilisi töövõtteid 518
a) Jootmistehnikat 518
b) Kõrgsagedus-kiudtraatide jätkamine 519
c) Kõrgsagedus-paispoolide valmistamine 520

5. Varjestamine 521
6. Antennide püstitamine 523
7. Supervastuvõtja reguleerimine signaalgeneraatoriga 525
8. Supervastuvõtja reguleerimine ilma signaalgeneraatorita 526

Neljas osa.

ERIRAKENDUSALAD.

P. TELEVISIOON.

1. Üldiselt 531
2. Televisiooni üldpõhimõte 531
3. Televisiooniseadmeile esitatavaid nõudeid 533
4. Televisiooni tehnilise seadme lahendamise põhimõtteid 534
5. Televisioon amatööride katsetusalana 543
6. Amatöör-televisioonijaam 543
a) Üldiselt 543
b) Modulaator 544
c) Saatja 546
d) Vastuvõtja 547

LISAD.

1. Amatöör-sagedusastmikud 553
2. Telegraafimärgid 553
3. Q-kood 555
4. Amatöörlühendite kood 558
5. Üldtarvitatavad mitmesugused lühendid 562
6. Signaalide tugevuse, loetavuse ja tooni koodid 564
7. Tähtede veerimise tabel 566
8. Kauguste kaart 567
9. NSV Liidu territoriaalne jaotus tsoonidesse amatöörjaamade kutsungite järgi 568
10. Amatöörjaamade kutsungmärkide kood 570
11. Aja redutseerimistabel 575
12. QSO-näidis 578
13. Jaama päeviku näidis 580
14. Armee Abistamise Vabatahtliku Ühingu kollektiivseid amatöörjaamu 581
15. Takistite ja kondensaatorite värvuste kood 583
16. Elektrijuhtide andmeid 585
17. Dielektrikute andmeid 586
18. Vasktraatide andmeid 588
19. Elektronlampide andmete tabelid 590
20. Lülituslikud leppemärgid 620
21. Elektri- ja raadiotehnilised lühendid 623
22. Valemite tähised 624
Tähestikuline sisunäitaja 627

Õiendusi.

	On trükitud:	Peab olema:
Lk. 34, 18. rida ülalt	$D-B$	$D-B_r$
Lk. 62, 2. rida ülalt	$1=\frac{1}{e}$	$1-\frac{1}{e}$
Lk. 117, tabelis	100...6000 kHz	1000 ..6000 kHz
Lk. 147, 14. rida alt lugeda järgmiselt:		(R_s = 26 700 oomi, R_v=5 oomi)...
Lk. 211, 1. rida alt	I^G	I_G
Lk. 217, 16. rida ülalt	$X_L \approx 2...3\,R$.	$X_L \approx 2...3\,R_i$.
Lk. 223, 10. rida ülalt	$(R_{av}^{1\,2})$	(R_{av})
Lk. 249, 9. rida alt	15 vatti	10 vatti
Lk. 326, 4. rida alt	elektromagneetiline	elektromagnetiline
Lk. 383, 4. rida alt	C_1, C_8, C_7	C_1, C_6, C_7
Lk. 394, joon. 199*a* 6. joonel	350 V	300 V
Lk. 429, 16. rida ülalt	transformaatoriliinilõiguga	transformaatorliinilõiguga
Lk. 588, 9 lahtris	,5	39,5

Vead esinevad trükikoja ja vastutava toimetaja (lk. 249 ja 394) süü tõttu.

Vastutav toimetaja A. Kaskneem.

Kaanejoonise valmistanud
K. Vanaveski.

Keeleline toimetaja M. Arro.

Tehniline toimetaja A. Sepp.

Ladumisele antud 1. II 1949. Trükkimisele antud 8. IV 1950. Trükiarv 5000. Paber 67×95, 1/16. Trükipoognaid 40,5. Formaadile 60×92 kohaldatud trükipoognaid 46,57. Arvutuspoognaid 64,39. MB-02442. Trükikoda „Kommunist", Tallinn, Pikk tän. 2. Tellimise nr. 3256.

Rbl. 20.—

На эстонском языке.

Справочник радиолюбителя.

Rbl. 20.—

A-18468

A-18468

