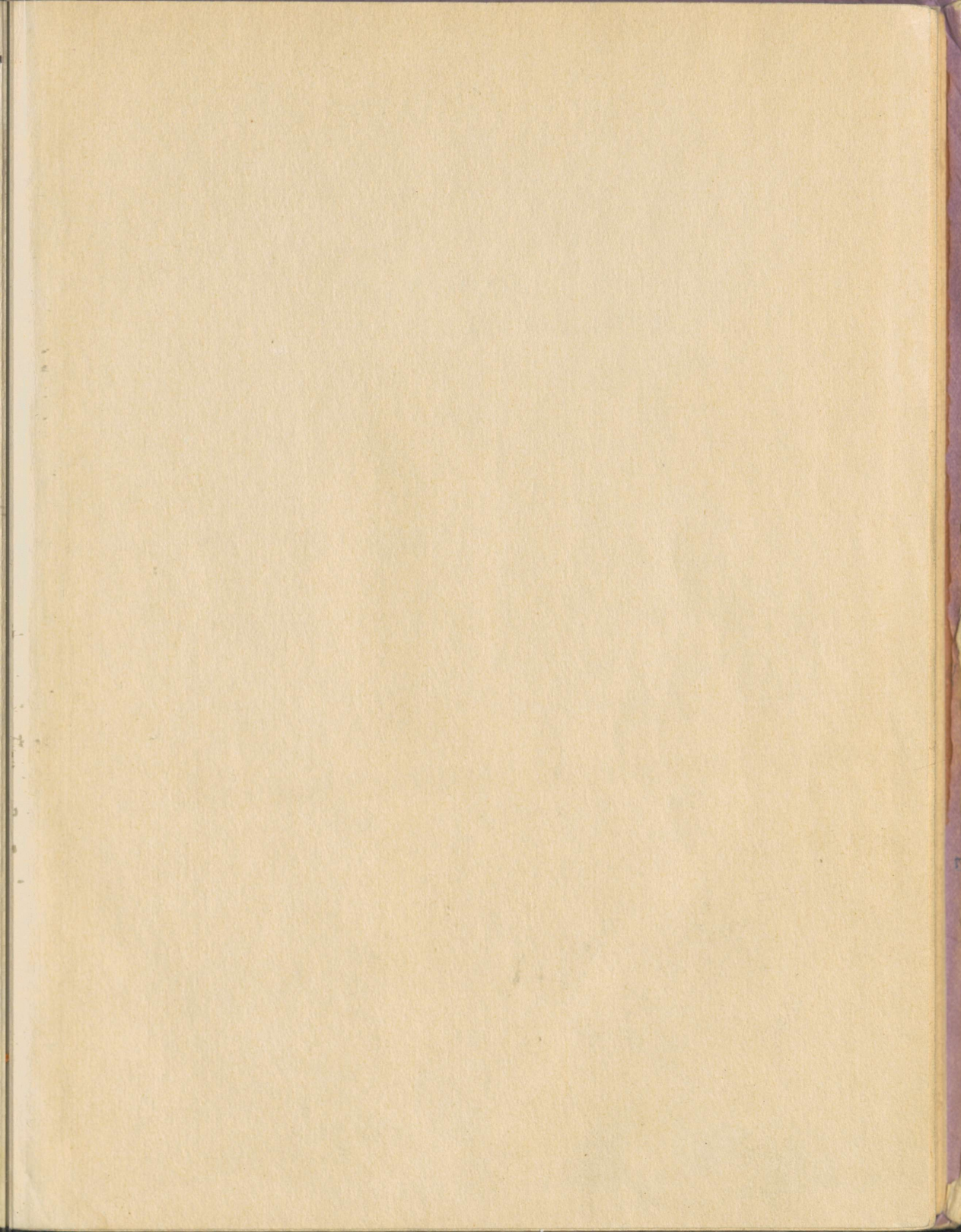


RAADIO?...
SEE ON IMELIHTNE!

84581



RAADIO?...

SEE ON IMELIHTNE!

REASONING
MATHS

A-30255_{III}

E. AISBERG

RAADIO?...

SEE ON
IMELIHTNE!

KIRJASTUS «VALGUS» * TALLINN 1969

Originaali tiitel:
E. Aisberg
La radio?.. Mais c'est très simple!
Société des éditions radio, 1964

Kunstiliselt kujundanud E. Tali

Prantsuse keelest tõlkinud H. Pedusaar

УДК 621.37/39

Э. АЙСБЕРГ. РАДИО?.. ЭТО ОЧЕНЬ ПРОСТО! 1969

В книге рассказывается о том, как устроен и работает современный радиоприемник. Рассказ ведется в форме непринужденных бесед между опытным и начинающим радиолюбителями. Беседы иллюстрируются занимательными рисунками.

Рассчитана книга на широкий круг читателей, желающих ознакомиться с радиотехникой.

Иллюстраций 166.

Nimeka prantsuse popularisaatori dialoogivormis kirjutatud teoses kõnelevad kogemustega raadioamatöör ja algaja raadiohuviline sellest, kuidas on ehitatud ja töötab kaasaegne raadiovastuvõtja. Raamat on mõeldud kõikidele nendele, kes soovivad tutvuda raadiotehnika algetega.

2

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu

84581

SAATEKS EESTIKEELSELE VÄLJAANDELE

Eugen Aisbergi nimi raadiotehnika popularisaatorina on viimase nelja aastakümne üldtuntuks muutunud. Tema raadiotehnika algmetest jutustav ja paljudes keeltes, sealhulgas 1931. aastal ka eesti keeles ilmunud raamat «Nüüd ma tean!» on omal ajal õpetanud seda tehnikaharu armastama terve põlvkonna noori, kelle ridadest on võrsunud rohkesti hilisemaid raadioinsenere ja teadlasi.

Käesolev dialoogivormis kirjutatud raamat «Raadio? ... See on imelihtne!» nägi algkujul päevavalgust 1935. aastal ja seda saadab tänaseni kestev menu. Ligi kolmkümmend kordustrukki kokku 360 000 eksemplaris on sellest teosest ilmunud ainuüksi Prantsusmaal, seda on tõlgitud tänaseni ligi kahekümnesse keelde.

E. Aisberg on jätkanud oma tegelaste Targaste ja Huviste vestlusi ka järgmistes raamatutes: «Televisioon? ... See on imelihtne!», «Transistor? ... See on imelihtne!» ning — koostöös J. P. Doury'ga «Värvitelevisioon? ... See polegi nii lihtne!».

E. Aisbergi «Raadio? ... See on imelihtne!» käesolevale eestikeelsele tõlkele on lisatud viimase venekeelse väljaande (Айсберг Е. «Радио? ... Это очень просто!» Издание второе, переработанное и дополненное. Издательство «Энергия», Москва, Ленинград, 1967) jaoks autori poolt kirjutatud vestlus helisalvestusest. Ka on tõlkimisel tehtud mõningaid pisimuudatusi, -lühendusi ja -täiendusi kohtades, kus see näis raadiotehnika kiiret arengut ning originaali soliidset iga silmas pidades tarvikuna. Joonised on säilitatud üldiselt algkujul, kuid on kasutatud uusi tingmärke. Kõige suuremaks iseärasuseks on seejuures, et elektronlampide tingmärgid on vastavalt omaaegsele inglise ning prantsuse raadiotehnilisele kirjandusele «küljeli»-asendis, millega meie lugeja kokku puutunud pole.

Tõlkija

KELLELE ON SEE RAAMAT MÕELDUD!

See raamat pole ei vormilt ega sisult sarnane ühegi teisega.

Veeristel paiknevad andeka kunstniku Guilaci joonised võiksid viia mõttele, et tegemist on lasteraamatuga.

Tegelikult on «Raadio? ... See on imelihtne!» kirjutatud *nii algajatele kui ka igas vanuses raadiotehnikutele*.

Algaja leiab sellest hõlpsalt omandataval ning lihtsal kujul elektro- ja raadiotehnika alused ning kaasaegsete raadiovastuvõtjate talitluspõhimõtted. Eelteadmised elektrist ja füüsikast pole raamatu lugemiseks vajalikud. Tarvilikud põhiteadmised nimetatud teadusharudest leiduvad tekstis seal, kus nende tundmine on raadio olemuse mõistmiseks tarvilik.

Tähelepanelikul lugemisel saab algaja erilise vaevata süveneda raadiotehnika niinimetatud saladustesse — ühte kõige huvitavamatest tehnikaharudest, mis päevast päeva tungib kõikidele meie elualadele ja vabastab meid lõplikult sõltuvusest ajast ja ruumist.

Kui see raamat on tulus algajale, siis pole ta ka vähem kasulik oma teadmisi süstematiseerivale tehnikule. Tänu raadiotehnika hoogsale arenemisele on sellel alal tegutsejate mälusse kogunenud rohkesti hajuvil ideid, mida tuleb viia loogilisse süsteemi. Pealegi on kõrgemate koolide klassikaliste õpikute selleotstarbeline kasutamine raskendatud, sest enamasti käsitletakse nendes nähtusi liiga matemaatiliselt ja abstraktselt.

Just «mõtete korrastamise» seisukohalt saab tehnik selle raamatu lugemisest kasu. Autor on hoolitsenud igale uuritavale nähtusele konkreetse füüsikalise kujundi andmise eest.

Selleks et populariseerida, pole tarvis olla vulgaarne. Selleks et olla lihtne, pole tarvis kõike lihtsustatult selgitada. Selleks et olla tõsine, pole tarvis olla igav.

Autor loodab, et tal on neid halva populariseerimise kolme komistuskivi õnnestunud vältida. Oma seletustes tugineb ta pidevalt kaasaegse teaduse põhimõtetele. Ta on otsustavalt loobunud «lihtsustamisest», mis hävitaks tõe.

Akadeemilise kuivuse vältimiseks kasutas autor raamatu sisu elavat ja hõlpsat omandamist soodustavat vestluse vormi. Seal-

juures on võimaldanud tema kauaaegne popularisaatoritegevus hoida lugejat kõikvõimalike püüniste eest.

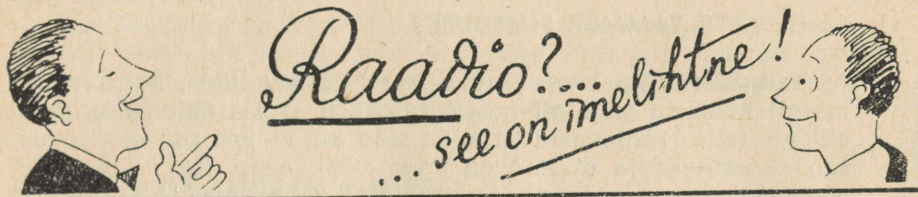
Mitte pretendeerides olla konstrueerimisjuhend, ei ole see raamat vähem kasulik nendele, kes soovivad raadioseadmete ehitamisega praktiliselt tegelda. Otsustavalt kõrvale jättes vananenud, seadis autor enesele ülesande selgitada lugejale *kaasaegsetes vastuvõtjates kasutatavaid uusimaid põhimõtteid*. Selle eesmärgini jõudmiseks, samaaegselt mitte oluliselt suurendades raamatu mahtu ja koormates lugejat, pidi autor tavalisest esitusviisist loobuma ja paljusõnalisust vältima. Vaatamata omalaadsele välisilmele sisaldab käesolev raamat kokkuvõtlikult väga olulisi tehnilisi andmeid; seepärast tuleb seda lugeda aeglaselt, siirdudes järgnevale leheküljele alles pärast seda, kui eelneva sisu on lõplikult omandatud.

Kui see raamat soodustab teadmiste levimist ja sisendab armastust raadio vastu — siis võib autor olla õnnelik, et ta on saanud anda oma tagasihoidliku panuse selle suurepärase teaduse levitamise üritusse.

MIS ON ESITATU OMANDAMISEKS VAJALIK!

Selle teose põhiosa moodustavad «vestlused», millele enamasti järgnevad kommentaarid. Nendel on kahesugune otstarve: mõnikord peavad nad süvendama käsitletut ja mõnikord täiendama seda teatavate küsimuste seletustega.

- Raamatu sisu maksimaalseks omandamiseks tuleb pärast iga vestluse lugemist tutvuda vastavate kommentaaridega.
- Tõsi, esmasel lugemisel võib need siiski kõrvale jätta, kuid soovitatav on lugemist korrata ja pärast iga vestlust uurida selle juurde kuuluvaid kommentaare.
- Ei tuleks lugeda üle ühe vestluse päevas. Värskeatele teadmistele tuleb jätta aega «ladestumiseks».
- Soovitatav on väga hoolikalt ja tähelepanelikult analüüsida kõiki esitatud skeeme. Parimaks harjutusülesandeks on kõikide vooluahelate detailne uurimine.
- Tuhanded inimesed paljudes maades on tutvunud raadiotehnikaga selle raamatu abil (ainuüksi Prantsusmaal on ta levinud 360 000 eksemplaris).
- Küllaldase tahte ja järjekindluse olemasolul järgnete Teiegi nendele ja veendute raamatu pealkirja põhjendatuses.



TEGELASED

Kõigepealt üks väga meeldiv noormees, **Targaste**, kes kunagi sai ettekujutuse raadiotehnikast oma onult, insener **Radioliit**. Autor on nende vestlustest jutustanud raamatus, mis saavutas suure menu (on tõlgitud 22 keelde), kuid mis käesoleval ajal ei vasta enam tehnika praegusele tasemele. Praegu on **Targaste** 18-aastane. Ta pole kaotanud ei kunagist juurdlevat loomu ega loobunud noorusvaimustusest. Ta on kogemustega radioamatöör, kes omakorda suudab selle teaduse teooriat selgesti sõnastada. Igatahes oli ta juba oma varasest noorusest peale üks hämmastamapanev poiss... **Huviste**?... Te ei tunne teda? See on inimeseks kehastunud võhiklikkus. Lõplikult tülli läinud matemaatikaga, omandas ta suuri vaevu ettekujutuse füüsika algmetest. Ta on iseenesega pidevas vastuolus — teda valdab teadmishimu ja hirm, et ta midagi ei taipa. Sellegipoolest, vaatamata oma neljateistkümnele eluaastale, pole ta kaugeitki rumal. Hoopiski mitte! Selles te võite veel järgnevas veenduda...



L.

VESTLUS

Selles vestluses selgitatakse elektri põhimõisteid. Elektroniteooriale tuginedes õnnestub Targastel väga arusaadaval viisil jutustada aine ehitusest, mis hõlbustab järgnevate vestluste mõistmist.

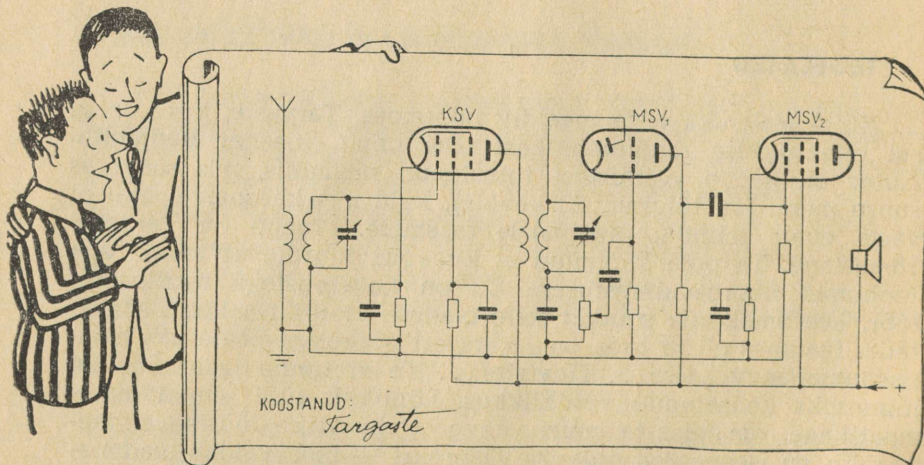
HUVISTE TAMMUB PIMEDUSES



Targaste: Võta istet, Huviste, ja luba selgitada, millisel eesmärgil kutsusin sind nii ootamatult. Mu armas tädi palus mind ehitada talle raadiovastuvõtja. Sa tead ka, et just praegu valmistun eksamiteks ja et mul on väga vähe aega. Kas võin loota, et aitaksid mind selle raadiovastuvõtja valmistamisel?

Huviste: Väga meelsasti... kuid mida ma oskan teha? Raadiotehnikast ei taipa ma midagi.

T.: Raadio?... Kuid see on ju imelihtne!... Selgitan sulle kõike hõlpsasti. Vaata, siin on skeem, mille joonistasin tädi vastuvõtja jaoks (joonis 1).



Joonis 1. Targaste joonistatud tulevase vastuvõtja skeem.

H.: Kuid see on pagana keeruline!

T.: Siin on aga lamp, mille ostsin tulevase vastuvõtja jaoks. Tädi annab mulle vähehaaval kõik detailide ostmiseks tarvilikud ressursid.

H.: Mulle tundub, et see lamp pole suurem asi. Ta balloon on ju peaaegu täiesti läbipaistmatu ja kindlasti valgustab väga viletsasti.

T.: Oh sa suur lambapea! See lamp pole üldse mõeldud valgustamiseks. Ta on kaudküttega võimenduspendood.

H.: Kasutades neid barbaarseid sõnu sa lihtsalt pilkad mind. Sooviksin siiski viibimata lahkuda.

T.: Oota. Ma selgitan sulle järjekorras kõike. See on eriline lamp, milles elektronid voolavad negatiivselt katoodilt positiivsele anoodile.

H.: Taga targemaks läheb. Tuleb välja, et vool siirdub negatiivselt pooluselt positiivsele. Aga miks sisendati minusse juba lapsepõlvest vastupidist, et vool läheb positiivselt pooluselt negatiivsele? Kuidas seda kõike ikkagi mõista?»

TARGASTE ALUSTAB ALGUSEST

T.: Tõepoolest, oleme sunnitud alustama elektriõpetuse algmete selgitamisest, sest sul on vanade kooliõpikute uurimise tulemusena kujunenud nendest väär ettekujutus. Kas sa vähemalt tead, mis on *aatom*?

H.: Muidugi, see on aine vähim osake, mis ka seepärast on jagamatu.

T.: Seda ma ootasin! Kuid taoline seisukoht on ammugi vana-nenud. Võta siiski teadmiseks, et tollal, kui sinu vana füüsikaõpetaja ülikooli lõpetas, oldi raudselt veendunud, et aatom on lõhestamatu. Tänapäeval on aga täpselt teada, et ta koosneb veelgi väiksematest osakestest...

H.: ...mis tõenäoliselt omasoodu jagunevad samuti veelgi väiksemateks osakesteks?

T.: Võimalik, et neid hakkavad uurima meie lapsed. Seni aga loetakse aatom elektronidest ja tuumast koosnevaks. Tuum omakorda koosneb prootonitest ja neutronitest. *Elektronid* on elektri negatiivsed algaengud, *prootonid* — elektri positiivsed algaengud, aga *neutronid* on osakesed, millel elektrilaeng puudub. Elektronide ja prootonite vahel valitseb külgetõmbejõud.

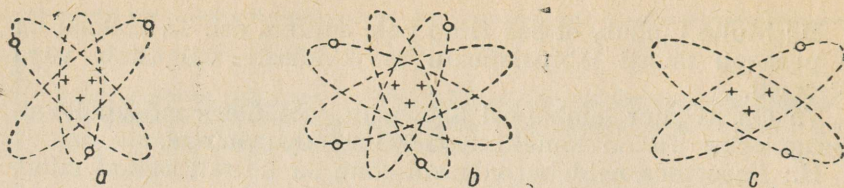
H.: Nad on siiski mõningal määral üksteisega liidetud?

T.: Ei, nii see pole. Esiteks on nad kõik liikumises, teiseks esinevad nende vahel vastastikused jõud. Ühenimeliste laengute (elektronide ja elektronide, prootonite ja prootonite) vahel mõjuvad tõukejõud, elektronide ja prootonite kui erinimeliste osakeste vahel aga tõmbejõud. Kuna elektronid liiguvad ümber tuuma (nagu planeedid Päikese ümber), siis tõuke- ja tõmbejõud aatomis tasakaalustuvad (joonis 2).

H.: See on tõeline miniatuurne päikesesüsteem!

T.: Täiesti õige. Tähelda nüüd, et kui aatomis on elektrone





Joonis 2. Aatomi ehituse skeem (ristidega on tähistatud prootonid, ringidega — elektronid): a — neutraalne aatom; b — negatiivne aatom; c — positiivne aatom.

ja prootoneid võrdselt, siis on ta *neutraalne*. Kui elektrone on prootonitest rohkem, siis ületab negatiivne laeng positiivse laengu ja aatom muutub *negatiivseks*. Lõpuks...

H.: ... kui elektrone on prootonitest vähem, siis osutub aatom *positiivseks*.

T.: Suurepärane. Näen, et saidki aru.

TERVE MÕISTUS POOLDAB TASAKAALU

H.: Sooviksin siiski teada, kuidas aatom võib positiivseks või negatiivseks muutuda.

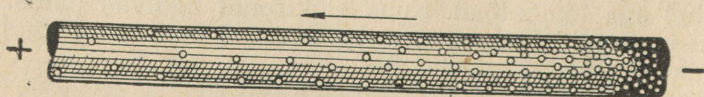
T.: Tuumast kaugemal tiirlevatele elektronidele mõjub nõrk tõmbejõud. Sellise naaberaatomi tõmbejõu piirkonda sattumisel, milles ei piisa elektrone, hülgavad kaugemad elektronid oma aatomi, et naaberaatomi elektrilist seisundit täiendada või tasakaalustada.

H.: Just nagu jaapanlased...

T.: Ma ei taipu, milleks siinkohal Tõusva Päikese Maa pojad...

H.: Kuidas siis! Jaapan on ülerahvastatud ja jaapanlased emigreeruvad maadesse, kus rahvastiku tihedus on väiksem.

T.: Nagu sulle meeldib... Igal juhul pea meeles, et elektronid siirduvad aatomitest, kus neid on rohkem (negatiivselt laetust), aatomitesse, kus elektrone on vähem (positiivselt laetuisse). Järelkult kui mingil viisil õnnestub metalltraadi ühte otsa koondata negatiivselt laetud aatomeid (milledes valitseb elektronide üleküllus) ja teise otsa koondata positiivselt laetud aatomeid (milledes on elektronide puudujääk), siis hakkavad elektronid



Joonis 3. Elektrivool on elektronide liikumise tulemus.

kuni tasakaalu tekkimiseni siirduma läbi traadi kõigi vahepealsete aatomite ühest aatomist teise kuni hetkeni, mil tasakaal on uuesti jalule seatud (joonis 3). Millises suunas elektronid liiguvad?

H.: Ilmselt traadi negatiivsest otsast positiivse otsa suunas.

T.: Õige. Elektronide sellist korrapärast liikumist nimetataksegi *elektrivooluks* ehk lühemalt *vooluks*.

H.: Vahva!... Nüüd mõistan, miks vool liigub negatiivselt positiivsele..., kuid meie õpetaja kõneles...

T.: Ta kõneles lihtsalt kokkuleppelisest ehk tehnilisest voolusuunast. Siis kui tuli määrata kindlaks voolu suund, valiti selleks suvaliselt suund positiivselt pooluselt negatiivsele, kuivõrd tollal ei olnud veel elektroniteooriat. Pea hästi meeles, et tegelikult liiguvad elektronid negatiivselt pooluselt positiivsele poolusele.

6 000 000 000 000 000 000 ELEKTRONI SEKUNDIS

H.: Äsja sa kõnelesid metalljuhtmest. Ma taipan hästi, et elektrivool läbib ainult metalle. Kuid miks on see nii?

T.: Vool läbib ka hapete ja soolade lahuseid ning sütt. Kõiki neid aineid nimetatakse *elektrijuhtideks*. Niisuguste ainete aatomid sisaldavad palju tuumaga nõrgalt seotud elektrone. Kuid on olemas ka teistlaadi kehad, milledes elektronid on tuumadega nii tugevasti seotud, et nad ei suuda aatomist lahkuda. Taolistes kehtades, mida nimetatakse *isoleeraineteks* ehk *dielektrikuteks*, ei saa elektrivool ilmselt tekkida. Parimatest raadiotehnikas kasutatavatest isoleerainetest võib nimetada kvartsi, eboniiti, merevaiku, bakeliiti, klaasi, mitmesuguseid keraamilisi materjale, parafiini, plastmasse. Isoleerainete ja juhtide vahepealsete omadustega on pooljuhid, näiteks germaanium ja räni, milledest valmistatakse transistore. Kuid nende eriomadustega tutvume teine kord.

H.: Aga mis on parim isoleeraine?

T.: Kuiv õhk.

H.: Aga parim elektrijuht?

T.: Selleks on hõbe. Punane vask on samuti hea elektrijuht ja et ta on hõbedast odavam, kasutatakse seda rohkem.

H.: Miks hõbe on parem elektrijuht kui näiteks vask?

T.: Seepärast, et võrdsetes tingimustes läbib hõbejuhet tugevam vool kui samade mõõtmetega vaskjuhet.

H.: Mida sa nimetad «voolu tugevuseks»?

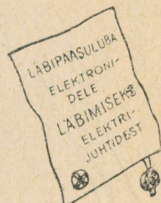
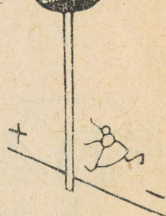
T.: *Voolu tugevuseks* ehk *vooluks* nimetatakse elektronide hulka, mis võtab liikumisest osa.

H.: Järelkult võib kõnelda voolust tugevusega kümme elektroni või tuhat elektroni?

T.: Jah. Kuid praktiliselt mõõdetakse voolu *amprites* (A).



UHE-
SUVALINE
LIKLEMINE



Üks amper vastab 6 000 000 000 000 000 000 elektroni läbimisele sekundis. Ma ütlesin sulle selle arvu ümardatult...

H.: Tänan!...

T.: Väga sageli kasutatakse ka väiksemaid ühikuid: *milliamprit* (mA), mis võrdub $\frac{1}{1000}$ A, ja *mikroamprit* (μ A), mis võrdub $\frac{1}{1\,000\,000}$ A. Nagu näed, on see väga lihtne.

H.: Hoopiski vastupidi, kõik see on pagana keeruline. Aga millest siis voolu tugevus sõltub?

T.: Juhtmele rakendatud pingest ja selle takistusest.

SÕNAD MUUDAVAD TÄHENDUST

H.: Ma eeldan, et «pinge» ja «takistuse» all mõistetakse elektrotehnikas midagi erilist. Umbes nagu ringjoone mõiste...

T.: Aga milleks siin ringjoon?

H.: Jah muidugi! Seni kuni ma polnud õppinud geomeetriat, teadsin väga hästi, mis on ringjoon. Kuid sellest ajast, kui mulle seletati, et see on «geomeetiline koht, mille kõik punktid asetsevad antud punktist võrdsetel kaugustel», lakkasin seda taipamast...

T.: Hea küll! Elektrotehnikas mõistetakse *takistuse* all juhtme omadust avaldada voolule suuremat või väiksemat vastupanu. Ta sõltub juhtme enese olemusest, s. o. nende elektronide kogusest, mis eralduvad hõlpsasti aatomite koostisest. Takistus sõltub ka juhtme pikkusest: mida pikem ta on, seda suurem on juhtme takistus. Lõpuks sõltub takistus juhtme ristlõikest: mida suurem on ristlõikepind, seda rohkem elektrone saab seda üheaegselt läbida ja vastavalt on ka takistus väiksem.¹ Takistust mõõdetakse *oomides* (Ω), tuhandetes oomides ehk *kilo-oomides* ($k\Omega$) ning miljonites oomides ehk *megaoomides* ($M\Omega$). 1 Ω on umbes selline takistus, mida omab 62 meetri pikkune ja 1 mm² ristlõikepinnaga vasktraat.

FILOSOOFILISED ARUTLUSED SUHTELISUSE KOHTA

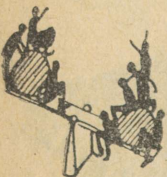
H.: Aga mida tähendab *pinge*?

T.: Pinge — see on teataval määral nagu surve, mida avaldab elektronidele juhtme otstes valitsevate elektriliste seisundite vahe.

¹ Valem? Siin ta on. Takistus R (oomides) sõltub juhtme pikkusest l (sentimeetrites) ja tema ristlõikest S (ruutsentimeetrites):

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Selles avaldises on ρ tegur, mis sõltub juhtme materjalist ja kannab nimetust «eritakistus».



H.: See on pagana keeruline ja udune.

T.: Hoopiski mitte, see on ülilihtne. Nagu rääkisid sulle, määrab elektronide ja prootonite arvude suhe aatomi elektrilise seisundi ehk *potentsiaali*. Kujutle, et juhtme ühes otsas puudub 3000 elektroni, teises otsas puudub aga neid 5000.

H.: Mõlemad on positiivsed. Ja sõandaksin märkida, et juhtme teine ots on positiivsem kui esimene.

T.: Peadki sõandama, sest nii see ka on. Kuid vaatamata sellele, et mõlemad aatomid on positiivsed, võib ka öelda, et nendest esimene on teise suhtes negatiivne.

H.: Vaat sulle säh!... Kõik elus on suhteline.

T.: Loomulikult. Näiteks kahest inimesest, kellel on raha, on kümne frangi omanik vaene võrreldes teisega, kellel on mõnisada franki, kuid rikas kolmanda suhtes, kellele kogu «jõukus» koosneb tuhandefrangilisest võlast. Aatomite maailmas on see aatom, millel on puudujääk kolm elektroni, negatiivsem selle aatomi suhtes, millel puudub kümme elektroni, ja positiivne selle suhtes, millel on ülejääk kaks elektroni. Nende kolme aatomi potentsiaalid on erinevad.

H.: Kuid potentsiaalide erinevust saab mõõta elektronide arvu erinevusega?

T.: Võiks ka niiviisi toimida. Kuid praktiliselt mõõdetakse *potentsiaalide vahet* ehk — mis on seesama — *pinget voltides* (V). 1 volt on pinge, mis tekitab 1-oomise takistusega juhtmes 1-amprise voolu.

H.: Järelikult, kui mõistsin õigesti, on pinge otsekui elektriline rõhk, mis tõukab elektrone juhtme ühest otsast teise?

T.: Täiesti õige. Ja sa mõistatad hõlpsalt, et mida kõrgem on pinge...

H.: ...seda tugevam on vool.

T.: Ja vastupidi, mida suurem on takistus...

H.: ...seda nõrgem on vool.

T.: Niiviisi avastasime veelkordselt elektrotehnika põhilisima reegli — *Ohmi seaduse*. Lühidalt võib öelda, et vool võrdub pinge ja takistuse jagatisega².

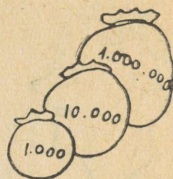
H.: Mulle meenub praegu, et olen sageli lugenud (ehkki pole sellest hästi aru saanud), et elektrivoolu võib sarnastada veevooluga, mis tekib kahe anuma vahelises ühendustorus.

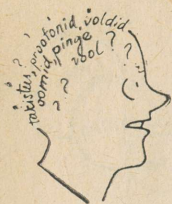
T.: Jah, see on klassikaline «hüdrauliline analoog». Sel juhul vastavad veetasemed kummaski anumal elektripotentsiaalidele. Veetasemete erinevus (või potentsiaalide vahe) on analoogiline pingega. Mida suurem see on, seda intensiivsemaks muutub veevool, mida saab mõõta sekundis toru läbiva vee liitrite arvuga.

² Siin on aga matemaatikute jaoks Ohmi seaduse klassikaline valem:

$$I = U : R,$$

kus I on vool amprites, U — juhtme otste vahel valitsev pinge voltides ja R — juhtme takistus oomides.





Kuid see voolu intensiivsus sõltub ka toru «takistusest». Mida pikem ja peenem on see toru, mida karedam on ta sisesein, seda rohkem on vool takistatud.

H.: Sel viisil valitseb Ohmi seadus ka hüdraulika valdkonda?

T.: Aga muidugi. Kas ei tundu see sulle hästi arusaadavana?

H.: Hakkan tajuma, et minu pealuus on tekkinud tõeline rosolje. Elektronid, prootonid, takistus, oom, pinge, vool, amper, Ohmi seadus... kõik see on pagana keeruline.

T.: Mõtiskle selle üle veelkordselt enne meie eelseisvat vestlust ja sa näed, et kõik see on väga lihtne.

KOMMENTAARID ESIMESELE VESTLUSELE

Potentsiaal, elektrijuhid ja dielektrikud

Selles esimeses vestluses õnnestus Targastel Huvistele selgitada terve hulga tarvilikke mõisteid elektrotehnika alalt. Püüame siin neid kokku võtta.

Kõikide ainete aatomid koosnevad teatavast arvust *elektronidest* ja *prootonitest*. Esimesed kujutavad enesest elementaarseid negatiivseid elektrilaenguid ja teised, mis sisalduvad aatomi tuumas, on elementaarsed positiivsed laengud. Nende laengute koguste suhe määrab aatomi elektrilise oleku ehk *potentsiaali*. Aatom on siis *neutraalne*, kui ta sisaldab niisama palju elektrone kui prootoneid. Ta on *negatiivne*, kui elektronide hulk ületab prootonite hulga, ja *positiivne* vastupidisel juhul.

Tuleb märkida, et antud aatomis jääb prootonite arv alati püsivaks; ainult mõned teatavad elektronid võivad elektronide ja prootonite vahel esinevat tõmbejõudu ületades ühest aatomist teise siirduda. Pealegi esinevad taolised «vabad» elektronid ainult teatavates ainetes, mida nimetatakse *elektrijuhitideks*. Ained, millede aatomid ei sisalda vabu elektrone, kuuluvad *dielektrikute* kategooriasse.

Elektronide ja prootonite kõrval võib aatomi tuum sisaldada *neutrone*, mis suurendavad aatomi massi, kuid ei muuda tema elektrilist olekut.

Elektrivool

Kui elektrijuhid aatomite vahel esineb elektriliste olekute erinevus või *potentsiaalide vahe*, taastub tasakaal tänu liigsete elektronide siirdumisele negatiivselt otsalt — *pooluselt* — positiivsele. Elektronide üleminek elektrijuhid negatiivselt pooluselt positiivsele on *elektrivool*. Elektronide liikumise suund on vastupidine kokkuleppelisele ehk tehnilisele voolusuunale (positiivselt pooluselt negatiivsele), mis võeti kasutusele juba nendel aegadel, kui veel ei tuntud elektrivoolu tegelikkust olemust.

Tuleb märkida et elektronide liikumine piki juhti ei toimu nii lihtsalt, kui seda võiks arvata Targaste selgitusest. Mõõda

elektrijuhti ei liigu selle ühest otsast teise mitte üks ja seesama elektron. Kõige sagedamini siirdub see elektron lihtsalt ühest aatomist selle naaberaatomisse, kust omakorda hüppab järgmise aatomi koostisse hoopis teine elektron jne. Elektronide eneste kiirus on suhteliselt väike, kuid üldine liikumine levib püsiva kiirusega, mis on lähedane 300 000 kilomeetrile sekundis, mis ongi elektrivoolu levimise kiiruseks.



Joonis I. Elektronide liikumine läbi toiteallika ja välisahelas.

Elektrone võib võrrelda raudtee suletud ülesõidukoha ees peatunud autode pika rivi. Kui tõkkepuu tõuseb, hakkab autode jada kiiresti liikuma. Viimane auto stardib õige varsti pärast esimese liikumahakkamist, see ongi voolu kiirus. Kuid iga auto individuaalne kiirus (elektronide kiirus) on sel hetkel suhteliselt väike.

Kui miski ei säilita elektrijuhid otstel potentsiaalide vahet ehk *pinget*, siis pärast elektrilise tasakaalu kujunemist vool juhis lakkab. Selleks et vool kulgeks peatumatult, tuleb pidevalt anda elektrone negatiivse pooluse aatomitele juurde ja eemaldada neid positiivselt pooluselt. Selles ongi iga *elektrienergiat* tootva *vooluallika* ülesanne. Selliseks vooluallikaks ehk *toiteallikaks* võib olla elektripatarei (milles keemiline energia muundub elektrienergiaks), termoelektripatarei (mis muundab soojust elektriks) või generaator, s. o. elektrijaamas üles seatud masin, mis muundab mootori mehaanilist energiat elektrivooluks.

Tuleb märkida, et toiteallika sees liiguvad elektronid positiivselt pooluselt negatiivsele (joonis I), põhjusel, et positiivse

pooluse aatomitest tuleb elektrone kõrvaldada ja tekitada negatiivse pooluse aatomites nende üleküllus. Nii liiguvadki *elektrihelas* ehk *vooluringis* elektronid ühes ja samas suunas.

Volt, amper, oom

Potentsiaalide erinevust (vahet) või pinget, mis esineb elektrijuhil (juhtme) kahe punkti vahel, mõõdetakse ja väljendatakse *voltides*.

Elektronide kogus, mis läbib juhtme ristlõiget sekundis, võib olla suurem või väiksem. See määrab *voolu tugevuse (intensiivsuse)*, mida mõõdetakse *amprites*.

Sõltuvalt pikkusest, ristlõikest ja materjali omadustest avaldab juhe seda läbivale voolule suuremat või väiksemat *takistust*. Takistust mõõdetakse oomides.

Mida pikem on juhe, seda suurem on ta takistus. Kuid mida suurem on juhtme ristlõige, seda väiksem on ta takistus.

Ohmi seadus

Mingi juhtme otstele rakendatud pinget suurendamisel suurendame sellega võrdeliselt ka liikuma pandud elektronide hulka, s. o. voolu tugevust³. Nii viisi võime tõdeda, et *vool on võrdeline pingega*.

Kui rakendada seesama pinget erineva takistusega juhtmetele, siis võib märgata, et suurema takistusega juhtmed lasevad läbi nõrgema voolu. Siit järeldub, et *vool on pöördvõrdeline takistusega*.

Mõlemad eespool märgitud seaduspärasused on sõnastatud Ohmi seaduses: *vool on võrdeline pingega ja pöördvõrdeline takistusega*.

Seepärast, kui on teada pinget (voltides), mis on rakendatud tühjalt (oomides väljendatud) takistusega juhtme otstele, siis, jagades esimese suuruse teisega, leiame seda juhet läbiva voolu (amprites). Nii näiteks rakendades 10-voldise pinget 5-oomise takistusega juhtmele, saame 2-amprise voolu. Täpselt samuti, nagu 1-voldine pinget, mis on

³ Enamasti nimetatakse voolu tugevust lühemalt lihtsalt *vooluks*.

rakendatud 1-oomise takistusega juhtmele, annab voolu 1 amper.

Ohmi seadus on elektrotehnika ja raadiotehnika põhiliseks reegliks. Seepärast tuleb hästi meeles pidada selle seaduse allpool toodud kujud.

Ohmi seaduse kolm kuju

Et Ohmi seaduse valemis

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

on pinget U lugejas, takistus R nimetajas ja vool I avaldub jagatisena, siis meenutame, et lugeja võrdub jagatise ja nimetaja korrutisega. Nii võime sama seaduse avaldada uuel kujul:

$$U = IR.$$

See tähendab, et *pinge võrdub voolu ja takistuse korrutisega*.

Järelikult, kui tuntud takistusega juhet läbiv vool on teada, saame neid kahte suurust korrutades määrata pinget, mis tekitab antud voolu.

Ja lõpuks, lähtudes Ohmi seaduse teisest kujust $U = IR$ ja meenutades, et korrutis U annab jagamisel ühega teguritest I teise teguri R , siis võime kirjutada:

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

See valem ongi Ohmi seaduse kolmandaks kujuks. Me näeme, et *takistus võrdub pingega ja voolu jagatisega*.

Kui teame pinget suurust juhtme otstel ja voolu, mille see tekitab, võime leida juhtme takistuse, jagades esimese suuruse teisega.

Sellel seadusel põhinevad oommeetrid — seadmed, mida kasutatakse juhtide takistuse mõõtmiseks. Oommeetrid sisaldavad teatava pingega patarei ja ampermeetri (mööteriista voolu mõõtmiseks). Kui patarei pinget rakendatakse mõõdetavale juhtile, siis näitab ampermeeter selles tekkivat voolu. Mõõdetava takistuse määramiseks piisab tuntud pinget jagamisest ampermeetrit loetud vooluga.

Huviste ei teadnud midagi ei vahelduvvoolust, selle sagedusest ega perioodist. Ta ei teadnud ka midagi elektromagnetismist. Selles teises vestluses saab ta teada, mis on lainepikkus, elektromagnet, magnetväli... Ta suudab niisama hästi kui Targaste selgitada induktsooninähtuse olemust..., seejärel et Huviste, nagu näete, on väga andekas poiss.

2. VESTLUS

EDASI JA TAGASI LIIKUMISEST

Huviste: Eelmine kord sa, Targaste, jutustasid elektronidest, protonitest ja elektrivoolust. Uhesõnaga kõigest muust, aga mitte raadiost!

Targaste: Kuid, sõbrake, raadiotehnikas tegelemegi põhiliselt elektrivooludega, seepärast tuleb kõigepealt tunda põhilisi seadusi, mille kohaselt nad käituvad.

H.: Mina aga mõtlesin, et raadio on teadus peamiselt laine-
test!...

T.: Loomulikult on ka lained siin tähtsad. Just nende abil toimub traadita side saate- ja vastuvõtuantennide vahel. Raadiosaate puhul tekivad lained kõrge sagedusega vahelduvvoolu toimel, mis voolab saateantennis; vastuvõtuantennini jõudes nad tekitavad selles samalaadse, ehkki tunduvalt nõrgema voolu.

H.: Oota. Nüüd sa kõneled «kõrge sagedusega vahelduvvoolust» ega suvatse selgitada selle mõiste olemust.

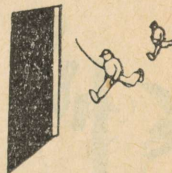
T.: Ära kiirusta. Sa ju näed, et esmalt tuleb tundma õppida elektrit, enne kui järelemõtlematult raadiotehnikasse sukelduda. Seni kõnelesime ainult *alalisvoolust*, s. t. sellisest voolust, mis alati kulgeb püsiva tugevusega ühes suunas.

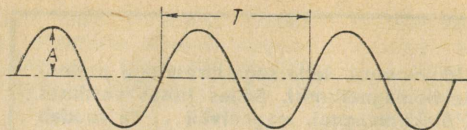
H.: Just nagu avatud kraanist voolav vesi?

T.: Jah, kui sulle nii meeldib... Kujutle, et mingi elektrimasin (vahelduvvoolugeneraator) või mistahes teine seadis muudab perioodiliselt polaarsust juhtme otstel. Kumbki ots muutub järgemööda positiivseks, seejärel tema potentsiaal väheneb, läheneb nullile ja muutub negatiivseks. Jõudnud negatiivse maksimumini, hakkab ta vähenema, läheneb nullile, muutub positiivseks, suureneb, läbib maksimumi, mida nimetatakse *amplituudiks*, ja kõik kordub taas algusest (joonis 4).

H.: See sarnaneb väga kiiega, mis alguses lendab üles, seejärel laskub, läbib kõige madalama asendi ja kerkib taas, kuid nüüd juba teisele poole.

T.: Sinu võrdlus on väga õnnestunud. Sa mõistad, et taolise pinge — *vahelduvpinge* — poolt juhtmes tekitatav vool osutub samuti vahelduvaks. *Vahelduvvoolu* suund muutub perioodiliselt ja igal hetkel on ta intensiivsus võrdeline pingega.





Joonis 4. Vahelduvpinge kõver: A — amplituud; T — periood.

H.: Kui ma õigesti mõistsin, on vahelduvvoolu elektronid lõputus edasi ja tagasi liikumises.

T.: Jah. Seejuures ajavahemikku, mille vältel elektronid liiguvad üks kord sinna ja tagasi, nimetatakse *perioodiks*.

H.: Kas see periood on pikk?

T.: Kasutusel on voolud, mille periood on nii 0,02 kui ka 0,000 000 000 01 sekundit. Kõik sõltub voolu *sagedusest*.

H.: Mis see on?

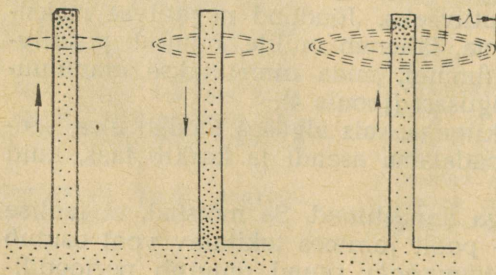
T.: *Sageduseks* nimetatakse perioodide arvu sekundis. See tähendab, et kui periood vältab $1/50$ sekundit, siis mahub ühte sekundisse 50 perioodi ja me võime ütelda, et sagedus võrdub viiekümne perioodiga sekundis. Sageduse mõõtühikule omistati Hertzi nimi. Tema tekitas esimesena katseliselt elektromagnetilisi laineid. Niisiis vastab üks *herts* ühele perioodile sekundis. Suuremaid ühikuid nimetatakse *kilohertsiks* (1000 herts) ja *megahertsiks* (1 000 000 herts). Lühendatult tähistatakse neid vastavalt Hz, kHz ja MHz.



LAINETE MAAILMAS

H.: Nüüd hakkam mõistma seda, mida kõnelesid kõrge sagedusega vahelduvvoolust.

T.: Kõrgsagedusvooludeks nimetatakse voolusid, millede sagedus ületab 20 000 Hz. Kui sellised voolud liiguvad juhtmes, tekitavad nad elektromagnetilise laine. Juhtmest eemaldudes



Joonis 5. Elektronide liikumine antennis ja lainete tekkimine.

levib see laine piltlikult väljendades rõngastena, millede raadiused suurenevad kiirusega 300 000 000 meetrit sekundis (joonis 5).

H.: Kuid see on ju valguse levimiskiirus!

T.: Muidugi. Valguski on elektromagnetilised lained, kuid nende pikkus on lühem kui raadiolainetel.

H.: Mida nimetatakse lainepikkuseks?

T.: See on vahemaa kahe järjestikku antennist eraldunud «elektromagnetilise rõnga» vahel. Kõrgsagedusvoolu iga perioodi kohta eraldub üks rõngas. Niiviisi hetkeks, kui teine rõngas parajasti antennist eraldub, on esimene juba läbinud teatava vahemaa, mida nimetatakse *lainepikkuseks*. See aga võrdub...

H.: ...kiiruse ja aja korrutisega. Antud juhul kiirus võrdub 300 000 000 meetriga sekundis ja kahe järjestikuse laine vaheline aeg võrdub voolu perioodiga. Niisiis võrdub lainepikkus levimiskiiruse ja perioodi korrutisega.

T.: Önnitlen. Samuti võib öelda, et lainepikkus võrdub ühe sekundiga läbitud vahemaa ja ühes sekundis väljakiiratud lainete arvu (ehk sageduse) jagatisega⁴.

H.: Seda võib võrrelda kahe mööda tänavat jooksva poisike-sega, keda äsja nägin.

T.: Kuidas nii?

H.: Nojah. Üks neist oli suur, pikkade jalgadega, teine aga sootuks väike. Nad jooksid teineteist kätest hoides, seega võrdse kiirusega. Suure poisi sammud olid pikad, kuid nende rütm harvem kui väikesel poisil, kes sibas ta kõrval. Järelikult tõestab see, et mida suurem on lainepikkus (sammu pikkus), seda väiksem on sagedus (sammude arv sekundis), ja vastupidi.

T.: See võrdlus on täiesti õige.

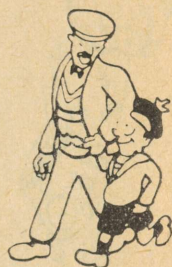
KÜSIMUS NÄHTAMATUTEST ASJADEST

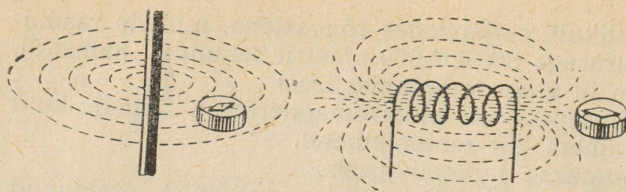
H.: Siiski on mõned asjad mulle segased. Mis rõngad need küll on, mida sa elektromagnetilisteks laineteks nimetad?

T.: Kõike arvesse võttes ei tea ma seda päris täpselt isegi ja usun, et teadlastelgi pole selle kohta ühtset arvamust. Siiski on teada, et elektrivoolust läbitava juhtme ümber tekib *elektromagnetiline väli*, s. o. elektriliste jõudude (sulle eelmine kord jutustatud elektronide ning prootonite tõmbumise ja tõukumise) ning magnetiliste jõudude kogumõju. Neist viimaseid saab avastada, kui juhtmele lähendada kompass; selle nõel asetub juhtmega risti (joonis 6).

⁴ Siin on aga valemid... nende jaoks, kes neid armastavad. Kui tähistada periood tähega T , sagedus f ja lainepikkus λ , võime kirjutada järgmised valemid:

$$f = \frac{1}{T}; \quad T = \frac{1}{f}; \quad \lambda = 300\,000\,000 T = \frac{300\,000\,000}{f}.$$





Joonis 6. Sirgjuhtme ja pooli magnetväli.

H.: Järelikult on see sama, mis magneti väli?

T.: Jah, kuid ainult selle erinevusega, et magnetile lähendamisel asetub kompassi nõel magneti suunda.

H.: Ega's me ei või ometi voolust läbitavat juhet vaadelda magnetina?

T.: Siiski. Kuid selle magnetiline jõud pole suur. Viimase tugevdamiseks tuleb juhe pooliks mähkida. Keerdude magnetväljad tudevadavate teineteist. Nii viisi saame *elektromagneti*, mille võime teha tavalisest magnetist tunduvalt tugevamaks. Selle võib varustada ka rauast või terasest südamikuga, mis magnetvälja kontsentreerides (tihendades) suurendab selle intensiivsust.

H.: Kas sellise magneti polaarsus (põhja- ja lõunapooluse paiknemine) sõltub voolu suunast?

T.: Jah. Kui näiteks teatava voolusuuna puhul tõmbab elektromagneti üks poolus kompassinõela põhjapoolust, siis voolusuuna muutmisel hakkab see sootuks nõela lõunapoolust tõmbama. Magnetväljal on kindel suund, mis on seda tekitava voolu suunast. Voolu suuna või tugevuse iga muutumine avaldub ka magnetvälja vastava muutumisena.

H.: Järelikult, kui mõistsin õigesti, ei ole elektromagnetilised lained muud midagi kui väljad, mis jätsid maha neid tekitanud voolu. Need väljad jalutavad ruumis ringi aukartustäratava kiirusega 300 000 000 meetrit sekundis. Kuid kuidas neid vastu võetakse?

PÖÖRDNÄHTUSED

T.: Looduses on palju nähtusi, mida nimetatakse «pööratavateks». Vastavaks näiteks sobib magnetvälja tekitamine voolu abil. Kui vool tekitab magnetvälja, siis see magnetväli — või õigemini: magnetvälja muutumised — tekitavad selles väljas asetsevas elektriühis voolu.

H.: Järelikult kutsuvad elektromagnetilised lained esile voolu igas nende teel asetsevas juhtmes?

T.: Ilmselt. Nii näiteks minu tooli raami moodustavates



metalltorudes on kõikide praegu töötavate raadiosaatjate poolt tekitatud kõrgsagedusvoolud.

H.: Ja sellisel «elektritoolil» istudes sa ei kardagi, et vool sind surmaks?

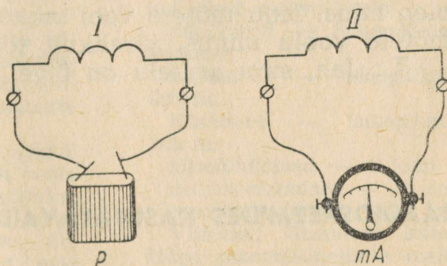
T.: Ei, sest voolud on neid tekitavate saatjate suurte kauguste tõttu tublisti nõrgenenud.

H.: Vabanda palun, kuid siiski näib see mulle pagana keerulisena.

T.: Selle lihtsuse tõestamiseks demonstreerin sulle otsekohe üht klassikalist katset. Vaata: siin on just äsja tädi aparadi jaoks ostetud kaks pooli ja see on mu taskulambi pataree, siin aga on milliampermeeter.

H.: Mis see on?

T.: Seda võiksid küll ise ära arvata. Milliampermeeter on seade, millega saab mõõta voolu. Ma ühendan pataree P ühe pooliga ja milliampermeetri mA teisega (joonis 7) ning sidestan mõlemad poolid omavahel.



Joonis 7. Primaar- (I) ja sekundaar-pooli (II) induktiivne sidestamine: P — galvaanipatarei; mA — milliampermeeter.

H.: Mis sa nüüd! Nad pole üldsegi sidestatud, sest nende vahele jääb teatav distants.

T.: Sa eksid, sõbrake. Siinsel juhul on tegemist *elektromagnetilise sidestusega*: teine mähis asetseb esimese magnetväljas. Muide, seda võid sa otsekohe ise kogeda.

ARVAMUSI INDUKTSIOONIST

H.: Ikkagi arvan, et eksid, sest kui teine mähis asetseks esimese magnetväljas, siis peaks vastavalt sellele, nagu sa äsja kõnelesid voolu tekitamise kohta välja abil, ilmuma vool. Kuid milliampermeetri osuti püsib nullil.

T.: Kas ma ei kõnelnud, et vool tekib ainult välja muutumise toimele? Esimest mähist läbib püsiva tugevusega alalisvool. Selle magnetväli on samuti püsiv ja voolu tekkimiseks tei-



ses mähises puudub põhjus. Nüüd aga pane tähele! Ma ühendan patarei esimese pooli küljest lahti.

H.: Uskumatu! Milliampermeetri osuti hälbis paremale, näidates lühiajalise voolu olemasolu.

T.: Selle voolu põhjustas magnetvälja kadumine, s. o. teatavast väärtusest nulliks muutumine. Nüüd aga ühendan patarei taas.

H.: Osuti liikus, kuid seekord vasakule.

T.: Seepärast, et välja tekkimine osutub eelnenud juhtumiga — välja lakkamisega — võrreldes märgilt vastandlikuks muutuseks. Kui patarei sisse- ja väljalülitamise asemel juhiksin läbi esimese mähise vahelduva elektrivoolu...

H.: ...siis hakkaks magnetväli pidevalt muutuma ja teises mähises ilmuks samuti vahelduvvool.

T.: Sa pead teadma, et magnetvälja tekitavat voolu nimetatakse *indutseerivaks* vooluks ja välja poolt tekitatud voolu *indutseeritud* vooluks. Ühe voolu tekitamist teise poolt nimetatakse *elektromagnetiliseks induksiooniks*.





H.: Uhesõnaga oletame, et esimene mähis oled sina ja teine olen mina. Sinu mõtete vool tekitab helivälja kaudu samalaadse mõtete voolu minus, järelikult toimub omapärane induksioon.



T.: Jah, sinu arutelu on õige.



RAADIOSKEEMIDES KASUTATAVAID TINGMÄRKE

	Juhtmete ühenduseta ristumine		Elektriliselt ühendatud juhtmed		Antenn		Maandus
---	-------------------------------	---	---------------------------------	---	--------	---	---------

	Takisti		Reguleeritav takisti		Potentsiomeeter		Induktiivvool
---	---------	---	----------------------	---	-----------------	---	---------------

	Kondensaator		Pöör-kondensaator		Trimmer-kondensaator		Elektrolüüt-kondensaator
---	--------------	---	-------------------	---	----------------------	---	--------------------------

Vahelduvvool

Kui Targaste suutis esimeses vestluses esitada *alalisvoolu*, s. o. püsiva suuruse ja kindla suunaga pinge poolt tekitatava voolu põhiomadused, siis teises vestluses asus ta julgelt vahelduvvoolust rääkima.

See vool tekib vahelduvpinge toimel. Vahelduvpinge puhul muutub juhi ühe otsa potentsiaal teise otsa potentsiaali suhtes vahelduvalt positiivsest negatiivseks ja vastupidi, läbides sealjuures kõik vahepealsed potentsiaalid (kaasa arvatud ka nullpotentsiaali). Ilmub vool, mis aina muudab suunda: ühes suunas tugevneb, jõuab maksimumini, mida nimetatakse *amplituudiks*, seejärel nõrgeneb, mingil hetkel muutub võrdseks nulliga, hakkab uuesti kasvama, kuid juba teises suunas ja jõuab samuti maksimaalväärtuseni, kahaneb, et seejärel taas läbida nullväärtust, mille järel kogu see muutumiste tsükkel kordub.

Aega, mille vältel üks niisugune tsükkel toimub (ajavahemikku, mis on tarvilik voolu muutumiseks kummaski suunas), nimetatakse vahelduvvoolu *perioodiks*. Perioodide arvu ühes sekundis nimetatakse *sageduseks*. On mõistetav, et *mida lühem on periood, seda rohkem mahub neid ühte sekundisse ja seda kõrgem on sagedus*.

Vahelduvvoolu kasutatakse elektrivõrkudes. Seda toodetakse masinatega, mida nimetatakse vahelduvvoolugeneraatoriteks. Voolu tavaline sagedus on 50 perioodi sekundis ehk 50 Hz (hertsi).

Elektromagnetilised lained

«Tööstuslikud sagedused» on raadiomehe jaoks väga «madalad». Raadiotehnikas kasutatakse raadiosaadete jaoks *kõrgsagedusvoolusid*, millede sagedused on vähemalt 20 000 Hz, või teisiti öeldes, perioodid võrduvad või on väiksemad kui 0,00005 sekundit. Niisuguse voolu iga periood tekitab vertikaalset juhet — saateantenni — läbides elektromagnetilise laine, mis levib ruumis antenni ümber lakkamatult laieneva rõnga sarnaselt. See avardumine toimub

muinasjutulise kiirusega; laine eemaldub antennist 300 000 000 meetrit sekundis, s. o. valguse kiirusega. Selles pole midagi hämmastavat, sest raadiolained ja valguslained on ühe ja sama olemusega: kummalgi juhul on tegemist elektromagnetiliste lainetega. Nad erinevad ainult sageduse poolest — valguslainete sagedus on tunduvalt kõrgem.

Antenni poolt järjestikku väljakiirutatud kahe laine vahekaugust nimetatakse *lainepikkuseks*. Mida lühem on periood (või kõrgem on sagedus), seda väiksem on see vahekaugus, s. o. lained järgnevad üksteisele väiksemate intervallide tagant. Raadiotehnikas eristatakse lainete osas teatavaid kategooriaid ehk laineastmikke, mis on määratud pisut omavoliliselt:

pikklained — lainepikkusega 600 m ja rohkem;

kesklained — lainepikkusega 200 kuni 600 m;

lühilained — lainepikkusega 10 kuni 200 m;

ultralühilained — 1 kuni 10 m;

detsimeeterlained — 10 cm kuni 1 m;

sentimeeterlained — 1 kuni 10 cm.

Viimased lähenevad infrapunase kiirguse kõige pikemalainelisele osale.

Samuti tuleb öelda, et raadiotehnikas kasutati varem mõiste «periood» asemel mõnikord terminit «tsükkel». Väljend «perioodi sekundis» või «tsükli sekundis» asendatakse tavaliselt terminiga herts (selle füüsiku nime järgi, kes katseliselt tõestas elektromagnetiliste lainete olemasolu). Seoses sellega, et raadiotehnikas on sageli tegemist väga kõrgete sagedustega, kasutatakse suuremaid ühikuid: *kilohertsi* (kHz) = 1000 Hz, *megahertsi* (MHz) = 1 000 000 Hz ja *gigahertsi* (GHz) = 1 000 000 000 Hz.

Magnetväli

Elektromagnetilise laine tekkimine elektrivoolu toimel on üks elektri- ja magnetinähtusi seostavate tihedate sugulussidemete paljudest ilmingutest. Elektroni liikumine elekt-

rijuhis loob ruumis tema vahetus läheduses erilise olukorra, mida nimetatakse *magnetväljaks*. Kompassi magnetnõel avastab juhett ümbritseva magnetvälja, kui seda juhett läbib elektrivool; sealjuures asetub nõel juhtmega risti. Kui muuta voolu suunda, siis joonis- tab nõela ots poolringi. See näitab, et magnetväljal on polaarsus, mille määrab voolu suund.

Juhtme magnetvälja võib tugevdada, kui juhe mähkida pooliks. Sel juhul liituvad kõikide keerdude magnetväljad ja mähis, mida läbib vool, toimib nagu tõeline sirge magnet.

Sellise magneti toimet saab tugevdada, kui pooli sisse asetada terasvarb. Pehmel terasel on magnetiliste jõudude jaoks tunduvalt suurem magnetiline läbitavus kui õhul. Magnetväli koondub magnetsüdamikku ja me saame elektromagneti. Kui südamik on valmistatud pehmest terasest, siis kaotab ta voolu väljalülitamisel oma magneetumise (või säilitab selle vaid vähesel määral). Kui südamik on tehtud kõvast terasest, säilitab ta magneetumise ka pärast voolu väljalülitamist. Just sel viisil valmistataksegi käesoleval ajal püsimgneteid.

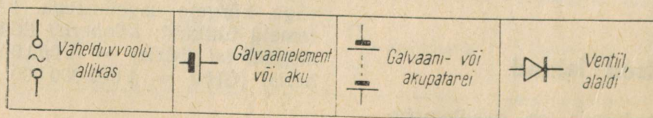
Induktsioon

Elektrivoolu muutustega kaasnevad nende poolt tekitatava magnetvälja vastavad muutused ja ka vastupidi, muutlik magnetväli tekitab juhtmetes vahelduvvoolu. Lähendades magnetit poolile või eemaldades teda sellest, tekitame pooli mähise traadis voolu, mis esineb ainult magneti liikumise, s. o. magnetvälja muutumise vältel.

Tuleb hästi mõista, et just magnetvälja muutmisega, mitte aga lihtsalt püsiva magnetvälja olemasoluga kaasneb voolu tekimine juhtmes.

Püsimgnети asemel võib poolile lähendada elektromagneti, s. o. pooli, mille mähis läbib alalisvool. Tulemus on samasugune. Poolid võib asetada kõrvuti ja lasta ühe mähisest läbi vahelduvvoolu. Vahelduvvool, mis läbib üht pooli, tekitab teiseski poolis vahelduvvoolu. Seda nähtust nimetatakse *induktsiooniks*. Selle puhul pole materiaalne kontakt tarvilik, sest kummagi pooli vahel on magnetiline sidustus. Need poolid moodustavad *elektrilise transformatori* ehk *trafo*. Edaspidi selgub, miks ta niisugust nimetust kannab.

RAADIOSKEEMIDES KASUTATAVAID TINGMÄRKE



Induktsiooninähtuse tutvustamist jätkates suunab Targaste oma sõpra Huviste vahelduvvoolu läbimist tõkestava eneseinduktsiooninähtuse «avastamisele». Meie kaks sõpra tutvuvad väga ilmekate analoogide abil kondensaatorite omadustega. Analüüsisid mitmesuguseid tegureid, milledest mahtuvus sõltub, saab Huviste omaenese faiplikkuse «mahtuvust» hinnata.

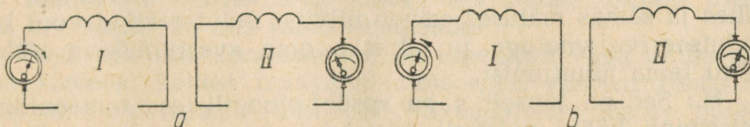
3.

VESTLUS

INDUKTSIOON—VASTUMÖJU

Huviste: Mõtlesin rohkesti sellest, mida sa mulle induktsoonist jutustasid. Ma mõistan hästi, et voolu muutmine ühes mähises põhjustab indutseeritud voolu tekkimise teises mähises. Kuid milline on indutseeritud voolu suund ja tugevus?

Targaste: Pean sulle ütlema, et indutseeritud voolul on väga halb iseloom: ta on alati indutseeriva vooluga vastuolus. Kui viimane kulgeb suurenevana ühes suunas, siis indutseeritud vool kulgeb vastassuunas (joonis 8).



Joonis 8. Induktsioonivool: *a* — voolu suurenemine mähises *I* tekitab mähises *II* vastassuunalise voolu; *b* — voolu kahanemine mähises *I* tekitab mähises *II* sama-suunalise voolu.

H.: Kas võib öelda, et kui indutseerivas mähises voolab vool päripäeva, siis indutseeritud vool kulgeb vastupäeva?

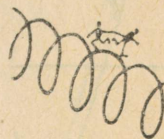
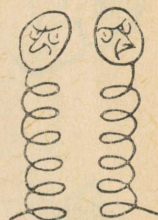
T.: Täpipealt! Aga vastupidisel juhul, kui indutseeriv vool nõrgeneb, kulgeb indutseeritud vool samas suunas, püüdes takistada esimese vähenemist.

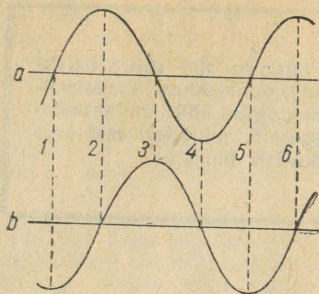
H.: See on nagu minu onu koer.

T.: Kahtlemata taas üks uus väljamõeldis!

H.: Hoopiski mitte. See koer, kellest kõnelen, on kangekaelne nagu eesel... Igal hommikul, kui mu onu võimleb, jookseb ta koos koeraga ümber aia, hoides teda nõõri otsas. Algul, kui ta jooksu kiirendab, tõmbab koer teda tagasi ja pidurdab liikumist. Seejärel, kui onu Jules väsib ja tahab jooksu aeglustada, sunnib peni teda kiirusrekordeid püstitama.

T.: Mulle näib, et selle loo mõtlesid just praegu välja. Siiski tõestab see, et sa oled induktsooninähtuse olemust mõistnud. Oleksid võinud lisada, et mida intensiivsemalt su onu jooksu kii-





Joonis 9. Induktsiooninähtus: *a* — vahelduvvool; *b* — indutseeritud voolu kõver. 1 — indutseeriv vool suureneb väga kiiresti, indutseeritud vool on vastassuunaline; 2 — indutseeriv vool ei muutu lühikese ajavahega, indutseeritud vool võrdub nulliga; 3 — indutseeriv vool väheneb, indutseeritud vool on samasuunaline; 4 — indutseeriv vool ei muutu lühikese ajavahega, indutseeritud vool võrdub nulliga; 5 ja 6 — sama mis 1 ja 2.

rendab või aeglustab, seda tugevam oleks koera reaktsioon, kui võrd indutseeritud voolu tugevus on võrdeline indutseeriva voolu muutumise kiirusega.

H.: Pole võimatu, et kõnelen rumalust, kuid mulle näib, et kui vool ühes mähises indutseerib voolu teise, lähemal või kaugemal asetseva mähise keerdudes, siis ilmselt peaks ta indutseerima voolu ka omaenese keerdudes.

T.: Mu kallis Huvijüts, praegu avastasid sa veelkordselt *eneseinduktsiooninähtuse*. Önnitlen! Tõepoolest ilmub indutseeritud vool ka selles mähises, milles kulgeb indutseeriv vool. Ühes ja samas mähises esineb niiviisi indutseeritud vool kõrvuti indutseeriva vooluga ja takistab oma «vasturääkiva iseloomu» tõttu tema muutumist.

H.: See on täpselt nagu «psühholoogilistes» romaanides, kus «sisemine hääl» pidevalt vastandab oma argumente kangelase sentimentaalsetele meeleliigutustele.

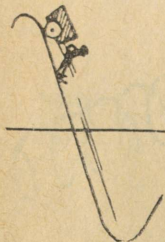
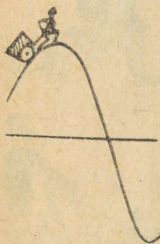
T.: Oleks parem, kui nende asemel loeksid mõnda head elektrotehnika lühikursust. Siis näeksid, et eneseinduktsiooni on sobivam võrrelda mehhaanilise inertsiaga. Nii nagu inertsi alati takistab mingi keha liikumahakkamist või püüab hoida seda liikuv olekus, nii toimib ka eneseinduktsioon vastu voolu ilmumisele mähises (tugevnev vool tekitab vastassuunalise indutseeritud voolu) või püüab olemasolevat voolu alal hoida, kui see hakkab kahanema (nõrgenev vool indutseerib samasuunalise voolu).

H.: Tähendab, et vahelduvvoolul, mis pidevalt muudab oma suurust ja suunda, on mähisest läbimine raskendatud?

T.: Muidugi, sest eneseinduktsioon toimib tema muutumisele vastu (joonis 9). Eneseinduktsiooninähtuse toimeil ilmuv takistus kannab nimetust *induktiivtakistus*. Seda ei tule segi ajada juhtme tavalise aktiivtakistusega. Induktiivtakistus sõltub mähise eneseinduktsioonist, s. o. iga üksiku keeru induktiivsest toimest teiste keerdudele, kuid ka voolu sagedusest.

H.: Miks?

T.: See on imelihtne! Mida kõrgem on sagedus, seda kii-



remini toimuvad voolu muutused ja järelikult seda tugevamad on indutseeritud voolud, mis toimivad nendele muutustele vastu.

H.: Tähendab et mähise induktiivtakistus on kõrgetel sagedustel suurem kui madalatel? Seda peab teadma, sest nagu ma näen, et mida kaugemale, seda keerukamaks läheb.

T.: Ma pole sulle veel üldsegi jõudnud kondensaatoritest rääkida.

KÖNELEME PISUT KONDENSAATORITEST

H.: Tean ülihästi, mis need on. Olen neid raadioaparaatides näinud. Võib öelda, et kondensaator on ümarike plaatidega seadis, milledest ühed võivad pöörduda, teised aga püsivad paigal.

T.: Jah. Need on *muudetava mahtvusega kondensaatorid* ehk *pöördkondensaatorid*. On olemas ka *püsiva mahtvusega kondensaatorid* ehk *püsikondensaatorid*. Nende plaadid on alati liikumatud, seega ka mahtuvus püsiv.

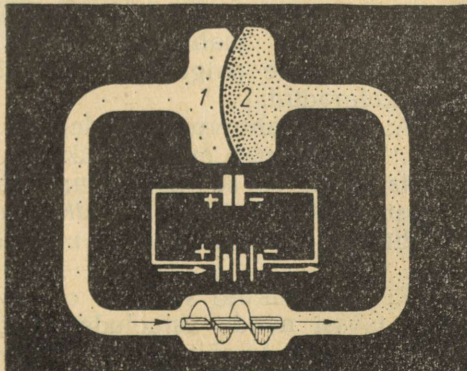
H.: Mahtuvus? Tõenäoliselt jällegi üks mõiste, millest tuleb hakata aru saama ja mis tuleb omandada?

T.: Tead, sõbrake, kondensaator on tegelikult väga lihtne asi. See on süsteem kahest omavahel isoleeritud elektrit juhtivast plaadist ehk elektroodist, millelele rakendatakse teatav pinge.

H.: Ma ei mõista, miks kaks teineteisest isoleeritud elektroodi väärivad nimetust kondensaator.

T.: Kondensaatorit võib võrrelda kahe anumaga, mis on eraldatud elastse kummimembraaniga (joonis 10). Lühikese ajavahe-miku vältel töötav pump tekitab nende anumate vahel rõhkude erinevuse...

H.: Arvan, millele sa sihid. Pump — see on elektripatarei.



Joonis 10. Kaks elastse vaheseinaga eraldatud anumad sarnanevad elektrikondensaatoriga. Rõhkude vahet tekitav pump on analoogiline galvaanielemendiga, mis tekitab potentsiaalide vahe.

Anumad 1 ja 2 kujutavad enesest kondensaatori kaht plaati, rõhkude vahe samastub aga potentsiaalide vahega.

T.: Sa taipasid. Ainult et nagu kõik analoogiad, sobib ka minu oma vaid teatava momendini. Tõepoolest, kui kõneleksime õhuga täidetud anumatest, siis sisalduks anumas 2 märksa rohkem terves ruumalas ühtlaselt jagunenud molekule kui anumas 1.

H.: Mulle näib, et ka elektronid jaotuvad selsamal viisil.

T.: Sa eksid. Kuna plaadi 1 aatomid on positiivsed (elektronide puudujääk!), siis tõmbavad nad ka läbi plaate eraldava õhukese vaheseina plaadi 2 elektrone. See toimub niiviisi, et viimased kogunevad, «kondenseeruvad» plaadi 2 sellesse osasse, mis on plaadile 1 lähemal. Elektronide paiknemise niisugune tihenemine lubabki kondensaatori plaatidele koguda palju suuremaid elektrilaenguid kui on need, mis võiksid esineda ühe plaadi elektronide tõmbamiseta teise plaadi positiivsete aatomite poolt.

H.: Tähendab, kui ma õigesti taipasin, on kondensaatori põhiomaduseks elektrilaengute kogumine plaatidele.

T.: Jah. Teisiti nimetatakse seda omadust kondensaatori *mahtuvuseks*. Millest sõltub sinu arvates selle väärtus?

H.: Arvan, et mahtuvus sõltub membraani paksusest. Mida õhem ta on, seda rohkem võib ta painduda ja järelikult anda gaasile anumas 2 rohkem ruumi.

T.: Õige. Kondensaatori kohta me ütleme, et tema mahtuvus on pöördvõrdeline plaatide vahekaugusega. Kuid pöördugem nüüd tagasi anumate juurde; kas sa ei arva, et mahtuvus võiks oleneda ka elastse membraani omadustest?

H.: Loomulikult. Näiteks kummist membraani elastsus on suurem kui plekist membraanil.

T.: Järelikult sõltub kondensaatori mahtuvus ka plaate eraldava dielektriku omadustest. Arvuna väljendatavat tegurit, mis iseloomustab dielektriku võimet kondensaatori mahtuvust suurendada, nimetatakse tema *dielektriliseks läbitavuseks*. Õhu puhul on selle väärtuseks 1, vilgul näiteks 8. Järelikult kui 10-pikofaradise mahtuvusega õhkdielektrikuga kondensaatori plaatide vahele paigutada leht vilku, siis suureneks mahtuvus 80 pikofaradini.

H.: Kas mahtuvust mõõdetakse pikofaradites?

T.: Mahtuvuse mõõtühikuks on *farad* (F). Kuid praktiliseks kasutamiseks on see liiga suur mahtuvus. Seepärast kasutatakse temast tuletatud ühikuid: *mikrofaradit* (μF), mis on miljondik faradit, ja *pikofaradit* (pF), mis võrdub miljondiku mikrofaradiga.

H.: See ühikute süsteem on pagana keeruline. Pöörduksime siiski tagasi nende asjaolude juurde, millest mahtuvus oleneb. Mulle näib, et ta sõltub veel membraani pindalast: mida suurem



see on, seda ulatuslikum on ka positiivsete aatomite toime elektronidele.⁵

T.: Mahtvus on tõepoolest võrdeline plaatide pinnaga.

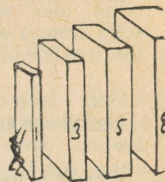
H.: Usun, et mahtvus oleneb ka plaatide paksusest, sest suurema ruumala puhul võivad nad mahutada enesesse suurema elektronide hulga.

T.: Selles sa aga eksid, mu sõber. Siin on oluline mitte plaatide ruumala, vaid pindala. Positiivsed ja negatiivsed laengud kogunevad plaatide pinnale.

H.: Uhesõnaga võib kondensaatori mahtuvuse suurendamiseks kas suurendada plaatide pindala või lähendada neid teineteisele. Arvan, et niiviisi saab ka üsna väikeste plaatide puhul suure mahtuvuse, kui need teineteisele küllaldaselt lähendada.

T.: See on väga ohtlik! Kui membraani paksust ülemääraselt vähendada, siis saabub hetk, mil ta rõhu toimel rebeneb. Samalaadselt kutsub pinge kahe liiga lähestikuse plaadi vahel esile sädeme. Elektronid võivad liiga tugeva tõmbumise toimel dielektriku läbi lüüa.

H.: Kokku võttes võib halb kondensaator osutada heaks «elektriliseks välgumihkliks»?...



⁵ Kondensaatori mahtvus – pikofaradites

$$C = 0,885\epsilon \frac{S}{d},$$

kus ϵ on dielektriline läbitavus, S — ühe plaadi pind cm^2 , d — plaatidevaheline kaugus cm .



KOMMENTAARID KOLMANDALE VESTLUSELE

Lenzi seadus

Jätkates magnetilise induktsiooni tundmaõppimist, avastasid meie noored sõbrad Lenzi seaduse, kuigi ei nimetanud seda. Nad konsstateerisid, et *indutseeritud vool toimib igal hetkel otsekui indutseeriva voolu muutumisele vastu*. Kui indutseeriv vool suureneb, on indutseeritud vool vastassuunaline, kui aga indutseeriv vool kahaneb, siis on indutseeritud vool samasuunaline indutseeriva vooluga.

Nagu näeme, alluvad induktsiooninähtused looduse üldisele seadusele — mõju ja vastu mõju seadusele.

Indutseeritud vool sõltub indutseeriva voolu muutumise kiirusest ja tugevusest.

Eneseinduktsioon

Kui mingi pooli mähises esinev vool tekitab (indutseerib) voolu naabruses asetsevate poolide mähistes, siis peab ta ilmselt indutseerima voolu ka sellesama pooli mähise keerdudes, milles ta ise voolab. See nähtus, mida nimetatakse *eneseinduktsiooniks*, allub mendelesamadele seadustele nagu induktsiooninähtuski. Seepärast, kui pooli mähist läbib vool tugevneb, ilmub vastassuunaline eneseinduktsiooni vool, mis aeglustab indutseeriva voolu suurenemist. Samal põhjusel ei saa pooli alalisvooluahelasse ühendamisel selle mähises vool hetkeliselt omandada normaalväärtust. Selleks kuulub teatav ajavahe- mik, mis on seda pikem, mida intensiivsem on eneseinduktsiooninähtus ehk mida suurem on *induktiivsus*. Täpselt samuti järgib mähisele mõjuva pinge järk-järgulisel suurenemisel vool pinge suurenemist teatava hilinemisega, sest eneseinduktsiooni vool toimib vastassuunas.

Kui hakkame pooli mähisele mõjuvat pinget vähendama, siis hakkab voolu nõrgenemine samuti toimuma teatava hilinemisega. Sel juhul on eneseinduktsiooni vool indutseeriva vooluga samasuunaline ja otsekui toetab teda. Äärmisel juhul tekitab indutseeriva voolu väga kiire muutumine (näiteks lülitil avamisel) kõrge indutseeritud pinge, mis võib tekitada lülitil kontaktide vahel hüp-pava sädeme.

Induktiivsus

Kui pooli mähisele on rakendatud vahelduvpinge, siis kutsub selle tekitatud vahelduvvool esile vahelduva magnetvälja. Viimane põhjustab omakorda eneseinduktsiooni voolu, mis pidevalt toimib indutseeriva voolu muutumisele vastu ja seepärast takistabki viimast niisuguse maksimaalväärtuseni jõudmast, mida ta omaks eneseinduktsiooni puudumisel. (Tuleb meenutada, et indutseeriva voolu tugevnemisel on indutseeritud vool sellele vastassuunaline ja tuleb seepärast lahutada esimesest.) Kõik toimub nii, nagu oleks pooli mähise traadi aktiivtakistusele lisandunud veel teine takistus, mida põhjustab eneseinduktsioon. See *induktiivtakistus on seda suurem, mida kõrgem on voolu sagedus* (sest indutseeriva voolu kiiremad muutused tekitavad tugevamaid eneseinduktsiooni voolusid) ja mida suurem on *induktiivsus*.

Pooli *induktiivsus* sõltub ainuüksi tema geomeetristest andmetest: keerdude arvust ja läbimõõdust ning nende asetusest. Ta suureneb keerdude arvu suurendamisel. Magnetvälja kontsentratsiooni suurendava terrassidamiku kasutamine suurendab samuti märgatavalt induktiivsus. Pooli induktiivsusust mõõdetakse *henrides* (H) või selle ühiku väiksemates osades: *millihenrides* (mH) — henri tuhandikosades ja *mikrohenrides* (µH) — henri miljondikosades.

Kui tähistada pooli henrides väljendatav induktiivsus tähega L , siis voolu jaoks, mille sagedus on i (hertsides), on induktiivtakistus $X_L = 2\pi fL = 6,28 fL$. (Märgime, et siin 6,28 on 2π ligikaudne väärtus.)

Kondensaator

Vaadelnud induktsiooni- ja eneseinduktsiooninähtuste põhiomadusi, asusid Targaste ja Huviste *kondensaatorite* uurimisele, mis tänu *mahtuvusele* on suutelised elektrilaenguid koguma. Kondensaator koosneb kahest plaadikuulisest juhust, mis on eraldatud isolaatoriga, ehk nagu ütlevad insenerid, dielektrikuga. Kummagi plaadi ühendamisel pingeallikaga kogunevad elektronid selle negatiivse poolusega ühendatud plaadile ja

lahkuvad positiivse poolusega ühendatud plaadilt. Laengute kogumist soodustab ka elektronide omavaheline tõukumine kahe lähestikuse plaadi vahel. Kui need plaadid eemaldada teineteisest, ei suudaks nad enam hoida enesel nii suuri elektrilaenguid.

Kondensaatori ühendamisel pingeaallikaga tekib ahelas *laadimisvool*, algul tugev, siis aga kahanev vastavalt sellele, kuidas plaatide potentsiaalid lähenevad toiteallika pooluste ehk elektroodide potentsiaalidele. Kui need potentsiaalid võrdsustuvad, lakkab vool. Voolu üldine kestus on väga väike.

Mahtuvus

Olenevalt kondensaatori omadusest koguda enesesse suuremat või väiksemat elektrihulka kõneldakse, et kondensaatoril on vastavalt suurem või väiksem mahtuvus. Mahtuvust mõõdetakse *faradites* (F), siiski on rohkem

kasutatavad selle ühiku murdosad: *mikrofarad* (μF) — faradi miljondik osa, *nanofarad* (nF) — 0,000 000 001 F ja samuti *pikofarad* (pF), mis võrdub 0,000 000 000 001 ehk 10^{-12} faradiga!

Loomulikult sõltub kondensaatori mahtuvus plaatide mõõtmetest ja suureneb nende pinna suurendamisel. Ta on seda suurem, mida väiksem on plaatide vahekaugus; siiski ei saa seda võimalust kasutades teatavat piiri ületada, sest dielektriku väga õhukese kihi ja sobimatult kõrge pinge puhul tekib oht, et isoleerkihist tungib läbi säde — toimub lahendumine ja kondensaatori tühjenemine. Seda nimetatakse kondensaatori *läbilöögiks*. Mahtuvus sõltub ka dielektriku materjali omadustest. Dielektrikutest osutub parimaks (ja samaaegselt ka odavaimaks) kuiv õhk. Siiski suureneb kondensaatori mahtuvus, kui õhk asendada mistahes teise dielektrikuga.

Märgime, et kondensaatori mahtuvus ei sõltu plaatide materjalist ega paksusest.

MÕÖTÜHIKUTE KÜMNENDSÜSTEEMIST

Oluline on tunda kümnendsüsteemi põhireegleid, mis lubavad eesliidete abil moodustada mõõtühikutest nende kordseid.

Siin esitame põhilised eesliited ja nende tähised (jämekirjas on need, mida raadiotehnikas kõige enam kasutatakse):

Eesliide	Sümbol	Korrutada	Eesliide	Sümbol	Jagada
tera-	T	1 000 000 000 000	detsi-	d	10
giga-	G	1 000 000 000	senti-	c	100
mega-	M	1 000 000	milli-	m	1 000
kilo-	k	1 000	mikro-	μ	1 000 000
hekto-	h	100	nano-	n	1 000 000 000
deka-	da	10	piko-	p	1 000 000 000 000

Eesliite tähis tuleb kirjutada ühiku tähise ette. Viimasele ei tohi järgneda punkt (välja arvatud muidugi lause lõpul), sest see pole mingi lühend.

Näited. Grammi tähis on g. Sellest saame moodustada eesliidete abil **kilogrammi** (kg): 1 kg = 1000 g; **hektogrammi** (hg): 1 hg = 100 g jne. ning **sentigrammi** (cg): 1 cg = 0,01 g; **milligrammi** (mg): 1 mg = 0,001 g; **mikrogrammi** (μg): 1 μg = 0,000 001 g jne.

4.

VESTLUS

See vestlus algab Huvistef hämmastava asjaolu nentimisega, et vahelduvvool võib läbida kondensaatoreid, mis avaldavad sellele voolule teatavat mahtvustakistust. Ta hakkab erinevalliigilisi takistusi segi ajama. Kuid lugeja, kes ei tohi võtta sellisest halvast näidiseist eeskuju, saab hõlpsalt aru Targaste arutelust.

VOOL LÄBIB !

Huviste: Eelmine kord, Targaste, kõnelesid kondensaatoritest, ja kui ma mõistsin õigesti, kogunevad selle plaatide ühendamisel elektripatareiga nendele laengud.

Targaste: See on õige. Niisugusel juhul kõneldakse, et kondensaator on laetud.

H.: Järelikult, kui ühendame kondensaatori toiteallikaga, läbib ahelat teatav laadimisvool. Kuid kas vool jääb ka siis kestma, kui kondensaator on juba laadunud?

T.: Ei, vool lakkab. Teisest küljest, kui kondensaatoriga ühendatud patarei asendada takistiga, võib kondensaatorit tühjendada.

H.: Kuidas seda teha?

T.: Lihtne asi. Negatiivselt laetud plaadil külluses olevatele elektronidele tuleb anda võimalus täiendada nende puudujääki positiivselt laetud plaadi aatomites. Lühikestusega voolu, mis sel puhul takistit läbib, nimetatakse tühjenemisvooluks.

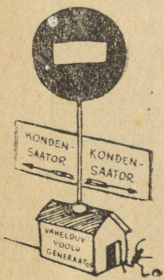
H.: Tähendab, et kondensaator on nagu vedru, mida võib pingutada ja mis hiljem vabastamisel lõtvub ning annab ära enesesse salvestunud energia.

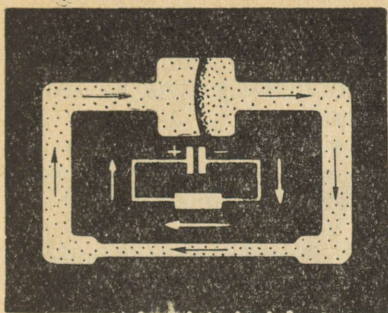
T.: Meenutan sulle, et eelnenud vestluses kasutatud näites võrdlesime kondensaatorit elastse membraaniga eraldatud kahe anumaga. Kondensaatori tühjenemist läbi takisti võib võrrelda kooldunud membraani õgvenemisega, kui ta sealjuures surub vett läbi peenikese toru (joonis 11).

H.: Võib-olla on kondensaatorit laadida ja tühjendada tõesti üsna lõbus, kuid tõele au andes ei näe ma selles toimingus mingit tulu. Kui juba tühjenemine toimus, siis sellega asi ju piirdubki. Kas pole nii?

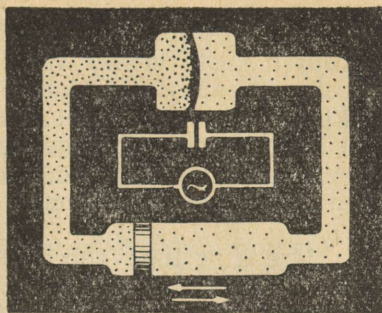
T.: Juhul kui on olemas alalispingeallikas, siis jah; kui on kasutusel vahelduvvoolugeneraator, see on masin, mis toodab vahelduvpinget, siis ei. Meie näites võib viimatinimetatud masinat kujutada silindris edasi ja tagasi liikuva kolvina (joonis 12).

H.: Mõistan. Silindri paremasse või vasakusse otsa liikudes laeb ta kondensaatori, s. t. koolutab membraani, ja keskmisse





Joonis 11. Kondensaatori tühjendamine läbi takisti.



Joonis 12. Vahelduvvoolu läbimine kondensaatorist.

asendisse naasmisel õgvendab membraani, s. t. tühjendab kondensaatori.

T.: Sa näed, et sel puhul toimub meie ahelas kestvalt elektronide vahelduvasuunaline liikumine, seega saame tõelise vahelduvvoolu.

H.: Vaatamata kondensaatori olemasolule ahelas, mis nagu teataval viisil katkestaks vooluringi!

TAKISTUSTE ERINEVAD LIIGID

T.: Elektrikud kõnelevad isegi, et vahelduvvool läbib kondensaatorit. Kuid see ei tähenda hoopiski, et elektronid läbivad dielektrikut (membraani, vt. joonis 12). Kondensaatori olemasolu elektriahelas ei takista üksnes elektronide edasi-tagasi liikumist, s. o. vahelduvvoolu läbimist ahelast.

H.: Vajan teatavat aega, et harjuksin selle mõttega. Minu arvates, olgu membraan kuitahes elastne, osutub ta ikkagi tõkkeks.

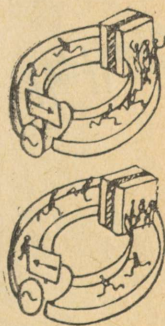
T.: Loomulikult! Seda takistust, mida kondensaator vahelduvvoolule avaldab, nimetataksegi *mahtuvustakistuseks*.

H.: Noh, taas uus termin, ja pealegi jälle üpris keeruline.

T.: Vastupidi, kulla Huviste, kõik see on olemuselt ülilihtne. Sa mõistatad ise hõlpsalt, millest mahtuvustakistus oleneb.

H.: Ma oletan, et esiteks sõltub see mahtuvusest. Mida elastsem on membraan, seda rohkem ta paindub ja sellega annab suuremale elektronide hulgale võimaluse siirduda ühele poole ja lahkuda teiselt poolt.

T.: Seega mida suurem on mahtuvus, seda kergemini läbib vahelduvvool kondensaatorit; sel juhul aga kõneleme, et viimase mahtuvustakistus on väiksem.



H.: Just vastupidiselt induktiivtakistuse puhul toimunuga, sest koos mähiste induktiivsuse suurenemisega induktiivtakistus teatavasti suurenes. Kuid kas siis mahtuvustakistus ja ka induktiivtakistus ei sõltugi voolu sagedusest?

T.: Mida kõrgem on sagedus, seda suurem arv kondensaatori laadimisi ja tühjenemisi toimub sekundis ja vastavalt ka seda rohkem elektrone läbib samas ajavahemikus ahela juhtme ristlõiget.

H.: Järelikult tugevneb vool koos sageduse kõrgenemisega; just see tõestabki, et mahtuvustakistus väheneb. Ütle nüüd, kallis Targaste, on sul veel palju igasuguseid takistusi tagavaraks? Ma tunnen, et minu takistus hakkab tublisti vähenema.

T.: Ära ärritu, nüüd sa tunned juba kolme elektro- ja raadio-tehnikas kasutatavat takistust. Nende omaduste paremaks mõistmiseks luba esitada väike tabel.

Aktiivtakistus	Ei sõltu sagedusest	
Induktiivtakistus	Võrdeline induktiivsusega	Võrdeline sagedusega
Mahtuvustakistus	Pöördvõrdeline mahtuvusega	Pöördvõrdeline sagedusega

H.: Takistuste erinevate liikide omadustes ma orienteerun, kuid tahaksin neid näha nende detailide hulgas, mida sa juba hakkasid hankima vastuvõtja jaoks.

T.: See soov on põhjendatud, kuigi ta näitab, et sa pole veel kõike mõistnud.

Erinevalt aktiivtakistusest, mis on omane ühele või teisele konkreetsele juhtmematerjalile, nimetatakse induktiiv- ja mahtuvustakistusi *reaktiivtakistusteks*. Need induktiivpoolide ja kondensaatorite justkui näilised takistused ilmuvad ainult siis, kui neid detaile läbib vahelduvvool. Aktiivtakistus esineb vastava skeemidetaili omadusena. Vaata neid silindrikesi, millede otstes on jootühenduste tegemiseks traadid või metall-liistakud. Need pulgakased avaldavad voolule aktiivtakistust ja neid nimetatakse *takistiteks*.

H.: Kas saab erinevat liiki takistusi ka omavahel kombineerida?

T.: Loomulikult. Muide, tõe au andes kohtume üsna harva ainult üht liiki takistustega. Nii on näiteks pooli mähisel lisaks induktiivtakistusele ka teatav aktiivtakistus, mis oleneb traadi pikkusest, läbimõõdust ja materjalist. Mähisel on ka «hajutatud

mahtuvus», mis esineb kõrvutiasetsevate keerdude vahel: need toimivad nagu kondensaatori plaadid. Kuid samuti võib vahelduvvooluahelasse ühendada mitmeid erineva iseloomuga takistusi.

TAKISTUSTE PEREKONNAELU

H.: Sel juhul nende takistuste arvvaartused liituvad?

T.: Paraku pole kõik hoopiski nii lihtne. Takistuste ühendamiseks elektrialhelas on kaks põhilist võimalust. Selle mõistmiseks toome näite takistite ühendamisest.

Esimene võimalus (joonis 13, a) seisneb selles, et takistid (skeemides tähistatakse neid kitsa ristkülikuga ja tähega R) lülitatakse järjestikku ehk *jadamisi* sellisel viisil, et seesama vool läbib neid järgemööda.

Teine võimalus on takistite asetamine kõrvuti, see on *rööpühendus* (joonis 13, b). Selle puhul jaguneb toiteallika vool niimitmeks haruvooluks, kui palju on takisteid (hargnevaid ahelaid); igas harus on vool seda tugevam, mida väiksem on vastava takisti takistus.

H.: Sarnaselt sellega, kui jõgi jaguneb saare tõttu kaheks haruks; siis voolab suurema sängiga harus rohkem vett.

T.: Sa mõistad, et kaks järjestikku ühendatud takistit...

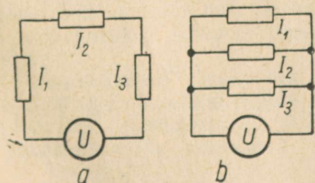
H.: ...vastavad sellisele takistile, mille takistus võrdub nende takistite takistuste summaga.

T.: Oige. Aga kui nad on ühendatud rööbiti?

H.: Arvan, et sel juhul on elektronidel ahelat kergem läbida. Just nagu juhtmest, mille ristlõige võrduks hargnevate juhtmete ristlõigete summaga. Kui nii, siis vooluahela selle osa takistus väheneb. Arvan, et seesama olukord esineb ka mahtuvus- ja induktiivtakistuste puhul.

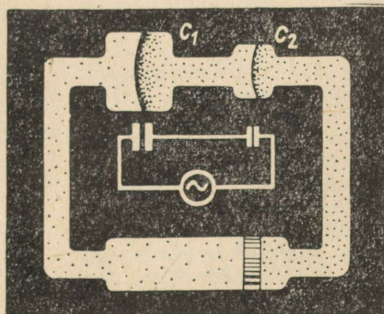
T.: Sa ei eksi.

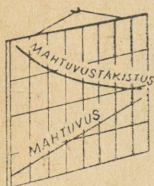
H.: Järelikult järjestikusel kokkuühendamisel takistite,



Joonis 13. Takistite ühendusviise: a — jadaühendus; b — rööpühendus.

Joonis 14. Kondensaatorite jadaühendus.





induktiivsuste ja mahtuvuste takistused liituvad, kuid rööpühenduse puhul seevastu nende takistuste üldine väärtus kujuneb väiksemaks kui igaüks nendest üksikult võttes.

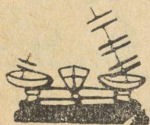
T.: Sa ruttad ette, omistades induktiivpoolidele ja kondensaatoritele needsamad omadused nagu nende näivtakistustele. See on õige, kui kõneled takistitest ja poolidest, millede mähiste induktiivtakistus on võrdeline nende induktiivsusega. Kuid kondensaatorite puhul pole see nii, sest mahtuvustakistus on mahtuvusega pöördvõrdeline. Järelikult, kui jadaühenduse puhul mahtuvustakistused liituvad, siis kogumahtuvus seevastu väheneb.

H.: Ole lahkel!

T.: Ma näen, et on täiesti kasutu sinu matemaatilist intuitsiooni appi oodata... Vaata, siin on kaks järjestikku ühendatud kondensaatorit C_1 ja C_2 (joonis 14). Kas märkad, et kondensaatori C_2 mahtuvus on kondensaatori C_1 mahtuvusest väiksem, kuna C_2 membraan on väiksem. Järelikult piirab eelkõige kondensaatori C_2 suurus üldist vedelikukogust, mida kolb võib ümber paigutada. Kuigi kondensaator C_1 võiks mahutada suurema vedelikukoguse, saab ta seda teha siiski ainult sellisel määral, nagu lubab kondensaator C_2 , või vajaduse tõttu ületada enese membraani elastsusjõudu isegi pisut vähem. Järelikult osutub kondensaatorite jadaühenduse puhul C_1 ja C_2 kogumahtuvus nendest vähima mahtuvusega kondensaatori mahtuvusest C_2 väiksemaks.

H.: Arvan, et rööpühenduse puhul vastupidiselt senisele kondensaatorite mahtuvused liituvad, kuna see vastaks membraani pinna suurenemisele.

T.: Enesestmõistetavalt.



Vahelduvvoolu läbimine k kondensaatorist

Eelnenud vestluses jätsime kondensaatori laetuks. Kui kõrvaldame pingeaallika ja ühendame kondensaatori plaadid takisti kaudu, tekitame kondensaatori lahendumise ehk *tühjenemise*. Negatiivsel plaadil ülikülluses leiduvad elektronid, läbides takisti takistust, täiendavad elektronide puudujääki positiivsel plaadil. Tühjenemisvool on algul tugev, kuid nõrgeneb kooskõlas plaatide potentsiaalide erinevuse vähenemisega ja katkeb sootuks, kui kummagi plaadi potentsiaalid on tasakaalustunud.

Kui kondensaator ühendada vahelduvpingeaallikaga, siis hakkab ta järjekindlalt laaduma ja tühjenema. Plaadid laaduvad, tühjenevad ja laaduvad taas vastavalt vahelduvpinge sagedusele ja ahelas (nii nimetatakse nende detailide ja seadmete kogumit, mida vool läbib) tekib vahelduvvool. See lubab meil kõnelda, nagu läbiks vahelduvvool kondensaatorit, ehkki sealjuures elektronid ei siirdu läbi dielektriku ühelt plaadilt teisele.

Mahtuvustakistus

Loomulikult ei läbi vahelduvvool kondensaatorit nii hõlpsalt nagu head elektrijuhti. Kondensaator moodustab vahelduvvoolule teatava takistuse. See *mahtuvustakistus on seda väiksem, mida suurem on kondensaatori mahtuvus ja kõrgem voolu sagedus*. Mida rohkem pinge muutusi toimub sekundis, seda suurem hulk elektrone läbib sama ajavahemiku jooksul ahela juhtme ristlõiget.

Kui kondensaatori mahtuvus (faradites) tähistada tähega *C*, sellele toimiva vahelduvpinge sagedus (hertsides) *f*, siis avaldub mahtuvustakistus *X_c* oomides:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{6,28 f C}$$

Induktiivtakistuse võrdlemisel mahtuvustakistusega näeme, et nendel on täiesti vastandlikud omadused: kui induktiivsuse ja

sageduse suurenemisel induktiivtakistus suureneb, siis mahtuvuse ja sageduse suurenemisel mahtuvustakistus väheneb.

Faasi nihe

Induktiivsuse ja mahtuvuse erinevus avaldub ka teisel, üsnagi huvitaval viisil. Mee nutame, et vool induktiivpoolis järgib sellele rakendatud vahelduvpinge muutustele induktiivsuse toimele teatava *hilinemisega* (vaadelge tähelepanelikult joonist 9). Seda nihet voolu ja pinge vahel nimetatakse *faasi niheks*. Samuti kõneldakse, et sel juhul vool ja pinge «ei ole faasis».

Uurides vahelduvvoolu läbimineku kondensaatorit sisaldavast ahelast (joonis 12), võib täheldada, et elektronide liikumine katkeb (vool võrdub nulliga) sel hetkel, kui pinge osutub maksimaalseks; seejärel, kui pinge kahaneb, kasvab vool ja omandab maksimaalväärtuse siis, kui suunda muutev pinge läbib nullväärtust; edasi vastavalt kondensaatori uuele laadimisele, s. o. pinge teisesuunalisele suurenemisele, väheneb vool ja muutub nulliks sel hetkel, kui pinge omandab maksimaalväärtuse. See protsess saab täiesti mõistetavaks pöördumisel tagasi joonise 12 juurde. Mee nutame, et maksimaalne pinge vastab kolvi äärmistele asenditele (või membraani maksimaalsetele kooldumistele) ja et pinge läbib nulli siis, kui kolb asetseb keskasendis (ja membraan on sirge). Näeme, et sel juhul ennetavad voolu muutused pinge muutusi, sest hetkeks, kuni pinge võrdub nulliga, on vool juba jõudnud maksimumini. Nii nagu induktiivsuse puhul, kohtume siingi faasi nihega, kuid vastassuunalisega.

Kui ahelas esineb ainuüksi puhas induktiivsus või ainuüksi puhas mahtuvus, siis võrdub faasi nihe veerandperioodiga (90°). See olukord on kujutatud graafiliselt joonistel 16 ja 17, mis väärivad hoolikat uurimist.

Tegelikkuses ei esine ei induktiivsus ega mahtuvus «puhtal» kujul: lisaks nendele leidub ahelates tingimata ka teatav aktiivtakistus. Seepärast ei küüni faasi nihe iialgi maksimaalse, veerandperioodise väärtuseni.

Takistuste ühendamine

Mistahes ahela tähelepanelikul uurimisel võib avastada, et selles esinevad kõik kolm takistuste liiki: induktiiv-, mahtuvus- ja aktiivtakistus, kusjuures sellise ahela takistust nimetatakse kogutakistuseks ehk näivtakistuseks. Tuleb meele pidada, et isegi sirgjuhtmel on teatav induktiivsus ja et ahela erinevate punktide vahel võib alati märgata mahtuvuse olemasolu. Siiski arvestatakse praktikas üksnes ülekaalus olevat suurust; näiteks induktiivpooli puhul, mille mähisel on antud sagedusega voolu jaoks induktiivtakistus $10\,000\ \Omega$, võib vabalt loobuda 10-oomisest aktiivtakistusest (kui aga seda pooli läbib *alalisvool*, siis tuleb arvestada ainult seda 10 oomi, sest pooli induktiivsus ja induktiivtakistus ilmneb teatavasti ainult vahelduvpingete puhul).

Takistusi võib ühendada ahelasse mõnevõrra erinevalt. Takistused on ühendatud *järjestikku* ehk *jadamisi*, kui vool läbib neid üksteise järel, ning ühendatud *rööbiti* ehk *paralleelselt*, kui vool hargneb ja läbib takistusi üheaegselt (joonis 13).

Kui takistused on ühendatud järjestikku, suureneb tõkete arv voolu teel. Seepärast on *mitu järjestikku ühendatud takistust ekvivalentsed üheainsa takistusega, mis võrdub nende takistuste summaga*. Järjestikku ühendatud induktiiv- ja mahtuvustakistused liituvad samuti, kuid loomulikult mitte nii lihtsal viisil, nagu arvas Huviste. Meenutades induktiivsuse ja mahtuvuse voolu seisukohalt vastandlikku iseloomu, on lihtne ette kujutada, et nad peavad teineteist mingil määral neutraliseerima. Nii viisi osutub järjestikku ühendatud induktiivsusest ja mahtuvusest koosneva ahela näivtakistus väiksemaks kui induktiiv- või mahtuvustakistus üksikult. Järjestikku ühendatud takistuste lihtne liitmine on õige üksnes sel juhul, kui ahel koosneb ainult aktiivtakistustest, ainult mahtuvustakistustest või ainult induktiivtakistustest. Viimasel juhul võib niisugust kogutakistuse arvutamist toimetada pealegi ainult siis, kui üksikute poolide vahel puudub vastastikune induktiivsus, s. o. induktiivsidestus.

Reaktiivtakistuste jadaühendus

Kuivõrd järjestikku ühendatud induktiivtakistused liituvad, võib teha järelduse, et induktiivsused (milledega nad on teatavasti võrdelised) peavad samuti liituma. Teiste sõnadega, *mitu järjestikku ühendatud induktiivpooli on oma elektriliselt toimelt sama-*

väärsed ühe induktiivpooliga, mille induktiivsuse võrdub nende üksikute induktiivsuste summaga.

Kas see reegel on rakendatav ka kondensaatorite puhul? Võib arvata, et mitte, sest mahtuvustakistus on mahtuvusega pöördvõrdeline. Ja kuna mitme järjestikku ühendatud kondensaatori mahtuvustakistused liituvad, *siis tuleb liita üksikute mahtuvuste pöördväärtused, et saada nendega samaväärse mahtuvuse pöördväärtust*. Kui tähistada järjestikuste kondensaatorite mahtuvused $C_1, C_2, C_3 \dots$ ja selle ühe kondensaatori mahtuvuse, millega neid asendada saab, tähega C , siis võib ülalõnnastatud reegli avaldada järgnevalt:

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

Erijuhul, kui ühendatakse järjestikku ainult kaks kondensaatorit mahtuvusega C_1 ja C_2 , võib nende kogumahtuvuse arvutada valemiga:

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

Tuleb märkida, et kogumahtuvus on alati väiksem jadaühenduses kondensaatorite hulgast kõige väiksema mahtuvusega kondensaatori mahtuvusest. Seda asjaolu võis muidugi oletada, sest see on mahtuvustakistuse suurenemise tingimuseks mitme kondensaatori järjestikku lülitamisel.

Takistuste rööpühendus

Vaatleme nüüd, mis tekib takistuste rööbitisel ühendamisel. Sel juhul võib vool üheainsa raja asemel kulgeda mööda mitut teed. Järelikult väheneb nende radade kogutakistus. Erinevalt jadaühendusest liituvad sel juhul mitte takistused, vaid *juhtivused*. Nagu on kerge mõista, osutub *juhtivuseks* takistuse pöördväärtus (s. o. $1:R$).

Mitme aktiivtakisti $R_1, R_2, R_3 \dots$ rööbitisel ühendamisel on ahela selle osa takistus kerge arvutada, kui üksikute vooluharude juhtivused liita; sealjuures üldine juhtivus

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

Kahe takisti R_1 ja R_2 rööpühenduse erijuhul võib nende kogutakistuse arvutada valemiga

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Kui ühendame rööbiti kaks võrdse takistusega takisti, siis nende kogutakistus võrdub poolega kummagi takisti takistusest.

Niiviisi arutledes saame analoogilised tulemused rööpühenduses induktiivselt sidestamata induktiivpoolide induktiivtakistuste ja induktiivsuste jaoks.

Samuti leiame, et mitme kondensaatori rööbitisel ühendamisel võrdub nende resulteeriva mahtuvustakistuse pöördväärtus üksikute kondensaatorite mahtuvustakistuste pöördväärtuste summaga. Kuid mahtuvuste osas oleks ettevaatamatu neidsamu matemaatilisi operatsioone kasutada. Juba nende jadaühenduse puhul nägime, et mahtuvused käituvad ebataavaliselt. Põhjus peitub mahtuvustakistuse ja mahtuvuse pöördvõrdelises sõltuvuses.

Seepärast võib erilise vaevata teha järel-duse, et *mitme rööbiti ühendatud kondensaatori kogumahtuvuse arvutamiseks tuleb nende mahtuvused vahetult liita.*

Pole võimatu, et terve see arutelu aktiivtakistitest, induktiivsustest ja mahtuvustest üheilt poolt ja nendele vastavatest takistustest teiselt poolt, mis kord on ühendatud järjes-tikku, siis jällegi rööbiti, viib lugeja teatud määral segadusse. See on täiesti vabandav. Targaste püüab kõik tarvilikku korda seada juba järgmise vestluse alguses. Muide: selle mõistmiseks on lugeja suurel määral ette val-mistatud nende aruteludega.

TAVALISED ÜHIKUD

Järgnevasse tabelisse on koondatud nende suuruste ühikud, mida kasutatakse raadiotehnikas kõige enam. Esimene veerg sisaldab füüsilisi suurusi, teine aga nende tähiseid; kolmandas on vastavate mõõtühikute nimetused ja neljandas nende tähised.

Füüsikaline suurus	Tähis	Mõõtühik	Tähis
Pikkus	<i>l</i>	meeter	m
Mass	<i>m</i>	gramm	g
Aeg	<i>t</i>	sekund	s
Elektriline pingeline	<i>U</i>	volt	V
Vool	<i>I</i>	amper	A
Võimsus	<i>P</i>	vatt	W
Takistus	<i>R</i>	oom	Ω
Induktiivsus	<i>L</i>	henri	H
Mahtuvus	<i>C</i>	farad	F
Sagedus	<i>f</i>	herts	Hz

Kümnendsüsteemi eesliidete abil saab eeltoodud ühikutest moodustada vajaduse korral suuremaid ja väiksemaid ühikuid. Vastavad näited on leheküljel 33.

5.

VESTLUS

Targaste loob Huviste mõttekäigus teatava selguse, esitades tabeli, milles on anud takistite, induktiivpoolide ning aktiiv- ja reaktiivtakistuste väärtused vastavate olukordade jaoks. Seejärel asuvad sõbrad uurima resonantsi probleemi — raadiotehnika põhilisimat nähtust. Targaste juhib tähelepanu mõningatele momentidele, mis edaspidi hõlbustavad radioahelate uurimist.

VÕISTLUS: INDUKTIIVSUS MAHTUVUSE VASTU

Huviste: Olen väga õnnelik, et taas sinuga kohtun. Meie eelmisest vestlusest jäi mu pähe niisugune segadus, et nüüd julgesin ma veelgi vähem kui kunagi varem asuda sinu tädi jaoks raadioaparaati konstrueerima.

Targaste: Seda võis ette näha. Seepärast näitan sulle praegu tabelit (joonis 15), milles on takistite, kondensaatorite ja induktiivpoolide jada- ning rööpühendused ja vastavad valemid aktiiv-, induktiiv- ning mahtuvustakistuse väärtuste leidmiseks.

H.: Täna. Kahtlemata aitab see mu mõtteid korrastada, sest



Jadaühendus	Rööpühendus
$R = R_1 + R_2$	$R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$
$L = L_1 + L_2$	$L = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2}$
$C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$	$C = C_1 + C_2$
Kogutakistus	
$Z = Z_1 + Z_2$	$Z = \frac{Z_1 \times Z_2}{Z_1 + Z_2}$

Joonis 15. Takistuste, induktiivsuste ja mahtuvuste jada- ning rööpühenduse skeemid.

meie studiumi toimel olen hakanud halvasti magama ja see sisendab minusse rahutust.

T.: On see siis tõesti raadio, mis...

H.: No muidugi! Terve öö mõtlesin sellest, mis võiks kondensaatori ja induktiivpooli järjestikühendamisest välja tulla. Kuid paraku ei suutnud midagi välja nuputada.

T.: Selles pole midagi imelikku, sest ma pole sulle veel midagi kõnelnud ühest olulisest nähtusest. Olukord on järgmine. Kuigi induktiivsus ja mahtuvus osutuvad vahelduvvoolu jaoks takistusteks, on nendel takistustel justkui vastandlikud omadused. Induktiivsus pidurdab pinge rakendamisel talle omase inertsitõttu voolu ilmumist (joonis 16). (Sel juhul kõneldakse, et esineb faasinihe ja vool jääb pingest maha.) Mahtuvusel on vastupidine omadus: vool on suurim hetkel, kui kondensaator on tühjenenud ja pinge järelkult võrdne nulliga; vool väheneb kooskõlas sellega, kuidas kondensaator laadub ja pinge sellel kasvab.

H.: Jah, see on tõepoolest nii! Kui membraan on õgvenenud, on suurim kogus vett (elektrone) liikumises; kui ta on maksimaalselt kooldunud, katkeb liikumine.

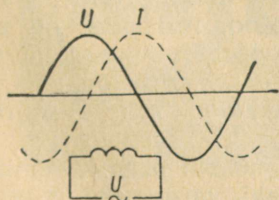
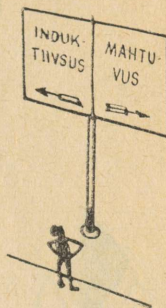
T.: Selle analoogia tõlkimisel elektrotehnika keelde saab öelda, et mahtuvust sisaldavas ahelas ennetab vool sellele ahelale rakendatud pinget, seega esineb nende vahel faasinihe (joonis 17).

H.: Olgu nii. Kuid mis juhtub, kui vahelduvpinge on rakendatud järjestikku ühendatud kondensaatorile ja induktiivpoolile? Täna öösel tahaksin siiski uinuda!

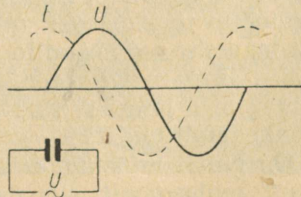
T.: Noh, hüva! Sel juhul sõltub kõik induktiiv- ja mahtuvustakistuse väärtuste suhtest. Kui induktiivtakistus on mahtuvustakistusest suurem, siis jääb ülekaalu esimene, sest mahtuvustakistus tuleb siis induktiivtakistusest lahutada, samuti ka vastupidi. Nimelt toimivad nad diametraalselt vastandlikena.

H.: Hüva. Luba siis esitada mind vaevavatest küsimustest ühe. Kujutle, et mul on kondensaator ja sellega järjestikku ühendatud induktiivpool (joonis 18). Ma rakendan nendele üha suureneva sagedusega vahelduvpinge. Mis nüüd juhtub?

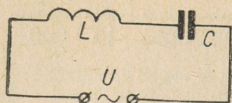
T.: Seda tead sa väga hästi ka ise.



Joonis 16. Faasinihe induktiivsusega ahelas: vool I jääb pingest U maha.



Joonis 17. Faasinihe mahtuvusega ahelas: vool I ennetab pinget U .



Joonis 18. Mahtuvuse C ja induktiivsuse L jadaühendus. Resonantsisagedusel vähenevad faasinihe ja reaktiivtakistus nullini.

H.: Jah, tean, et sageduse suurenemisel induktiivtakistus kasvab ja mahtuvustakistus kahaneb. Sellisel juhul ilmub möödapääsmatult moment, kui induktiiv- ja mahtuvustakistus osutuvad mingil sagedusel võrdseteks. Ja kuna üks tuleb teisest lahutada, siis kujuneb meie ahela üldine reaktiivtakistus nulliks?!

T.: Sa arutled päris asjalikult, kuid unustad, et ahelasse jääb ikkagi tavaline aktiivtakistus, mis ei sõltu sagedusest. Kuid õige on see, et teatava sageduse juures mahtuvus- ja induktiivtakistus justkui hävitavad vastastikku teineteise ja ahelas ei ole sel hetkel pinget ja voolu vahelist faasinihet.

TILK, MIS PURUSTAB RAUDTEERÕOPA

H.: Tähendab, et sel hetkel osutub ahela takistus minimaalseks ja vool järelkult maksimaalseks?

T.: Loomulikult. Seda olukorda nimetatakse resonantsiks.

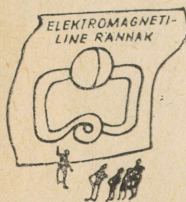
H.: Kas pole see õigupoolest sarnane looga veetilkadest, mis purustavad raudteerõopa?

T.: Mida sa jälle välja mõtlesid?

H.: Lugesin kusagilt, et kahel toel lebavat raudteerööbast saab purustada, kui tilgutada selle keskele vett. Langevate tilkade rütmist hakkab rööbas vibreerima ja tilkade langemise teataval sobival sagedusel muutub vibreerimine nii tugevaks, et rööbas võib puruneda.

T.: Tõepoolest, see on näide mehaanilisest resonantsist. Täpselt samuti on induktiivsust ja mahtuvust sisaldavad, s. o. induktiivpoolist ja kondensaatorist koosneval ahelal teatav *resonantsisagedus*, mille puhul ahela takistus muutub väga väikeseks ja vooluvõnkumine selles tugevaimaks. See on analoogiline metallvarda omadustele, millel teatavat massi (induktiivsuse analoogi) ja teatavat elastsust (mahtuvuse analoogi) omades on samuti resonantsisagedus, mille puhul varda vibreerimine osutub suurimaks. Esimene tilk paneb rööpa väga nõrgalt võnkuma, kuid teine, mis langeb tarvilikul hetkel sellele, suurendab võnkeamplituudi jne.

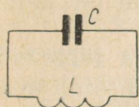
H.: Nüüd mõistan, et kui tilgad järgneksid pisut kiiremini või pisut aeglasemalt, siis nad ei soodustaks varda võnkumist, vaid hoopiski segaksid seda. Kuid resonantsisagedusel nende toimed liituvad ja varras puruneb, kui võnkumine muutub liiga tugevaks.



PERPETUUM MOBILE! ...

T.: Kui soovid, pöördume nüüd taas elektri juurde. Kujutle, et sul on laetud kondensaator ja et sa ühendad selle väljaviigujuhtmetega induktiivpooli (joonis 19). Mis toimub?

H.: Seda tean ma väga hästi. Eelmises vestluses õppisime tundma kondensaatori tühjendamist läbi takisti, kuid pooli mähis on ju seesama mis takisti. Järelikult tühjeneb kondensaator induktiivpooli kaudu... ja ongi kõik!



Joonis 19.
Võnkering.

T.: Näed, kui ohtlikud on liiga kärmed järeldused! Sa unustad, armas sõber, et pooli mähise induktiivtakistus on pisut iseäralik, et ta sarnaneb inertsiiga. Elektronidel on induktiivpoolis niisama raske liikuma hakata kui ka peatuda. See tähendab, et kondensaatori tühjenemise hetkel jätkub elektrownide vool veel sellesamas suunas ja...

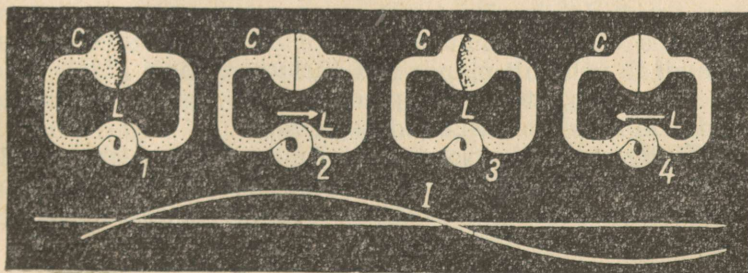
H.: ...kondensaator laadub taas, muutes ilmselt polaarsust. Kuid millal ta uuesti tühjeneb?...

T.: Ta tühjeneb peatselt uuesti ja nii edasi (joonis 20).

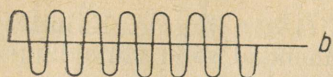
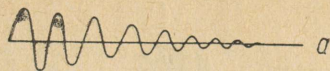
H.: Tähendab, et sellele ei tulegi lõppu? Piisab kondensaatori ühekordsest laadimisest, et ta induktiivpooli kaudu tühjenemise järel taas laaduks ja tühjeneks lõpmatuseni. See oleks ju perpetuum mobile?!

T.: Ära liigselt innustu! Meie ahel sisaldab ka aktiivtakistust ja seepärast vool nõrgeneb, sest peab seda aktiivtakistust ületama. Järelikult muutub vooluvõnkumine üha nõrgemaks ning lõpuks lakkab hoopis.

H.: See sarnaneb pendli võnkumisele, mis tasakaaluasendist



Joonis 20. Elektronide liikumine võnkeringis ühe perioodi jooksul. Hetkedel 1 ja 3 vool puudub ja pinge kondensaatoril C on maksimaalne; hetkedel 2 ja 4, vastupidi, on vool maksimaalne ja pinge kondensaatoril C puudub.



Joonis 21. Võnkumiste liigid: *a* — sumbuv võnkumine, *b* — sumbumatu võnkumine.

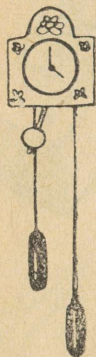
väljaviiduna kõigub seni, kuni kogu tema energia on õhutakistuse tõttu ära kulutatud.

T.: See on kõige klassikalisem näide, mida esitatakse kõigis raadiotehnika õpikutes. Kuid kas oskad ütelda, milline on meie ahelas tekkiva võnkumise sagedus?

H.: Arvan, et elektronid on küllaldaselt taibukad ja järgivad vähima energiakulu seadusele. Seepärast hakkavad nad võnkuma resonantsisagedusega, s. o. sagedusega, mille puhul ahela näivtakistus on kõige väiksem.

T.: Kõik toimubki just selliselt. Induktiivsusest ja mahtuvusest koosnevas ahelas, mida nimetatakse *võnkeringiks*, kujuneb kondensaatori tühjenemine *kustuvaks* ehk *sumbuvaks elektrivõnkumiseks* (kahaneva amplituudiga vahelduvvooluks), mille sagedus võrdub võnkeringi *omasageduse* ehk *resonantsisagedusega* (joonis 21).

H.: Kas leidub mingi abinõu selle võnkumise kestvaks säilitamiseks?



VÕNKERING JA VÄLISAHEL

T.: Loomulikult. Püsiva amplituudiga ehk *sumbumatu võnkumise* võib saada, kui iga üksikvõnke energiakadu kompenseerida välisest allikast saadava väikese energiahulgaga.

H.: Sain sellest aru ja meenutasin taas kella. Eks seinakella vedru pingus või pommide raskus anna pendlile selle iga võnke taktis kergeid tõukeid.

T.: Õige. Kuid meie juhul tuleb võnkering *LC* sidestada ahelaga, mida läbib võnkeringi resonantsisagedusega vahelduvvool. Sidestus võib olla induktiivne (joonis 22, *a*), või võnkering tuleb ühendada vahetult pingeallika ahelasse (joonis 22, *b*).

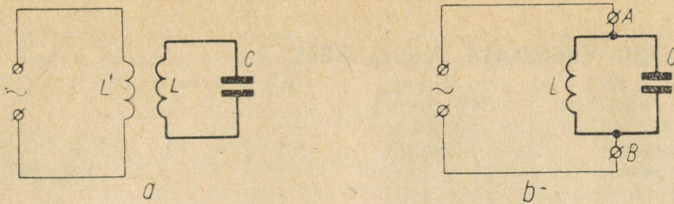
H.: Arvan, et kummalgi juhul võib voolu võnkeringis tugevdada ainult resonantsisagedusega vool.

T.: Ega sa ei eksi seegi kord. Kuid veel on miski siin oluline — palun sind sellele erilist tähelepanu pöörata! Kui võnkering ühendatakse ahelasse (joonis 22, *b*), avaldab ta resonantsisagedusega voolule suurt reaktiivtakistust.

H.: Siis... enam ei taipa ma midagi! Alles äsja sa seletasid, et resonantsisagedusega voolule on võnkeringi reaktiivtakistus vähim?!

T.: Milline rosolje täidab su pead!... Saa ometi aru, et siin





Joonis 22. Võnkeringi LC toitmise skeemid: a — induktiivne; b — vahetu.

on meil kaks täiesti erinevat ahelat. Üks, mille joonistan jämejoonega, on meie võnkering. Teine on aga välisahel, mida läbib resonantsisagedusega vool.

H.: Kust seda voolu saadakse?

T.: Seda saad teada hiljem — antennist või anoodahelast. Praegusel hetkel pole see oluline... Võnkeringi LC reaktiivtakistus resonantsisagedusel (omasagedusel) võnkuva voolu jaoks on tööpoolest väga väike.

Nüüd vaatleme ahelat, mis on joonistatud peenjoonega. Seal muudavad asjad oma ilmet. Selle ahela ülesanne on sisestada võnkeringi LC iga vooluvõnke vältel selline väike energiahulk, mille võnkering iga võnkeperioodiga kaotab. Nii võibki välisahelas esineda ainult väga nõrk vool. Siit järeldub, et võnkering osutub välisahela suhtes resonantsisagedusel suureks takistuseks.

H.: Kuigi see on pagana keeruline, näib siiski, nagu oleksin aru saanud.

T.: Pea meeles veel üks oluline järeldus: kuna võnkering on resonantsivoolu jaoks välisahela suhtes suure takistusega, tekitab see vool (kooskõlas Ohmi seadusega) võnkeringi klemmidel A ja B väga suure vahelduvpinge (joonis 22, b).

H.: Aga mis toimub, kui resonantsisagedusega voolu asemel on välisahelas teise sagedusega vool?

T.: Sel juhul võnkeringis esinev *sundvõnkumine* on märksa nõrgem kui resonantsi puhul. Võnkeringi takistus välisahela voolu suhtes on resonantsisagedustest erinevatel sagedustel seevastu tublisti väiksem.

Järelikult, kui välisahelat läbib üheaegselt palju erinevate sagedustega voole, siis võib ainuüksi resonantsisagedusega vool tekitada võnkeringis LC tugeva vooluvõnkumise ja selle klemmidel kõrge pinge. Sel viisil võib paljudest vooludest eraldada ehk selekteerida ühe, nimelt resonantsisagedusega voolu.

H.: Tahaksin küsida, millest oleneb resonantsisagedus, ja veel...

T.: Arvan, et tänaseks aitab. Sa oled juba küllastunud ja oleks parem ülejäänud järgmiseks korraks edasi lükata. Siis võime kõik ettevalmistavad elektrotehnika-alased mõisted lõpetada ja siirduda vahetult raadiotehnika juurde.



Elektriline resonants

Ennetades Targaste selgitusi, esitasime oma kommentaarides faasinihke mõiste ja näitasime, et induktiivsust läbides jääb vool pingest maha ning mahtuvust läbides ruttab sellest ette. Tuginedes sellele, et induktiiv- ja mahtuvustakistusel on täiesti vastandlikud omadused, määrasime kindlaks, et induktiiv- ja mahtuvustakistuse jadaühendusel peavad nad teineteist rohkem või vähem kompenseerima.

Vaatleme lähemalt ahela (joonis 18) takistust, milles on vahelduvpingeallika klemmidega ühendatud jadaühenduses induktiivpool ja kondensaator. Samuti eeldame, et võime soovi kohaselt muuta vahelduvpinge sagedust.

Kui mingil antud sagedusel on induktiivtakistus mahtuvustakistusest väiksem, siis on mahtvuse toime ahelas ülekaalus, vool enneatab pinget ja ahela reaktiivtakistus võrdub mahtuvustakistuse ning induktiivtakistuse vahega (kui mitte arvestada aktiivtakistust).

Hakkame nüüd sagedust järkjärgult tõstma. Mis nüüd juhtub? Sageduse kõrgenemisega kaasneb induktiivtakistuse suurenemine ja mahtuvustakistuse vähenemine. Järelikult jõuab kätte selline hetk, mil *teatava sageduse puhul induktiivtakistus võrdub mahtuvustakistusega*. Need kaks võrdset suurust kompenseeruvad vastastikku ja *ahela reaktiivtakistus osutub võrdseks nulliga*. *Faasinihe võrdub samuti nulliga*, s. o. vool on pingega faasis. Nulliga võrduva reaktiivtakistuse puhul peaks vool, vähemalt teoreetiliselt, kasvama lõpmata suureks. Tegelikult on ahelas alati teatav aktiivtakistus ja see piirab voolu tugevnenemist.

Kui jätkaksime sageduse suurendamist, siis muutub induktiivtakistus mahtuvustakistusest suuremaks, vool hakkab pingest maha jääma ja reaktiivtakistus jällegi suurenema.

Näeme, et leidub ainult üks sagedus, mille puhul ahela takistus omandab väga väikese väärtuse ja vool ahelas osutub maksimaalseks. See ongi *resonantsisagedus*. Samuti öeldakse, et selle sageduse puhul esineb *pingeresonants*.

Võnkuv lahendumine

Samasuguseid nähtusi võib jälgida ka induktiivpooli ühendamisel laetud kondensaatori plaatidega (joonis 19). Kondensaatori tühjenemisel läbi aktiivtakistuse kahaneb vool nullini väga lühikese ajavahemiku vältel. Tühjendamisel induktiivpooli kaudu ilmub võnkuv lahendus. Induktiivsus, nagu mäletame, takistab voolu kahanemist, otsekui toetades teda samasuunalise eneseinduktiivnivooluga. See vool laeb ümber kondensaatori, muutes tema plaatide polaarsust. Kondensaator tühjeneb jällegi (sealjuures on vool vastassuunaline), laadub eneseinduktiivnooli toimel taas ümber jne. Ahelas hakkab ringlema vahelduvvool, ilma et väljastpoolt saabus energiat; ja nagu polekski selle liikumise katkemiseks mingit põhjust..., kui mitte ahelal poleks aktiivtakistust, milles järkjärgult kulutatakse esialgselt laetud kondensaatorisse kogutud energiat.

Energia järkjärgulise kulutamise tulemusena on iga järgnev võnge eelnevast nõrgem ja lõpuks võnkumine katkeb kogu energia-tagavara ärakulutamise tõttu. Sellise olemusega on *kustuv* ehk *sumbuv võnkumine* (joonis 21, a), mida vanasti kasutati raadiotelegraafias, kus iga üksik võnkuv lahendus tekitati sädeme abil. See primitiivne sumbuva võnkumise meetod asendati hiljem *kustumatu* ehk *sumbumatu võnkumise* (joonis 21, b) kasutamiselega. Seda tekitav vool on vahelduvvool; ta ilmub *võnkerings*, nagu nimetatakse ahelat, mis koosneb induktiivpoolist ja selle mähise otste vahele ühendatud kondensaatorist. Võnkumise järkjärgulise nõrgenemise vältimiseks, nagu see toimub sumbuva võnkumise puhul, piisab energiakadude kompenseerimisest, kui juhtida väljastpoolt võnkeringi sellised energiaannused, mis on vajalikud ja küllaldased selle võnkumise püsiva amplituudi säilitamiseks.

On tarvilik, et energiaga täiendamine toimuks võnkeringi omavõnkesagedusel, mis loomulikult vastab tema resonantsisagedusele (mille puhul kogutakistus on vähim). Kui välised energiaimpulsid juhtida võnkeringi selle resonantsisagedusest erineval sagedusel, siis nad ei soodusta võnkumise säilitamist,

vaid isegi toimivad nendele vastu ja lõpptulemusena viivad selleni, et saame võnkerings ainult väga nõrga voolu (sundvõnkumise).

Võnkeringi takistus

Vahelduvpingeallikas, mida kasutatakse võnkeringi energiakadude kompenseerimiseks, võib olla sellega sidestatud induktiivselt (joonis 22, a) või ühendatud vahetult (joonis 22, b). Kui võnkerings hajub vähe energiat (aktiivtakistus on muudetud minimaalseks), siis öeldakse, et ta *sumbuvus on väike*. Sel juhul on võnkeringi poolt vahelduvpingeallikast võetav energia samuti väike (võrdub kulutatud energiaga, mida see peab kompenseerima). Seepärast, *mida väiksem on sumbuvus, seda vähem energiat võtab võnkering teda toitvast välisahelast*. Siin kohtame peaaegu paradoksaalset olukorda. Samal ajal kui võnkerings eneses vahelduvvool küünib suurte väärtusteni (seda suuremateni, mida väiksem on võnkeringi sumbuvus), on välisahelas (mis on joonisel 22, b kujutatud peenjoonega) vool väga nõrk (seda nõrgem, mida väiksem on võnkeringi sumbuvus). Või jällegi, seda nähtust teisiti vaadeldes, *võnkeringi takistus on väga väike temas eneses esineva voolu suhtes, kuid välisahelas esinevale voolule avaldab võnkering suurt takistust*. Loomulikult kehtib kõik see *resonantsisageduse puhul*.

Kui Targaste oleks tahtnud Huvistele anda võimalust paremini mõista selle nähtuse olemust, oleks ta pidanud otsima sobivat analoogiat... kõõgist, samastades võnkeringi

keeva veega täidetud kastruliga. Kui kastrul annab ümbritsevale keskkonnale edasi vähe soojust, siis saab vett hoida keevas olekus väga väikese tule abil (juhtum väikeste kadudega võnkeringiga, milles saab võnkumist säilitada väikese täiendava energiakoguse abil). Kui kastrul kaotab palju soojust, näiteks suure jahtumispinna tõttu, siis on vee keevas olekus hoidmiseks tarvilik suur leek. See on suure sumbuvusega võnkeringiga juhtum.

Resonants induktiivsuse ja mahtuvuse jada- ning rööpühenduse puhul

Süsteematiseerime lühidalt oma teadmised resonantsi kohta. Joonisel 18 näeme pingeallikaga järjestikku ühendatud kondensatorit ja induktiivpooli. Resonantsisagedusega voolu jaoks on selle võnkeringi takistus minimaalne, vool aga omandab maksimaalväärtuse (pingeresonants).

Joonisel 22, b esitatud juhul on kondensator ja induktiivpool ühendatud pingeallikaga rööbiti. Sel juhul on võnkering toiteallika jaoks maksimaalse takistusega ja laseb läbi ainult väga nõrka voolu, kuid sellest nõrgast voolust piisab tugeva voolu alalhoidmiseks võnkerings (vooluresonants).

Viimast juhtumit vaadeldes võib mõista, et võnkeringil ei ole resonantsisagedusest erinevate sageduste puhul selliseid omadusi. Sundvõnkumine võnkerings osutub nõrgaks ja võnkeringi takistus nendel sagedustel on tähtsusetu.

6.

VESTLUS

Viis eelnenud vestlust lubasid Huvistel (ja Teilgi, kallis lugeja) omandada tarvilikke teadmisi üldelektrotehnikast. Nüüd asub Targaste poolt kütkestatud Huviste raadioasjandust uurima. Senistele teadmistele tuginedes vaatlavad nad käesolevas vestluses võnkeringide selektiivsuse (eraldusteravuse) ja häälestamise küsimusi.

HUVISTE JA MATEMAATIKA

Targaste: Viimati küsisid, millistest teguritest oleneb võnkeringi resonantsisagedus.

Huviste: Jah, kuid mõtisklesin vahepeal selle küsimuse üle ja arvan nüüd, et avastasin tõe. Esiteks koosneb võnkering ainult ühest kondensaatorist ja ühest induktiivpoolist. Järelikult võib tema omasagedus rangelt võttes sõltuda ainult selle kondensaatori mahtuvusest ja selle pooli induktiivsusest.

T.: Ei tarvitsegi olla Sherlock Holmes, et jõuda sellele järeldusele.

H.: Loomulikult. Kuid ma läksin kaugemale... Mida suurem on mahtuvus, seda kauem vältab iga laadimine ja iga tühjene-mine. Täpselt samuti, mida suurem on induktiivsus, seda energilisemalt takistab ta voolu igasuguseid muutusi ja järelikult aeglustab võnkumist. Lühemalt: võnkeringi omavõnkeperiood suureneb mahtuvuse ja induktiivsuse suurendamisel.

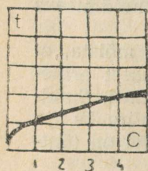
T.: Ja järelikult samal ajal resonantsisagedus väheneb. Õnnet-len sind, Huviste: sinu arutelu on õige. Tuleb ainult lisada, et sagedus (ja periood) ei muutu nii kiiresti kui mahtuvus või induktiivsus. Kui sa kas või pisut armastaksid matemaatikat, ütleksin sulle, et võnkeringi omavõnkeperiood on võrdeline ruutjuurega mahtuvuse ja induktiivsuse korrutisest⁶.

H.: Oh! Tead, matemaatika ei armasta ka mind, ja ma jagan seda tunnet täiesti. Tunnistan, et isegi riskides näida tänamatuna, ei näe ma esialgu kõigest sellest, mis on seoses võnkeringidega, erilist tulu raadio jaoks.

⁶ Teades induktiivsust L ja mahtuvust C , on Thomsoni valemi abil kerge määrata võnkeperioodi T :

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

kus $\pi = 3,14\dots$ Kuid Huviste ei armasta valemeid.



SUITSURÕNGAD

T.: Ma selgitasin sulle juba meie teise vestluse ajal, et kui antenniks nimetatavas vertikaalses traadis on kõrgsagedusvool . . .

H.: . . . siis eralduvad sellest elektromagnetilised lained ja levivad suitsurõngastena, mis suurenevad tohutu, 300 000-kilomeetrisel kiirusega sekundis.

T.: Suurepärase, su mälu pole veel nõrgenenud . . . Nüüd aga, mis sinu arvates juhtub, kui need rõngad kohtavad oma teel teist vertikaalset traati?

H.: Arvan, et sel juhul võiksin nähtuste pööratavuse põhimõtet kasutades kinnitada, et elektromagnetilised rõngad indutseerivad selles juhtmes kõrgsagedusvoolu.

T.: Õigel! Ja selleks, et nimetada asju nende õigete nimedega, ütleme, et elektromagnetilised lained indutseerivad *vastuvõtuantennis* voolu, mis on identne saateantennis esinevaga. Loomulikult on ta tunduvalt nõrgem, sest saatjast eemaldumisel lained nõrgenevad.

H.: Just nagu suitsurõngad, mis laienevad ja järk-järgult lahustuvad õhus.



HUVISTE PELGAB SURRA ELEKTRILÕOGIST

T.: Nüüd mõtle ühe olulise asja üle järele. Igal hetkel töötavad kogu maailmas tuhanded erinevad raadiosaatjad.

H.: Ega sa ei kavatse väita, et kõik need tekitavad igas vertikaaljuhtmes oma voolu?!

T.: Aga just nii! Võid olla veendunud, et ka sind, kuigi sa pole kaugeltki täiuslik elektrijuht, läbivad praegusel hetkel kümned kõrgsagedusvoolud.

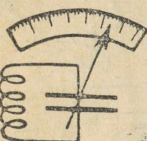
H.: Kui õudne see on! Olnuks parem, kui sa sellest mulle poleks rääkinud! Kuid miks ma midagi ei tunne?

T.: Lihtsalt seepärast, et need voolud on väga nõrgad. Pealegi, vastandina alalisvoolule ja madalsageduslikele vahelduvvooludele, mis levivad juhtme sees, esinevad kõrgsagedusvoolud ainult juhtme pinnal. Seda nimetatakse *pinnaefektiks*.

H.: See rahustab mind pisut . . ., kuid miski muu jällegi häirib. Põhjusel, et vastuvõtuantenn saab voole kõikidest üheaegselt töötavatest radiojaamadest, peaksime kuulma kohutavat segu klassikalise ja kerge muusikast, loengutest, päevauudistest, toiduretseptidest jne. Ma ei kujutleks, mida võiksin taibata Berliini, Moskva ja Vatikani saatete üheaegsel kuulmisel . . .



SELEKTIIVSUS (ERALDUSTERAVUS)



T.: Sa tead ju hästi, et see pole nii. Raadiovastuvõtjad on *selektiivsed* seadmed, millede abil saame eraldada ehk selekteerida nendest lainetest just seda, mida tekitab antennis meile vajalik saatja.

H.: Millisel viisil?

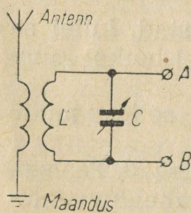
T.: Ühe või mitme võnkeringi abil. Näiteks joonisel 23 on antenn induktiivselt — pooli abil — sidestatud võnkeringiga. See on just niisugune olukord, mida vaatlesime oma viimase vestluse lõpul. Kõikidest antennis esinevatest vooludest tekitab klemmidel *AB* teatava vahelduvpinge ainult see, mille sagedus võrdub võnkeringi *LC* resonantsisagedusega.

H.: Tähendab, et raadiojaamad, kui ma õigesti aru sain, peavad üksteisest erineva nende poolt tekitatavate voolude sageduste poolest.

T.: Täpselt nii. Saatja puhul on sagedus seesama mis telefoniaparaadi puhul number.

H.: Kuid võnkeringil võib olla ainult üks omasagedus; kuidas aga saame soovi korral erinevaid saateid kuulata?

T.: Erinevatele sagedustele *häälestamise* teel. Resonantsisageduse muutmiseks piisab võnkeringi induktiivsuse või mahtuvuse muutmisest. Kas näed, et joonisel 23 on kondensaatori *C* skeemitähis noolega läbi tõmmatud? Tavaliselt näitab nool skeemidel, et vastav suurus on muudetav. Käesoleval juhul kasutame häälestamiseks muudetava mahtuvusega kondensaatorit.



Joonis 23. Võnkeringi induktiivne sidestamine antenniga.

H.: Järelikult on antennis palju erineva sagedusega voole, kuid kondensaatori mahtuvuse muutmisega saame võnkeringi häälestada meile tarvilikule sagedusele ja just sellega otsekui kinni püüda vajaliku saatja. Punktide *A* ja *B* vahel ilmub vahelduvpinge, kuid . . . mis saab sellest edasi?

T.: Tavaliselt on see pinge väga madal. Seda tuleb enne edasisteks muundamiseks kasutamist võimendada. Just võimendamiseks kasutataksegi raadiolampe, millede saladusi uurime järgmine kord.

KOMMENTAARID KUUENDALE VESTLUSELE

Thomsoni valem

Võnkeringi omavõnkumise ehk resonantsi periood suureneb induktiivsuse või mahtuvuse suurendamisel. See on täiesti loogiline, sest kõik, mida nendest teada saime, näitab, et nende väärtuste suurenemine võib võnkumist ainult aeglustada.

Üksikud valemid, mis me selgituse käigus eespool esitasime, lubavad väga hõlpsalt tuletda resonantsi valemi, ilma et peaksime ohtliku akrobaatikaga tegelema.

Nagu nägime, tekib resonants siis, kui induktiivtakistus muutub mingil teataval sagedusel mahtuvustakistusega võrdseks. Kirjutame selle tingimuse üles, avaldades induktiiv- ja mahtuvustakistused meile juba tuntud valemitega:

$$X_L = 6,28fL; \quad X_C = \frac{1}{6,28fC}$$

Siis omandab meie võrdus järgmise kuju:

$$X_L = X_C \text{ ehk } 6,28fL = \frac{1}{6,28fC}$$

Sellest võrdusest võib kindlaks määrata, millega otsitav sagedus f võrdub. Selleks korrutame võrduse kumbagi poolt f -ga ja jagame neid $6,28L$. Selle teisenduse tulemusena saame, et

$$f^2 = \frac{1}{6,28^2 LC}$$

Seejärel võtame ruutjuure võrduse kumbastki poolest ja saame:

$$f = \frac{1}{6,28\sqrt{LC}}$$

Kuna periood T on sagedusega f pöördvõrdeline suurus, siis võime samuti kirjutada:

$$T = 6,28\sqrt{LC}$$

Nii saimegi Thomsoni valemi, mis on tuletatud kogu matemaatilise rangusega... või peaaegu kogu rangusega, sest me loobusime aktiivtakistusest, mis samuti avaldab oma toimet, eriti siis, kui ta on suhteliselt suur. Kuid raadiotehnikas kasutatavates võnkeringides püütakse aktiivtakistus viia mi-

nimumini. Seepärast ongi meie äsjatuletatud valem täiesti kasutatav.

Muuhulgas näitab see valem meile, et kui suurendame mahtuvust (või induktiivsust) 4, 9, 16 või 25 korda, siis suureneb periood vastavalt kõigest 2, 3, 4 või 5 korda (ja sagedus väheneb samapalju korda).

Eraldusteravus (selektiivsus)

Resonantsinähtus annab raadiotehnikale väärtusliku võimaluse valida erinevatel sagedustel toimuvate paljude saadete hulgast tarvilikku saatjat. Tänu eraldustervusele ehk selektiivsusele ei kuule me raadiovastuvõtjates üheaegselt kõikide saatjate saateid, millele lained täidavad ruumi ja indutseerivad vastuvõtuantennis kõragsagedusvoolusid.

Vajalik arv võnkeringe (kõige levinumates vastuvõtjates kasutatakse tavaliselt viit võnkeringi), mis on sobivates kohtades asetatud vastuvõtja elektrilisse skeemi, eraldavad valitud saatja üheainsa sageduse ja kõrvaldavad kõik ülejäänud.

Nii näiteks antenniahelasse paigutatud võnkering juhib peaaegu takistamatult maandusse kõikide sagedustega voolud, välja arvatud tema resonantsisagedusele vastava voolu. Võnkering avaldab selle sagedusega voolule suurt takistust. Selle tõttu tekib temal vahelduvpinge, mis seejärel antakse vastuvõtja võimendusastmesse.

Täpselt samalaadselt ergutab ainuüksi resonantsisagedusega vool antenniga induktiivselt sidestatud võnkeringis (joonis 23) märgatava voolu ja tekitab selle klemmidel A ning B vahelduvpinge.

Võnkeringide häälestamine

Ühe või teise saate valimiseks tuleb luua võimalus võnkeringide resonantsisageduste muutmiseks, s. o. erinevatele sagedustele häälestamiseks (saatja sagedusele häälestatud võnkeringi nimetatakse häälestatud võnkeringiks).

Võnkeringi häälestatakse tema ühe elemendi (pooli induktiivsuse või kondensaatori

mahtuvuse) suuruse muutmisega. Terve *laineastmiku* katmiseks tühimiketa, s. o. häälestuse sujuvaks reguleerimiseks teatavas sageduste piirkonnas, on hõlpsam muuta mahtuvust. Seda saab teha *muudetava mahtuvusega kondensaatorite* abil. Need koosnevad liikuvate ja paigalseisvate plaatide komplektist. Kumbki komplekt sisaldab mitu plaati; liikuvad plaadid, mis asetuvad paigalpüsivate plaatide vahele, on kinnitatud ühise võlli külge. Võlli pööramisega võib liikuvaid plaate nihutada seisvate plaatide vahele või nende vahelt välja pöörata; seejuures muutub plaatide tegelikult töötav pind ja järelkult ka kondensaatori mahtuvus.

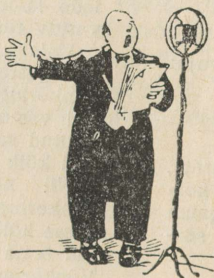
Täpseks häälestamiseks antakse häälestusnupu pöördumine edasi kondensaatorile vastava aeglustava mehhaanilise ülekande (näiteks hammasrataste süsteemi) kaudu. Tänu sellele tuleb liikuvate plaatide pööramiseks tarviliku nurga võrra häälestusnuppu mitu korda ümber oma telje pöörata.

Muudetava mahtuvusega kondensaatori võlli pööramisega koos liigub mööda skaalat osuti. Skaala kannab sagedustele vastavaid jaotusi (või lainepikkusi) ja samuti olulisemate ringhäälingujaamade nimetusi.

Muudetava mahtuvusega kondensaatorite mahtuvus on kuni 500 pF.

Äärmises asendis, kui liikuvad plaadid on liikumatute vahelt täiesti välja pööratud, jääb plaatide vahel mõjuma siiski teatav mahtuvus, mida nimetatakse *algmahtuvuseks*. Olenevalt kondensaatori konstruktsioonist võib algmahtuvus olla 10...25 pF.

Edaspidi näeme, et häälestamiseks muudetakse ka pooli induktiivsust. Kõige sagedamini muudetakse induktiivsust mitte sujuvalt, nagu mahtuvust, vaid astmeliselt — poolide või nende keerdude ümberlülitamisega. Induktiivsuse muutmist kasutatakse sel puhul ühest laineastmikust teise siirdumiseks.



Radiotehnika mõistmiseks tuleb kõigepealt tutvuda mitme elektroodiga lampide ehitusega, mis raadioseadmetes on «meistrid kõige jaoks». Vastavalt lubadusele asub Targaste selgitama kõige põhilisemat: ta jutustab lihtsaimate lampide — diodi ja triodi — omadustest. Nii saab Huviste teada katoodi, anoodi ja võre tähendusest.

7.

VESTLUS

HUVISTE TUTVUB LAMPIDEGA

Huviste: Kuna sa lubasid viimati jutustada mulle raadiolampidest, uurisin juba pisut materjale selle küsimuse kohta. Sõnastikust sain teada, et neid lampe nimetatakse *elektronlampideks*.

Targaste: Suurepärane, Huviste! Nüüd oled sa piisavalt informeeritud! ... Sõnastikust saadud andmete täiendamiseks tuleks mul lisada, et elektronid mängivad raadiolampides olulist osa.

H.: Ära pilka mind, Targaste. Mida võiksid elektronid lampides teha?

T.: Elektronid väljuvad (emiteeruvad) katoodist ja vaakuumis läbi ühe või mitme võre lennates tõmbuvad anoodile.

H.: Üha hullemaks läheb! Katood, anood, võre ... See on sama kui mulle sanskriti keeles integraalarvutust seletada.

T.: Hakkame aabitsatõdedest pihta. Kas tead, mis on soojus?

H.: Mu füüsikaõpik vihjab tagasihoidlikult, et soojus pole midagi muud kui molekulide, s. o. aine elementaarosakeste kiire ja korrapäratu liikumine.

T.: Aga mis toimub kuumutatud keha molekulides elektronidega?

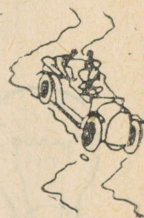
H.: Arvan, et neid elektrone võib võrrelda tohutu kiirusega hullumeelseid sik-sakke tegevas autos istuvate reisijatega. Elektronid-rändurid kannatavad põrutuste all kohutavalt.

T.: Teaduse käsutuses pole andmeid elektronide moraalse seisundi kohta ..., kuid sul on õigus, kui kõneled, et nad alluvad tugevale raputamisele. Kujutle, et keha temperatuur on väga kõrge ...

H.: Sel juhul muutub molekulide-autode liikumine nii kiireks ja korrapäratuks, et hulk reisijaid-elektrone paiskuvad autost välja.

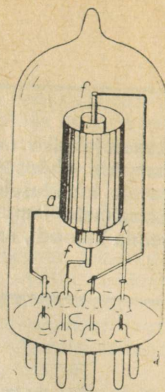
T.: Seda nimetatakse *elektronemissiooniks*. Kui metalljuhet kuumutada, siis hakkab sellest tulvama elektronide voog. Mõnede metallioksiidide kuumutamisel algab elektronide emiteerumine juba suhteliselt madalal temperatuuril.

H.: Nähtavasti toimub see põhjusel, et nendes oksiidides ei hoiu elektronid-reisijad küllalt kõvasti oma autode servadest





Joonis 24. Kaudküttega katoodi ehitus: 1 — kütteniit; 2 — portselansilinder; 3 — aktiivkihiga kaetud nikkeltoru.



Joonis 25. Diiod: f — kütteniit; k — katood; a — anood.

kinni. Nüüd ütle, millisel viisil sa soovitaksid metalli kuumutada, et saada elektronide emissiooni?

T.: Selleks võiks kasutada kõiki soojendusvahendeid: gaasi, petrooleumi, sütt, elektrit.

H.: Pea kinni! Ma ei teadnud, et raadiolampe soojendatakse priimusel.

T.: Tegelikult kuumutatakse *katoodi* (nii nimetatakse lambi seda elektroodi, mis toimib elektronide emissiooni allikana) elektrivooluga. Kuid sellel küttevoolul on ainult kõrvaline, teisjärguline tähtsus ja selle võib asendada mõne teise soojusallikaga.

Kaasaegsetes lampides on kütteniit sarnane valgustuslampides asetseva peenikese traadiga ning seda kuumutatakse vooluga, mis läbib traati (on tähtsusetu, kas kasutada alalis- või vahelduvvoolu). Kütteniit on peidetud portselansilindrisse, mille kaudu soojus kandub tihedalt selle pinnale liibuva nikkeltorule. Nikkeltoru pind on kaetud mitmesugustest oksiididest koosneva kihiga, mis koos toruga osutuvadki elektrone emiteerivaks katoodiks (joonis 24).

H.: Uhesõnaga on see elektripliit, millel asetsevast teekannust väljub elektronide aur.

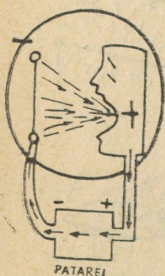
T.: See võrdlus meeldib mulle. Nüüd pane tähele, et katoodist väljuvad elektronid ei saa siirduda kuigi kaugele, kui nad samas kohtavad oma teel õhu molekulile. Selleks et luua elektronidele vaba liikumisvõimalus, paigutatakse katood klaaskolbi, millest on õhk välja pumbatud.

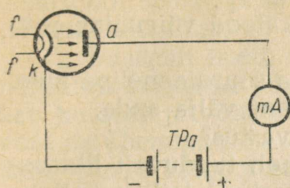
H.: Aga kuhu peaksid elektronid sinu arvates minema?

SEE ONGI DIOD...

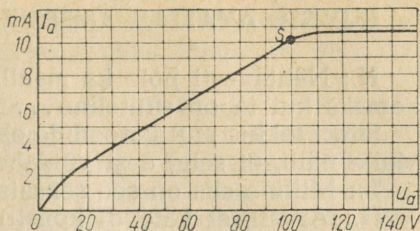
T.: Nüüd paigutame lampi elektronide püünise. See on katoodist teatud kaugusel asetsev silinder (joonis 25). Laeme ta patarei abil katoodi suhtes positiivselt.

H.: Paistab, et tean, mis sel juhul sünnib. Et elektronid on





Joonis 26. Milliampermeeter mA võimaldab mõõta katoodilt k anoodile a suunduvat voolu.



Joonis 27. Graafik, mis näitab anoodivoolu sõltuvust anoodipingest. Punktis s ilmub küllastumine.

elektri negatiivsed osakesed, hakkab positiivselt laetud silinder neid enese poole tõmbama ja lambis ilmub elektronide vool, mis lähtub katoodist ja suundub sellele silindrile.

T.: Too silinder, millest kõneleme, on *anood*, ja elektronide katoodilt anoodile suunduv vool on *anoodvool*.

Anoodvool läbib ka patareid ja jõuab taas katoodile. Anoodvoolu olemasolu saab määrata anoodahelasse ühendatud milliampermeetriga (joonis 26).

H.: Mõttele ometi, elektronid liiguvad tühjuses!... Kuid ütle, kui ma hajameelsusest ühendaksin patarei vastupidiselt, s. t. nii viisi, et katood osutuks positiivseks ja anood negatiivseks, kas elektronid lähevad siis anoodilt katoodile?

T.: Loomulikult mitte. Külmast anoodist elektrone ei välju.

H.: Järelikult on meie lamp elektronide jaoks otsekui ühesuunalise liiklemisega tänav.

T.: Jah. Raadiotehnikas nimetatakse meie poolt praegu vaaeldavat lampi kahe elektroodiga lambiks ehk *diodiks*.

H.: Arvan, et diodis on vool väga nõrk.

T.: Selles sa ei eksigi. Raadiovastuvõtjates kasutatavate diodide puhul on see nii. Vool nendes ületab harva paarikümnet milliamprit.

H.: Kuid millistest teguritest see vool sõltub?

T.: Kõigepealt anoodi ja katoodi vahele rakendatud pingest: mida kõrgem see pinge on, seda tugevam on ka vool.

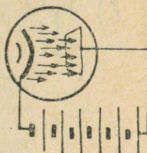
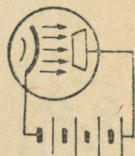
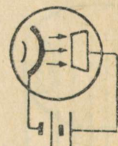
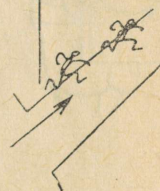
H.: See tundub mulle normaalsena: mida valjuma häälega kutsüb anood elektrone enese poole, seda rohkem neid tema hüüde peale sinna saabub.

T.: Siiski kehtib see reegel vaid kuni teatava piirini, millest suuremaks vool, vaatamata pinge tõstmisele anoodil, ei saa kasvada.

H.: Kuid miks?

T.: Seepärast et teatava pinge puhul jõuavad kõik katoodilt eraldunud elektronid anoodile. Siis räägitakse, et lamp on küllalastunud, ehk teiste sõnadega: esineb maksimaalne vool, mida antud olukorras katood üldse suudab tekitada (joonis 27).

VIIT SUUNAMINE
LIK
LEMININE



HUVISTE AVASTAB AMEERIKA

H.: Nähtavasti pole ka maailma parim katood võimeline rohkemaks kui ta on suuteline...

Siiski tekkis mul katoodide ehituse suhtes suurejooneline idee. Mulle näib, et selle eest võidaks mulle patent välja anda.

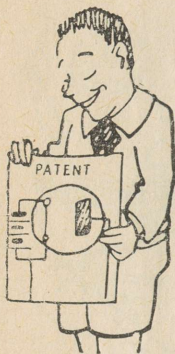
T.: Milline siis on see sensatsiooniline avastus?

H.: Arvan, et katoodi konstruktsiooni saab tunduvalt lihtsustada, kui liita kütteniit ja emiteeriv pind ühiseks detailiks. Selleks piisab küttevoolu läbilaskmisest heade emiteerimisomadustega metallist valmistatud traadist. Nendes tingimustes emiteeriks selline kütteniit kuumenemisel ise elektrone ja osutuks väga lihtsaks katoodiks.

T.: Õnnitlen sind, Huviste. Äsja leiutasid sa *otseküttega katoodi*. See on tõepoolest lihtsam *kaudküttega katoodist*, mille ehitust sulle kirjeldasin. Kuid sinu avastus on mõnevõrra hilinenud, sest otseküttega lambid olid tuntud ammu enne kaudküttega lampe. Muide, otseküttega katoodi kasutati patareidest toidetavates lampvastuvõtjates veel üsna hiljuti, kuni taolistesse seadmetesse ilmusid transistorid.

H.: Selgub, et sündisin liiga hilja ja mulle pole enam midagi leiutada jäänud.

T.: Vastupidi. Sa võid leiutada teisi lampe, mis on diodist palju keerukamad. Kuid selleski osas on juba palju ära tehtud: võrede arvu suurendamisega, nende konstruktsiooni valimisega ja paigutamisega löid tehnikud väga huvitavad lambid.



VÖREDE LABÜRINDIS

H.: Aga milline on nende kuulsate võrede ülesanne, milledest mulle kõnelesid?

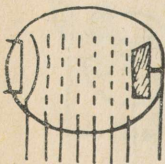
T.: Need võred — ühe või teise suurusega silmadega traatvõrgud või silindrilised spiraalid — paigutatakse katoodi ja anoodi vahele elektronide liikumisteele.

Geomeetria seisukohalt võred elektronide liikumist ei takista. Kuid olles katoodile tunduvalt lähemal, mõjutavad võred elektronide voogu märgatavalt rohkem kui anood.

H.: See pole mulle täiesti arusaadav. Missugusest mõjust sa kõneled?

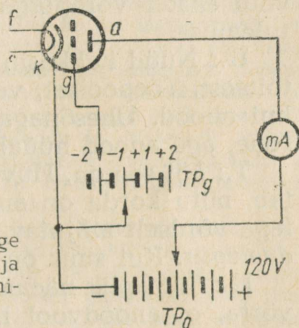
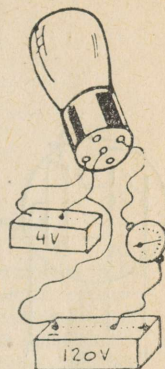
T.: Võrepinge mõjust anoodvoolule. Vaatleme diodiga võrreldes kõige lihtsamat, ühe võrega lampi. Seda kolme elektroodiga lampi, milles on katood, võre ja anood, nimetatakse *trioodiks* ja ta on kõigi kaasaegsete paljuelektroodiliste lampide — kaheksa elektroodiga oktöödide ja isegi kaheteistelektröödiliste dodekaodide — esiisa.

H.: Eelistaksin siiski, et sa esmalt jutustaksid trioodist. Võib-



olla on elektronid õige tee leidmiseks kaheksa või kahesteikümne elektroodi vahel piisavalt targad, kuid mina leian, et see on pagana keeruline.

T.: Edaspidi näed, et olemuselt on see imelihtne... Et sulle näitlikult selgitada võre toimet trioodi anoodvoolu suhtes, ühendan katoodi ja võre vahele väikese patarei TP_g , mille keskväljavõte on ühendatud katoodiga (joonis 28). Tänu sellele saan rakendada võrele katoodi suhtes kas negatiivse (ühendades võre patarei vasakpoolse osaga) või positiivse pinge (ühendades võre patarei parempoolse osaga). Nii viisi võin muuta võre pinget katoodi suhtes -2 voldist kuni $+2$ voldini. Täpselt samal viisil — anoodpatarei TP_a väljavõtete ümberühendamise teel — saab muuta anoodpinget. Anoodtoiteallika — patarei TP_a — negatiivne ühendusklapp on ühendatud katoodiga.



Joonis 28. Skeem, mis võimaldab võrrelda võrepinge ja anoodpinge mõju anoodvoolule. Võrepatarei ja anoodpatarei (TP_g ja TP_a) pinget muudetakse galvaanilelementide arvu ümberlülitamisega.

H.: Näen, et anoodi jaoks võtsid sa 120-voldise patarei ja võre jaoks kõigest 4-voldise. Miks?

T.: Nagu otsekohe näed, mõjutavad pinge väikesed muutused võrel anoodvoolu samavõrra kui tunduvalt suuremad pinge muutused anoodil. Jälgi seda ise. Anname anoodile $+80$ -voldise ja võrele -2 -voldise pinge. Kui tugevat voolu näitab milliampermeeter mA ?

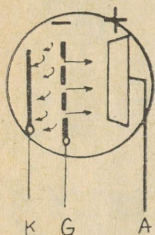
H.: Üks milliamper.

T.: Hüva. Nüüd rakendan võrele pinge -1 V, s. o. suurendan pinget ühe voldi võrra. Anoodvool kasvab 4 milliamprini. Järelikult suurenes ta 3 milliamprit võrepinge muutumisel 1 voldi võrra.

H.: Arvan, et vool suurenes seepärast, et vähem negatiivseks muutunud võre ei tõuka katoodist väljunud elektrone enam endise jõuga.

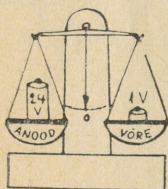
TÖUS JA VÕIMENDUSTEGUR

T.: Loomulikult. Mõõdamines märgin, et anoodvoolu muutust, mida põhjustab võrepinge 1-voldine muutus, nimetatakse lambi tõusuks ja seda mõõdetakse milliamprites voldile (mA/V). Meie triodi tõus on 3 mA/V, sest võrepinge suurendamisel 1 voldi võrra täheldame anoodvoolu suurenemist 3 milliampri võrra.



H.: Kuid vastavalt varem kõneldule võime anoodvoolu suurendada ka anoodile rakendatud pinge tõstmisega.

T.: Otsemaid selgitan seda. Anname taas võrele pinge -2 volti ja püüame suurendada anoodvoolu endise 3-milliamprise väärtuseni, kuid nüüd juba anoodpinge muutmisega. Sa näed, et selleks pean siirduma $+80$ -voldiselt anoodpingelt $+104$ -voldisele pingele, s. o. suurendama seda 24 V võrra. Üksnes sel tingimusel võib saada võrepinge 1-voldise muutmise toimega samaväärse tulemuse.



H.: Nüüd hakkasin mõistma seda, mida ennist kõnelesid võre toimest. Tõepoolest, võre mõjutab anoodvoolu tunduvalt rohkem kui anood. Ühesõnaga, kui võre õrnalt sosistades kutsub elektrone, aga anood hüüab neid kõigest jõust, on tulemus sama.

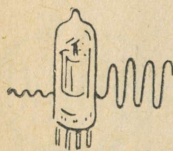
T.: Nii see on, Huviste. Võta veel teadmiseks, et arv, mis näitab, mitu korda on anoodpinge muutus suurem anoodvoolu sellega võrdselt mõjutavast võrepinge muutusest, on lambi võimendustegur. Kui suur on näiteks meie triodi võimendustegur?

H.: Silmapilk näeme. Me pidime anoodpinget muutma 24 voldi võrra, et anoodvool muutuks 3 milliampri võrra. Teiselt poolt saavutasime sedasama võrepinge muutmise teel kõigest 1 voldi võrra. Järelikult on anoodpinge muutus võrepinge muutusest 24 korda suurem ja võimendustegur peab olema 24.

T.: Suurepärase. Näen, et said aru. Oleks tore, kui sa eriti hoolikalt jätaksid meelde, et pinge väikesed muutused võrel põhjustavad suuri anoodvoolu muutusi.

H.: Minus hakkab tekkima kahtlus, kas mitte ehk just sel põhjusel lambid võimendavadki.

T.: Nii see ongi!



Elektronlambid

Seni liikusid meie noored sõbrad üsna meel-
sasti üldelektrotehnika valdkonnas. Tuleks
märkida, et Targaste jättis arvukatest seda
tehnikaharu valitsevatest seadustest oskusli-
kult kõrvale esialgu need, mida Huviste ra-
adiotehnikaga tutvumisel otsekohe ei vaja, et
mitte tema mälu üle koormata.

Elektronlampide tundmaõppimisele asumi-
sel astusid meie sõbrad vahetult tegelikku
raadiotehnikasse, sest traadita side tehnika
on kaasajal rajatud selliste lampide kasuta-
misele. Kuid nende kasutamiseala ei piirdu
raadiotehnikaga: praegu kohtame elektron-
lampe kõikides teaduse ja tehnika harudes ja
nende kasutamissfäär avardub päevast päeva.
Nende kasutusala tervikuna nimetatakse
elektroonikaks. Täpsuse mõttes mär-
gime, et kaasaja elektroonikasse kuulub ka
lampidega ligilähedaselt sarnaselt kasutata-
vate, kuid talitluspõhimõttelt ja paljudelt
omadustelt sootuks erinevate pooljuhtsea-
diste — diodide ja transistoride — kasuta-
mine. Kuid neid me käesolevates vestlustes
teatavasti ei käsitle.

Millega koosneb elektronlamp?

Kõigepealt balloonest koos sokliga, mille
on teatav arv pistekontakte. Balloon ise val-
mistatakse klaasist või terasplekist (metall-
lambid). Põhinõudeks on täielik hermeetilisus,
sest ballooni sees tuleb luua võimalikult hea
vaakuum, mis on elektronide vabaks liikumi-
seks tarvilik. Õhu olemasolul põrkuksid elek-
tronid alata selle molekulidega ja nende lii-
kumine oleks raskendatud. Veelgi tähtsam on,
et õhu molekulid omandaksid selliste põrku-
miste tulemusena elektrilaengu (osutuksid
ioniseerituteks) ja häiriksid sellega
lambi normaalset talitlust.

Lambi sees on rohkem või vähem keerukas
elektroodide süsteem. Milline ta ka poleks,
elektronide voolu saamiseks on ikka tarvili-
kud vähemalt kaks elektroodi: *katood* ja
anood.

Katood ja tema kuumutamine

Katoodi ülesandeks on luua õhutühjas bal-
loonis elektronide voog. *Elektronide emissi-
oon* saadakse katoodi kõrge temperatuurini
kuumutamise arvel. Kõikide ainete emissiooni-
võime pole võrdne; mõnedel neist (näiteks
baariumi ja strontsiumi oksiididel) on see
suurem. Katoodi kuumutatakse alalise või
vahelduva elektrivooluga. See läbib lambi
kolvis asuvat takistustraati, mida nimetatakse
kütteniidiks ja mis teataval määral sar-
naneb valgustuslambi hõõgniidiga. Katoodi
moodustab nikkelsilindri pinnale kantud
oksiidide segu. Silindris paikneb kütteniit.
Katoodi ja kütteniidi vahelise isolatsiooni
moodustab kuumuskindlast isoleermaterjalist
kiht (vanatüübilistes lampides — portselan-
toruke).

Sellise konstruktsiooniga on suhteliselt kee-
rukad *kaudküttega katoodid*. Kuumuti (kütte-
niidi) ja elektronide emitteerija (tegeliku
katoodi) ülesandeid võib ühiselt täita hõõg-
niit, kui selle pinda on vastavalt töödeldud,
nimelt elektrone hõlpsalt emitteerivate ainete
lisandamisega. Selliseid lampe nimetatakse
otseküttega lampideks. Kõik kuni 1930. aas-
tani toodetud lambid kuulusid sellesse kate-
gooriasse.

Tuleb rõhutada kütteniidi täiesti teisejärgu-
list osa: selle ainus ülesanne on elektronide
eraldamiseks tarviliku soojuse andmine
katoodile. Muidugi võib kasutada sootuks
teisi soojusallikaid (gaasi-, bensiini- ja teisi
kuumuteid), kuid selleks võib rakendada ka
hoopiski mittekoetavaid katoode. Nii näiteks
koosneb fotoelementide katood lalleismetallist
ja see kiirgab elektrone, kui talle langeb val-
guskiir. Võib-olla annab radioaktiivsete ainete
uurimine meile võimsa emissiooniga katoodi,
mis ei vajagi kütet...

Diiod

Edisoni avastatud elektronide emissiooni
nähtus poleks omandanud võib-olla kuigi
suurt tähtsust, kui mitte 1904. a. inglasele

Flemingile poleks tulnud pähe mõte asetada katoodi kõrvale teine elektrood — *anood*, s. o. metallplaat, millel on katoodi suhtes positiivne potentsiaal. Sel juhul tõmbuvad katoodi poolt emiteerunud elektronid anoodile. Kui alalispingeallikas säilitab pinge anoodil katoodi suhtes püsivalt positiivsena, siis tekib vool, mida nimetatakse *anoodvooluks*. Kui alalispingeallikas hoiab anodi katoodi suhtes positiivsena, siis katoodist eraldunud elektronid läbivad lambi vaakuumi ja tõmbuvad anoodile; seejärel jõuavad elektronid mööda pingeallikat sisaldavat välisahelat tagasi katoodile (joonis 26). Sellist lampi nimetatakse *dioodiks*. See võimaldas esimesena «näha» elektrivoolu «puhtal kujul», ja me täheldame, et *elektronid lähevad tõepoolest negatiivselt pooluselt positiivsele*, erinevalt tinglikust tehnilisest voolusuunast, mida elektrivoolu puhul kasutatakse.

Tähelepanu tuleb pöörata sellele, et elektrivool võib dioodis esineda ainult ühes suunas: *katoodilt anoodile*. Kui muudame anoodi katoodi suhtes negatiivseks, siis kogu protsess katkeb, sest anood hakkab elektrone tõukama; pealegi pole külm anood võimeline elektrone eraldama, mida katood enesele tõmbaks. Nii osutub meie diodid tõeliseks *ventiiliks*. Pole raske mõista, et vahelduvpinge rakendamisel nendele kahele elektroodile saame ühesuunalise voolu, mis esineb sel poolperioodil, kui anood muutub positiivseks ja katkeb negatiivse poolperioodi ajaks. Diodi omadust «alaldada» vahelduvvoolu kasutatakse, nagu näeme allpool, detekteerimiseks ja raadiovastuvõtjate toitmiseks vahelduvvooluvõrgust.

Nagu iga takistit läbiv vool, nii sõltub ka dioodi anoodvool selle katoodi ja anoodi vahele rakendatud pingest — *anoodpingest*, alludes enam-vähem Ohmi seadusele. Vool suureneb koos pingega, kuid ainult teatava kindla väärtuseni; pinge edasisel tõstmisel vool enam ei suurene, sest kõik katoodilt eraldunud elektronid võtavad juba anoodvoolust osa. Sellistel juhtudel kõneldakse, et vool on jõudnud küllastuspiirini või lühemalt: *lamp on küllastunud*. Praktiliselt on küllastumisahtus, niisugusena nagu seda äsja kirjeldati, iseloomulik ainult otseküttega katoodidele.

Triood

Kaks aastat pärast dioodi leiutamist tärkas Lee de Forestil mõte asetada katoodi ja anoodi vahele kolmas elektrood — *võre*. Võre on katoodi ümbritsev traatvõrk või silindriline spiraal. Kolme elektroodiga lam-

bis ehk *trioodis* on võre asetatud elektronide teele. Nii saab temaga elektronide voolu reguleerida. Sel juhul sõltub anoodvool mitte ainult anoodpingest, vaid ka võre potentsiaalist katoodi suhtes.

Mida kõrgem on võre negatiivne potentsiaal, seda rohkem pidurdab ta katoodilt anoodile suunduvate elektronide voolu, seda rohkem elektrone tõukab ta tagasi katoodile ja seda väiksemal kogusel anoodi poolt tõmmatavatest elektronidest õnnestub enesele teed rajada.

Kui võre pinge on küllaldaselt negatiivne, siis ei lase ta vaatamata anoodi külgetõmbele läbi ühtki elektroni ja anoodvool võrdub nulliga. Võre negatiivset potentsiaali vähendades täheldame anoodvoolu ilmumist, mis tugevneb võre potentsiaali tõstmisega (sest potentsiaali negatiivse väärtuse vähenemine on seesama mis potentsiaali positiivsemaks muutumine, s. o. suurenemine).

Tähelepanuvääriv on trioodi puhul see, et võre toime anoodvoolule on tunduvalt suurem anoodi enese toimest. *Võre potentsiaali väikesest muutmisest piisab anoodvoolu suure muutumise tekitamiseks*. Kui hoiame võre potentsiaali püsivana ja tahame saavutada anoodvoolu samasugust muutumist anoodpinge muutmise teel, siis tuleb meil seda pinget muuta tunduvalt suuremates piirides. Muide, see selteb hõlpsasti asjaoluga, et võre asetseb katoodile lähemal kui anood. Just sellel põhinebki lambi võimendusomadus.

Tõus

Anoodvoolu muutumine, mida põhjustab võre potentsiaali teatav muutumine, iseloomustab lambi tõusu. Tõus väljendatakse milliamprites voldile (mA/V). Tõusu väärtus näitab, mitme milliampri võrra suureneb (või väheneb) anoodvool võre potentsiaali suurendamisel (või vähendamisel) 1 voldi võrra. Kaasajal kasutatavate lampide tõusud on 1 kuni 15 mA/V.

Kui tähistaksime dI_a abil anoodvoolu muutust ja dU_a abil võre potentsiaali muutust, siis tähega S tähistatav tõus avaldub järgmiselt:

$$S = \frac{dI_a}{dU_g}$$

Võimendustegur

Äsja ütlesime, et *anoodvoolu samasuguse muutuse saamiseks tuleb anoodpinget muuta rohkem kui võrepinget. Nende kahe pinge*

suhe kannab nimetust *võimendustegur* ja seda tähistatakse tähega μ . Kui näiteks voolu suurendamiseks 1 mA võrra tuleb anoodpinget suurendada 28 V võrra või suurendada võrepinget 2 V võrra, siis võimendustegur $\mu = 28 : 2 = 14$.

Trioodide võimendustegur küünib harva 100-ni, kuid paljuvõrelistel lampidel on see sageli üle tuhande.

Kui tähistada anoodpinge muutust dU_a abil, saame võimendusteguri jaoks järgmise valemi:

$$\mu = \frac{dU_a}{dU_g}$$

Sisetakistus

Lõpuks on olemas veel kolmaski parameeter, millest Targaste vaikides möödus, kuid mida on siiski kasulik teada; seda nimetatakse lampi *sisetakistuseks*. Meenutades Ohmi seadust, mille kohaselt takistust väljendatakse pingega ja voolu suhtena, me ei imesta, kui saame teada, et lampi takistus määratakse anoodpinge muutuse ja selle poolt põhjustatud anoodvoolu muutuse suhtena. Tähistades sisetakistuse R_i abil, saame:

$$R_i = \frac{dU_a}{dI_a}$$

Sisetakistust mõõdetakse oomides. Trioodide puhul kõigub see takistus mõne tuhande kuni mõnekümne tuhande oomi piirides. Rohkem

kui kolme elektroodiga lampide sisetakistus on suurusjärgus kümned ja sajad tuhanded oomid.

Tuleb märkida, et antud lambi tõus ja sisetakistus võivad võre potentsiaalid olenevalt teatavates piirides muutuda; võimendustegur praktiliselt ei sõltu elektroodide pingetest, sest ta on määratud elektroodide mõõtmete ja paigutusega.

S, μ ja R_i vaheline sõltuvus

Mitte valemitega koormamise pärast ei esitanud me äsjaseid matemaatilisi avaldiseid S , μ ja R_i jaoks. Need avaldised võimaldavad tuletada väga lihtsa sõltuvuse, mis seostab kõik need kolm suurust. Korrutame omavahel S ja R_i :

$$SR_i = \frac{dI_a}{dU_g} \cdot \frac{dU_a}{dI_a} = \frac{dU_a}{dU_g} = \mu.$$

Näeme, et *võimendustegur võrdub tõusu ja sisetakistuse korrutisega*. Kui tõus on avaldatud milliamprites volti kohta, siis tuleks sisetakistus avaldada kilo-oomides, vastasel juhul saaksime mõtetu tulemuse.

Tänu äsja tuletatud seosele on küllaldane tunda kaht suurust, et arvutada kolmandat. Nii näiteks, kui lampi tõus on 3 mA/V, ja tema sisetakistus 80 000 Ω , siis saab hõlpsasti arvutada võimendusteguri:

$$\mu = 3 \cdot 80 = 240.$$

Mis on lambi (võimendusastme) sisend ja väljund! Mida nimetatakse tunnusooneks! ... Kuidas seda määratakse ja milline on ta kuju! Mis on talitluspunkt ja eelpinge! Need probleemid esitab Huvistele Targaste, vaadeldes tingimusi, milles lamp toimib võimendajana ilma võre ja katoodi vahele rakendatud pinge kuju moonutamata.

HUVISTE KÄITUB VÄGA HALVASTI

Targaste: Äsja kaebas su ema, Huviste, sinu käitumise üle. On see tõsi, et sa kuhjasid söögitoa lauale patareisid, lampe ja induktiivpoole, vedasid traadi keskkütte radiاتورini ja su õde pole veel paranenud kukkumise tagajärjedest, kui ta jalgupidi traatidesse takerdus?

Huviste: Paraku on see kõik tõesti nii, kuid usu, mind see ei häiri. Mind masendab sootuks see, et mu vastuvõtja ei tööta.

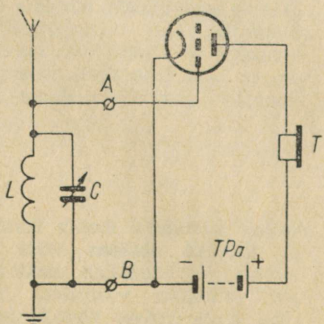
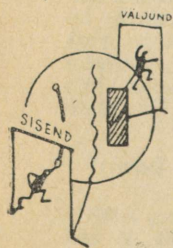
T.: Sa ehitasid raadiovastuvõtja?! Kuid kes küll andis sulle selle skeemi?!

H.: Mulle näis, et nüüd ma juba tunnen raadiotehnikat külaltdaselt, selleks et ise koostada vastuvõtja skeemi. Näe, siin ta ongi (joonis 29): antenni ja maanduse vahele on lülitatud häälestatud võnkering LC , mille klemmidel A ja B tekib antennist saadava energia toimel, nagu sa selgitasid, kõrgsageduslik vahelduvpinge. Selle ma annangi lambi katoodi ja võre vahele. Alles eelmises vestluses määrasime kindlaks, et võrel toimiv nõrk pingekõikumine põhjustab suure anoodvoolu muutuse. Järelikult, kui anoodahelasse ühendada telefonid T , siis peaksime kuulma raadiosaadet — kõnet või muusikat.

T.: Ja sa kuulsid midagi?

H.: Paraku mitte! Ei ühtki heli: tõenäoliselt on lamp rikkis.

T.: Kõige hämmastavam on see, et sa arutled täiesti õigesti...



Joonis 29. Huviste poolt soovitatud raadiovastuvõtja skeem. Lamp töötab korralikult võimendajana, kuid telefonides T pole võimendatud võnkumist kuulda.

kuid ainult teatava hetkeni. Tõepoolest, selleks et kasutada lambi võimendusomadust, tuleb võimendatav pinge rakendada võre ja katoodi vahele, mis üheskoos moodustavad lambi «sisendi». Lambi «väljund» moodustub anoodi ja katoodi vahel, sest võimendatud võnkumine saadakse muutliku anoodvoolu näol anoodahe- last. Sellest vaatepunktist on sinu skeem suurepärase. Kuid mit- mel põhjusel ei tekita su telefonid ühtki heli. Üks nendest on see, et telefoni membraan ei suuda võnkuda kõrgsagedusvoolu taktis.

H.: Kuidas nüüd toimida?

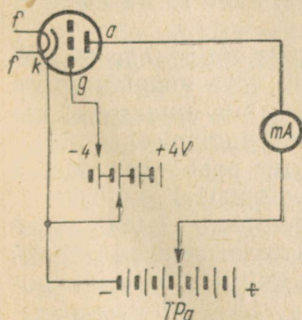
KÕVERJOONTE MAAILMAS

T.: Pane oma skeem hetkeks kõrvale ja hakkame tegelema lampidega. Eelmine kord vaatlesime anoodvoolu sõltuvust võre- pingest ainult üldjoontes. Selle põhjalikumaks tundmaõppimiseks võtame jällegi seadme, mida kasutasime ühes oma hiljutistest vest- lustest (joonis 30), ja märgime hoolikalt üles, millised anoodvoolu I_a tugevused vastavad igale võrepingele U_g , mida saame regulee- rida vahemikus -4 kuni $+4$ volti.

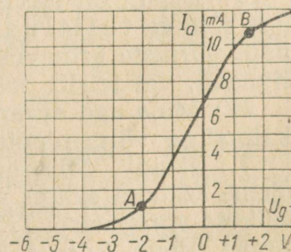
H.: Näen, et võrepinge -4 V puhul võrdub vool nulliga; võre on siis liiga negatiivne ja tõukab tagasi kõik katoodi suunast temale lähenevad elektronid. Pingel -3 V suureneb anoodvool 0,2 milliamprini, -2 V — 1 milliamprini, -1 V — 4 milliamprini, 0 V — 7 milliamprini, $+1$ V — 10 milliamprini, $+2$ V — 11 milli- amprini, $+3$ V ja rohkem — 12 milliamprini ning see väärtus enam ei muutu.

T.: Saadud pingete ja voolude väärtuste kohaselt joonistame oma lambi tunnusjoone (joonis 31). See on omamoodi isikutunnis- tus, mis iseloomustab lambi omadusi ja võimaldab seda seadist paremini kasutada.

Tunnusjoonel võib eristada kolme ala. Esimest osa punktist A vasakul nimetatakse tunnusjoone alumiseks põlvikuks; teine osa



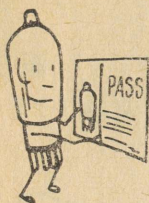
Joonis 30. Skeem lampide tunnusjoonte määramiseks.



Joonis 31. Kolme elektroodiga lambi võretunnusjoon.

U_g	I_a
-4	0
-3	0,2
-2	1
-1	4
0	7
+1	10
+2	11
+3	12
+4	12

punktide A ja B vahel, mille ulatuses anoodvool kasvab võrdeliselt võrepingega, on tunnusjoone sirgosa; kolmas osa punktist B paremal on tunnusjoone ülemine põlvik. See lõpeb rõhtsa osaga, mis viitab küllastumisele, s. o. asjaolule, et kõik katoodist väljunud elektronid jõuavad viivituseeta anoodile.



H.: Kas saaksime sama kõvera, kui annaksime anoodile 80 voldi asemel muu suurusega pingeid?

T.: Muidugi mitte. Kui anoodpinge oleks näiteks suurem, siis tõmbaks anood elektrone tugevamini ja järelikult oleks ka anoodvool ühe ja sama võrepinge juures suurem. Muide, iga anoodpinge jaoks võime joonistada oma tunnusjoone ja niiviisi moodustada *tunnusjoonte sarja* (joonis 32), lambi «perekonnaalbumi».

H.: Märkasid, et tunnusjooned nihkuvad vastavalt anoodpinge suurenemisele vasakule.

T.: Jah. Sageli tuleb tunnusjoont ja eriti selle sirgosa nihutada võrepinge nullväärtust tähistavast punktist vasakule.

H.: Tunnistan, et ei näe selleks erilist tarvidust.

T.: Seda mõistad hiljem. Nüüd pea meeles, et võrepinget eelistatakse hoida tunnusjoone negatiivses alas (s. o. nullpunktist vasakul) võrevoolu vältimiseks. See ilmub niipea, kui võre muutub positiivseks.



KEELUTSOON

H.: Võrevool? ... Mis see jälle on?

T.: Seda on kerge mõista. Kui võre muutub katodi suhtes positiivseks, hakkab ta toimima anoodina ja enesele elektrone tõmbama. Niiviisi ilmub katoodilt võrele suunduv vool, mis on küll väga nõrk, kuid võib mõnedel juhtudel tuua rohkesti eba-meeldivusi.

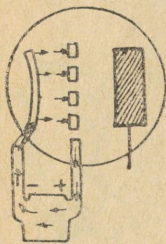
H.: Tühised põhjused — rängad tagajärjed, nagu ütles mu onu, kui libises banaanikoorel ja murdis jalaluu. Ent kuidas saab võrepinget hoida negatiivsete väärtuste alas, nagu sa nii elegant-selt väljendasid?

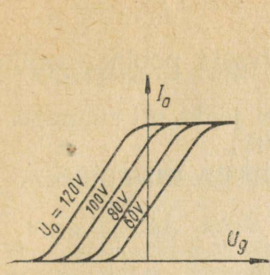
T.: Esmalt on tarvis, et sa mõistaksid *võre alalispinge* (ja sellest sõltuva talitluspunkti asendi) ning võre *vahelduvpinge hetkväärtuste* erinevust. Alalispinge on see, mis antakse võrele signaali, või teisiti öelduna, vahelduvpinge puudumisel.

H.: Mina aga arvan, et tavalises olukorras peab võre omama katoodiga võrdse potentsiaali, s. o. nullpotentsiaali.

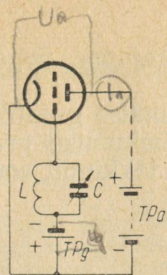
T.: Eksid! Võimenduslülituste enamikus peab lambi võre olema katodi suhtes *negatiivne*, s. t. temale antakse näiteks väikese võrepatarei TP_g abil, mille voolu ei kulutata, teatav negatiivne pinge (joonis 33).

H.: Nüüd mõistsin. See on tarvilik selleks, et võrepinge püsiks tunnusjoone negatiivses alas.

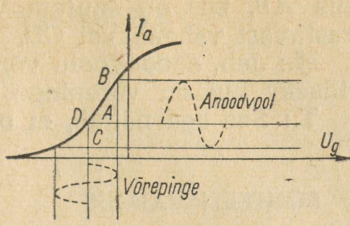




Joonis 32. Võretunnusjoonte sari, milles iga joon vastab teatavale anoodpingele U_a .



Joonis 33. Võrele on antud patarei TP_g väike negatiivne pinge.



Joonis 34. Lamp töötab tunnusoone alumisel põlvikul, mille tõttu voolu kuju moonutub.

T.: Loomulikult. Kuid lisaks sellele püsivalt toimivale pingele, mida nimetatakse *eelpingeks*, rakendatakse võimenduslambi võrele ka vahelduvpinge. Kujutle, et näiteks lisaks -9 -voldisele eelpingele on võrele antud 5 -voldine vahelduvpinge. Milliseks kujuneksid äärmised võrepinge hetkväärtused?

H.: Vahelduvpinge negatiivse poolperioodi ühel hetkel kujuneb võrepingeks $-9 + (-5) = -14$ V, aga vahelduvpinge positiivse poolperioodi ühel hetkel $-9 + (+5) = -4$ V.

T.: Tore! Näen, et sa ikkagi mäletad veel midagi algebrast. Nüüd kujutle, et võrel on katoodi suhtes pidevalt pinge -3 V. Andes võrele sama vahelduvpinge,...

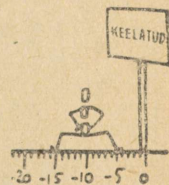
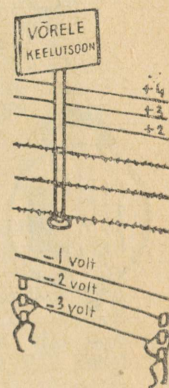
H.: ...saame ühelt poolt $-3 + (-5) = -8$ V, kuid teiselt poolt $-3 + (+5) = +2$ V. Oi! Näen, et sel juhul sattusime positiivsete võrepingete keelutsooni, kus peab ilmuma võrevool ja sellega seotud kahetsemisväärsed tagajärjed. Eelpingest, millest esimesel juhul piisas, jääb nüüd vajaka.

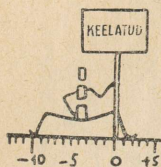
TINGIMUSED HEAKS TÖÖKS

T.: Su järeldused on dikteerinud terve mõistus... Niisiis täheldasime, et võrele rakendatud negatiivne pinge peab vähemalt võrduma vahelduvpinge amplituudiga. Kuid lisaks sellele on tähtis veel üks nõue. Et võimendamine toimuks moonutusteta, peab lamp töötama tunnusoone sirgosa piires.

H.: Ma ei tea, milles on siin asi.

T.: Moonutuste vältimiseks peab anoodvoolu muutumine olema seda põhjustava võrepinge muutumisega rangelt võrdeline. Sundides lampi töötama tunnusoone sirgosas, loomegi tingimused võrepinge muutuste ja anoodvoolu muutuste võrdelisuse säilitamiseks. Kujutle, et võrepinge hetkväärtused langevad tunnusoone alumisele kõverale osale ehk põlvikule (joonis 34). Positiivne poolperiood põhjustab siis anoodvoolu muutumise vahemi-



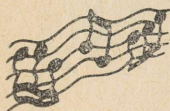


kus AB , mis on suurem võrepinge negatiivsele poolperioodile vastavast vahemikust CD .

H.: Jah, anoodvoolu võnkumise graafik ei jääks nii sümmeetriliseks kui on võrepinge võnkumise graafik.

T.: See aga näitab, et on tekkinud soovimatu moonutus.

SÜNTEESI VAIMUS



H.: Järelikult, kui meil on olemas graafikud, mis iseloomustavad anoodvoolu muutumist sõltuvalt võrepingest, siis teame ühtlasi, kuidas lampi kasutada.

T.: Jah, ma lisaksin, et võrdlemisi sageli pakuvad huvi ka teised tunnusjooned, mis näitavad, kuidas anoodvool sõltub anoodile rakendatavast pingest.

H.: Oletan, et selleks leitakse samasugused kõverad, kuid püsivatel võrepinge väärtustel. Siingi saab ilmselt määrata terve tunnusjoonte sarja, milles iga joon vastab võrepinge ühele teatud väärtusele.

T.: Su oletused on õiged, Huviste.

H.: Kokku võttes nendin, et meil on alati tegemist kolme suurusega:

- 1) võrepingega U_g ,
- 2) anoodpingega U_a ,
- 3) anoodvooluga I_a (mis sõltub kummastki eelnevast).

Anoodvoolu muutumisi saab uurida kas muutes võrepinget (ja sealjuures jätta anoodpinge püsivaks) või muutes anoodpinget (kuid siis jätta võrepinge püsivaks).

T.: Täna käib su mõte kiiduväärses sünteesi vaimus, kallid sõber.

H.: Võiksin minna veelgi kaugemale, kinnitades, et samal viisil saaks määrata lambi tõusu (I_a ja U_g muutuste järgi konstantse U_a puhul) ning võimendustegurit (U_a ja U_g selliste muutuste järgi, mis põhjustavad I_a võrdset muutumist). Alati muutub kaks suurt, kusjuures kolmas jääb püsivaks.

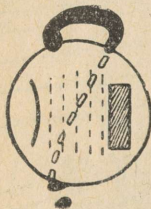
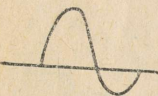
T.: See on õige, kui võrd on olemas ka kolmas parameeter, millest ma pole veel kõnelnud: lambi *sisetakistus*, mis tuleneb anoodpinge väikesest muutusest ja seda põhjustava anoodvoolu väikesest muutusest...

H.: ...püsival võrepingel, arvan.

T.: Muidugi, mu sõber. Näib, et oled lõplikult nendest asjadest aru saanud. Nüüd sa tead juba, millised tingimused on vajalikud, et lamp töötaks võimendajana.

H.: Jah, kuid ma ei tea veel, kuidas valmistada radiovastuvõtjat, mis lõpuks siiski töötaks. Peale selle ma ei tea, millised on kaasaegsete lampide rohkearvuliste võrede ülesanded.

T.: Meil jätkub vestluste jaoks teemasid veel rohkesti.



Lambi võretunnusjoon

Nagu nägime, sõltub trioodi anoodvool võre- ja anoodpingest, tõi küll, mitte võrdsel määral. Esimese toime on teise toimest suurem.

Anoodvoolu I_a sõltuvust võrepingest U_g või anoodpingest U_a saab kujutada graafiliselt. I_a sõltuvust U_g -st kujutades tuleb anoodpinge U_a hoida püsivana ja anda võrepingele U_g erinevad väärtused (seda astmeliselt suurendades või vähendades) ning üles märkida igale võrepingele vastavad anoodvoolu väärtused.

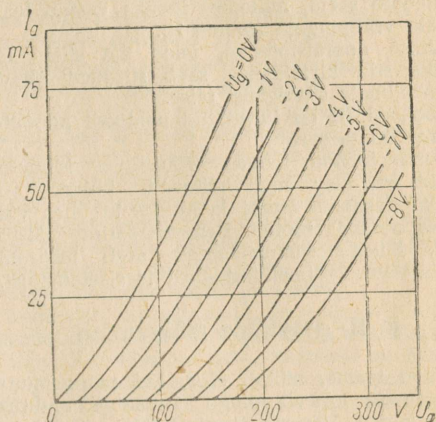
Tõmbame ruudulisele paberile kaks omavahel ristuvat telgjoont ja märgime rõhtteljele võrepinge väärtused ning püstteljele anoodvoolu väärtused. Kummagi telje lõikepunkti loeme nulliks; võrepinge negatiivsed väärtused kanname sellest punktist vasakule ja positiivsed paremale (joonis 31).

U_g ja I_a väärtuste igale paarile vastab üks punkt — kahe telgedele tõmmatud ristjoone lõikumiskoht. Näiteks kui võrepingele -1 V vastab anoodvool 4 mA, siis nende väärtuste jaoks saame punkti järgmisel viisil: tõmbame rõhtteljele ristjoone läbi selle punkti -1 V ja ristjoone püstteljele läbi selle punkti 4 mA (esimene ristjoon osutub järelikult vertikaalseks ja teine horisontaalseks). Nende ristjoonte lõikepunkt määrab tunnusjoone vastava punkti.

Kanname sellisel graafikule mitu punkti ja ühendame need. Saadud kõver, mis näitab lambi anoodvoolu sõltuvust võrepingest, kannab nimetust *võrepinge-anoodvoolu tunnusjoon*, ehk lühemalt lihtsalt *võretunnusjoon*. Vastavalt negatiivse pinge vähenemisele võrel vool suureneb, algul aeglaselt, seejärel — alumise põlviku piirkonnast väljumisel — kiiremini; tunnusjoone keskosas on sirgjooneline ala, mille piirides anoodvool muutub võrdeliselt võrepingega. Edasi tunnusjoon kõverdub taas, eriti aga otseküttega lampide puhul, millel küllastumisnähtus avaldub teravamalt.

Lambi teised tunnusjooned

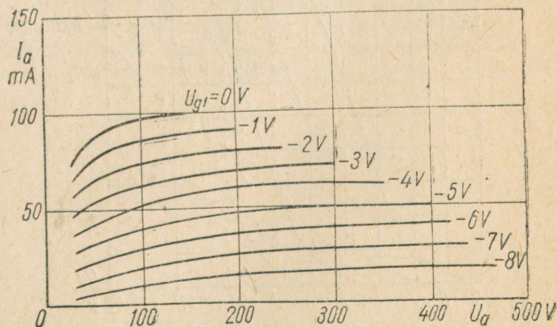
Andes lambile kõrgema anoodpinge, võib samal viisil saada teise kõvera. Sel juhul on vool tugevam ja uus kõver osutub esimesest kõverast vasakule nihutatuks. Selleks et lam-



Joonis II. Trioodi anoodvoolu I_a sõltuvust anoodpingest U_a mitmesuguste võre-eespingete puhul. Iga kõver on üles võetud teataval võrepingel U_g .

pide talitlust täielikumalt iseloomustada, tuleb üles võtta mitu kõverat, või nagu öeldakse, *tunnusjoonte sari* (joonis 32), mille iga joon vastab teatavale kindlale anoodpingele.

Märgime, et üles võib võtta ka teisesüsteemilisi tunnusjooni, kui hoida võrepinge U_g püsiv ja muuta anoodpinget U_a , samal ajal üles märkides anoodvoolu I_a vastavad



Joonis III. Samad kõverad nagu joonisel II, kuid pentoodi puhul.

muutused. Paigutades rõhtteljele U_a väärtused ja püstteljele I_a väärtused, saame lambi anoodpinge-anoodvoolu tunnusjoone, ehk lihtsalt *anooditunnusjoone*.

Sellelgi juhul saame välja joonistada tunnusjoonte sarja, milledest igäüks vastab teatavale võrepingele (joonis II).

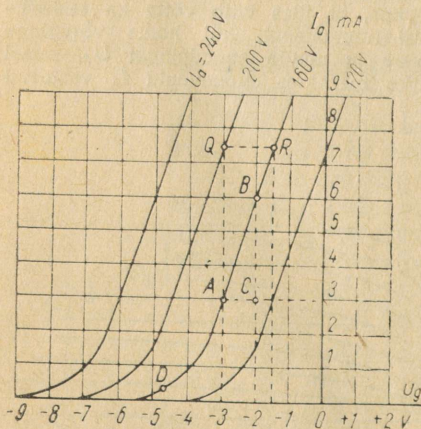
Lihtsa operatsiooniga, mida me siiski ei hakka siin kirjeldama, saab siirduda ühest tunnusjoonte süsteemist teise.

Joonisel III on kujutatud pentoodi anooditunnusjoonte sari.

Tunnusjooned loovad võimaluse hinnata lambi omadusi; nad näitavad, kuidas on parem kasutada lampi ja kuidas ta ühes või teises skeemis töötab. Demonstreerime näitlikult, kuidas tunnusjoontest saab määrata lambi tõusu, võimendustegurit ja sisetakistust.

S_{μ} ja R_i graafiline määramine

Nagu teame, näitab *tõus*, kui palju muutub anoodvool võrepinge 1-voldise muutumise toimet. Võtame joonisel IV toodud tunnusjoonte sarjast kõvera, mis vastab näiteks anoodpingele $U_a = 160$ V. Näeme, et võrepingele -3 V vastab anoodvool 3 mA (punkt A), kuid pingele -2 V vool 6 mA (punkt B). Niisiis tekitab võrepinge suurendamine 1 V võrra anoodvoolu muutumise 3 mA võrra. Järelikult on tunnusjoone tõus 3 mA/V. Kui vaadelda kolmnurka ABC, siis võib täheldada, et tõus võrdub lõikude BC ja AC suhtega. Tõus on seda suurem, mida järsum on



Joonis IV. Anoodvoolu ja võrepinge sõltuvuse kõverad võimaldavad määrata lambi tõusu ja sisetakistust.

kõver. Sel viisil on kerge mõista, miks kasutatakse terminit «tõus».

Tuleb märkida, et tunnusjoonte tõus jääb kõvera terve sirgosa piirides püsivaks, kuid põlvikul väheneb järsult (punkt D).

Assume nüüd määrama *võimendustegurit*. Lambi võimendustegur on anood- ja võrepinge selliste muutuste suhe, mis põhjustavad anoodvoolu võrdse muutumise. Ühendame tunnusjoonte sarja kahe naabertunnusjoone punktid R ja Q rõhtjoonega. Need kaks punkti vastavad ühele ja samale anoodvoolule. Mis toimub, kui siirdume punktist Q punkti R? Esitaks tõstame võrepinget 1,5 V võrra (-3 voldist $-1,5$ voldini); see aga peaks esile kutsuma anoodvoolu tugevnemise. Siiski jääb anoodvool endiseks, sest võrepinge muutumise toime kompenseerub anoodpinge alanemisega 40 V võrra (sest me siirdusime anoodpingele $U_a = 200$ V vastavalt tunnusjoonelt teisele, millele vastab $U_a = 160$ V).

Järelikult mõjutab anoodpinge muutumine 40 V võrra selle lambi anoodvoolu samal määral nagu võrepinge muutumine 1,5 V võrra. Võimendusteguriks, mis on nende kahe pinge suhe, osutub seepärast $40 : 1,5 = 26,7$.

Lõpuks proovime tunnusjoontelt määrata *sisetakistust*, mis, nagu kõnelesime, on anoodpinge muutuse ja tema poolt püsiva võrepinge juures põhjustatud anoodvoolu muutuse suhe.

Kõik väärtused, mis vastavad ühele ja samale võrepingele, asetsevad graafikul samal püstjoonel. Seepärast, kui eeldame, et pinge võrel on -3 V, on selleks püstjoon, mis läbib rõhttelje punkti -3 V. Kui anoodpinget tõsta 160 voldilt (punkt A) kuni 200 voldini (punkt Q), siis on muutus 40 V. Sellega kaasneb voolu tugevnemine 3 milliamprilt (punktis A) 7,5 milliamprini (punktis Q), s. o. 4,5 mA ehk $0,0045$ A võrra. Järelikult on sisetakistus $40 : 0,0045 \approx 8900 \Omega$.

Võime kontrollida võrduse $\mu = SR_i$ kehtivust, võttes $R_i = 8,9$ k Ω . Sel juhul $SR_i = 3 \cdot 8,9 = 26,7$.

Eelnevalt määrasime juba vahetult, et $\mu = 26,7$; see tõestab, et raadiotehnikas valitseb kord...

Võimendusastme sisend ja väljund

Selleks et kasutada lambi omadust võimendada vahelduvpinget, tuleb see anda võre ja katoodi vahele. Muutes sel viisil katoodi suhtes võre potentsiaali, tekitame tunduva anoodvoolu muutumise (mis on μ korda suu-

rem anodi ja katodi vahele rakendatud pinge toimest). Seda anoodvoolu kõikumist, nagu hiljem näeme, võib täiendavalt võimendada veel teistes lampides.

Niiviisi juhitakse võimendamisele kuuluv pinge lambi võre ja katodi vahelisesse ahelasse, mida me hakkame nimetama võimendusastme *sisendiks*; anoodahelat aga hakkame nimetama selle *väljundiks*.

Sisendis toimivad vahelduvpinged on suhteliselt madalad; raadiolaine poolt antennis tekitatud nõrga võnkumise võimendamiseks määratud esimese võimendusastme sisendis võib selle pinge olla mõnest mikrovoldist kuni kümnekonna mikrovoldini (lähedal asetsev saatja võib muidugi tekitada mõne millivoldi suuruse pinge). Vastuvõtja võimendi viimaste astmete sisendisse antakse võimendatud pingeid, mis võivad küündida mõne voldini ja isegi mõnekümne voldini.

Võre-eelpinge

Lisaks võre ja katodi vahele juhitavale vahelduvpingele tuleb võrele anda veel mingi keskmise väärtusega pinge, s. o. alalispinge, mis toimib võre ja katodi vahel ka vahelduvpinge puudumisel (näiteks saatepauside ajal). Seda pinget, mida nimetatakse *võre-eelpingeks*, võib saada näiteks võre ja katodi vahele ühendatud patareil TP_g abil (joonis 33). Võre-eelpinge määrab lambi tunnusoone *talitluspunkti*. Seepärast, kui joonisel IV anoodpinge võrdub 160 V ja võre-eelpinge -3 V, siis asetseb talitluspunkt tunnusoone punktis A. Keskmise anoodvoolu ehk anoodvoolu võimendatava signaali puudumisel on 3 mA.

Vahelduvpinge andmisel võrele hakkab selle elektroodi pinge mingi keskmise väärtuse ümber kõikuma, hälbides sellest vaheldumisi suuremate ja väiksemate väärtuste suunas.

Kui kasutada -3 -voldist eelpinget ja võimendatava vahelduvpinge amplituud on 2 V, siis pinge hetkväärtused võrel hakkavad muutuma -5 voldist kuni -1 voldini. Samaaegselt hakkab ka anoodvool oma keskväärtusest hälbima kuni selliste piirväärtusteni, mis vastavad võrepingetele -5 ja -1 volti.

Moonutuste vältimiseks tuleb silmas pidada kaht nõuet. Esmalt on tarvilik, et anoodvoolu muutused oleksid võrdelised võrepinge muutustega. See nõue on täidetud, kui võrepinge hetkväärtused ei välju tunnusoone sirgosa piiridest. Mõõdamines märgime, et just seepärast nimetatakse tunnusoone kõverusest põhjustatud moonutust *mittelineaarmoonutuseks*. (See termin, millest kõneldakse teatava salapärasusega, avaldab alati oma mõju... nendele, kes selle mõtet ei tunne.)

Teine oht varitseb meid tunnusoone selles punktis, kus võrepinge hetkväärtus võrdsustub nulliga. Kui ületame selle väärtuse positiivsete pingete suunas, siis ilmub *võrevool*. See toimub põhjusel, et võre hakkab tõmbama enesele teatavat hulka elektrone, mis moodustavad *võrevoolu*. Võrevool hakkab ilmuma juba teatava väikese negatiivse võrepotentsiaali juures (alates $-1,5$ kuni -1 V, olenevalt lambi tüübist), mis seletub katoodilt emiteeruvate elektronide algenergia olemasoluga. Võrevool põhjustab tõsiseid moonutusi. Selle voolu loomiseks kulub võreahelas teatav energia, mistõttu see talitlusrežiim on lubamatu.

Siit järeldub, et *võrepinge hetkväärtused ei tohi väljuda tunnusoone sirgosast ega tohi asetuda positiivsesse võrepingete piirkonda*. Nii tulebki valida eelpinge selliselt, et *talitluspunkt asetseks vasakul pool püsttelge tunnusoone negatiivsete võrepingete piirkonna sirgosa keskel*.

Sel juhul, kui vahelduvpinge amplituudväärtus ei ületa eelpinget, ei välju võrepinge hetkväärtused tunnusoone sirgosa piiridest ega satu positiivsete võrepingete alasse.

9.

VESTLUS

Selles vestluses, mis on tervikuna pühendatud raadiosaatele, esitab Targaste lampgeneraatori talitluspõhimõtte ja selgitab moduleerimisprotsessi, mille ülesanne on üle kanda kõrgsagedusvõnkumisele foetuvat madalsagedussignaali.

MADALSAGEDUSVÕNKUMISE IMELIKUD RÄNNAKUD

Huviste: Vabanda, et pöördun taas oma murede juurde, kuid sa lubasid selgitada, miks minu koostatud skeem ei saa tööle hakata.

Targaste: Selle mõistmiseks tuleb teada, milline on elektromagnetiliste lainete poolt sinu antennis tekitatava voolu olemus. Selleks tuleb sulle selgitada raadiosaatja talitluspõhimõtet.

H.: Ma tean, et on olemas stuudio ja selles mikrofon.

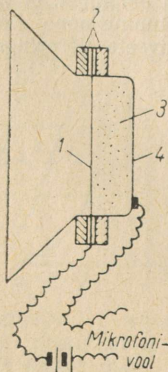
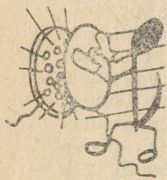
T.: Suurepärase. Näen, et oled seda küsimust «põhjalikult» tundma õppinud. Kuid kas tead, mis on mikrofon?

H.: Loomulikult. Üks selline on meie telefoniaparaadis. Mõne päeva eest ma avasin mikrofoni ja avastasin selles väikesed söetikikesed. Just sellest päevast peale hakkaski meie telefon nii halvasti töötama...

T.: Järelikult sa tead, et mikrofoni ülesanne on püüda kinni hääled ja...

H.: ...muundada need elektrivooluks.

T.: See pole veel kõik. Mikrofon koosneb õhukesest metallmembraanist ja söepuruga täidetud metallkausikesest (joonis 35). Membraan on metallkarbist isoleeritud ja osutub viimasega elektriliselt ühendatuks ainult läbi söepulbri. Patarei vool läheb memb-



Joonis 35. Mikrofon: 1 — membraan; 2 — isolaator; 3 — söepulber; 4 — kausike.

raanist metallkausikesse ainult läbi söepuru. Ilmselt sõltub see vool söepuru takistusest. Selle takistus muutub olenevalt membraani survest.

H.: Mõistan: pulbri kokkusurumisel membraani poolt on söe-osa-keste kokkupuutepinnad suuremad ja vool läbib neid hõlpsamiini. Kuid mis võib muuta membraani survet söepurule?

T.: Helilained, mis panevad ta võnkuma. Kas sa pole füüsikas õppinud, et heli on õhumolekulide võnkumine, mis levib helilaine suunas. Helilained on sagedustega alates 16 võnkest sekundis (hertsist) madalaima kuuldava tooni puhul kuni umbes 16 000 hertsini kõige kõrgema tooni puhul. Muide, mõned teadlased on leidnud, et eriti tundlikud kõravad tajuvad helisid, mille sagedus küünib 40 000 hertsini. Koerad näiteks kuulevad neid helisid.

H.: Järelikult, kui ma õigesti mõistsin, koputavad helilained vastu mikrofoni membraani ja seda võnkuma pannes suruvad söepuru rohkem või vähem kokku ning muudavad seda läbivat voolu.

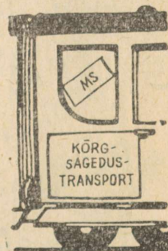
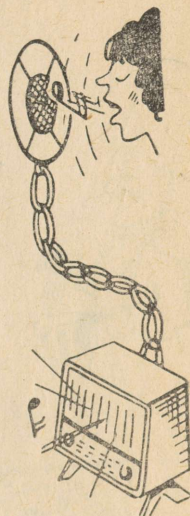
T.: See on õige. *Mikrofonivool* kordab niiviisi täpselt kõiki helivõnkeid. Muide, raadio puhul on meil heliga tegemist ainult ülekanaltrakti otstes: algul — mikrofoni ees ja lõpul — pärast valjuhääldajat. Nende vahel esineb heli elektrivooluna, mida nimetatakse *madalsagedusvooluks* ehk -signaaliks, sest selle sagedus on palju väiksem niisuguste voolude sagedustest, mida kasutatakse elektromagnetiliste lainete loomiseks. Viimaseid nimetatakse *kõrgsagedusvooludeks*.

H.: Milline õnnetus! Veel üks idee, mis kaotas sisu, enne kui ma selle sõnastada jõudsin! ... Just praegu tahtsin soovitada mikrofonivool otse saateantenni lähetada, nii et ta tekitaks raadiolaineid, ... ja nüüd näen, et selleks tuleb kasutada sootuks kõrgsagedusvoole.

T.: Kas tead, Huvipoiss, et mikrofonivoolu võib võrrelda reisi-jaga, kes kasutab kõrgsagedusvoolu-rongi, et jõuda kaugesse sihtkohta. Ta istub rongile lähtejaamas (saatjas) ja väljub sihtjaamas (vastuvõtjas). Niiviisi on kõrgsagedusvoolu ülesanne vaid kõrvaline — olla madalsagedusvoolule üksnes liiklusvahendiks.

H.: See, mida seletad, on küll hästi lihtne, kuid tegelikkuses peab see olema pagana keeruline, sest ma ei kujuta üldse ette, kuidas madalsagedusvõnkumine «istub» kõrgsagedusvõnkumisele, laseb ennast edasi kanda ja hiljem lahkub temast.

T.: Siiski on kõik väga lihtne ja sa hakkad seda mõistma, kui selgitan sulle *generaatori* talitluspõhimõtet. Mõnel juhul nimetatakse seda seadist ka *heterodüüniks* ehk *ostsillaatoriks*.



KUIDAS SAADA KÕRGSAGEDUSVÕNKUMIST

H.: Olen lugenud superheterodüünvastuvõtjatest, kuid iialgi pole kuulnud lihtsalt heterodüünidest. Kas pole see reklaami eesmärgiga liialdus?

T.: Rahustu, ei ole. Superheterodüün on vastuvõtulülitis, millest sulle hiljem jutustan. Aga lihtsalt heterodüün on seade, millega tekitatakse kõrg- või madalsageduslikke vahelduvvoole. Selline generaator, mis toodab antenni jaoks võimsaid kõrgsagedusvoole, on raadiosaatja. Kui kõrgsagedusvoolu mõjutatakse veel mikrofonivooluga, ehk nagu öeldakse, moduleeritakse seda, on tegemist raadiotelefonisaatjaga.

H.: Kuid ma sooviksin väga teada saada, kuidas generaator on ehitatud. Kas pole ta sarnane elektrijaamades kasutatavate suurte vahelduvvoolugeneraatoritega?

T.: Ei, vennike. Täpselt samuti, nagu osaval kokal on tuhat retsepti munarõogade valmistamiseks, nii oskavad ka raadiotehnikud lampe sobitada erinevateks kasutusotstarveteks. Väga lihtsa generaatori skeem on joonisel 36, a. Mida sa sellel näed?

H.: Ma näen lambi võre ja katoodi vahele ühendatud võnkeringi LC. Paremalt on kujutatud lambi anoodahelasse ühendatud induktiivpool L_1 . Lõpuks on siin patarei TP_g , mis tekitab lambi võrel katoodi suhtes negatiivse pinget.

T.: Pane tähele ka seda, et poolid L ja L_1 asetsevad selliselt, et nad on induktiivsidestuses ja et nende mähised on keritud samasuunalistena, s. t. katoodilt võrele suunduv vool läbib mähist L samas suunas kui mähist L_1 (anoodilt anoodtoiteallika, s. o. meie näites patarei TP_a positiivsele poolusele).

H.: Öeldu selgub sinu jooniselt tõepoolest, kuid milleks see kõik?

T.: Mõtle järele. Mis toimub lülituse pingestamise hetkel?

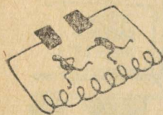
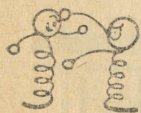
H.: Ei midagi erilist... Katoodist eraldunud elektronid tõmmatakse läbi võre anoodile; seejärel läbivad nad mähise L_1 vasakult paremale ja siirduvad patarei TP_a kaudu taas katoodile. Rohkem ma midagi ei näe.

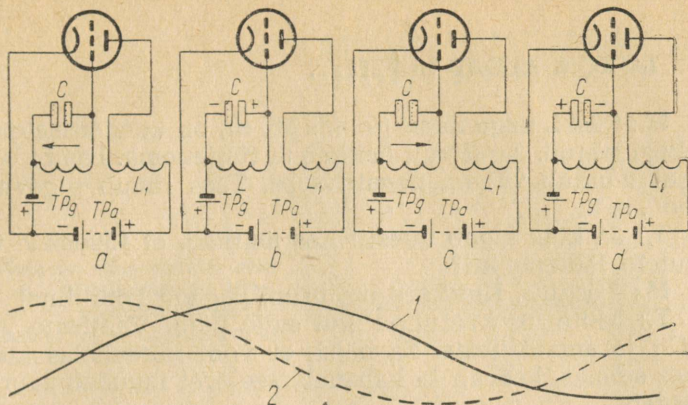
T.: Ära unusta, et mähiste L ja L_1 vahel toimib induktiivsidestus, seepärast toimub veel midagi...

H.: See on õige... Tähendab, et kui mähist L_1 läbib vool vasakult paremale, siis tekitab see mähises L induktiooni reegli kohaselt vastasuunalise voolu.

T.: Õige. Kuna vool mähises L_1 suureneb, siis peab mähises L indutseeritud vool olema suunalt vastupidine, et avaldada vastumõju ehk takistada indutseeriva voolu suurenemist.

H.: Nüüd aga mähist L paremalt vasakule läbiv vool viib elektrone võrelt ja kondensaatori C parempoolselt plaadilt ära ja kogub need katoodile ning kondensaatori vasakpoolsele plaadile (joonis 36, b).





Joonis 36. Generaatori voolu neli võnkefaasi: 1 — voolu muutumise kõver anoodahela mähises L_1 ; 2 — seesama võreahela mähises L . Pöörake tähelepanu elektrodide jagunemisele kondensaatori C plaatidel.

T.: Nüüd näed, et võre muutub positiivsemaks.

H.: Kuid siis peab ta esile kutsuma anoodvoolu suurenemise, mis indutseeriks mähises L veelgi tugevama voolu, muudaks võre veelgi positiivsemaks ja...

T.: Pea kinni!... Kui jätkaksid samas vaimus, siis jõuaksid peatselt miljoni amprini. Ära siiski unusta, et anoodvool ei saa lõpmatult tugevneda.

H.: Tõepoolest, ta on küllastusvooluga piiratud.

Järelikult, kui võre osutub nii positiivseks, et anoodvool küünib küllastumiseni, viimane enam suurenda ei saa. Kuna vool lakkab siis muutumast, ei ole ka mähises L enam mingit voolu.

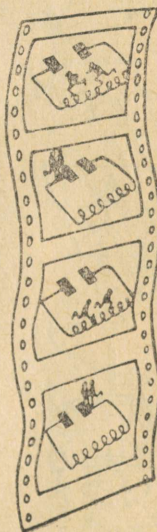
T.: Milline eksiarvamus! Kahtlemata pole selles enam mähise L_1 poolt indutseeritud voolu. Kuid kas sa ei märka, et kondensaator C on siis laetud?

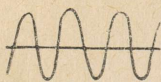
H.: Tõepoolest. Ja ta hakkab ilmselt tühjenema, mille toimel lambi võre potentsiaal kujuneb üha negatiivsemaks. Kuid mulle näib, et nendes tingimustes anoodvool hakkab kahanema.

T.: Kindlasti. Ja see voolu uus muutumine poolis L_1 tekitab poolis L uue indutseeritud voolu. Kuid millises suunas ta nüüd kulgeb?

H.: Kahtlemata vasakult paremale. Kõigepealt seepärast, et sa küsid niisuguse tooniga..., kuid ka seepärast, et vool mähises L_1 väheneb ja vool mähises L oma vastuolulise iseloomu tõttu peab olema samasuunaline, s. o. vasakult paremale, et sellele vähenemisele vastu toimida.

T.: See on loogiline! Ja niiviisi ei lõpe veel protsess, kui kondensaator C on tühjenenud (joonis 36, c). Mähise L_1 vool jätkab mähises L voolu indutseerimist, mille tulemusena lambi võre potentsiaal muutub üha negatiivsemaks ja anoodvool katkeb ometi kord lõplikult.





... JA KÕIK ALGAB UUESTI ...

H.: Siiski, nagu näen (joonis 36, d), on kondensaator sel hetkel jällegi laetud. Järelikult hakkab ta tühjenema. Lambi võre potentsiaal muutub vähem negatiivseks. Taas ilmub tugevnev anoodvool...

T.: Ja kõik algab uuesti! Kas märkad, et jõudsime tagasi oma arutelu lähtepunkti?

H.: Tõsijutt. Kuid see on, usun, pagana keeruline!

T.: Mitte nii keeruline kui sulle näib. Vaatleme voole võre- (LC-) ja anoodahelas. Sa näed, et vool võreahelas kulgeb algul ühes suunas, kasvab ja kahaneb, seejärel muudab suunda ja taas kasvab...

H.: Niisiis on see vahelduvvool?

T.: Jah. Aga missugune on selle sagedus?

H.: Sagedus peab kindlasti võrduma lambi võreahelas asetseva võnkeringi LC omasagedusega. Eks ju selles võnkeringis, nagu oled mulle varemgi seletanud, kondensaator C vaheldumisi laadub ja tühjeneb läbi induktiivpooli L.

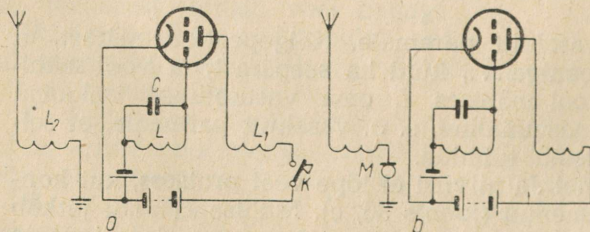
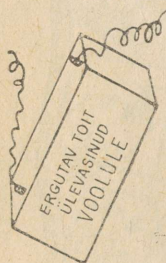
T.: Ongi nii. Ainult et see võnkumine pole kustuv ega katke pärast paari võnke toimumist, vaid seda toetatakse anoodpatareil TP_a energia arvel mähise L_d kaudu, mis on võnkeringi pooliga L induktiivsidesustes.

H.: Näib, et mõistsin. Niisiis sarnaneb elektronide liikumine võnkeringis, nagu juba märkisime, seinakella pendli võnkumisega. Täpselt samuti, nagu pendel peatub pärast teatavat arvu võnkeid, kui miski ei toeta tema liikumist, ei liigu ka elektronid kestvalt võnkeringi kondensaatori ühelt plaadilt vaheldumisi läbi induktiivpooli teisele plaadile.

Pendli liikumise säilitamiseks peab kella pingutatud vedru pendlile iga võnke ajal üpris väikese tõuke andma. Generaatoris täidab vedru ülesannet patareil TP_a .

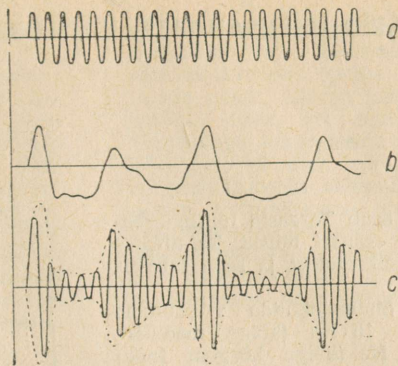
T.: Aga mis täidab kellamehhanismi ülesannet?

H.: Lambi võre.



Joonis 37. Raadiosaatjate lihtsaimad skeemid: a — raadiotelegraafisaatja võtme-ga K; b — raadiotelefonisaatja mikrofoniga M.

Joonis 38. Voolude diagrammid raadiosaatjas: *a* — moduleerimata kõrgsagedusvool; *b* — moduleeriv madalsagedusvõnkumine; *c* — moduleeritud kõrgsagedusvool.



T.: Õnnitlen sind, Huviste, ja ennustan sulle raadio alal hiilgavat karjääri.

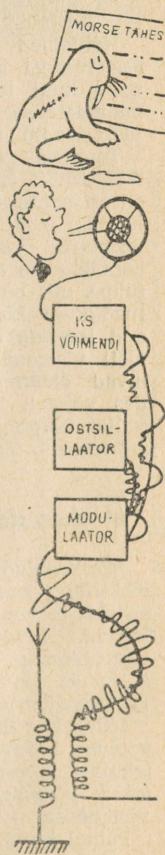
H.: Tänan! Kuid nüüd, kui juba tean, kuidas generaator tekitab sumbumatut kõrgsagedusvõnkumist, võiksid ehk mulle seletada, kuidas toimub raadiolaine väljakiirgamine?

T.: See on väga lihtne. Saadud kõrgsagedusvool tuleb juhtida antenni. Seda saab teha, kui induktiivpool L sidestada antenni ja maanduse vahele ühendatud pooliga L_2 (joonis 37). Kui ühendada anoodahelasse *manipulaator* K (morse- ehk telegraafivõti), võime anda lühikesi ja pikki signaale, mis vastavad morsetähstiku punktidele ja kriipsudele. Niiviisi toimub raadiotelegraafi saade.

H.: Kuid mind huvitab raadiotelefoni saade, millega saab üle kanda kõnet ja muusikat. Sa lubasid mulle selgitada, kuidas madalsageduslikud reisijad istuvad kõrgsagedusvoolu rongi.

T.: Sul on õigus. Seda on väga lihtne teha. Võiksime ühendada mikrofoni näiteks antenniahelasse. Et mikrofoni takistus helilainete toimel kõigub, hakkab omakorda muutuma ka vool antennis. Teiste sõnadega: püsiva amplituudiga sumbumatu võnkumise asemel (joonis 38, *a*) saame muutuva amplituudiga võnkumise (joonis 38, *c*) ehk moduleeritud kõrgsagedusvoolu.

H.: Sain aru. Kui mikrofoni takistus suureneb, väheneb kõrgsagedusvõnkumise amplituud. Just sellesse kõrgsagedusvoolu amplituudi muutumisse ongi madalsagedusvool — kõne ja muusika — kätketud.



KOMMENTAARID ÜHEKSANDALE VESTLUSELE

Mikrofon

Selles vestluses asub Targaste uurima raadioulekande ahela esimesi lülisid. Ta alustas üsna algusest — mikrofonist ja seda tabavatest helilainetest.

Helilained — õhumolekulide võnkumine sagedustega alates 16 Hz (kõige madalam toon) kuni 16 000 Hz (kõige kõrgem toon) muundatakse mikrofonil abil vastavateks elektrivoolu muutusteks.

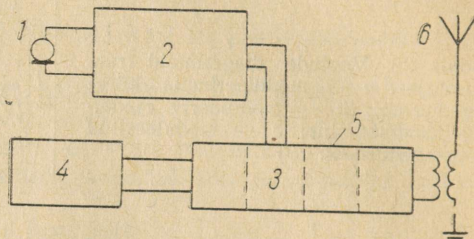
Targaste poolt kirjeldatud *süsimikrofon*, mis töötab takistuse muutumise põhimõttel, on ka suhteliselt nõrkade helide suhtes väga tundlik, kuid omab teatavaid puudusi, mis takistavad tema abil puhta, moonutusvaba heliülekande saamist. On ka teisi mikrofonitüüpe, mis on küll täiuslikumad, kuid vähem tundlikud; kuid sellel pole olulist tähtsust, sest lampide abil saab nõrku mikrofonivoolu alati võimendada. Täiuslikumate hulka kuuluvad *elektrodünaamilised mikrofonid*. Nendes võngub helilainete toimel püsिमagneti väljas kerge pool; me teame, et sel puhul indutseerub mähises vool.

Modulatsioon

Mikrofonivoolul, mis on helilainete täpne elektriline koopia, on sagedus liiga madal selleks, et vahetult tekitada elektromagnetilisi laineid. Madalsagedusvoolu ülekandmiseks saateantennist vastuvõtuantenni tuleb sellega mõjutada raadiolainete tekitamiseks suutelist kõrgsagedusvoolu.

Millisel viisil mõjutatakse madalsagedusvooluga kõrgsagedusvoolu, või, kui kasutada tehnilist terminoloogiat, mil viisil *moduleeritakse* kõrgsagedusvõnkumist madalsagedusvõnkumisega?

Puhtal kujul, modulatsioonita, on kõrgsagedusvoolul meile juba küllalt hästi tuntud tavalise vahelduvvoolu kuju (joonis 38, a). Moduleerimisel madalsagedusvooluga kaob kõrgsagedusvoolu amplituudide ühtlane rivi. Nad pikenevad või lühenevad kooskõlas madalsagedusvoolu kujuga (joonis 38, b). Kui ühendada üksikute poolperioodide kõik tipud omavahel, siis saadaval kõveral (joonis 38, c on see kujutatud kriipsjoonega) on mikrofonivoolu kuju.



Joonis V. Raadiotelefonisaatja lahterskeem: 1 — mikrofon; 2 — mikrofonivõimendi; 3 — modulaator; 4 — generaator; 5 — kõrgsagedusvõimendi; 6 — saateantenn.

Kõrgsagedusvoolu amplituudide sellisesse kõikumisse ongi kätkevad madalsagedussignaali. Niiviisi osutub moduleerimine kõrgsagedusvoolu omapäraseks vormimiseks.

Meie poolt kirjeldatud moduleerimissüsteemi nimetatakse *amplituudmodulatsiooniks*, sest selle puhul muutub madalsagedusvõnkumise rütmis just kõrgsagedusvoolu amplituud. Kuid madalsagedusvooluga saab mõjustada ka kõrgsagedusvoolu teist parameetrit — tema sagedust. *Sagedusmodulatsiooni* puhul, nagu seda meetodit nimetatakse, jääb kõrgsagedusvoolu amplituud püsivaks, kuid sagedus kõigub keskvaartuse ümber suurenemise või vähenemise suunas võrdeliselt moduleeriva madalsagedusvoolu hetkväärtustega.

Allpool vaatleme sagedusmoduleerimise meetodit, mida kasutatakse ultrahelilainetel.

Raadiosaatja

Moduleerimata kõrgsagedusvoolu tekitatakse lambiga, mis kuulub *generaatori* lülitusse. Vastuvõtja ostsillaator on selle seadme näidiseks ja Targastel oli õigus, kui ta viivitas selle talitluse analüüsimisega. Tagasi pöördumata sumbumatu võnkumise ergutamise protsessi üksikasjalise käsitluse juurde, meenutame vaid, et generaatori põhiliseks osaks on lambi võre ja katodi vahel paiknev võnkering, millega on induktiivsidesustes tema anoodahelas asetsev mähis. Võnkeringi kondensaatori vahelduv laadumine ja tühjenemine tekitab kõrgsagedus-

voolu, mis lakkaks pärast teatavat arvu perioode (nagu on näidatud joonisel 21, a), kui vastavatel hetkedel anoodahela pool ei annaks induktiivsidestuse kaudu võnkeringi poolile kadude ületamiseks tarvilikku energiat. Tänu energia sellisele järjekindlale taastamisele säilib püsiva amplituudi ja võnkeringi resonantsisagedusega võrduva sagedusega sundvõnkumine.

Lõpptulemusena säilivad generaatori võnkumised anoodvoolu energia arvel. Saatjas (joonis V) võimendatakse väikese võimsusega generaatoris ehk *ergutis* tekitatud suhteliselt nõrka võnkumist saateantenni juhtimise

eel võimsas kõrgsagedusvõimendis. Selle võimendi üht astet kasutatakse manipuleerimiseks morsevõtme (erilise lüli) abil telegraafisaate puhul, millega katkestatakse ja ühendatakse ahelat, või moduleerimiseks mikrofonivooluga telefonisaate puhul. Enamasti on mikrofonivool liiga nõrk, et sellega saaks kõrgsagedusvoolu vahetult moduleerida. Seepärast võimendatakse mikrofonivoolu enne *modulaatorisse* andmist. Joonisel 37 esitatud raadiotelefonisaatja skeem on väga lihtsustatud; teda tarvitasime ainult talituspõhimõtte selgitamiseks. Kuid Huvistet see rahuldab...

KASUTATAVAMATE ÜHIKUTE TÄHISED

Eespool vaatlesime, millised kümnendstisteemi eesliited on kasutusel mõõtühikute suurendamiseks ja vähendamiseks (lk. 33). Teiselt poolt oleme tutvunud levinumate ühikutega (lk. 41).

Nii viisi saame ka hõlpsalt aru tabelist, millesse on koondatud raadiotehnikas kõige sagedamini kasutatavate mõõtühikute tähised.

mV — millivolt
μV — mikrovolt
mA — milliamper
μA — mikroamper
kW — kilovatt
mW — millivatt
μW — mikrovatt
MΩ — megaoom
kΩ — kilo-oom

mH — millihenri
μH — mikrohenri
μF — mikrofarad
nF — nanofarad
pF — pikofarad
kHz — kiloherts
MHz — megaherts
GHz — gigaherts
THz — teraherts

Lihtsamas vastuvõtjas on vajalikud kolm elementi: lainete koguja (vastuvõtu-antenn), defektor ja telefonid. Selles vestluses arutavad meie sõbrad defekteerimise ülesannet ja teostamist. Loomulikult vaatlevad nad alul lihtsaimat meetodit — dioodiga defekteerimist. Nad ei unusta ka kristalldefektorit ja selle nooremaid vendi germaanium- ning ränidoodi. Lõpuks jutustab Targaste anooddefekteerimisest.

RONGI SAABUMINE VAKSALISSE

Huviste: Olen üsna pahane, et jätsid mind üksi oma eksamite pärast just kõige haaravamal momendil.

Me peatusime sellel, et pärast reisiija (madalsagedussignaali) astumist rongi (kõrgsagedusvõnkumine) andsime ärasõiduvile... ja meie moduleeritud kõrgsagedusrong sõidab ikka veel.

Targaste: Ongi kätte jõudnud aeg selle peatamiseks. Loomulikult sa tead, et lained peatuvad sihtjaamas, mida nimetatakse vastuvõtuantenniks. Need lained tekitavad antennis moduleeritud kõrgsagedusvoolu, mis on täpne, ehkki tunduvalt nõrgem koopta saateantennis esinevast voolust.

H.: Mulle meenub isegi, et tarviliku selektiivsuse saamiseks ühendame vastuvõtuantenni ahelasse (või sidestame sellega induktiivselt) võnkering. Sellel kujuneb vahelduvpinge. Varem tahtsin juhtida selle pinget telefonidesse, kuid selle kohta sa ütlesid, et ma ei kuuleks siis midagi. Ja tõepoolest ei suutnud ma telefonides ühtki häälekest avastada.

T.: Selleks oli vähemalt kolm põhjust, kusjuures igäüks nendest oleks ka üksikult võttes olnud küllaldane. Oletan, et sa ei suutnud vastu panna kiusatusele võtta lahti pärast hiljutist mikrofonit lahkamist ka oma telefoni kuuldetoru.

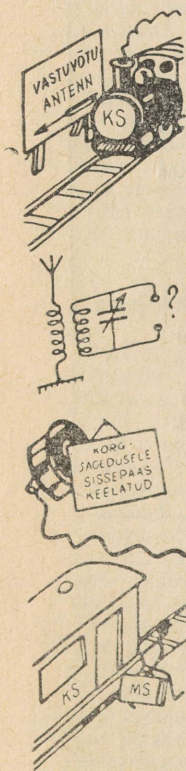
H.: Muidugi. Nägin, et see sisaldab elastset terasplekist membraani, mille taha on asetatud elektromagnet.

T.: Täpselt nii. Loomulikult aimad, et elektromagneti mähist läbiv vool muudab magneti poolt membraanile avaldatavat külgetõmbejõudu ja paneb ta (vahelduvvoolu puhul) võnkuma, tekitades helilaineid. See elektri muundamine helideks on vastupidine sellele, mida toimetab mikrofon.

H.: See näib mulle selgena.

T.: Täna hakkad sa oma ebaõnnestumise põhjustest hõlpsasti aru saama. Ära unusta, et sa tahtsid telefonidesse juhtida moduleeritud kõrgsageduspinget. Telefoni membraan on selleks liiga raske, et suudaks moduleeritud kõrgsageduse taktis võnkuda. Seda takistab membraani inertus.

H.: Kuid juhul, kui osataks valmistada nii õhuke ja kerge membraan, mis võiks võnkuda ka kõrgel sagedusel...



T.: ...ei kuuleks ikkagi midagi, sest sinu kõrvad nii kõrge sagedusega võnkumist ei taju. Pealegi ei suudaks sellise sagedusega vool läbida telefonide mähiseid, millele induktiivsus osutuks nende jaoks liiga raskesti ületatavaks tõkkeks.

H.: Kuid õigupoolest ei huvita kõrgsagedusvool meid üldse. Me tahame kuuldavaks muuta moduleerivat madalsagedusvoolu. Kõrgsagedusvõnkumise osas võib öelda, et tema on oma ülesande — olla rongiks — täitnud. Meile ei jää muud üle, kui sundida madalsageduslikku reisijat rongist väljuma.

T.: Sul on täielik õigus. See operatsioon, mille eesmärgiks on madalsageduse eraldamine moduleeritud kõrgsagedusvoolust, kannab nimetust *detekteerimine*.

H.: Kui mõistan õigesti, on detekteerimisprotsess moduleerimisprotsessi ehk kõrgsagedusvõnkumisele madalsagedusvõnkumise juurdelisamise vastand.

T.: See ongi nii. Madalsagedusvõnkumine esineb moduleeritud voolus kõrgsagedusvõnkumise amplituudi muutuste kujul. Seda voolu alaldades «ilmutame» taas madalsagedusvoolu.

H.: Ma ei tea, kuidas seda teha.

T.: See on küllalt lihtne. Voolu alaldamiseks piisab, kui paigutada selle teele ühesuunalise juhtivusega seadis, s. o. elektrijuht, mis lubab voolul hõlpsalt voolata ühes suunas, kuid ei lase seda läbi teises suunas.

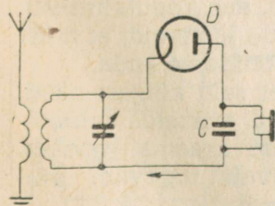
H.: Ma ei kujuta üldse ette, kuidas saab niisugust elektrijuhtialaldit valmistada.

T.: Aga sa oled juba ühe taolisega tuttav; see on diod — lamp, milles elektronid võivad lennata katoodilt anoodile, kuid mitte vastupidi.

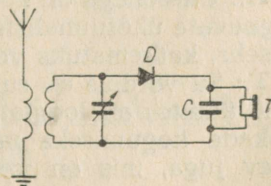
H.: Nii see on ... Sellele ma ise ei tulnudki.

NIIVIISI DETEKTEERITAKSEGI...

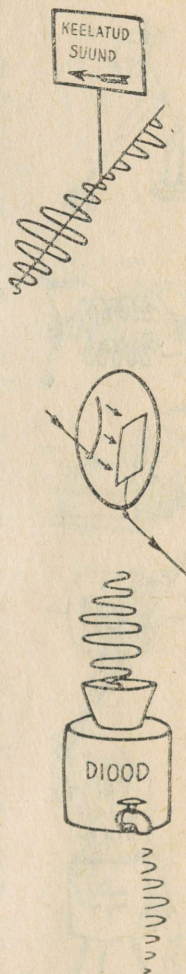
T.: Järelikult selle asemel, et ühendada võnkeringiga vahetult telefonid, lülitame need järjestikku diodiga (joonis 39). Sel juhul tekitab moduleeritud kõrgsageduspinge (joonis 41, a) diodi *D* ja telefonide *T* ahelas voolu ainult ühes suunas (joo-

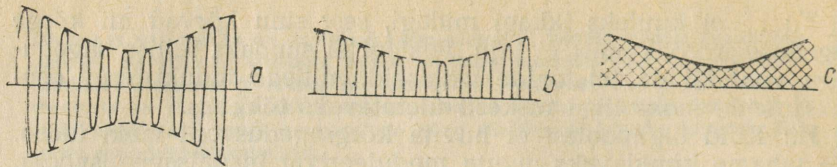


Joonis 39. Lampdiod *D* alaldab moduleeritud kõrgsagedusvõnkumised, mistõttu nad muutuvad telefonis *T* kuuldavaks.



Joonis 40. Detektor *D*, mis võimaldab detekteerida nõrku signaale.





Joonis 41. Detekteerimisprotsess graafiliselt: *a* — moduleeritud kõrgsagedusvõnkumised; *b* — alaldatud kõrgsagedusimpulsid; *c* — madalsagedusvool.

nis 41, *b*). Dioodita oleksime saanud vaheldumisi vastassuundades voolavate kõrgsagedusvoolude impulsid. Tänu dioodi alaldavale toimele hakkavad mõjuma ainult ühesuunalised impulsid.

H.: Heureka! Ma mõistsin! ... Kuna impulsid on ühesuunalised, siis mõjutavad nad membraani samuti ühiselt ja tõmbavad seda kas rohkem või vähem. Ma ütlen: rohkem või vähem, sest nende impulsside amplituudid pole võrdsed: nad muutuvad kooskõlas madalsagedusvõnkumisega ja panevad telefonide membraanid võnkuma.

ANUM, MIS KOGUB JA ANNAB ÄRA ELEKTRONE

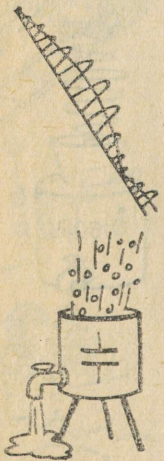
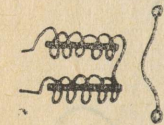
T.: Selle nähtuse olemust mõistsid sa põhijoontes õigesti. Siiski ei pööranud me oma arutelus tähelepanu asjaolule, et kõrgsagedusimpulsid, olgu need kas või ühesuunalised (joonis 41, *b*), ei saa telefonide mähiseid nende suure induktiivtakistuse tõttu läbida.

H.: Ja mis nüüd? ... Jällegi ei kuule me midagi?

T.: Kuuleme, kuid tingimusel, et silume neid impulsse enne telefonidesse suunamist. Selleks ühendame telefonidega rööbiti väikese mahtuvusega kondensaatori *C* (vt. joonis 39), mis laadub moduleeritud voolu impulsside toimel rohkem või vähem ja tühjeneb läbi telefonide mähiste. Laeng osutub impulsside amplituudist olenevalt suuremaks või väiksemaks. Siit järeldub veel, et telefone läbiv kondensaatori tühjenemisvool (joonis 41, *c*) osutub tõeliseks madalsagedusvooluks.

H.: Ühesõnaga on kondensaator *C* anumaks, mis kogub kiiresti järgnevate ühesuunaliste kõrgsagedusimpulsside laenguid, et neid ühiseks, katkematuks vooluks sulatatuna telefonidesse anda.

T.: Su võrdlus on suurepärase. On näha, et said kõigest hästi aru. Jätkates analoogiat, võid kondensaatorit *C* võrrelda vihmapiiskade kogumiseks mõeldud anumaga, mille kraanist voolab pidev juga, mis on vihma tugevusest olenevalt tugevam või nõrgem.



HUVISTE MÖISTIS, MIS ON DETEKTEERIMINE

H.: Nüüd püüan ma ise lühidalt sõnastada kõike, mida sa oled detekteerimisest jutustanud. Moduleeritud kõrgsageduspinge alaldatakse diodiga. Me saame ühesuunaliste, kuid erinevate amplituudidega kõrgsagedusimpulsside seeria. Need impulsid laevad lakkamatult kondensaatorit C , mis annab madalsagedusvoolu telefonidesse ... ja me kuuleme muusikat ... Ah, oleks mul diod, ma ei viivitaks enam vastuvõtja ehitamisega!

T.: See oleks tarbetu! Lampdiod on kasutatav siis, kui tege- mist on suhteliselt suurte pingete alaldamisega. Nõrkade pingete jaoks on parem kasutada kontaktdetektorit D (joonis 40).

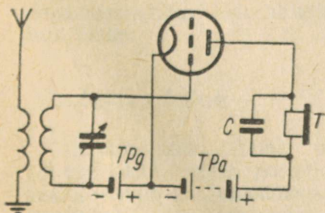
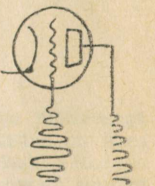
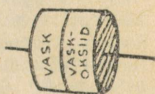
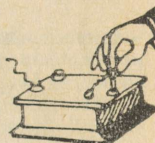
H.: Tõenäoliselt pead sa silmas vanaaegset kristalldetektorit, mis koosneb galeenikristallist ja teravikuga kergelt kristalli pin- nale toetuvast metallspiraalst?

T.: Mitte tingimata. Kontakt-detektorit võib valmistada mit- meti. Niipea kui viime kokkupuutesse kaks elektrijuhti, mis on mingis mõttes (keemiliselt koostiselt või temperatuurilt) erinevad, muutub nende juhtivus kummaski suunas erinevaks. Ja kuna pole kahte absoluutselt identset keha, võime öelda, et kõik kon- taktid osutuvad aldavateks! Siiski avalduvad ühtedel kontakti- del alaldusomadused rohkem kui teistel. Nii moodustab näiteks pliiläike (galeeni) kontakt metalliga hea detektori, kuigi ta on väga ebapüsiv ja võib detekteerida ainult väga nõrku voole.

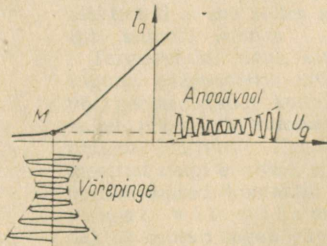
On olemas ka selliste kontaktidega detektorid, millel neid puudusi pole, näiteks vask koos vaskoksiidiga, kuid ka germa- nium või räni koos terasest teravikuga. Viimased detekteerivad ka nii kõrgete sagedustega voole, nagu kasutatakse radarites.

H.: Kuidas see ka poleks, ma näen, et detektor toimib ikka alaldajana.

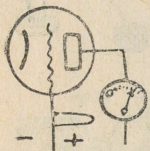
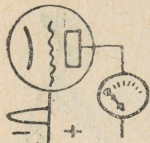
T.: Jah. Kuid alaldamist saab toimetada ka äsjavaadeldust erineval viisil. Selleks võib kasutada võimenduslampi, mille võre on eelpingestatud patareist TP_g saadava nii negatiivse alalispin- gega (joonis 42), mille puhul lambi anoodvool võrdub peaaegu nulliga (punkt M lambi tunnusjoone alumisel põlvikul; joonis 43).



Joonis 42. Anooddetektori skeem.



Joonis 43. Talitluspunktis M tekitab vahelduvpinge lambi võrel alaldatud voolu anoodahelas.



Moduleeritud kõrgsageduspinge antakse lambi võre ja katodi vahele. Sel juhul põhjustavad kõrgsagedusliku vahelduvpinge positiivsed poolperioodid muutliku tugevusega anoodvoolu. Seevastu kõrgsageduspinge negatiivsed poolperioodid suurendavad veelgi võre negatiivset potentsiaali ja vool anoodahelas katkeb.

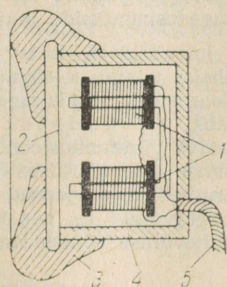
H.: Kujutlen toimuvat väga hästi. Anoodahelas ilmub kõrgsageduslikult üksteisele järgnevate ja muutuva amplituudiga ühesuunaliste vooluimpulsside seeria. Väikese mahtuvusega kondensaator C summeerib laadudes üksikud impulsid ja toidab madalsageduspingega telefone täpselt samuti nagu diooddetektori puhul.

T.: Sa said detekteerimisest tõepoolest hästi aru. Joonisel 42 esitatud meetodit nimetatakse *anooddetekteerimiseks*. Sõbrad ütlevad tõenäoliselt sulle, et on olemas ka «võredetekteerimine». Sellise niinimetatud detekteerimise juurde asume hiljem.

KOMMENTAARID KÜMNENDALE VESTLUSELE

Telefonid

Kui raadiotelefoni ülekandetrakt lähtub mikrofoni, siis tema lõpplükk on telefonid. Telefonide (või nende lähedase ja võimsama sugulase valjuhääldaja) ülesanne on mikrofoni otstarbele vastupidine. Nende abil muundatakse madalsagedusvool heliks.



Joonis VI. Telefoni ehitus: 1 — elektromagnet; 2 — membraan; 3 — kapsel; 4 — korpus; 5 — ühendusjuhe.

Telefon koosneb õhukese terasmembraani taha paigutatud magneeditud terasest südamikuga elektromagnetist (joonis VI). See kõik on asetatud metallist või plastmassist korpusesse. Elektromagneti mähiseid läbiv madalsagedusvool tegevdam või nõrgendab vaheldumisi südamiku magneetumist ja membraan tõmbub siis ka tugevamalt või nõrgemalt südamiku poole, kooldudes voolu muutumise rütmis rohkem või vähem. Nii tekitatud vibreerimine kandub ümbritsevale õhule ja levib selles helilainena. Kui kõik paljudest muundamistest, mida vooluga toimetatakse saatja mikrofoni ja vastuvõtja telefoni vahel, toimuksid moonutatusteta, siis vastaks telefonidega taasesitatav heli täpselt mikrofoni tabanud helile.

Defekteerimine

Telefone peab läbima madalsagedusvool. Täiesti kasutu oleks proovida telefone toita moduleeritud kõrgsagedusvooluga. Membraan ei hakkaks oma liiga suure inertsiga tagajärjel sellise kõrge sagedusega üldse vibreerima. Kui see aga siiski osutuks võimalikuks, siis oleks taasesitatava «heli» sagedus nii kõrge,

et inimkõrv seda ei tajuks. Pealegi ei läbiks kõrgsagedusvool telefonide mähiseid nende liiga suure induktiivtakistuse tõttu. Kolm põhjust, milledest igast üksikutki piisaks, tingivad vajaduse moduleerimisele vastupidiseks operatsiooniks: madalsageduskomponendi eraldamiseks moduleeritud kõrgsagedusvoolust. Seda toimingut nimetatakse *defekteerimiseks* (mõnikord kõneldakse samas tähenduses *demoduleerimisest*).

Moduleeritud voolu madalsageduskomponendi eraldamiseks piisab selle aldamisest, s. o. kõikide ühe polaarsusega poolperioodide kõrvalejätmisest. Sel viisil saadakse üksteisele kõrgsageduse rütmis järgnevad ühesuunalised vooluimpulsid, millede amplituud muutub kooskõlas madalsagedusvooluga (vt. joonist 41, b). Piisab, kui koguda need impulsid väikese mahtuvusega kondensaatori plaatidele, et seda muutlikku laengut läbi telefonide (või mistahes muu takisti) tühjendades tekitada selles madalsagedusvoolu (joonis 41, c). See on defekteerimisprotsessi põhieesmärk. Vaatleme põhjalikumalt defekteerimise meetodeid.

Defektorid

Voolu aldatakse ühesuunalise juhtivusega seadise abil. Sellise seadise takistus on ühes suunas läbivale voolule suhteliselt väike ja teisesuunalise voolu jaoks tunduvalt suurem (või isegi lõpmatult suur). Lampdiodi võime vaadelda «keelatud suunas» lõpmata suurt takistust omava defektori näidisenä, sest elektronid ei saa selles seadises liikuda anoodilt katoodi suunas.

Targastel oli õigus, kui ta kinnitas, et iga sugune asümmeetria (füüsikaline, keemiline või geomeetiline) kahe kokkupuutuva keha vahel põhjustab kummagi suuna jaoks ebaühtlase juhtivuse. Kuna aga ideaalset sümmeetriat iialgi ei esine, siis võib öelda, et kõik mitteideaalsed kontaktid defekteerivad suuremal või vähemal määral. See nähtus osutub sageli vägagi soovimatuks. Siit järeldub halbade kontaktide ohtlikkus ja tarvidus kasutada raadiovastuvõtja konstrueerimisel jooteühendusi.

Mittepüsiva kontaktiga kristalldetektorit (nendest oli vanasti tuntuim galeendetektor) kasutati ainult lampideta raadiovastuvõtjates, nn. detektorvastuvõtjates, milledes võimendamist üldse ei toimu ja antennist saadav väga nõrk moduleeritud kõrgsagedusvool juhitakse pärast detekteerimist — nüüd juba madalsagedusvooluna — vahetult telefonidesse. Sellised vastuvõtjad kõlbavad ainult kohalike saadete vastuvõtuks.

Kuid kas ei osutu tõeliseks imeks isegi niisugune vastuvõtja, milles antenni poolt ruumist saadud tühisest energiahulgakesest piisab telefonide membraanide võnkumapanemiseks...?

Alaldatud voolu ühesuunaliste impulsside kogumiseks tarviliku kondensaatori mahtvus peab olema küllalt väike, et osutada suurt mahtuvustakistust madalsagedusvoolule, mis vastasel juhul lühistuks läbi kondensaatori. Tavaliselt kasutatakse selleks kuni 2000-pikofaradiise mahtvusega kondensaatorit.

Lisame, et kaasaegsetes lampvastuvõtjates kasutatakse sageli germaanium- või ränipooljuhtdetektoreid, mis pole halvemad lampdiodidest ega vaja kütet. Omaaegsed reguleeritava kontaktiga galeen- jms. detektorid on ammu läinud raadiotehnika ajalukku.

Anooddetekteerimine

Lamprioodiga saab moduleeritud voolu üheaegselt nii detekteerida kui ka võimendada. Selleks antakse detekteerimisele kuu- luv pinge lambi võre ja katoodi vahele, kusjuures negatiivne eelpinge peab olema suurem kui sellel lambil võimendajana kasutamise puhul, sest siin vajatakse tunnusjoone alumisele põlvikule nihutatud talitluspunkti. Sellistes tingimustes põhjustavad kõrgsageduspinge negatiivsed poolperioodid üksnes anoodvoolu tühise vähenemise, kuid positiivsed poolperioodid kutsuvad esile anoodvoolu tunduva suurenemise. Viimane omandab ühesuunaliste muutuvate amplituudidega kõrgsagedusimpulsside kuju.

Impulssidega laetav kondensaator anoodahelas tekitab telefonides (või mistahes muus koormuses) madalsagedusvoolu. Selles seisabki anooddetekteerimiseks nime- tatava võretunnusjoone alumisel põlvikul toimuva detekteerimise olemus. Põhimõtteliselt on see moduleeritud kõrgsagedusimpulsside positiivsete ja negatiivsete poolperioodide mittevõrdse võimendamise tulemus.

Seekord on meie kahe sõbra ulatuslik keskustelu pühendatud võimendamisele. Pärast seda kui nad määrasid kindlaks, et võimendamine on nii madal kui ka kõrgsagedusvoolu puhul farviliik, sõnastab Targaste trafosidestuse põhimõtte, samuti ka mitmed teiste küsimused, eriti võre-eelpinge saamise võimalused, mida võrgutoitega vastuvõtjates tavaliselt kasutatakse.

11.

VESTLUS

RÄNNAKURASKUSED

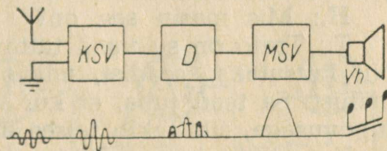
Huviste: Meie viimasest vestlusest mõistsin lõpuks, kuidas detekteerimine toimub, s. o. kuidas reisija (madalsagedusvõnkumine) väljub teda sihtjaama (vastuvõtjasse) toonud rongist (kõrgsagedusvõnkumisest). Nüüd põlen soovist ometi kord alustada kas või kõige lihtsama aparadi ehitamist, mis koosneb võnkerongist, dioddetektorist ja valjuhääldajast.

Targaste: Sa oled ikka ja alati küllastunud teostamatutest ideedest. Sellise vastuvõtja valjuhääldaja jääb tummaks nagu kala. Sa unustad, et sinu reisija, olles läbinud pika teekonna (kiirusega 300 000 km/sek.), saabub vastuvõtjasse väga väsinuna ja jõuetuna!...

H.: On ka põhjust...

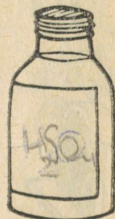
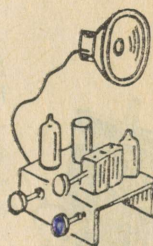
T.: Nojah, sinu vastuvõtjas tekkiv vool on liiga nõrk, et valjuhääldajat tööle panna. Seepärast tuleb seda pärast detekteerimist, kuid enne valjuhääldajasse juhtimist võimendada. Selles ongi *madalsagedusvõimendi* (MSV) ülesanne. Võimendi toimel suureneb madalsagedusvõnkumise amplituud. Kuid teiselt poolt, kui reisija saabub kaugelt, ei jätku tal enam isegi rongist väljumiseks jõudu. Teiste sõnadega, raadiolaine poolt vastuvõtuantennis tekitatud vool on nii nõrk, et teda ei õnnestu isegi detekteerida.

Joonis 44. Otsevõimendusvastuvõtja lihtsaim lahterskeem: KSV — kõrgsagedusvõimendi, mis suurendab eraldusteravust ja tundlikkust; D — detektor; MSV — madalsagedusvõimendi, mis suurendab helitugevust; Vh — valjuhääldaja.



H.: Arvan, et niisugusel juhul tuleb reisijat enne rongist väljumist kosutada.

T.: Just nii toimitaksegi. Kõrgsagedusvoolu võimendatakse enne detekteerimist, et teda muuta täielikult detekteeritavaks. Tänu *kõrgsagedusvõimendile* (KSV) õnnestub detekteerida ka nõrgemaid signaale. Järelikult soodustab kõrgsagedusvõimendus vastuvõtja *tundlikkuse*; või teisiti kõneldes — vastuvõtukauguse suurenemist.



HUVISTE SÖNASTAB ÜLESANDE

H.: Kokku võttes, heas vastuvõtjas tuleb võimendada nii kõrgsagedusvõnkumist kui ka madalsagedusvõnkumist (joonis 44). Kuid võimendamise kohta olen tõenäoliselt juba kõik teada saanud.

T.: Eksid rängalt, sõbrake. Sa tunned võimenduslambi ülesannet ja tead seda, et lambi sisendisse (s. o. võre ja katodi vahele) juhitavad väikesed pingemuutused põhjustavad suuri anoodvoolu muutusi. Kuid sa ei tea üldse, kuidas on koostatud sidestusahelad, millede kaudu saab kaht võimenduslambi järjestikku ühendada.

H.: Mu matemaatikaõpetaja kinnitas alati, et selgesti sõnasatud ülesanne on juba poolenisti lahendatud. Nii ma püüangi sõnastada ülesande, mille mulle äsja andsid.

Lambil (joonis 45) on «sisend» — selleks on võre ja katood. Nende kahe elektroodi vahele rakendatakse kõrg- või madalsageduslik vahelduvpinge. Peale selle on veel «väljund» — anoodahel, millest võime anoodi ja kõrgepingelise toiteallika positiivse pooluse vahelt saada muutuva tugevusega anoodvoolu. Kuid selleks, et panna tööle järgmine lamp, ei vaja me vahelduvvoolu, vaid vahelduvpinget, mille peame jällegi rakendama lambi võre ja katodi vahele.

T.: Sa oled õigel teel. Tekib vajadus muundada vahelduv anoodvool vahelduvaks pingeks.

H.: Seda on kerge öelda, kuid ma ei näe, mil viisil võiks seda teostada.

T.: Sellist muundamist võiks teha näiteks *transformaatori* ehk *trafo* abil...

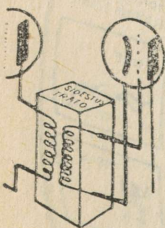
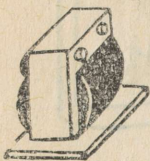
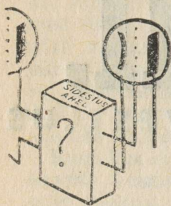
VANA TUTTAV

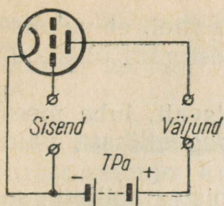
H.: Mis masin see on?

T.: Trafo on su vana tuttav, sa ei teadnud ainult tema nime. Nii kutsutakse seadist, milles on kaks induktiivselt sidestatud mähist. Sa tead juba, et kui vool esimeses mähises on muutuva tugevusega, siis tekib teises mähises indutseeritud pinge.

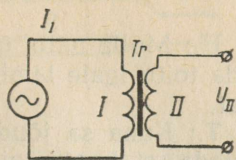
Kui läbi esimese mähise (seda nimetatakse *primaarmähiseks*) juhtida vahelduvvoolu, siis hakkavad teises mähises (*sekundaarmähises*) elektronid vastavalt indutseeritud voolule ümber paiknema, tekitades sel viisil mähise otste vahel vahelduvpinge (joonis 46).

H.: Nüüd ma näen lahendust: piisab, kui trafo primaarmähis paigutada esimese lambi anoodahelasse ja selle sekundaarmähis ühendada teise lambi võre ja katodi vahele (joonis 47). Sel juhul läbib primaarmähist esimese lambi muutliku tugevusega anood-





Joonis 45. Lambi «neli põhilist punkti» (sisend võre ja katoodi vahel ning väljund anoodi ja anooditoiteallika positiivse pooluse vahel).



Joonis 46. Trafo Tr primaarmähise I vahelduvvoolu induitseerib sekundaarmähise II otstel vahelduvpinge.

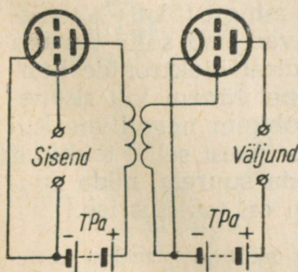
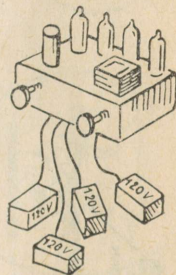
vool. Ta induitseerib sekundaarmähise otste vahel toimiva vahelduvpinge, mis ongi rakendatud teise lambi võre ja katoodi vahele... Uhesõnaga, kõik on nii, nagu heas perekonnas kunagi!

T.: Ära veel võidutse midagi, sõbrake. Seni peitub meie lülituses veel tõsine puudus: tõenäoliselt sa juba märkasid, et selles skeemis vajab iga lamp töötamiseks oma kõrgepingelist anooditoiteallikat, mille ülesanne on tekitada anoodvoolu. Ükskõik kas kõneleme patareist või mõnest muust toiteallikast, näiteks eriseadmest võrguvoolu kasutamiseks, on ta ikkagi kallihinnaline seade. Nüüd kujutle, et tahaksime suurema võimenduse saamiseks kasutada mitte kaht, vaid kolme või enamat lampi. Siis vajaksime sama arvu toiteallikaid, see aga oleks suurte kulutuste seotud.

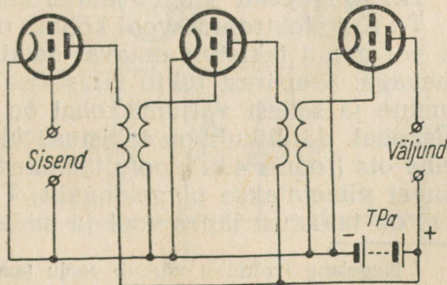
TOITLUSTUSPROBLEEMID

H.: Ehk saab kasutada kõikide lampide jaoks ühist toiteallikat?

T.: Just selliselt tegelikult toimitaksegi. Vaata joonist 48: kolme võimenduslampi toidetakse ühisest pingesallikast — patareist TP_a . Nende lampide katoodid on ühendatud toiteallika negatiivse poolusega.



Joonis 47. Kahe võimenduslampi sidestamine trafo abil.



Joonis 48. Kolme lampi toitmine ühisest anooditoiteallikast TP_a .



H.: Mulle näib, et nii on otstarbekas. Selle asemel, et valmistada toitu igale lambile eraldi, toidetakse neid restorani ühisköögist.

T.: Kuna sa jõudsid oma kaalutlusteni iseseisvalt, luba meenutada, et lampi toidetakse mitte ainult küttepingeallikast, vaid ka negatiivse võre-eelpinge allikast.

H.: Tõepoolest. Unustasin täiesti selle suupiste, millest sa varem rääkisid. Kui mulle õigesti meenub, siis peab võrel olema katoodi suhtes selline negatiivne eelpinge, et talitluspunkt asetseks lambi tunnusjoone sirgjoonelisel osal ja et võre ei muutuks lambile rakendatud vahelduvpinge toimel kunagi positiivseks.

T.: Sa unustasid vahepeal, et võrel peab olema selline negatiivne pinge, mille puhul talitluspunkt ei väljuks tunnusjoone sirgosast. See on tarvilik moonutuste vältimiseks signaali võimendamisel.

H.: Mil viisil saaksime praktiliselt muuta võret katoodi suhtes negatiivseks? Usun, et kõige lihtsam on selleks kasutada väikese patarei abi.

T.: Nii toimitaksegi patareitoitega lampvastuvõtjates. Kuid enamikku raadiovastuvõtjaid ei toideta patareidest, vaid vahelduvvooluvõrgust. Pealegi on tänapäeval patareitoitega vastuvõtjates võimendavate elementidena kasutusel mitte otseküttega elektronlambid, vaid nendest võrratult ökonoomsemad samaotstarbelised pooljuhtseadised — transistorid. Kuid käesolevas vestluste sarjas ma neid veel ei puuduta, et mitte anda sulle, Huviste, järjekordselt põhjust õhkamiseks, et «raadio, see on pagana keeruline!». Selleks et ka võrgutoite puhul saada eelpinget, rakendatakse niisama teravmeelset kui lihtsat võtet, kasutades eelpingeks katodahelasse ühendatud takistil anoodvoolu toimel tekkivat pingelangu.



HUVISTE ELEKTRONI OSAS

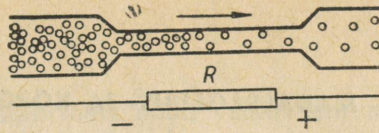
H.: Kõigepealt selgita mulle, mis on pingelang.

T.: Kui elektronide vool kohtab oma teel mingit tõket — takistit või muud takistust omavat detaili, ületavad nad selle teatava vaevaga. Seepärast tekib takistusse sisenemisel elektronide kuhjumine ja sellest väljumiskohal on elektrone vähem kui sisenevaskohal. Järelikult on takistuse üks ots rohkem negatiivne kui teine ots (joonis 49). Voolu läbiminekul takistusest sellel tekkiv pinget nimetatakse pingelanguks. Ta on seda suurem, mida suurem on takistust läbiv vool ja mida suurem on takistus ise.⁷

⁷ Pingelang (voltides) võrdub voolu (amprites) ja takistuse (oomides) korrutisega: $U = IR$. See on Ohmi seaduse teisend, mis tuleneb vahetult selle esimeses vestluses antud kujust $I = U : R$. Näiteks vool 3 A, mis läbib takistit takistusega 5 Ω, tekitab pingelangu 15 V.



Joonis 49. Läbides takistit R tekitab vool tema otstel pinge. Noolega on tähistatud elektronide liikumise suund.



H.: See sarnaneb inimeste käitumisega, kes, üritades väljuda avarast ruumist kitsa koridori kaudu, kuhjuvad selle ette. Kui lõpuks pääsetakse välja, kus võib vabalt hingata, siis saadakse otsekohe aru, mis on rõhkude erinevus ehk pingelang.

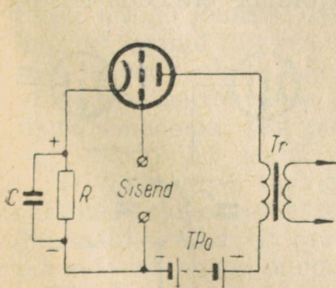
T.: Näen, et sa elasid elektroni osasse hõlpsalt sisse. Selleks et pöörduda tagasi võre-eelpinge juurde, koostame skeemi (joonis 50), milles lülitame anoodvoolu teele — toiteallika negatiivse pooluse ja katoodi vahele — tarviliku takistusega takisti R . Elektronid liiguvad lambi sees katoodilt anoodile, kuid välisahelas läbivad nad sidestustrafo Tr primaarmähise ja toiteallika ning jõuavad läbi takisti R tagasi katoodile. Takistit läbides tekitab see vool tema otste vahel pingelangu, kusjuures takisti alumise otsa polaarsus osutub ülemise otsa suhtes negatiivseks. Võre on ühendatud takisti alumise otsaga ja katood ülemisega. Niiviisi omandabki võre katoodi suhtes negatiivse pinge.

H.: See osutus võrdlemisi lihtsaks. Kuid milleks on kondensaator C (joonis 50), mis on rööbiti takistiga R ?

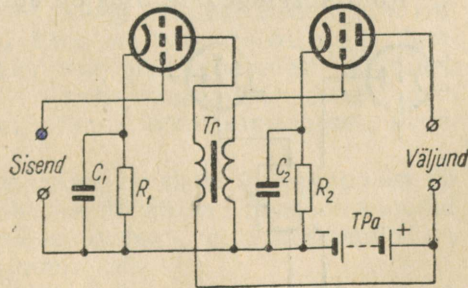
T.: Ära unusta, et lambi anoodvool on püsiv ainult seni, kuni võrepinge on püsiv. Kui aga võrele rakendatakse ka vahelduvpinge, hakkab vool anoodahelas sama sagedusega muutuma. Muutuv anoodvool läbiks takisti takistust vaevaliselt, kondensaator oleks talle hoopis hõlpsamaks teeks. Seepärast kõneldaksegi, et anoodvoolu vahelduvkomponent läbib kondensaatorit C .

H.: Tähendab, et eelpinge saamiseks tuleb iga võimenduslambi katoodi ja anoodtoiteallika miinus клемми vahele ühendada takisti?

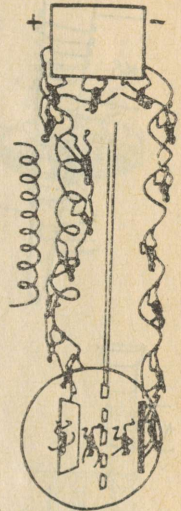
T.: Loomulikult. Joonistan sulle näitena skeemi kahe võimenduslambiga (joonis 51), mis on sidestatud trafo Tr abil. Esimene lamp saab eelpinget takistilt R_1 ja teine takistilt R_2 .



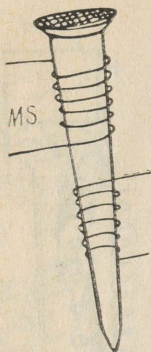
Joonis 50. Takistit R läbiv anoodvool tekitab lambi võre ja katoodi vahel pinge.



Joonis 51. Kahelambiline võimendi, mille võre-eelpinge tekitatakse takistite R_1 ja R_2 abil.



MADALSAGEDUS- JA KÕRGSAGEDUSTRAFOD



H.: Aga millist ülesannet täidab jäme joon, mille joonistasid skeemil trafo mähiste vahele?

T.: Nii tähistatakse madalsagedustrafodes kasutatavat südamikku. Kuna magnetväli läbib terassüdamikku hõlpsamini kui õhku, siis suureneb südamikule keritud mähise induktiivsus. Selleks et mähiseid läbiv vahelduvvool ei tekitaks induksioonvoole ka südamikus eneses, valmistatakse see õhukestest isoleeritud plaatidest — trafoplekkidest.

H.: Miks südamikke kasutatakse ainult madalsagedustrafodes?

T.: Seepärast, et kõrgsagedusvoolud põhjustaksid südamikus oma kiire vaheldumise tõttu suuri energiakadusid. Kõrgsagedustel kohtame südamikuta trafosid, millede mähised on keritud isoleermaterjalist poolkehadele.

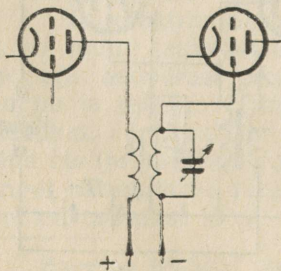
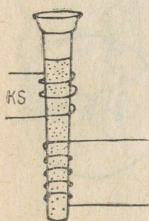
H.: Kas poleks võimalik vähendada südamikus indutseeritud voolu miinimumini, kui südamikud valmistada nendes tekkivate voolude suhtes suure takistusega materjalidest? Näiteks võiks neid valmistada rauapulbrist, mille osakesed on kõik üksteisest isoleeritud.

T.: Sageli toimitaksegi nii. Kõrgsagedustrafodes eelistatakse tänapäeval kasutada südamikke, mis pressitakse erilisest, rauapulbri ja isoleeriva materjali segust koosnevast massist.

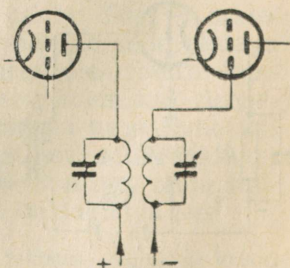
H.: Ühesõnaga, kui ma taipasin õigesti, siis peitub kõrgsagedus- ja madalsagedusvõimenduse ainus erinevus südamikes. Esi- mesel juhul on selleks õhk või rauapulber, teisel juhul — leht- teras.

T.: Ei, erinevus peitub siin sügavamal. Madalsageduspingete võimendamisel tuleb peamist tähelepanu pöörata sellele, et kõikide sagedustega pinged võimenduksid ühtlaselt. Nimelt tuleb erineva kõrgusega helide kuuldavuse intensiivsuse erinevust vältida. Me pole huvitatud sellest, et mõni heli eralduks teistest: see oleks moonutus.

Kuid kõrgsageduse osas on äärmiselt oluline eraldada teistest



Joonis 52. Häälstatatud sekundaarmähisega kõrgsagedus-sidestustrafo.



Joonis 53. Kahe häälstatatud mähisega kõrgsagedus-sidestustrafo.

ainult see vool, mille sagedus vastab meie poolt vastuvõtavale saatjale, ja kõrvaldada kõik teised sagedused.

H.: Tähendab, et kõrgsageduse võimendamisel tuleb kasutada selektiivseid sidestusahelaid, või teisiti öeldes — häälestatud võnkeringe?

T.: Loomulikult. On tarvilik, et selektiivsuse suurendamise probleemi lahendamine, mida alustati häälestatud antennivõnkeringis, jätkuks kõrgsagedusvõimendi sidestusvõnkeringide süsteemis. Selleks kasutame selektiivseid trafosid, häälestades nendes ühe mähise (joonis 52) või isegi mõlemad mähised (joonis 53). Sellised trafod lasevad läbi ainult selle sagedusega voolu, millele nad on häälestatud, ja kõrvaldavad kõik ülejäänud.



VASTUMÕJU KASUTAMISE KUNST

H.: Mind vaevab üks seik, Targaste. Kui trafo primaarmähise vahelduvvool kutsub esile sekundaarmähise otstel vahelduvpinge, miks siis kasutatakse sekundaarmähise otstest ainult üht?

T.: Mida sa tahad sellega öelda?

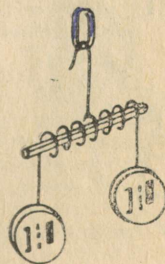
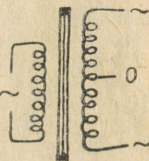
H.: Tekib küsimus, kas ei saaks tuua täpselt sekundaarmähise keskelt välja ühendust ja see maandada. Sel juhul muudaks mähise kummagi otsa pinge keskpunkti suhtes oma märki (kui ma õigesti mõistsin, võib keskpunkti vaadelda kui nullpotentsiaaliga punkti).

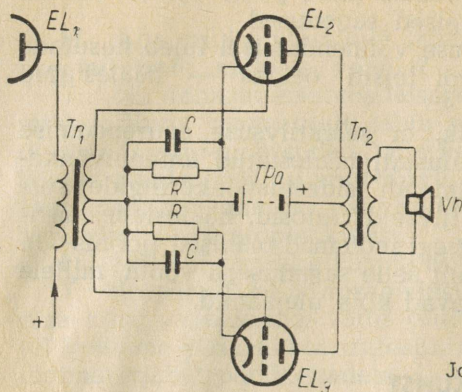
T.: See on tõepoolest nii, sõbrake. Niisugune skeem sarnaneb keskelt mingile alusele toetuvast lauaticist valmistatud kiigele. Kui lauatici ühel otsal istuv laps kerkib, siis teine — teises otsas — langeb ja vastupidi. Su idee on vahva. Vastupidise polaarsusega pingeid, mis ilmuvad sekundaarmähise otstel, saab tõepoolest anda kahe lambi võredele. Niiviisi saadakse *sümmeetriline* ehk *vastastaktlülitus*.

H.: Jällegi üks leutis, mis varastati minult enne, kui selle teostamiseni jõudsin! Hüva, see polegi oluline. Rahuldume sellega, et lambid kiiguvad kiigel. Kuid mulle ei meeldi nende lampide anoodvoolude jagunemine. Kui üks vooludest suureneb võrepinge suurenemise (positiivsemaks muutumise) toimetel, peab teine vähenema, sest pinge teise lambi võrel samaaegselt väheneb. Mis nüüd saab?

T.: Taas tabab sind ebaõnn, vaene Huviste! Sellegipoolest on väljapääs olukorrast äärmiselt lihtne. Piisab, kui lampide anoodid ühendada teise trafo primaarmähise otstega, mille keskpunkti on rakendatud anoodtoitepinge (joonis 54).

H.: Paljukest me sellega võidame! Kas sa tahad, et niisugune skeem ka töötaks? Kummagi anoodvoolu toimed kompenseeruvad omavahel, sest nendest ühe suurenemisel teine väheneb ja vastupidi.





Joonis 54. Vastastaktastme lülitusskeem.

T.: Sa lihtsalt ei arvestanud, et kummagi lambi voolude suunad on samuti vastupidised — mähise erinevatest ottest kesk- väljavõtte poole. Kui üks vool suureneb, läbides kerde ühes suunas, siis samal ajal teine väheneb, kuid sealjuures kerde vastasuunas läbides. Järelikult nende voolude toimed, ehk teiste sõnadega: sekundaarmähises indutseeritud voolud, liituvad.

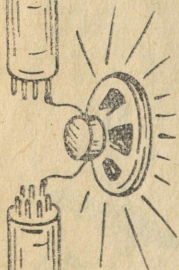
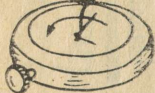
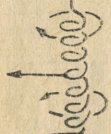
H.: Paistab, et sul on õigus, sest kahekordne eitus on samaväärne jaatusega. Kuid luba mind skeemi talitlust metoodiliselt analüüsida. Oletame, et lambi EL_2 vool läbib teise trafo primaarmähist kellaosutite liikumise suunas ja lambi EL_3 vool kellaosutite liikumisele vastassuunas. Mis sel juhul toimub?

H.: Induktsiooni seadused on kõigutamatud. Lambi EL_2 suurenev vool indutseerib sekundaarmähises vastupidise suunaga voolu, s. o. vastu meie kella kurikuulsate osutite liikumisele.

T.: Aga lambi EL_3 vool?

H.: Seoses sellega, et ta kahaneb, peab indutseeritud vool olema samasuunaline, s. o. jällegi vastupidine kellaosutite liikumise suunale. Hämmastav! Kummagi indutseeritud voolu suunad ühtivad! ... Aga ütle, millistel juhtudel kasutatakse vastastaktlülitusi?

T.: Peamiselt väljundastmetes, et valjuhääldajasse V_h saaks juhtida kahe lambi ühistöö toimel suurenenud võimsust. Ma aga kardan, et kui täna öhtul peaksime oma ühistööd veel jätkama, siis kahaneks meie järelduste «võimsus»...



Kõrg- ja madalsageduse võimendamine

Enamikus vastuvõtjates võimendatakse signaali nii enne kui ka pärast detekteerimist. Kõrgsagedusvõnkumist tuleb võimendada selleks, et detektorile antav pinge oleks normaalses tingimustes detekteerimiseks sobiva suurusega. Tuleb märkida, et igal detektoril on oma «tundlikkuse lävi». See on määratud madalaima pingega, mida ta on veel suuteline rahuldavalt detekteerima. Järelikult kui mingi põhjuse (saatja suure kauguse või väikese võimsuse) tõttu on detektorile antav pinge läviväärtusest väiksem, siis detekteerimist ei toimu või osutub see mitterahuldavaks.

Niisiis võimaldab kõrgsagedussignaali võimendamine vastu võtta ka väikesevõimsuselisi või kaugeid saatjaid; kõrgsagedusvõimendamist kasutatakse vastuvõtja tundlikkuse suurendamiseks. Pealegi valitakse kõrgsagedusvõimendusastme vahelised sidestusahelad sellised, et nendega suurendada vastuvõtja eraldusteravust.

Reeglina on detekteeritud pinge liiga väike, et seda võiks vahetult juhtida valjuhääldajasse. Kuna ka viimasesse tuleb anda küllaldaselt suurt energiat, tuleb madalsagedusvõnkumist pärast detekteerimist võimendada.

Vahelduvpinge andmisel võimendusastme sisendisse (võre ja katoodi vahele) tekib anoodvoolus vahelduv komponent. Kui tekib vajadus kasutada veel üht võimenduslampi, siis tuleb vahelduvvool esmalt muundada vahelduvpingeks.

Trafo

Seda operatsiooni saab teostada mitmel viisil. Üks levinumaid on transformatori ehk trafo kasutamine. Meenutame, et trafo koosneb kahest induktiivsidestuses mähisest. Vahelduvpinge andmisel trafo ühele mähisele, mida nimetame *primaarmähiseks*, tekib teises mähises, mida nimetatakse *sekundaarmähiseks*, samasuguse kujuga pinge. Kui kummagi mähise keerdude arvud võrduvad, siis on sekundaarmähisesse indutseeritud pinge

võrdne primaarmähisele mõjuva pingega. Kui sekundaarmähisel on keerde kaks korda rohkem kui primaarmähisel, võib seda vaadelda otsekui kahest järjestikku ühendatud mähisest koosnevana, milledest igaüks sisaldab niisama palju keerde kui primaarmähis. Sel juhul tekib kummalgi mähisel samasugune pinge nagu primaarmähiselgi, kuid jadaühenduse tõttu need pinged liituvad.

Sekundaarmähise pinge ja primaarmähise pinge suhe võrdub nende mähiste keerdude arvude suhtega. Kui sekundaarmähises on keerde rohkem kui primaarmähises, on trafo pinget tõstev; vastupidi suhte korral nimetatakse trafot pinget madaldavaks. Sekundaarmähise keerdude arvu ja primaarmähise keerdude arvu suhet nimetatakse *ülekandeguriks*. Pingetõstmistrafodel on ta suurem ühest ja pingemadaldustrafodel väiksem ühest.

Tänu terassüdämike suurele magnetilisele läbitavusele kasutatakse neid madalsagedusvoolude jaoks ettenähtud trafodes. Südämiku materjalides voolude (niinimetatud *tukoovoolude* ehk *pöörivoolude*) indutseerumise vältimiseks, mis põhjustaksid tunduvalt energiakadu, koostatakse südämik õhukestest isoleeritud plekkidest.

Ka kõrgsagedustrafode südämik võib olla magnetilisest materjalist, kuid sel juhul pole südämiku jaotamine õhukesteks plekkideks enam küllaldane, et vältida pöörivooludest tingitud energiakadusid. Kõrgsageduspoolide südämikud tuleb valmistada rauapulbrist, mille iga mikroskoopiline terake on oma naabritest sobiva dielektriku abil elektriliselt isoleeritud.

Jä lõpuks, väga kõrgetel sagedustel kasutatavate trafode valmistamisel loobutakse sageli üldse südämikust. Nii näiteks ultrahilaineil kasutatavatel trafodel pole mõnikord üldse südämikku ja need valmistatakse haljast jäigast traadist ilma isoleermaterjalist poolikehata, sest ka kõrgsageduslikku elektrivälja asetatud dielektrikus ilmuvad samuti energiakaod.

Trafosidestus

Kahe lambi (võimendusastme) vahelise sidestuselemendina kasutatav trafo ühendatakse järgmiselt: primaarmähis — esimese astme väljundiga (lambi anoodi ja anooditoiteallika positiivse pooluse vahele), sekundaarmähis — teise astme sisendiga (lambi võre ja katoodi vahele). Niiviisi muundubki primaarmähist läbiva anoodvoolu võnkumine sekundaarmähises vahelduvpingeks, mis juhitakse järgmise võimendusastme sisendisse.

Automaateelpinge

Vastuvõtja kõikide lampide anoodahelaid toidetakse ühisest anooditoiteallikast. Negatiivse eelpinge loomiseks lampide võreidel kasutatakse iga lambi anoodvoolust tekitatud pingelangu takistil, mis on ühendatud katoodi ja anooditoiteallika negatiivse pooluse vahele.

Pingelanguks nimetatakse pinget, mis tekib takisti otstel seda läbiva voolu toimele. Ohmi seaduse kohaselt võrdub pingelang voolu (amprites) ja takistuse (oomides) korrutisega $U = IR$. Kui näiteks katoodi ja anooditoiteallika negatiivse pooluse vahele on ühendatud 2000-oomise takistusega takisti, siis on 0,003-amprise anoodvoolu puhul pingelang $0,003 \cdot 2000 = 6$ V.

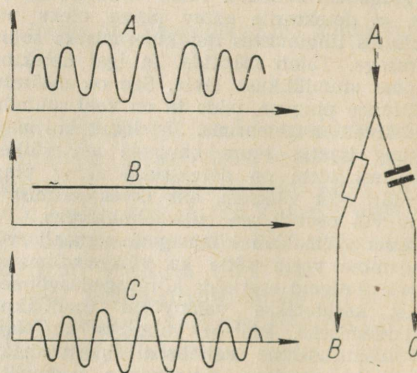
Voolu suuna kohaselt osutub takisti anooditoiteallika negatiivse poolusega ühendatud ots katoodi suhtes negatiivseks. Võreahel tuleb ühendada sellega, et võre osutuks katoodi suhtes negatiivseks (joonis 50).

Samas aga tekib raskus. Eelpinge suurus peab olema kindel ja võimalikult püsiv, samal ajal kui pingelangu tekitav anoodvool on muutuva suurusega, vähemalt siis, kui astme sisendis toimib vahelduvpinge. Nendes tingimustes osutub võre-eelpingena kasutatav pingelang samuti muutuvaks. Kust leida abi?

Komponentide eraldamine

Anoodvoolu kuju hoolikamalt vaadeldes võime täheldada, et ta on ühe polaarsusega (kuna lambis võivad elektronid liikuda ainult ühes suunas — katoodilt anoodile) ning tugevus muutub kooskõlas võrepinge muutumisega. Seega saab anoodvoolu vaadelda koosseisuna kahest voolust: alalisvoolust (mis vastab vahelduvpinge puudumisele lambi võrel) ja vahelduvvoolust, mis ilmub võrepinge kõikumisel. Vahelduvkomponent muudab anoodvoolu tugevust, liitudes selle alaliskomponendiga positiivsete ja lahutudes sellest negatiivsete poolperioodide ajal.

Anoodvoolu mõtteline kujutamine alalis- ja vahelduvkomponendi summana aitab meid ületada raskust, mis tekkis eelpinge saamisel. Tõepoolest, selleks et eelpinge oleks püsiv, tuleb kasutada ainult anoodvoolu alaliskomponendi poolt tekitatavat pingelangu. Mis aga puutub vahelduvkomponenti, siis tõkestame tema läbimist eelpingestustakistist, juhtides ta läbi kondensaatori. Kui selle kondensaatori mahtuvus on küllaldane, siis on vahelduvvoolu jaoks tee läbi tema vabam kui läbi takisti ja... probleem ongi lahendatud (joonis VII).



Joonis VII. Pulseerivat anoodvoolu (A) võib vaadelda kahe komponendi: alalisvoolu (B) ja vahelduvvoolu (C) summana. Paremalt on kujutatud skeem komponentide eraldamiseks.

Sellist alalis- ja vahelduvkomponentide eraldamise meetodit kasutatakse raadiotehnikas väga laialdaselt ja meiegi rakendame seda ohtrasti. On selge, et kondensaatori mahtuvus peab selleks, et tema takistus vahelduvkomponendi suhtes poleks suur, olema seda suurem, mida madalam on sagedus. Peale selle, mida väiksem on eelpingestustakisti takistus, seda suurem peab olema rööbitise kondensaatori mahtuvus, et vahelduvkomponent oleks tõepoolest «huvitatud» kondensaatori läbimisest. Umbes sellisel oleks väljendunud Targaste...

Madalsagedus- ja kõrgsagedustrafod

Pärast seda kõrvalepõiget, mis oli pühendatud toite probleemidele, pöördume tagasi trafo juurde. Madalatel sagedustel kasutatava trafo mähised on suure keerdu arvu (mitu

tuhat). Keerdude vahel, samuti nagu kummagi mähise vahel, kujunevad mahtuvused. Trafos tekivad energiakaod, mida põhjustavad pöörivoolud ja teised nähtused. Kõik see viib selleni, et mitte kõiki sagedusi ei kanta üle ühtlaselt, võrdse efektiivsusega ja trafo tekitab moonutusi. Selleks et moonutused oleksid tühised, on tarvilik väga kõrge kvaliteediga trafo. Ideaaljuhul peaks kõikide helisageduste ülekanne toimuma ühtlaselt. Kuid see on ainult ideaal...

Olukord, mis madalsagedustrafode puhul osutub ideaalseks, oleks kõrgsagedustrafode puhul lubamatu, kus vastupidiselt püütakse läbi lasta võnkumist ainult ühel (vastuvõetava saatja) sagedusel ja likvideerida võnkumine kõikidel teistel sagedustel. Järelikult peavad kõrgsagedustrafod olema selektiivsed. Sellel eesmärgil häälestatakse muudetava mahtuvusega kondensaatorite abil signaali sagedusega resonantsi üks mähistest (kas primaar- või sekundaarmähis) või mõlemad mähised.

Vastastaktilülitus

Trafosidestuses võimendite peatüki lõpetamiseks tuleb veel vaadelda väga levinud ja tundmaõppimist väärivat skeemi. Kõne all on vastastaktilülitus, mida mõnikord nimetatakse sümmeetriliseks lülituseks.

Selles lülituses (joonis 54) antakse signaal esimese lambi (EL_1) väljundist läbi trafo (Tr_1) samaaegselt kahele lambile (EL_2 ja EL_3), mis moodustavad vastastaktastme. Joonisel on suurepäraselt näha selle skeemi täielik sümmeetria, mida me ka selgitame.

Igal hetkel mõjuvad lampidele EL_2 ja EL_3 vastasmärgilised võrepinged. Tõepoolest, kui ühe poolperioodi ajal liiguvad trafo Tr_1

sekundaarmähises elektronid ülevalt alla, siis lambi EL_2 võre potentsiaal muutub vähem negatiivseks ja lambi EL_3 võre potentsiaal rohkem negatiivseks. Järgneval poolperioodil on potentsiaalide jagunemine vastupidine. Koos lambi EL_2 anoodvoolu suurenemisega väheneb lambi EL_3 anoodvool ja vastupidi. Kumbki lamp töötab vastupidise polaarusega, millega seletubki nimetus «vastastaktilülitus».

Vastandpolaarsusega vahelduvate anoodvoolude kasutamiseks on teine trafo (Tr_2), mille primaarmähise keskpunkti on tehtud väljavõtte. Seega läbib kummagi lambi vool ainult poolt primaarmähisest. Mõlemad voolud läbivad mähist vastassuundades, kuid et voolude eneste polaarusus on vastupidine, liituvad lõppkokkuvõttes voolude toimed, sest nende magnetväljad on samasuunalised. Niiviisi indutseerivad mõlemad vahelduvkomponendid trafo sekundaarmähises voolu, mis juhitakse valjuhääldajasse Vh .

Kui kummagi lambi anoodvoolude vahelduvkomponendid toimivad kooskõlastatult, siis primaarmähise pooltes vastassuundades kulgevad võrdse suurusega alaliskomponendid tekitavad vastassuunalised magnetväljad, mis hävitavad teineteise. Sellest järeldubki üks vastastaktilülituse eelistest. Tänu püsiva magnetvälja puudumisele töötab trafo südamik kõige soodsamates tingimustes, sest tema magneetumine on ainult vahelduvkomponentidest. Südamiku magnetiline läbitavus, mis väheneb magneetiva välja tugevnemisel, osutub siin tunduvalt suuremaks kui tarbetu püsiva magnetvälja olemasolul, mida tekitab alaliskomponent.

Sellele eelisele tuleb lisada veel teisi. Nii näiteks tänu kahele vastandpolaarsusega töötavale lambile kompenseeruvad mõned moonutused, mida põhjustab lampide tunnusjoonte kõverus (mittelineaarmoonutused).

12.

VESTLUS

Kõik kulgeb suurepäraselt. Huviste tutvub hõlpsalt vastuvõtja astmete erinevate sidestusmeetoditega. Ta leiab kergesti nendele rakenduse defekteeriva diodi ja esimese madalsagedusvõimendusastme puhul. Veelgi enam, ta avastab uuesti selle, mida nimetatakse võredefekteerimiseks.

OHTLIKUD SIDESTUSED

Targaste: Viimati vaatlesime trafosidestuses võimendi talitlust. Pean sulle tunnistama...

Huviste: Oota! Näib, et mõistatan, mida tahad öelda: et tõenäoliselt on olemas ka teist liiki võimendeid. Kas pole nii?

T.: Jah, kuid kuidas sa seda ära arvasid?

H.: Võib-olla on see rumalus, kuid mulle torkas pähe suurepärase mõte. Arvan, et võiksime lampidevahelise sidestuse teostamisel läbi saada hoopis ilma mingi trafota. Viimati sa kõnelesid, et takistit läbiv vool tekitab selles pingelangu. Kui aga vool muutub, siis arvan, et ka pinge takisti otstel hakkab samuti muutuma.

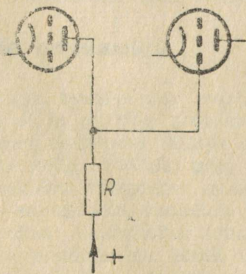
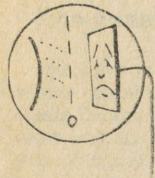
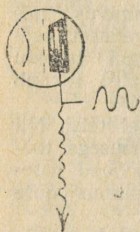
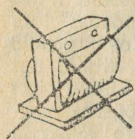
T.: See on nii.

H.: Mida me siis veel vajame! See ongi vahend esimese lambi voolu muutuste muundamiseks nendele vastavateks pingekõikumisteks, mida peame teise lambi võre ja katodi vahele juhtima. Piisab, kui esimese lambi anoodahelasse ühendada takisti, saada sellel pingelang ja rakendada see teise lambi võre ja katodi vahele (joonis 55).

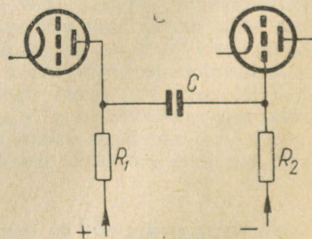
T.: Ettevaatlikumalt, sõbrake. Põhimõttelt on see idee suurepärase. Sellegipoolest ei saa teise lambi võret vahetult esimese lambi anodi ühendada.

H.: Miks mitte?

T.: Kuna see takisti on ühendatud anoodtoiteallika positiivse poolusega. Kui ühendaksime takisti võreaga, nagu sa soovitasid,



Joonis 55. Esimese lambi anoodvoolu poolt takistil R tekitatud pinge antakse teise lambi võrele.



Joonis 56. Sidestus takistite ja kondensaatori abil. R_1 — takisti anoodahelal; C — sidestuskondensaator; R_2 — võretakisti.

siis langeb teise lambi võrele kõrge positiivne pinge. See on ohtlik sidestusviis.

H.: Mille pooldest?

T.: Õnnetu! Juba jälle jõudsid sa unustada, et võimenduslambi võre potentsiaal peab olema alati negatiivne. Positiivsete pingete piirkond peab võre jaoks olema keelutsooniks. Käesoleval juhul, kui sa juhid teise lambi võrele nii kõrge positiivse pinge, nagu mõjub esimese lambi anoodil, töötaks teine lamp küllastusvoolu režiimis.

H.: Tõepoolest, liiga positiivne võre tõmbab kõik katoodilt eraldunud elektronid enesele.

T.: Nüüd näedki, milleni viib su ettevaatamatu projekt.

H.: Tähendab, et midagi teha pole võimalik?

T.: Oh ei, saab teha küll. Teise lambi võrele tuleb juhtida ainult vahelduvpinge. Seda on aga kondensaatori kasutamisega kerge teha. Takisti R_1 ja teise lambi võre vahele ühendatud kondensaator C (joonis 56) isoleerib võre alalisvoolu mõttes anoodtoiteallika positiivsest poolusest ja kondensaatori mahtuvus laseb anoodvoolu vahelduvkomponendi vabalt võrele.

H.: Milleks vajatakse siin veel takistit R_2 ?

T.: Kui see puuduks, osutuks võre alalisvoolu seisukohalt täiesti isoleerituks ja sellele koguneks teatav hulk elektrone. Need elektronid looksid võrel sellise negatiivse potentsiaali, et ta hakkaks takistama anoodvoolu läbimist ja lamp osutuks «halvatuks», lukustatuks. Et seda ei juhtuks ja elektronid saaksid võrelt vabalt ära voolata, kasutataksegi takistit R_2 , mida nimetatakse *äravoolutakistiks* ehk lühemalt *võretakistiks*. See takisti võimaldab anoodtoiteallika negatiivse poolusega ühendamise teel stabiliseerida võre potentsiaali.

H.: Järelikult juhitakse vahelduvpinge teise lambi võrele läbi sidestuskondensaatori C ja alalise eelpinge, mis määrab talitluspunkti — takisti R_2 kaudu?

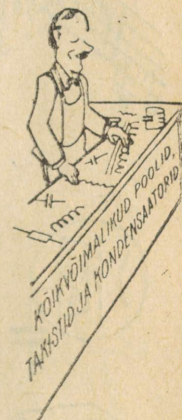
REAKTIIVTAKISTUSTE VALLAS

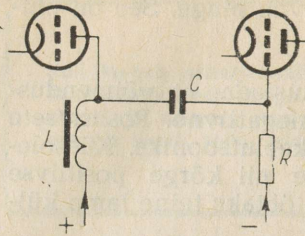
T.: Õige. Vaadeldavat lampidevahelise sidestamise viisi takisti ja kondensaatori abil nimetatakse *takistus-mahtuvuslikuks sidestuseks*⁸. Kuid takisti R_1 aktiivtakistuse asemel võib kasutada ka mistahes liiki reaktiivtakistust, millel anoodvoolu vahelduvkomponent tekitab vahelduva pingelangu.

H.: Kas võib kõne alla tulla näiteks induktiivtakistus?

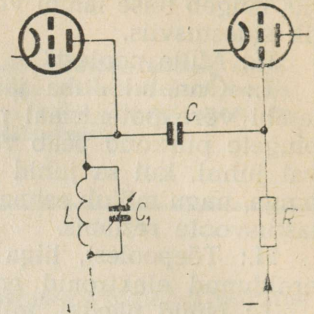
T.: Loomulikult. Mõnikord kasutatakse madalsagedusvõimendites paispoolsidestust (joonis 57). Sel juhul ühendatakse anoodahelasse terrasüdamikuga induktiivpool L .

⁸ Takistus-mahtuvuslikku sidestust nimetatakse ka takisti-kondensaatorsidestuseks ja — vähemtäpselt — takistussidestuseks (õigem oleks siin mahtuvussidestus, sest astmetevaheline sidestus toimub kondensaatori kaudu). — Tõik.





Joonis 57. Sidestamine induktiivtakistuse (raudsüdamikuga paispooli L) abil. Kondensaator C juhib vahelduvpinge järgmisele lambile.



Joonis 58. Sidestamine võnkeringi LC_1 abil: C — sidestuskondensaator; R — võretakisti.

H.: Aga milline nendest erinevatest sidestamise võimalustest on parem?

T.: See sõltub olukorrast. Igal meetodil on omad head ja omad vead. Takistus-mahtuvusliku sidestuse põhipuuduseks on suur alalispingelang takistil R_1 (joonis 56). Järelikult saab lambi anood ainult väikese osa toiteallika pingest. Paispooli abil sidestamisel ei teki alalispingelangu peaaegu üldse, kuid sellel meetodil on teine puudus. Paispoolsidestuses madalsagedusvõimendi ei võimenda kõiki sagedusi ühtlaselt.

H.: Miks see nii on?

T.: Kas sa oled unustanud, et mähise induktiivtakistus sõltub voolu sagedusest? Seepärast ilmnebki, et kõrgetele toonidele vastavate kõrgemate sageduste puhul on induktiivtakistus suurem. Järelikult osutub ka induktiivtakistusel kujunev vahelduvpinge kõrgematel helisagedustel suuremaks kui madalate puhul. Niiviisi võimenduvad kõrgemad toonid rohkem.

H.: Samaaegselt tagab aktiivtakistus kõikide sageduste jaoks võrde võimenduse. On mul õigus?

T.: Jah, muidugi. Lõpuks on olemas veel üks takistuste liik, mida kasutatakse sidestusahelates.

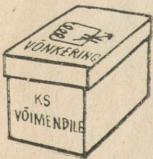
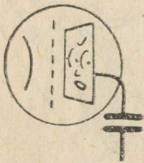
H.: Mahtuvustakistus?

T.: Ei, kondensaatorit ei saa anoodahelasse järjestikku ühendada, sest siis jääks esimese lambi anood toiteallika alalispingeta.

H.: Niisugusel juhul ma ei tea, millist takistuste liiki sa silmas pead, ja vaikin.

T.: Meenutan sulle, et võnkering kujutab omapärast takistust, mille väärtus on suurim selle sageduse puhul, millele ta on häälestatud.

H.: Sellele ma ei mõelnud. Tähendab, et sidestada saab ka siis, kui eelneva lambi koormuseks kasutada võnkeringi LC_1 (joonis 58). Nähtavasti on niisugune sidestus sobiv ainult kõrgsageduse võimendamisel.



T.: Loomulikult. Nüüd sa näed, et see on väga selektiivne sidestusviis, sest ainult resonantsisagedusega voolud saavad tekitada võnkeringil pinge, mis juhitakse sidestuskondensaatori C kaudu teise lambi võrele.

H.: Mulle näib, et sain hästi aru sinu selgitatud põhilistest sidestusviisidest. Siiski kardan, et ei oska neid kasutada detektor-dioodiga skeemis. Ma ei taipa, kus on diodil sisend ja kus väljund.

ERIJUHTUM

T.: See on tõesti pisut eriline juhtum, kuid selle lahendamine on ülihtne. Meenuta, et tänu diodi ühesuunalisele juhtivusele saame selle katoodi-anoodi ahelas ühesuunalised impulsid, mis salvestuvad väikese mahtuvusega kondensaatoris. Niiviisi hakkab telefone läbima madalsagedusvool.

H.: Jah, kuid kuna kõne all on selle voolu edasine võimendamine, ei ühendata seekord diodi järele telefone.

T.: Kahtlemata. Telefonide asemele ühendame takisti R_1 , säilitades samaaegselt kondensaatori (kogumisanuma) C_1 (joonis 59). Madalsagedusvool, mis läbib takistit R_1 , tekitab sellel vahelduvpinge, see aga juhitakse läbi sidestuskondensaatori C_2 madalsagedusvõimendi esimese lambi võrele.

H.: Aga takisti R_2 ? ...

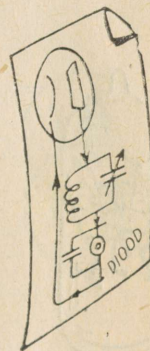
T.: See on klassikaline äravoolutakisti, mida sa paraku otsekohe ära ei tundnud.

H.: Hoopis vastupidi, ma näen suurepäraselt, et R_2 on võimenduslambi võretakisti.

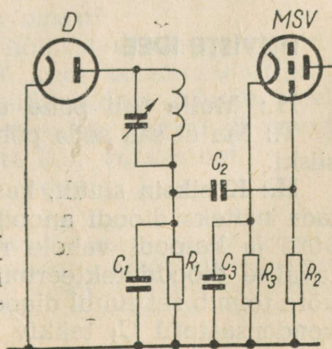
T.: Noh, see on tore! Pööra tähelepanu sellele, et võnkeringi võib ühendada mitte ainult anoodahelasse, nagu on kujutatud skeemil, vaid ka katoodahelasse.

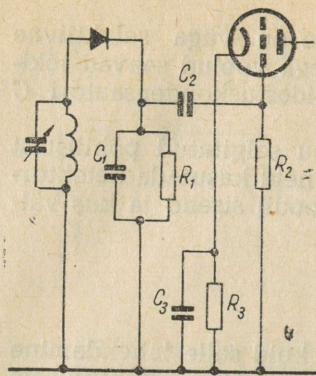
H.: See on arusaadav, sest kummalgi juhul loob võnkering diodi elektrodide vahel valitseva vahelduva pinge.

T.: Võin veel lisada, et vaakuumdiodi võib asendada pooljuhtdiodiga (joonis 60).

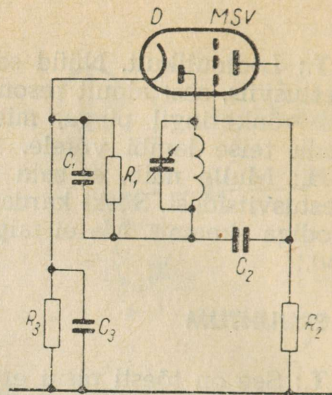


Joonis 59. Detektori diodi D ja madalsagedusvõimendi MSV triodi vaheline sidestus. Ahelal R_1C_1 tekkiv pinge antakse MSV lambi võrele läbi kondensaatori C_2 ; R_2 — võretakisti; R_3C_3 — võre eelpingestamise ahel.





Joonis 60. Joonisel 59 kujutatud lülites kasutatud lampdiodi võib asendada pooljuhtdiodi.



Joonis 61. Kaks lampi joonisel 59 on liidetud üheks diod-trioodiks (detailid on samad mis joonisel 59).



H.: Teiste sõnadega, mitte omaaegse ebastabiilse galeendetektoriga, vaid germaanium- või ränidiodiga?

T.: Jah. Mõeldamises võib veel märkida, et kahe iseseisva lampi — detektordiodi ja madalsagedusvõimendustriodi asemel kasutatakse sageli kombineeritud lampi — diodtrioodi, milles kumbki elektrodide süsteem on paigutatud ühisesse kolbi. Sellega saab lampi lihtsustada ja kasutada nii diodi kui triodi jaoks ühist katoodi.

H.: Täheleb, et selline lamp lubab vähendada vastuvõtja mõõtmeid ja säästa kütteniitude toitmiseks vajavat energiat!

T.: Lülitus, milles kasutatakse diodtrioodi (joonis 61), on täiesti analoogiline iseseisvat diodi ja triodi sisaldava lülitusega. Pane tähele, et takisti R_3 loob võrel negatiivse eelpinge tänu sellele, et katoodi potentsiaal on toiteallika negatiivse klemmi suhtes positiivne. Mis puutub diodi anodi, siis võrkumise puudumisel on sellel katoodi potentsiaal, sest diodi vool suundub pärast takisti R_1 läbimist tagasi katoodile.

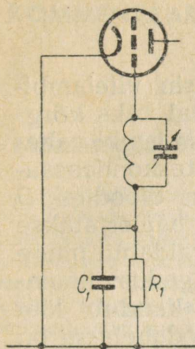
HUVISTE IDEE

H.: Mulle tuli pähe üks idee.

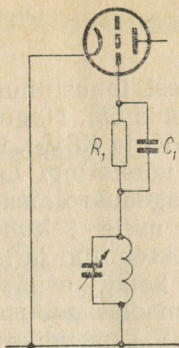
T.: Ma ei saa seda põhimõtteliselt usaldada. Hea küll, jutusta siiski.

H.: Küsiksin sinult, kas ei saaks lihtsustamist jätkata ja seostada näiteks diodi anodi ja triodi võre ülesanded. Siis saaks võre ja katoodi vahele rakendatud kõrgsageduspinget alaldada tavalise dioddetekteerimislülituse kohaselt (joonis 62). Triodi võre toimib sel juhul diodi anoodina ning takistil R_1 ja kogumiskondensaatoril C_1 tekkiv madalsageduspinge toimiks samuti tri-

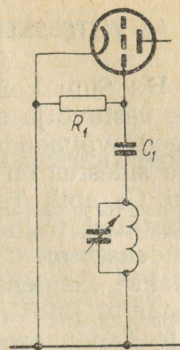




Joonis 62. Järjestik-takistiga võredetektorilülitus.



Joonis 63. Järjestik-takistiga võredetektorilülituse variant.



Joonis 64. Rööptakistiga võredetektoriskeem.

oodi võre ja katoodi vahel, nii et lamp hakkabki madalsageduse võimendajana töötama... Miks sa naerad, Targaste? Kas jälle kõnelesin rumalusi?

T.: Vastupidi. Mind lõbustas see, et sa praegu avastasid uuesti ja selgitasid päris hästi omal ajal väga levinud detekteerimisviisi, mida nimetati võredetekteerimiseks. Nagu sa toredasti märkisid, pole kõne all eriline detekteerimisviis, vaid sisuliselt dioddetekteerimine kombineerituna madalsagedussignaali võimendamisega, mispuhul lambi üks ja seesama elektrood toimib nii diodi anoodina kui ka trioodi võrena. Siiski ei avastanud seda lihtsat ja loogilist seletust need tehnikud, kes sellise detekteerimisviisi olemuse selgitamiseks tegelesid mõttetute väljamõeldistega, mis olid niisama keerukad kui segased⁹.

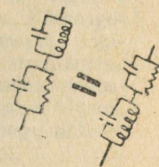
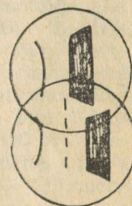
H.: Oi, ma olen ka edaspidi valmis selgitama kõiki raadiotehnika probleeme.

T.: Ära ole nii jultunud, mu kallis Huviste, muidu ma ei näiagi sulle tõelist võredetekteerimise skeemi.

H.: Tähendab, et see erineb minu omast?

T.: Sisuliselt mitte. Kuid montaaži hõlbustamiseks tuleb vahetada omavahel võnkering ja takisti R_1 koos kondensaatoriga C_1 (joonis 63), mis põhimõtteliselt ei muuda midagi. Muide, veelgi parem on ühendada võre vahetult katoodiga takisti R_1 kaudu, nagu on näidatud joonisel 64, ja mitte läbi võnkeringi.

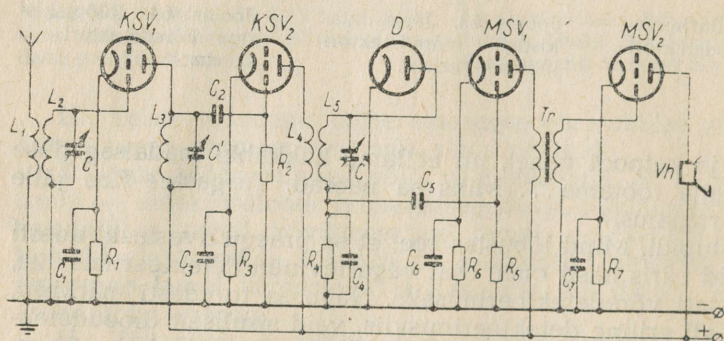
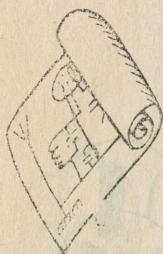
Aga mis varesejalgu sa seal kritseldad?



⁹ Termin «võredetekteerimine» on üldkasutatav ja osutub õigeks. Võredetektor ja võimendiga dioddetektor vahel on vaatamata nende suurele sarnasusele ka oluline erinevus, mida raamatu autor õigesti kirjeldab kaheteistkümnenda vestluse juurde kuuluvates kommentaarides. — Toimetaja märkus.

HUVISTE SKEEM

H.: Sinu komplimentidest innustununa joonistasin viielambilise vastuvõtja skeemi (joonis 65). Nagu näed, on tal kaks kõrgsagedusvõimendusastet (KSV_1 ja KSV_2). Kahe esimese lambi vaheline sidestus on teostatud võnkeringi L_3C' ja sidestuskondensaatori C_2 abil. Teine kõrgsagedusvõimendusast on dioodiga D sidestatud trafo L_4L_5 abil, mille sekundaarmähis häälestatakse kondensaatori C'' abil. Detekteeritud ja takistil R_4 eraldatud pinge antakse kondensaatori C_5 kaudu esimese madalsagedusvõimenduslambi (MSV_1) võrele; madalsagedusvõnkumine kandub läbi trafo Tr viimase lambi (MSV_2) sisendisse, mille anoodahelasse on ühendatud valjuhääldaja Vh .



Joonis 65. See oli Huviste, kes joonistas niisuguse skeemi... R_1 , R_3 , R_6 ja R_7 on eelpingestustakistid; C_1 , C_3 , C_6 ja C_7 — nende juurde kuuluvad kondensaatorid; R_2 ja R_5 — võretakistid.



Kas mu skeem on õige?

T.: On, loomulikult, ta on täiesti õige, kuid kui sa valmistaksid vastuvõtja selle skeemi kohaselt, on tõenäoline, et ta võib halvasti töötama hakata.

H.: Kuid miks siis?

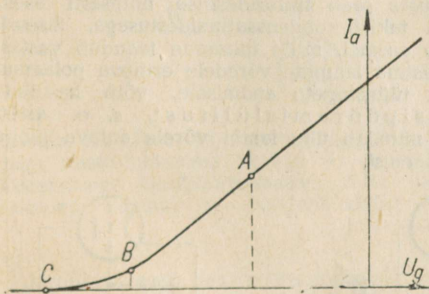
T.: Selles skeemis leidub detaile, mis küll pole välja joonistatud, kuid mis on väga kahjuliku toimega.

H.: See näib pagana keerukas ja täiesti sobiv, et sellest peavalu saada.

Mitmesugused võimendusrežiimid

Vastastaktlülituse lampide talitluspunkti võib asetada tunnusjoone alumisele põlvikule. Selleks tuleb lambi võrele anda tunduvalt suurem eelpinge kui meie poolt varem vaadeldud võimendusrežiimide puhul. Sellises režiimis tekitavad ainult võrepinge positiivsed poolperioodid anoodvoolu tunduvald muutusi. Nii hakkavad lambid töötama vaheldumisi. Kuid väljundtrafos Tr_2 taastub võnkumine täielikult, sest poolperioodid järgnevad seal üksteisele igauks tarvilikus suunas.

Sellise talitlusrežiimi puhul, mida nimetatakse režiimiks *B*, (*B*-klassi režiimiks), võib võrele anda tunduvalt (kuni kaks korda) suurema amplituudiga vahelduvpingeid kui režiimis *A* (*A*-klassi režiimis), s. o. tavalises võimendusrežiimis, mille puhul talitluspunkt peab asetsema tunnusjoone sirgosa keskel. Režiimis *B* töötavas vastastaktlülituses kasutatakse lampe täielikumalt ja nendest võib ammutada suuremat võimsust kui režiimi *A* puhul.



Joonis VIII. Režiimides *A*, *B* ja *C* töötavate lampide talitluspunktid.

Täiesti arusaadav on, et vastastaktlülituses võib talitluspunkti asetada mistahes vahepeal- sse punkti režiimide *A* ja *B* vahel. Sel juhul kõneldakse, et lambid töötavad režiimis A_1 ehk režiimis *AB* (joonis VIII).

Täienduseks kõneleme ka režiimist *C*, kui talitluspunkt asetseb tunnusjoone alumisest põlvikust vasemal, s. o. kui ainuüksi võrepinge positiivsete poolperioodide tipud võivad esile kutsuda anoodvoolu. Sellist režiimi kasutatakse mõnedes saatjates ja mõõteseadmetes.

Takisti-kondensaatorsidestus

Selles vestluses vaatlesid meie kaks sõpra lampidevahelise sidestamise teist võimalust — reaktiivtakistuse abil sidestamist. Selle põhimõtte on väga lihtne: esimese lambi anoodahela ja teise lambi võreahela vahele ühendatakse sidestuskondensaator. Nagu teame, tekitab anoodvool koormustakistil muutliku pingelangu, sest vool sisaldab ka vahelduvkomponenti. Vahelduvpinge juhitakse järgmise lambi võrele läbi sobivalt valitud mahtuvusega kondensaatori. Võrele antakse ka tarvilik eelpinge, mis määrab talitluspunkti asendi tunnusjoonel. (Talitluspunkti ümber toimuvad hetkelised võrepinge kõikumised.) Eelpinge juhitakse võrele võretakisti kaudu, mis on ühendatud anoodtoiteallika negatiivse poolusega (joonis 56). Eelmise lambi anoodi ja järgneva lambi võre vahele paigutatud sidestuskondensaatori mahtuvus peab olema küllaldane selleks, et vahelduvpinge pääseks sellest takistamata läbi. Kõrgsagedusastmetes jätkub selleks 500-pF mahtuvusest, kuid madalsagedusastmetes tuleb kasutada vähemalt 10 000-pF (0,001- μ F) mahtuvusega kondensaatoreid.

Võretakisti takistus on suurusjärgus sajad tuhanded oomid; üks kõige sagedamini kasutatav väärtus on 0,5 M Ω .

Aktiivtakistiga koormatud võimendusaste

Lihtsaimaks koormuseks, mida võib lambi anoodahelasse ühendada, on aktiivtakistusega takisti *R* (joonis 55). Sellist koormust kasutatakse kaasaegsete vastuvõtjate valdava enamiku madalsagedusvõimendites. Kõrgsagedusvõimendites on see võimendusmeetod sobimatu, kas või eraldusteravuse suurendamise võimaluse puudumise poolest; madalsagedusvõimendites on selle meetodi eeliseks lihtsus, odavus ja ka see, et ta tagab peaaegu ühtlase võimenduse kõikidel helisagedustel.

Takisti *R* takistuse valik sõltub reast teguritest, eriti aga lambi sisetakistusest. Olenevalt kasutatava lambi tüübist võib ta olla piirides mõnekümnest kuni mitmesaja kiloomini.

Ei tule unustada, et anoodvoolu alaliskom-

ponent tekitab sellel takistil pingelangu ja sellega vähendab anoodi ja katoodi vahel tegelikult mõjuvat pinget. Näiteks kui anoodtoiteallikas annab 250 V, takisti takistus on 150 k Ω ja anoodvoolu keskvärtus võrdub 1,2 mA (0,0012 A), siis on pingelang $0,0012 \cdot 150\,000 = 180$ V. Järelikult mõjub anoodi ja katoodi vahel kõigest pinge $250 - 180 = 70$ V.

Paispoolkoormusega võimendusaste

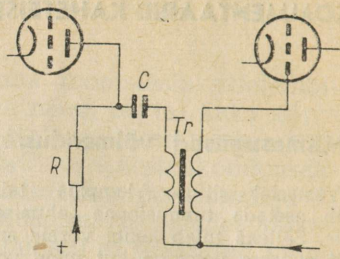
Induktiivtakistuse — paispooli — kasutamine aktiivtakisti asemel anoodkoormusena võimaldab märgatavalt vähendada alalispingelangu; see võimalus pakub aga erilist huvi siis, kui anoodtoiteallika pinge pole kõrge (joonis 57).

Kuid paispoolil kui koormusel on aktiivtakistiga koormatud võimendusastmega võrreldes tõsine puudus. Ta toob kõrgemad helisagedused madalamate arvel rohkem esile. Induktiivtakistus on võrdeline sagedusega ja seepärast tekitavad kõrgemad helisagedused sellel suurema pingelangu, mille tulemusena võimenduvad eelistatult just need. Praktikas võib õigesti ehitatud võimendis nimetatud puudust tunduvalt vähendada (näiteks paispooliga rööbiti ühendatava takisti abil), seepärast ei tarvitse arvata, et selline võimendusmeetod paistaks silma lubamatute moonutuste poolest ja et sel põhjusel tuleks loobuda selle kasutamisest.

Teised lülitused

Induktiivse koormustakistusega kõrgsagedusvõimendeid kasutatakse väga harva, sest need ei suurenda eraldusteravust. Selles sageduspiirkonnas eelistatakse anoodkoormusena kasutada taolist spetsiifilist takistust, mida avaldab häälestatud võnkering. Joonis 58 kujutab häälestatud võnkeringiga kõrgsagedusvõimendusastet, mille sidestusahelal on resonantsisageduse puhul väike aktiivtakistus ja suur kõrgsagedustakistus. Vähegi märgatava alalispingelangu puudumine, suurenenud eraldusteravus ja hea võimendus on põhilised iseloomustussuurused, mis kõnelevad selle lülituse kasuks.

Mõnikord on kasulik tarvitada trafot ja takistit sisaldavat sidestusahelat (joonis IX). Selles lülituses anoodvoolu komponendid jagunevad: alaliskomponent läbib takisti R ja vahelduvkomponent läbib sidestuskondensaatori C kaudu trafo Tr primaarmähise, mille

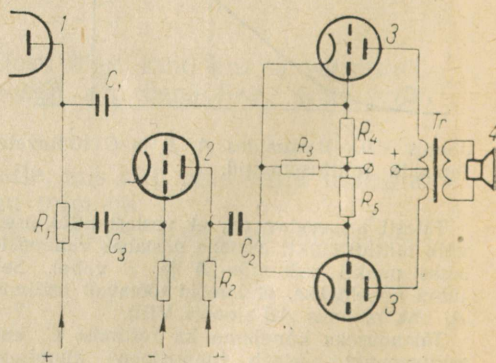


Joonis IX. Trafoga takisti-kondensaator-segastidustus.

tõttu ilmub sekundaarmähises järgmise lambi võrele antav vahelduvpinge. Selle meetodi eeliseks on, et trafo primaarmähisist alalisvool ei läbi ja et tema südamik töötab magneetumise seisukohalt parimates tingimustes. Nagu meenutame, on see ka vastastaktskeemi üheks eeliseks.

Faasipöörämislülitused

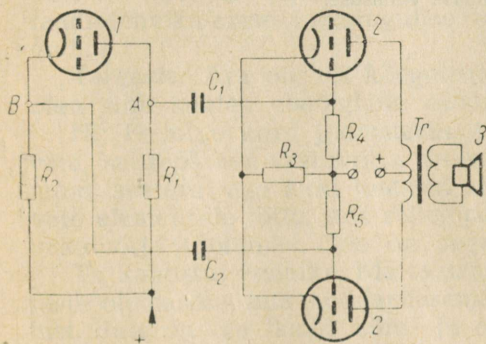
Kuna me äsja meenutasime seda skeemi, kasutame juhust ja märgime, et ka vastastaktilülituses saab trafosidestuse hõlpsasti asendada takisti-kondensaatorsidestusega. Sisentrafo asemel, mille ülesanne taandub vastastaktsüste lampide võrele erineva polaarsusega tühirpingete andmisele, võib kasutada faasipöörämislülitust, s. o. astet, mis muudab ühe lambi võrele antava pinge polaarsust.



Joonis X. Faasipööräjaga vastastaktsüste lülitus: 1 — eelvõimendusaste; 2 — faasipöörämistas; 3 — vastastakt-lõppastme lambid; 4 — valjuhääldaja.

Joonisel X on kujutatud üks sagedamini kasutatava faasipööramisastme skeem. Eelvõimendusaste ergutab vastastaktastme ühe lambi võret läbi kondensaatori C_1 . Samaaegselt antakse osa sellest pingest läbi kondensaatori C_3 ka faasipööramisastme lambi võrele. Selle lambi anoodkoormustakistil R_2 ilmuva pinge vahelduvkomponendi polaarsus on vastupidine pinge polaarsusega selle lambi võrele.

Miks on see nii? Sellepärast, et näiteks pinge suurenemise korral faasipööramisastme lambi võrel suureneb selle anoodvool ja järelikult ka pingelang anoodkoormustakistil R_2 . Kuna see pingelang tuleb lahutada toiteallika pingest, siis väheneb ilmselt lambi anoodil toimiv pinge.



Joonis XI. Jaotatud koormusega faasipöörasjaga vastastaktastme skeem: 1 — jaotatud koormusega faasipööramisaste; 2 — vastastaktastme lambid; 3 — valjuhääldaja.

Järelikult saab faasipööramisastme anoodpinge vahelduvkomponenti kasutada vastastaktastme teise lambi tüürimiseks (läbi sidestuskondensaatori C_2), sest tema polaarsus on vastupidine pinge polaarsusele kondensaatoril C_1 .

Kerge on mõista, et faasipööramisastme võrele tuleb anda ainult osa takistil R_1 lasuvast pingest. Vastastaktastme lampide võrele peavad pinged olema võrdsed, kuid faasipööramisastme võimendus on ühest suurem.

Skeemist nähtub, et vastastaktastme lampide võre-eelpinge saadakse ühiselt katoodtakistilt R_3 . Selle takistiga rööbitist kondensaatorit võib mitte kasutada, sest kummagi anoodvoolu vahelduvkomponentide polaarsu-

sed on selles ahelas vastandlikud ja seepärast ka vastastikku kompenseeruvad.

Teine sageli kasutatav vastastaktastme ergutamise skeem, nn. jaotatud ehk poolitatud koormusega faasipööramislülitus on joonisel XI. Selles lülituses on üks koormustakisti (R_1) ühendatud eelastme anoodahelasse ja teine (R_2) tema katoodahelasse. Kerge on veenduda, et pingete vahelduvkomponentide polaarsused punktides A ja B on vastandlikud. Võrepinge suurenemisel anoodvool kasvab, mille tulemusena pinge punktis A väheneb ja punktis B suureneb. Jääb veel üle ühendada need punktid sidestuskondensaatorite C_1 ja C_2 kaudu vastastaktastme lampide võredega.

Tuleb märkida, et selline jaotatud koormusega faasipööramisaste ei võimenda.

Diiodi sidestamine

Seniajani, vaadeldes mitmesuguseid lampidevahelisi sidestusviise, eeldasime, et järgmiseks lambiks on triood. Kõik, mis on selle kohta öeldud, on kehtiv ka suurema elektroodide arvuga lampide puhul. Kuid eraldi tuleb vaadelda diiodi sidestamist.

Kõik detektordiiodi kohta seniöeldu põhines eeldusel, et detekteeritud vool juhitakse telefonidesse. Kuid enamikul vastuvõtjatest järgneb detektorile üks või mitu lampi, mis võimendavad madalsagedusvõnkumist.

Diiodi võib sellele järgnevate lampidega sidestada takisti abil, mis on ühendatud diiodi ahelasse telefonide asemele (vt. jooniseid 39 ja 59). See takisti toimib diiodi anoodkoormusena, skeemi ülejäänud osal aga ei ole mingeid iseärasusi.

Vastuvõtja mõõtmete ja hinna vähendamise põue viis konstruktorid kombineeritud lampide loomisele, millede on ühises balloonis detektordiiod ja esimeses madalsagedusvõimendusastmes kasutatav triood (on olemas ka lambid, mis koosnevad kahest diiodist ja pentoodist). Nendel on ühine katood. Kombineeritud lambiga detekteerimis-võimenduslülitus on koostatud samadel põhimõtetel, kui oleks kasutatud kaht iseseisvat lampi (vt. jooniseid 59 ja 61). Kuna võimendusastme võret tuleb negatiivselt eelpingestada, siis ühendatakse takisti R_2 eelpingestustakisti R_3 negatiivse otsaga. Et aga diiodi anoodil ei tohi olla negatiivset pinget, ühendatakse anoodkoormustakisti R_1 vahetult katoodiga.

Võredetekteerimine

Hoopiski pole tarvilik madalsageduspinget anda võrele läbi sidestuskondensaatori C_2 . Lambi võre ja diodi anodi võib liita ühiseks elektroodiks. Sel viisil saame võredetektoriülituses trioodi, nagu on näidatud joonisel 62 ja selle skeemi ekvivalentsetes variantides joonistel 63 ja 64. See omal ajal väga laialt levinud kombineeritud detekteerimise ja võimendamise meetod on vahetevahel kasutusel ka meie ajal. Tema eelisteks on lihtsus ja tundlikkus. Kuid ta pole kaugeltki moonutusvaba, kas või seepärast, et eelpinge lambi võrel ei ole püsiv, mis on aga tarvilik lambi töötamisel võimendajana.

Märgime, et selles skeemis on detekteerimisahela elementidel traditsiooniliselt järgmised elektrilised suurused: takisti R_1 takistus umbes $1\text{ M}\Omega$, kondensaatori C_1 mahtuvus umbes $50 \dots 150\text{ pF}$.

Madalsagedusastmete arv

Lamp koos sellele eelneva sidestusahelaga moodustab vastuvõtja ühe astme. Vastastakülituses loetakse mõlemad lambid koos nende eelneva trafoga üheks astmeks.

Kaasaegsetes vastuvõtjates on harva rohkem kui kaks madalsagedusastet. Tavaliselt järgneb detektorile suure võimendusega esimene aste, mida nimetatakse madalsageduse eelvõimendusastmeks, ja sellele järgneb lõppaste ehk võimsusvõimendusaste, sest selles astmes töötava lambi (või vastastakülituse puhul kahe lambi) ülesandeks on võimendada võimsust valjuhääldaja toitmiseks tarviliku väärtuseni. Mõnikord kasutatakse ainult üht madalsagedusastet sellise lambiga, mis tagab üheaegselt nii pingevõimenduse kui ka külaldase võimsuse.

Selles vestluses vaadeldakse tagasisidestust, mis sõltuvalt tema toimest võib kas parendada või halvendada raadiovastuvõtja töö. Tagasisidestuse reguleerimise rohketest meetoditest selgitab Targaste vaid põhilisi. Huviste on õnnelik, kui lõpuks tutvub mõnede mitmevõrelampidega: varivõrega varustatud tetroodiga ja kolme võret sisaldava pentoodiga. Kas Teiegi soovite järgida meie sõprade!...

13.

VESTLUS

TAGASISIDEST

Huviste: Võiksin arvata, et olen vaheldumisi kuuma ja külma duši all. Kord sa ülistad mind, siis jälle purustab su iroonia minu raadiotehnika-alase loomingu mõtte kõige kaunimad puhan-gud...

Targaste: Ära ole nii kõrgelennuline, Huviste, ja ütle, milles olen sinu suhtes ebaõiglane olnud.

H.: Eelmine kord joonistasin, tõttõelda mitte just lausa vae-vata, suurepärase vastuvõtja skeemi. Seda kontrollides sa kiitsid mind, seejärel aga äkki teatasid külmalt, et «paberil mittenähta-vate elementide tõttu, mis sellegipoolést on olemas, ei hakka see vastuvõtja töötama». See on segane ja... solvav.

T.: Rahustu, vennike. Ma tahtsin vaid puudutada parasiitsides-tuste olemasolu, mis möödapäasematult rikuvad sinu skeemi talit-lust. Jutt on iga lambi võre- ja anoodahelate vahelistest sides-tustest.

H.: Aga milline on nende kahjulike sidestuste olemus ja toime?

T.: Et seda sulle selgitada, kasutame generaatori skeemi (joo-nis 66). Anoodahela pool L_2 on sidestatud lambi võreahelas paik-neva võnkeringi pooliga L_1 . On sul meeles, mis selle sidestuse mõjul toimub?

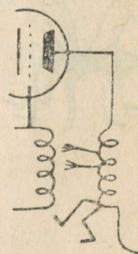
H.: Muidugi: võre- ja anoodahelas tekivad võnkumised ja generaator muutub tõeliseks väikeseks saatjaks.

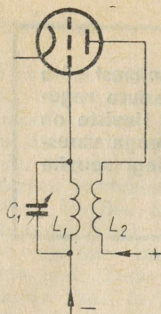
T.: See ongi nii, vähemalt seni, kuni kummagi mähise vaheline sidestus on küllalt tugev. Kui aga sidestus on nõrk, siis võnkumist ei teki, kuid seegi juhtum on meie jaoks väga huvitav. Sel puhul esineb anoodahela induktiivne mõju võreahelale, s. o. väljund-ahela mõju sisendahelale, mida nimetatakse tagasisidestuseks.

H.: See on ühesõnaga midagi iidse tarkuse sümboli — iseenese saba õgiva mao — taolist.

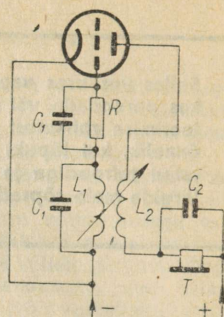
T.: Kui see sulle nii meeldib... Kujutle, et selline tagasisides-tatud lamp töötab raadiovastuvõtjas võimenduslambina (joo-nis 67).

Võnkering L_1C_1 on kõrgsagedussignaali vastuvõtmiseks ning





Joonis 66. Generaatori skeem: L_1 — võreahela mähis; L_2 — anoodahela mähis.



Joonis 67. Poolide L_1 ja L_2 sidestuse muutmiselega reguleeritava tagasisidestusega regeneratiivvastuvõtja.

selekteerimiseks ja selles tekkivat nõrka pinget tuleb võimendada. Anoodahela mähist L_2 läbivad siis võimendatud voolud, mis omakorda indutseerivad võremähises L_1 pinget. Kui tagasisidestusmähis L_2 on paigutatud mähise L_1 suhtes soodsalt, siis mähise L_2 poolt mähisesse L_1 indutseeritud pingetugevdab esialgselt võremähises olnud pinget.

H.: Niiviisi tugevdab, kui ma õigesti mõistsin, anoodmähise L_2 tagasimõju võnkeringi mähisele L_1 selles esinevat võnkumist. Kuid sel juhul võimendatakse seda tugevnenud võnkumist lambis uuesti ja see kutsub tagasisidestusmähises L_2 esile veelgi tugevama voolu. Tänu induktsiooninähtusele võimendab see vool võnkumist võremähises veelgi jne. Tähendab, võimendus hakkab lõpmatuks kasvama?!

T.: Ära erutu, samaaegselt võnkumise amplituudi suurenemisega võreahelas kasvavad ka kaod (mille kutsuvad esile aktiivtakistus ja mitmed teised põhjused), mis lõpuks kompenseerivad täielikult anoodahelast tagasijuhitud võimsuse. Sellegipoolest on tagasisidestuse poolt põhjustatud võimendus üsnagi suur, eriti kui sidestus on nii tugev, et lamp töötab võnkumise tekkimise piiril või, nagu öeldakse, endaergutuse piiril.

— KUIDAS REGULEERIDA TAGASISIDESTUSE TUGEVUST

H.: Tagasisidestus meenutab mulle sääskede hammustusi.

T.: Tunnistan, et ma ei näe siin mingit seost sääskedega.

H.: See on siiski selge. Kui sääsk sind hammustab, siis hõõrud hammustatud kohta ja selle tõttu suureneb sügelemine. Siis sa hakkad ennast veelgi ägedamalt kratsima, millest hammustatud koht hakkab veelgi enam sügelema... Pärast seda sa kaotad iga-suguse ettevaatuse... ja kõik lõpeb verejooksuga... Täpselt



samuti tugevneb võreahelas esinev nõrk võnkumine võimendatud anoodvoolu tagasisidestumise toimetel. Selle tagajärjel tugevneb vahelduvvoolu komponent anoodahelas ja see omakorda tugevdab veelgi enam võnkumist võreahelas. Kuid siin ei lõpe asi siiski verejooksuga, sest kaod võreahelas piiravad võimendust; niiviisi oleks pidanud sääse hammustuse puhul toimima ka meie mõistus.

T.: Jätame sääsed ja pöördume tagasi meie vestluse teema juurde. Ütlesin sulle juba, et tagasisidestus on kõige mõjusam siis, kui anood- ja võreahela vaheline sidestus hoiab lampi endaergutamise piiril.

H.: Mulle näib, et seda on väga lihtne saavutada. Tuleb ainult üks kord ning lõplikult seadistada poolid L_1 ja L_2 sellisele vahekaugusele, mille juures tagasisidestus ei tekita veel võnkumist.

T.: Kuid see sidestus, mis sobib mingi ühe saatja jaoks, võib osutuda teise puhul mittesobivaks. Sa unustasid, et induksioon sõltub voolu sagedusest, tugevnedes sageduse suurenemisel. Niiviisi osutub antud saatja jaoks optimaalne tagasisidestus liiga tugevaks kõrgemate sageduste vastuvõtul ja mittepiisavaks madalamate sageduste vastuvõtul.

H.: See muutub jällegi pagana keeruliseks ja ma ei leia selle vasturääkivuse kõrvaldamiseks vahendeid.

T.: Sellegipoolest on see väga lihtne! Piisab, kui teha tagasisidestus reguleeritavaks näiteks tagasisidestuspooli L_2 asendi muutmiseega võrepooli L_1 suhtes, nagu see on kujutatud joonisel 66. Siin on tagasisidestatud detektorlambiga (nn. regeneratiivvastuvõtja või regeneraatori) skeem, mis oli kõikide raadioamatööride naudinguks 1925. ja mitmel sellele järgneval aastal.

Lamp töötab nn. võredetekteerimisrežiimis ja sisaldab anoodahelas pooli L_2 , mida saab liigutada pooli L_1 suhtes (sellele viitab nool, mis skeemil läbib kumbagi pooli).

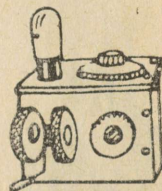
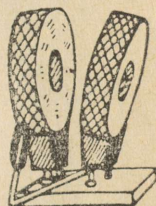
H.: Ma ei usu, et poolide selline nihutamine oli päris hõlbus.

T.: See oli siiski väga kaasakiskuv sport. Muidugi leiti ka praktilisemaid tagasisidestuse reguleerimise meetodeid. Nii osutus näiteks väga otstarbekaks kasutada tagasisidestuse reguleerimiseks muudetava mahtuvusega kondensaatorit.

H.: Tunnistan, et ma ei oska enesele sellist võimalust ette kujutada.

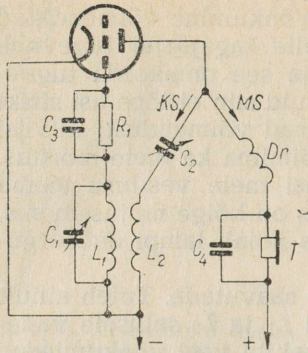
KONDESAATOR KRAANINA

T.: Võta teadmiseks, sõbrake, et võredetektori anoodvool koosneb kolmest erinevast komponendist. Kõigepealt on selles alaliskomponent, mis läbib lampi jõudeseisundis. Seejärel — detekteerimise tulemusena saadud madalsageduslik ehk helisageduskomponent. Lõpuks on selles kõrgsageduskomponent, mille moodustavad kõrgsagedusvoolu ühesuunalised impulsid; nende

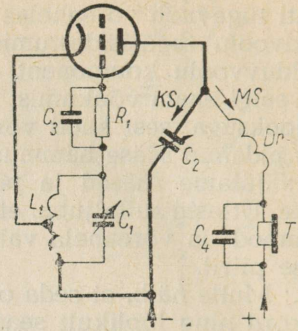


1927 A
MUDEL





Joonis 68. Tagasisidestuse reguleerimine muudetava mahtuvusega kondensaatori C_2 abil.



Joonis 69. Hartley skeem. Kõrgsageduskomponendi tee on kujutatud jämejoonega.

kogumisega (silumisega) saadakse madalsageduskomponent. Just see kõrgsageduskomponent loobki tagasiside. Kuid sel puhul on parem teda eraldada kahest ülejäänud komponendist...

H.: Millisel viisil?

T.: Siin on lülitus (joonis 68), mis sunnib anoodvoolu minema mööda kaht erinevat teed. Üks tee, mille tähistasin KS, läheb läbi väikese mahtuvusega kondensaatori C_2 , mis teatavasti ei lase läbi ei alalisvoolu ega ka madalsageduslikku vahelduvkomponenti. Seevastu kõrgsageduskomponent läbib rohkem või vähem hõlpsalt (olenevalt mahtuvusest) seda kondensaatorit ja astub täie õigusega sellele teele.

H.: Nii see on! Ma mõistsin! Muudetava mahtuvusega kondensaator C_2 toimib kõrgsageduse jaoks nagu kraan, mida võib avada rohkem või vähem. Selle kondensaatori abil reguleerime kõrgsagedusvoolu pääsu mähisesse L_2 ja järelikult võime niiviisi tagasisidestuse tugevust muuta.

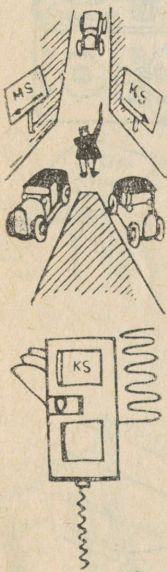
Kuid miks ei lähe kõrgsageduskomponent niisama hõlpsalt mööda teist teed, mille sa tähistasid MS?

T.: Seepärast, et sellel teel seisab paispool Dr , s. o. suure induktiivsusega pool. Nagu sa tead, avaldab selline pool voolule seda suuremat induktiivtakistust, mida kõrgem on sagedus. Kui alalisvool ja madalsageduslik vahelduvkomponent läbivad paispooli kergesti, siis osutub ta kõrgsageduse jaoks ülepääsmatuks tõkkeks.

H.: See on vana põhimõtte *divide ut regnes*¹⁰ väga teravmeelne uus kasutusviis.

T.: Tore, et tunnend isegi seda ladinakeelset kõnekäändu. On olemas tõeliselt teravmeelne skeem (joonis 69), mis osutub Hartley

¹⁰ Jaga, selleks et valitseda (lad. k.).



skeemiks nimetatud regeneraatori variandiks. See kannab ameerika raadioamatööri nime, kes muide visalt kinnitab, et ta pole kunagi seda leiutanud.

Selles skeemis kasutatakse üht ja sedasama pooli L_1 nii võreahela häälestamise võnkeringis kui ka tagasisideahelas. Selle pooli iseärasuseks on väljavõte ja see, et ta koos pöördkondensaatoriga C_1 moodustab võrevõnkeringi. Pooli alumist osa läbib ka anoodvoolu kõrgsageduslik komponent ja kondensaator C_2 on samuti nagu eelmiseski skeemis selle komponendi tugevuse reguleerimiseks.

H.: Väga hea. Kui see skeem oleks nimetatud Huviste skeemiks, poleks ma protesteerinud, nagu seda tegi mu Ameerika kolleeg. Seda kõike arvestades ei mõista ma ikka veel, miks võib tagasisidestuse kasutamine halvasti mõjuda eelmises vestluses minu poolt esitatud skeemi talitlusele.

T.: Sa mõistad seda kohe. Anood- ja võreahelate omavaheline mõju võib esineda raadiovastuvõtjas meie soovist olenemata ja muutuda mittekontrollitavana kahjulikuks ning ohtlikuks.

H.: Tunnistan, et mulle on taas segane, kuidas võib tekkida ohtlik sidestumine võre- ja anoodahelate vahel ja miks see peab ilmingimata olema kahjulik?

TAGASISIDE — KÕIGEST PAREM JA KÕIGEST HALVEM

T.: Ettenähtamatud sidestused võre- ja anoodahelate vahel võivad tekitada tagasisidestuse, mis soodustab sellise kahjuliku võnkumise genereerimist, mida tehnikud nimetavad parasiitvõnkumiseks. Lamp töötab siis generaatorina ja mitte võimendajana.

Parasiitsidestumisi on palju liike. Eeldame, et võimenduslambil on üks võnkering L_1C_1 võreahelas ja teine L_2C_2 anoodahelas (joonis 70). Kumbki poolidest L_1 ja L_2 asetseb, vaatamata nendevahelisele kaugusele, teise pooli magnetväljas. Järelikult on pool L_2 pooliga L_1 induktiivselt sidestunud.

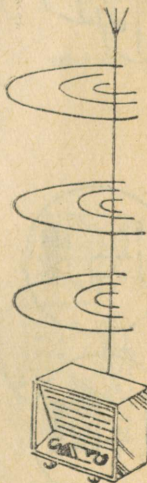
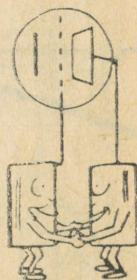
Induktiivsidesuse kõrval võib kujuneda ka teist liiki sidestumine — mahtuvuslik. Mahtuvussidestumine kujuneb võre- ja anoodahela kõrvuti asetsevate juhtmete ja skeemidetailide vahel nendevaheliste parasiitmahtuvuste olemasolu tõttu.

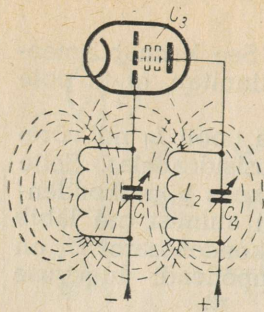
H.: Sel juhul tuleb võre- ja anoodahelad püüda teineteisest eemaldada, et nende vahel kujunev parasiitmahtuvus niiviisi väheneks miinimumini.

T.: Seda taotletaksegi. Kuid sellegipoolest jääb alles veel üks parasiitmahtuvus, millest varem ei suudetud kuidagi viisi vabaneda ja mis pikkade aastate vältel määras vastuvõtu-võimendustehnika arengusuuna.

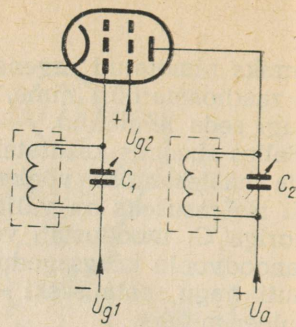
H.: Missugune talumatu mahtuvus see siis on?

T.: See on väga väike mahtuvus, mis kujuneb lambis võre ja anoodi vahel (mahtuvus C_3 joonisel 70).

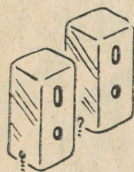
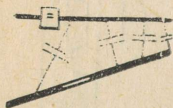




Joonis 70. Induktiivsed parasiitsidestused (mähiste magnetväljad on kujutatud punktiiriga) ja parasiitsidestused mahtuvuse C_3 kaudu lambi anoodi ja võre vahel.



Joonis 71. Parasiitsidestuse kõrvaldamine poolide varjestamisega ja varivõre kasutamisega.



Võre- ja anoodahela vahel selle mahtuvuse kaudu tekkiv tagasiside on küllaldane selleks, et häirida kõrgsagedusvõimendi talitlusstabiilsust, niipea kui selles on rohkem kui üks võimendusaste.

H.: Ma hakkaksin uskuma, et tekkinud olukord on kohutav, kui ma ei tunneks sinu harjumust kuhjata tõkkeid selleks, et hiljem need kerge tõuke abil kõrvaldada. Milline on seekord väljapääs olukorrast?

T.: Neid on kolm: varjestamine, varjestamine ja veel kord varjestamine. Iga mähiste grupp asetatakse metalltopsidesse — varjetesse, mis tõkestavad magnetvälja levimist ja järelikult ka poolidevaheliste induktiivsideidestuste tekkimist. Me kasutame varjestamist isegi lambi sees (joonis 71), et ärastada võre ja anoodi vaheline kahjulik mahtuvus.

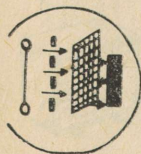
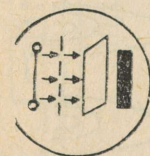
VÕRE JA ANOODI VARJESTAMINE

H.: Oota ometi. Kui paigutada võre ja anoodi vahele varje, siis ta tõkestab elektronide liikumist ja anoodvool lakkab.

T.: See pole õige. Lambi sees kasutataval varjel on palju avasid, mida elektronid võivad läbida, pealegi antakse varjele positiivne pinge, mis võrdub umbes poolega anoodpingest. Selle tõttu kiirendab varje elektronide liikumist anoodile, lisades anoodi tõmbejõule veel oma tõmbejõu. Väga sageli valmistatakse see ekraan traatspiraalina ja nimetatakse *varivõreks*. Lambi ennast nimetatakse varivõrelambiks. Võttes arvesse, et tal on neli elektroodi, nimetatakse seda ka *tetroodiks* (*tetra* tähendab kreeka keeles neli).

H.: Olen väga rahul, saades lõpuks ometi teada niisuguse lambi olemasolust, mille elektroodide arv ületab kolme. See on tõeline kaasaegne lamp!

T.: Mitte just päris niiviisi, tegelikult on tal selline puudus,



mille ärastamiseks tuleb lampi paigutada veel üks elektrood. Selle mõistmiseks, miks nii tuli toimida, jälgime veelkord, kuidas lamp töötab.

Kui tüürvõrel ilmub vahelduvpinge, hakkab vool anoodahelas muutuma. Voolu kõikumine tekitab anoodahelasse ühendatud koormusel (näiteks takistil) pingelangu, mis muutub vooluga võrdeliselt. See viib selleni, et anoodi ja katoodi vahel toimiv anoodpinge ei osutu enam püsivaks, vaid muutub seda väiksemaks, mida suurem on pingelang anoodahela takistil...

H.: Oota, ma saaksin sinust paremini aru, kui esitaksid arvnaite.

T.: Palun väga. Oletame, et anoodtoiteallika pinge on 200 V. See pinge on rakendatud katoodi ja anoodahelas paikneva takisti vahele (siinjuures jätame arvesse võtmata eelpingestustakistil tekkiva väikese pingelangu). Olgu arvutuskäigu lihtsustamiseks anoodtakisti takistus $100 \text{ k}\Omega = 100\,000 \Omega$ ja anoodvool jõudeseisundis (võimendatava vahelduvpinge puudumisel) 0,6 mA. Nendes tingimustes on takistil pingelang 60 V ja järelikult mõjub anoodi ning katoodi vahel mitte enam 200 V, vaid kõigest 140 V. Lepime veel kokku, et varivõrepinge on +100 V. Kui nüüd tüürvõrele rakendatakse selline vahelduvpinge, mille toimel anoodvool hakkab muutuma vahemikus 0,1 kuni 1,1 mA, siis pingelang anoodtakistil hakkab muutuma vahemikus 10 kuni 110 V. Sel puhul hakkab tegelik pinge anoodil katoodi suhtes omakorda muutuma 90 kuni 190 V. Sellest näitest järeldub, et pinge anoodil võib teataval hetkedel olla varivõrepingest madalam...

Näen, et see ei avalda sulle mingit muljet...

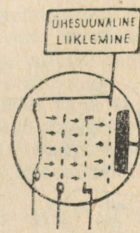
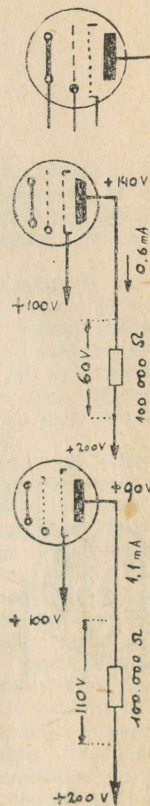
H.: Tõepoolest, miks peaks see kõik mind häirima?

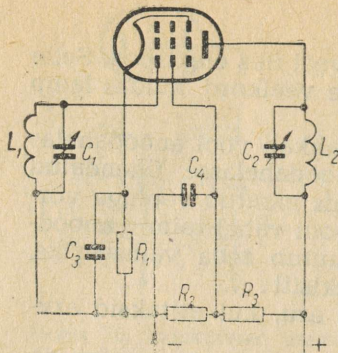
SEKUNDAAREMISSIOON

T.: Oma võhiklikkuses kõnnid sa rahulikult kuristikku äärel. Mõtle hästi nende nähtuste üle järele, mis sel puhul toimuvad, ja sa mõistad, milline ebameeldivus meid varitseb.

Katoodist eraldunud elektronid satuvad pärast tüürvõrest läbimist anoodi suunas liikumisel ka varivõre mõjusfääri. Oma kõrge positiivse pinge tõttu annab see elektrood elektronidele täiendava kiirenduse, mille toimel nad lendavad varivõrest tohutu kiirusega läbi ja põrkuvad nagu pommid anoodi pinnale. Sealjuures lööb iga elektron anoodi materjalist välja ühe või mitu elektroni, sarnaselt sellega, kuidas ujuja hüppamisel vette tekib veepritsmete vihm.

Need elektronid käituvad selliselt nagu kõik elektronid, s. o. tõmbuvad kõige positiivsemale elektroodile. Normaalselt on selliseks elektroodiks anood, ja väljalöödud elektronid pöörduvad tagasi oma koju, s. t. anoodile, üldse mitte rikkudes lambi talitlust. Kui aga varivõre muutub kas või lühikesteks ajavahemikeks





Joonis 72. Pentoodiga kõrgsagedusvõimendusastme skeem: R_1C_3 — võre-eelpingestusahel; $R_2R_3C_4$ — varivõre toiteahel.

kõige positiivsemaks elektroodiks lambis, siis lendavad anoodilt eraldunud elektronid just sellele.

H.: Vapustav!... Järelikult ilmub vool, mis suundub anoodilt varivõrele, kusjuures anood hakkab toimima varivõre suhtes justkui teise katoodina.

T.: Kindlasti. Seda nähtust nimetatakse *sekundaaremissiooniks*. Et vool anoodilt varivõrele kulgeb anoodvoolule vastu, nõrgeneb viimane ja moonutub.

H.: Ja taas oleme tõkke ees. Palun sind, tõuka uuesti!

T.: See pole raske. Sekundaaremissiooni hävitamiseks tuleb anoodi ja varivõre vahele asetada veel üks — arvult kolmas — võre, mida nimetatakse *sulgvõreks* või *summutusvõreks*.

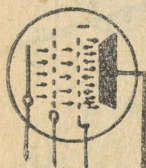
Sulgvõre on üsna harv traatspiraal, millel on katoodi potentsiaal ja on viimasega sageli isegi lambi sees ühendatud. Ta takistab sekundaarelektronide eemaldumist anoodist.

H.: Noh, mis siis ikka, mul on hea meel tutvuda lambiga, millel on juba viis elektroodi ja mida võiks nimetada, kui mind mitte ei vea alt mu kreeka keele teadmised, *pentoodiks*.

T.: See ongi nii. Sa võid tähele panna, et pentood on tetroodi täiustuseks ja et see lamp loodi sekundaaremissiooni kahjuliku toime kõrvaldamiseks. Pentoodiga võimendusastme skeem oleks aga selline (joonis 72). Kõrgepingelise anooditoiteallika klemmide vahel asetsevad takistid R_2 ja R_3 on varivõre pingestamiseks selle pingega, mis ligikaudu võrdub poolega anoodpingest. Kondensaator C_4 on selleks, et lasta läbi nõrka kõrgsagedusvoolu, mis kujuneb varivõreahelas seda elektroodi tabavate elektronide toimel. Samuti võib enamiku pentooditüüpide puhul tarvilikku varivõrepotentsiaali saada pingelangu abil, mida selle elektroodi vool tekitab takistis. Jäta skeemis joonisel 72 ära takisti R_2 ja saadki vastava lülituse. Pingelang takistil R_3 määrabki varivõre potentsiaali. Mis puutub kondensaatorisse C_2 , siis on see alati tarvilik, et läbi lasta selle elektroodi voolu vahelduvkomponenti.

H.: Loodan, et varjed, tetroodid ja pentoodid lubavad meil lõplikult lahendada parasiitsidestuste probleemi.

T.: Asjatud lootused, Huviste!



Tagasisidestus

Üheksandas vestluses oli meil juba võimalus vaadelda ühe ja sellesama lambi anoodi ja võreahela vahelise sidestumise toimet. Tänu sellisele sidestusele, mida nimetatakse tagasisidestuseks, mõjutab anoodahel võreahelat, tekitades selles anoodvoolu iga muutuse puhul vastava pinge. Selle pinge polaarsus võib ühtida pingega võreahelas; selleks piisab, kui anoodvool kulgeb tagasisidestusmähises sobivas suunas.

Kui muuta kummagi ahela vaheline sidestus tugevaks, siis võib anoodahelast võreahelasse tagasijuhitav energia osutada küllaldaselt, et kompenseerida kadusid ja hoida alal võnkumist, mille tagajärjel võimenduslülitus muutub generaatoriks.

Kui sidestus on nõrk, siis tagasisidestusest sumbumatute võnkumiste alalhoidmiseks ei piisa. Siiski, kompenseerides suurema või väiksema osa energiakadudest võreahelas, võimaldab tagasisidestus sumbumist vähendada. Sel viisil muutub eelmisest lambist saadav vahelduvpinge suuremaks kui tagasisidestuse puudumise korral.

Võrepinge mõjutab anoodvoolu, mis omakorda toimib tagasi võreahelale. Selle tulemusena suureneb võimendus järsult, mis on mõnikord oluline nõutava tundlikkuse saamiseks, ilma et tuleks kasutada mitut kõrgsagedusvõimendusastet.

Regeneratiivdektektor

Positiivse tagasisidestuse klassikaliseks näiteks on regeneratiivdektektor ehk regeneraator (joonis 67), millele tavaliselt järgnevad madalsagedusvõimendusastmed. See lülitus oli aastate eest väga populaarne. Sellega võib enam või vähem rahuldava taasesituskvaliteedi juures saada hea tundlikkuse ja eraldustervavuse. *Võimendus on maksimaalne siis, kui tagasisidestuse suurus vastab eneseergutamise lävele, s. o. punktile, mille ületamisel hakkab lamp genereerima.* Regeneratiivvastuvõtja reguleerimise kogu kunst seisabki sellise sidestustugevuse valikus, mille ületamisel tekib igasugust vastuvõttu takistav eneseergutus. Tuleb märkida, et tundlikkuse taotlemisel tuleb ohvriks tuua helikvaliteet, sest eneseergutuse piiril on võnkeringi eraldus-

teravus väga suur, see aga põhjustab kõrgete helisageduste kadumist (hiljem selgitame selle nähtuse põhjusi). Kuid mida küll ei tee algaja raadioamatöör, et kuulata saadet näiteks Honolulu!

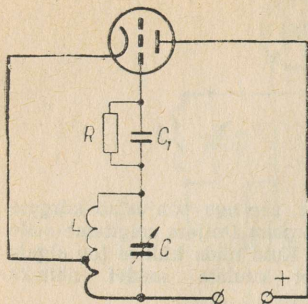
Indutseeritud pinge sõltub sagedusest, seepärast tuleb iga vastuvõetava jaama jaoks valida sobiv sidestustugevus. Selleks võib rakendada mitmeid meetodeid. Nii võib konstrueerida ühe pooli liikuvana, et ta asendit teise pooli suhtes saaks muuta. Poole lähendades, eemaldades või pöörates saab soovi kohaselt sidestustugevust muuta.

Ka võib, jättes tagasisidestuspooli liikumatuks, reguleerida selles kõrgsagedusvoolu. Selleks jaotatakse anoodvool alalis- ja vahelduvkomponentideks. Vahelduvkomponent läbib tagasisidestusmähise, mis on ühendatud pöördkondensaatoriga järjestikku. Kondensaator ei tõkesta mitte ainult anoodvoolu alalis-komponenti, vaid ka madalsageduskomponenti, sest ta mahtuvus on väike. Nimetatud komponendid siirduvad teise haruahelasse, milles on järgmise lambiga sidestust loov lülitusdetail (madalsagedustrafo, aktiivtakisti, paispool) või telefonid. Komponentide paremaks eraldamiseks on soodne ühendada aktiivkoormusega ahelasse järjestikku kõrgsagedus-paispool, mis tänu sobival valitud induktiivsusele tõkestab kõrgsageduskomponenti, kuid laseb veel läbi madalsageduskomponenti. Niiviisi on seegi lülitus analoogiline joonisel VII kujutatud komponentide eraldamise lülitusega.

Tagasisidestuspooliga järjestikku ühendatud muudetava mahtuvusega kondensaator võimaldab selles ahelas vastavalt tarvidusele doseerida kõrgsagedusvoolu ja niiviisi tagasisidestust reguleerida. Sellest võrdlemisi praktilisest meetodist, mis võimaldab väga täpset reguleerimist, kasutatakse mitut varianti, mis siiski põhinevad kõik ühel ja selsamal põhimõttel ning erinevad ainult skeemidetailide poolest.

Vaadeldavat tagasisidestuse viisi ei tule nimetada «mahtuvuslikuks tagasisidestuseks». Ta on *tagasisidestus, mis põhineb kahe pooli ühisinduktiivsusel* (induktiivsidestusel); kondensaatori ülesandeks on ainult olla kraaniks, mis reguleerib kõrgsagedusvoolu.

Tõelise mahtuvusliku tagasisidestuse saami-



Joonis XII. Elektronsidestuses generaator. (Anoodvoolu tee on kujutatud jämejoonega.)

seks tuleb anoodi ja võre vahele ühendada muudetava mahtuvusega kondensaator. Siiski pole niiviisi saadavad tulemused tavaliselt mitte eriti head.

Induktiiv-mahtvuslikku tagasisidestamise meetodit kasutatakse *Hartley lülituses* (joonis 69), kus võre- ja anoodahel on sidestatud muudetava mahtuvusega kondensaatori ja võnkering induktiivpooli ühe osa kaudu. Tagasisidestuse tugevust saab reguleerida kondensaatori C_2 mahtuvuse muutmisega.

Hartley skeem on võrreldav elektronsidestuses generaatoriga (joonis XII). Selle generaatori puhul, mida sageli kasutatakse ostsillaatorites, ei saa sidestuse tugevust reguleerida, sest kõrgsageduskomponent läbib täielikult pooli jämejoonega kujutatud osa. Muidugi võib muuta siingi tagasisidestuse reguleeritavaks, kui pooli mähise väljavõtte abil muuta mähise selle osa keerdu arvu, milles on tagasisidestusvool.

Parasiidsidestused

Kui reguleeritav tagasisidestus on sageli üsnagi väärtuslikuks vahendiks vähese lampide arvuga vastuvõtja optimaalsete tulemustega töölerakendamisel, siis soovimatu, parasiidsidestuste tõttu ilmuv tagasiside on üks kõige ebameeldivamaid nähtusi raadiopraktikas. Parasiidsidestused võib jaotada kolme liiki: induktiivseteks, mahtvuslikeks ja ühise takistuse kaudu tekkivateks. Nendest sidestumisviisidest viimane on ka meie sõprade järneva vestluse teemaks. Induktiivne ja mahtvuslik sidestumine esineb kõikjal, kus lambi anoodahela lülitusdetailid asetsevad sellesama või mõne eelneva lambi võreahela detailide naabruses.

Kaks juhet, mis asetsevad kõrvuti kasvõi lühikese lõigu ulatuses, moodustavad kondensaatori. Kaks pooli sidestuvad induktiivselt, kui selle vältimiseks pole kasutatud erilisi vahendeid. Isegi lambi elektroodid, vaatamata nende väikestele mõõtmetele, moodustavad omavahel või nende läheduses asetsevate skeemidetallidega mahtuvusi.

Kui niiviisi tekkivad parasiidsidestused on positiivse märgiga, s. o. kui anoodahelatest võreahelatesse siirduvate pingete ja võrepingete polaarsused ühtivad, siis muutub vastuvõtja teatava sidestugevuse puhul generaatoriks. Praktiliselt avalduvad parasiidsidestused vilena, mürana või vähemalt taasesitatava heli tunduva moonutusena, mis muudab vastuvõtja kasutamise võimatuks.

Varjestamine

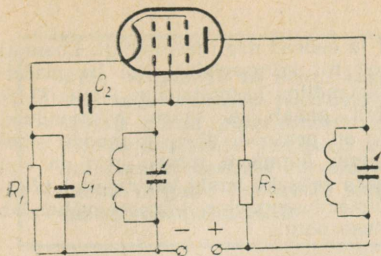
Nende ebameeldivuste ärahoidmiseks on mitu vahendit. Esmajärjekorras tuleb nimetada skeemidetallide läbimõeldud paigutust, millega oleks vältitud liiga pikkade juhtmete kasutamine ja elementide ohtlik lähedus. Teine vahend on induktiivpoolide, lampide ja mõnikord isegi tervete lülituse osade (blokkide) varjestamine.

Poolid ja lambid suletakse vask- või alumiiniumplekist varjettesse. Need «Faraday puurid» tõkestavad elektrivälja ja kõrvaldavad niiviisi parasiidsidestumise. Metall-lambid osutuvad tänu oma metallballoonide iseeneest varjestatuiks. Sageli tuleb mõned juhtmed metalltraadist põimitud painduva sukaga varjestada. Madalsagedustrafod varjestatakse paksude pehmest terasest katetega.

Kõik varjed, samuti nagu metallšassiid, peavad olema ühendatud skeemi mingi punktiga, millel on püsiv potentsiaal, näiteks anooditoiteallika negatiivse poolusega.

Tetrood

Seda teed minnakse isegi kuni varje paigutamiseni võre ja anoodi vahele lambi sisse. Et elektronid saaksid sellele vaatamata varjet vabalt läbida, kujundatakse ta võrena. Seda nimetatakse *varivõreks*. Nii on ehitatud nelja elektroodiga lambid ehk *tetroodid*. Selleks et varivõre ei pidurdaks elektronide liikumist, antakse talle kõrge positiivne potentsiaal (kõrgsagedusvõimenduslampides võrdne poole anoodpingega, madalsagedusvõimenduslampides võrdne anoodpingega). Niiviisi avaldab ta elektronidele kiirendavat toimet.



Joonis XIII. Varivõre potentsiaal on määratud pingelanguga takistil R_2 . Vahelduvkomponent lühistub katoodile läbi kondensaatori C_2 .

Tänu varivõre olemasolule muutub anoodi ja tüürvõre vaheline parasiitmahtuvus praktiliselt nulliks, millega kaob üks kõige ohtlikumatest endaergutumise põhjustest. Varivõrelampide sellele eelisele tuleb lisada veel nende suur võimendustegur, mis võib künndida tuhandeni.

Tõepoolest, tetroodides sõltub anoodvool peaaegu ainuüksi põhilise võre pingest (seda võret nimetatakse *tüürvõreks*) ja varivõre pingest; anoodpinge mõjutab anoodvoolu varivõre olemasolu tõttu väga vähe. Niiviisi peab tetroodi võimendustegur vastavalt selle määratlusele väga suur olema.

Teiselt poolt on tetroodidel tõus umbes samas suurusjärgus kui enamikul trioodidel ja selleks, et põhiline võrdus $\mu = R_i S$ oleks kehtiv suurte μ väärtuste juures, on tarvis, et ka R_i oleks suur. Tetroodide sisetakistus künneb sageli megaoomideni.

Varivõre pingestamiseks kasutatakse pingejagurit, milleks anooditoiteallika pooluste vahele ühendatakse järjestikku kaks takistit (R_2 ja R_3 joonisel 72). Olenevalt takistite takistustest läbib neid suurem või väiksem vool, mis tekitab kummalgi neist vastava takistusega võrdelise pingelangu (loomulikult võrdub nende kahe pingelangu summa toiteallika pingega). Seega on takistite ühenduspunktis mingi vahepealne pinge, millele saab takistite takistuste sobiva valikuga anda mistahes väärtuse. Selle ühise punktiga ühendataksegi varivõre.

Seoses sellega, et võre tõmbab enesele teatava hulga anoodile lendavatest elektronidest, on varivõreahelas nõrk vool. Selleks et varivõrevoolu kõikumine ei häiriks pinge püsivust varivõrel, ühendatakse selle elektroodi ja katoodi vahele kondensaator, mis juhib voolu vahelduvkomponendi otse katoodile.

Konstantse varivõrevooluga lampides saab tarviliku pinge luua eeltakistiga (takisti R_2 joonisel XIII), mille kaudu varivõre ühendatakse anooditoiteallika positiivse poolusega. Kuid sellelgi juhul on tarvilik kondensaator, mille ülesandeks on voolu vahelduvkomponent katoodile juhtida.

Sekundaaremissioon

Kui kiire lennu lõpul elektronid anoodile jõuavad, siis löövad nad selle elektroodi materjalist välja uusi elektrone, mis paiskuvad lambi ballooni. Seda nähtust nimetatakse *sekundaaremissiooniks*. Anoodist sellise pommitamise tagajärjel väljuvate sekundaar-elektronide kiirus on suhteliselt väike ja pärast lühikest lennu pöörduvad nad tavaliselt positiivse potentsiaali tõmbejõu toimel anoodile tagasi. Vähemalt trioodi puhul on see niiviisi.

Tetroodis võib sekundaaremissioon lambi talitlust tõsiselt halvata. Kui anoodi potentsiaal osutub varivõre potentsiaalst madalamaks, ei pöördu sekundaar-elektronid tagasi anoodile, vaid tõmbuvad varivõrele. Seoses sellega tekib anoodilt varivõrele suunduv vool. Selle voolu suund on vastupidine anoodvoolu normaalsele suunale ja seepärast tuleb ta sellest lahutada. Anoodahelasse ühendatud milliampermeeter näitab siis normaalse anoodvoolu ja sekundaaremissioonvoolu vahega võrduvat voolu.

Millises olukorras võib niisugune nähtus esineda? Teisiti väljendatult, millisel viisil võib anoodpinge osutada varivõrepingest väiksemaks? Meenutame, et varivõrel hoitakse pinge püsivana. Seevastu anoodpinge muutub pidevalt, sest anooditoiteallika pingest tuleb lahutada anoodahelas asetseval koorustakistil tekkiv pingelang. Kui vahelduvpinge võrel ületab teatava väärtuse, siis võib anoodvoolu vahelduvkomponendi amplituud kujuneda nii suureks, et anoodpinge hetkväärtused osutuvad suure pingelangu tõttu, mis anoodkoormustakistusel tekib, varivõrepingest madalamateks. Just sellistel hetkedel suundubki anoodilt lähtuv sekundaaremissioonvool varivõrele, nagu me seda äsja analüüsisime.

Pentood

Kirjeldatud puudus on lihtsalt kõrvaldatav: varivõre ja anoodi vahele tuleb asetada katoodi potentsiaali omav võre. See *sulgvõre*

ei avalda katoodilt anoodile lendavatele primaarelektronidele mingit mõju. Kuid tunduvalt aeglasemad sekundaarelektronid pidurdavad tema mõjul ja pöörduvad mõistlikult tagasi anoodile.

Sel viisil saadaval kolme võrega ehk viie elektroodiga lambil — *pentoodil* pole sekundaaremissioonist põhjustatud puudusi. Lisaks sellele iseärasusele on pentoodil needsamad

omadused ja eelised nagu tetroodilgi. Kaasajal on pentood nii kõrgsagedus- kui ka madalsagedusvõimendites kasutatavaim lamp. Kummalgi juhul annab ta suure võimenduse. Peale selle on pentoodi võre ja anoodi vaheline mahtuvus äärmiselt tühine, mis on aga eriti tähtsaks eeliseks lambi kasutamisel kõrgsagedusvõimendusastmetes, sest see vähendab endaergutuse ohtu.

KAS OLETE OMANDANUD KÕIK EELNENU?
KUI MITTE, SIIS LUGEGE VEELKORDSELT ÜLE EELNEVAD SADA-
KOND LEHEKÜLGE, ENNE KUI LUGEMIST JÄTKATE.

Mida nõrgemini on mingi lambi ahelad naaberlampide ahelatega sidestatud, seda paremini raadiovastuvõtja töötab. Sellise järelduse tegid meie sõbrad pärast parasiitsidestuste fundamendimist. Lisaks varemgi soovitud varjestamisele vaatlevad nad ka lahtisidestusahelate kasutamise võimalust parasiitsidestuste kõrvaldamiseks. Siirdudes praktilise skeemi uurimisele, pakub Targaste huvitavaid andmeid häälestatavate võnkeringide ümberlülitamise võimaluste kohta.

14.

VESTLUS

SEGASED SIDESTUSED

Targaste: Seni kõnelesime ainult induktiivsetest ja mahtuvuslikest sidestustest, kuid esineb ka sidestumine ühiste elementide kaudu. Viimasteks võivad osutuda aktiiv- ja reaktiivtakistused.

Huviste: Ma ei näe, kus need «ühised» takistused peituvad?

T.: Eks siis vaata. Joonisel 73 on skemaatilisel kujutatud kolmeastmeline kõrgsagedusvõimendi.

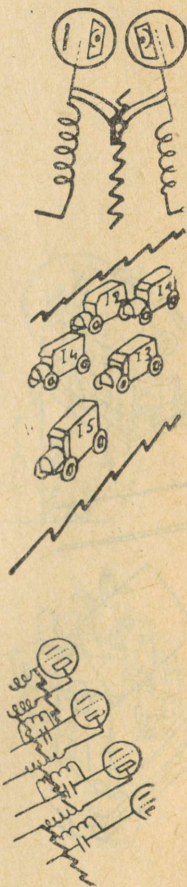
Selguse mõttes on skeemil välja joonistatud ainult anoodahelad. Nendes on lampide EL_1 , EL_2 ja EL_3 voolud vastavalt I_1 , I_2 , I_3 . Tüürvõrede ja varivõrede ahelaid pole välja joonistatud. Jälgime nüüd lampide voolude teekonda.

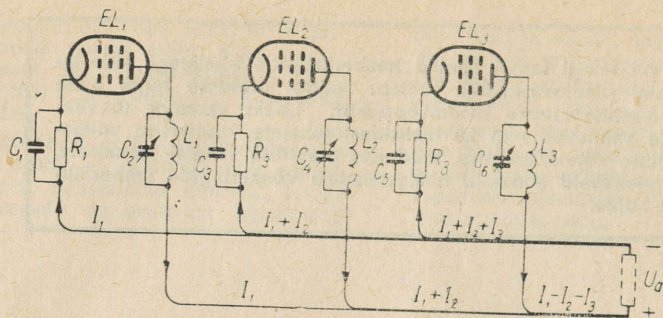
Sa näed, et lambi EL_1 katoodvool I_1 läbib võnkeringi L_1C_2 , seejärel I_1 abil tähistatud juhtmelõigu kaudu anoodtoiteallika ja pöördub miinusjuhtme kaudu läbi R_1 (eelpingestustakisti) tagasi katoodile. Nüüd jälgi samalaadselt teise lambi anoodvoolu I_2 . Mida sa näed?

H.: Tõepoolest, vool I_2 läbib osalt ahela neidsamu osi, mida vool I_1 , samuti ka anoodtoiteallikat. Sama toimub ka vooluga I_3 , mis läbib anoodtoiteallikat ja ahela osa $J_1 + I_2 + I_3$, milles voolab üheaegselt kolm voolu. Näe, kust voolude segadus algab!

T.: Kui anoodtoiteallikas ja ühendusjuhtmed oleksid takistusvabad, poleks karta mingit segadust. Kahjuks pole see aga nii: iga üksik nendest vooludest tekitab ahela ühiste osade takistustel pingelangud. Nende alaliskomponendid ei põhjusta mingit ohtu. Kuid pingelangud vahelduvkomponentidest, mis tekivad ühiste juhtmete takistustel, satuvad teistesse ahelatesse. Selle tõttu voolu I_1 vahelduvkomponendist tekkinud pingelang rakendub ühtlasi lampide EL_2 ja EL_3 katoodide ja anoodide vahele. Sama toimub ka voolude I_2 ja I_3 tekitatud pingetega.

H.: Nüüd näen, milles peitub vaadeldava parasiitsidestuse toime. Selle tõttu osutuvad kõik lambid sidestatuiks ja nendest iga üksiku voolu kõikumised kajastuvad otsekohe ka ülejäänud lampide elektrodide pingetes. See põhjustab loomulikult väga ebameeldivaid nähtusi.



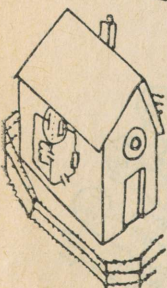
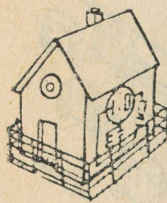


Joonis 73. Selles skeemis lähevad erinevate lampide anoodvoolud ühist ahelat mööda. Anoodtoitepinge U_a allikas on tinglikult kujutatud takistina.

T.: Täiesti ilmselt. Kui teiste lampide vooludest tekitatud pinge toimib vastu pingele, mis on rakendatud ühe lambi võrele, siis väheneb võimendus. Siiski ilmneb sellise sidestumise tulemusena väga sageli teiste lampide vooludest põhjustatud pingete liitumine. See kutsub esile parasitse omavõnkumise.

H.: Ometi peaks leiduma vahend ühe lambi isoleerimiseks teistest?

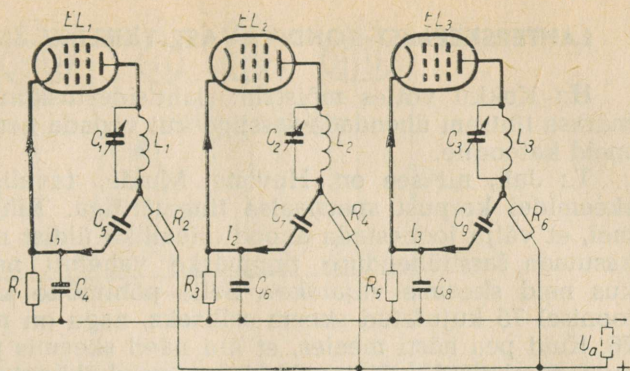
T.: Jah. Sellist vahendit nimetatakse *lahtisidestusfiltri*ks. See ahel ei lase anoodvoolude vahelduvkomponentidel rännata mööda tervet vastuvõtjat: mööda ühiseid vooluringe ja läbi anoodtoiteallika.



«SÖLTUMATUSE TRIUMF»

H.: Arvan, et selleks tuleb kõigepealt eraldada alaliskomponent.

T.: Nii tehaksegi. Niipea kui näiteks lambi EL_1 anoodvool läbib anoodkoormust, antud juhul võnkeringi L_1C_1 (joonis 74), eraldub sellest kõrgsageduslik vahelduvkomponent. Selle jaoks luuakse hargnemisvõimalus läbi kondensaatori C_5 , sarnaselt lülitusele, kus tagasisidestuse reguleerimine toimub muudetava mahutusega kondensaatori abil. Vahelduvkomponent satub läbi kondensaatori C_5 vahetult katoodile. Samaaegselt tõkestab see kondensaator alaliskomponenti. See siirdub läbi takisti R_2 , anoodtoiteallika ja eelpingestustakisti R_1 tagasi katoodile. Niiviisi on joonisel 74 jämejoonega kujutatud vahelduvkomponendi tee piiratud vastava lambi katoodi-anoodiahelaga ja selle vahelduvkomponent ei kohtu kusagil teiste lampide voolude analoogiliste komponentidega.



Joonis 74. Tänu lahtisidestusfiltrite kasutamisele lühistuvad siin iga lambi anoodvoolu vahelduvkomponendid individuaalsete ahelate kaudu, mis on kujutatud jämejoontega.

H.: Tähendab, kui ma õigesti taipasin, annab lahtisidestusfilter lambile võimaluse säilitada täielik sõltumatus.

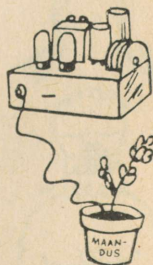
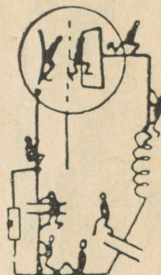
T.: Täiesti õige. Pane veel tähele, et lahtisidestusfilter, mis lühendab vahelduvkomponentide teid, vähendab samaaegselt ka induktiivsete parasiitsidestumiste ohtu.

Nüüd võime välja joonistada kaasaegse raadiovastuvõtja kõrgsagedusvõimendusastme täieliku skeemi (joonis 75). See osutub täpselt samasuguseks nagu joonisel 74.

H.: Aga mulle näib, et see pole üldse niisugune. Joonisel 74 on ju lahtisidestusfiltrite kondensaatorid C_5 , C_7 ja C_9 ühendatud vahetult vastavate lampide katoodidega, kuid joonisel 75 on lahtisidestusfiltri kondensaator C_5 ühendatud anoodtoiteallika miinusega.

T.: Sul on õigus. Selline lülitusviis on teoreetiliselt vähem efektiivne, sest anoodvoolu vahelduvkomponent peab selle asemel, et pöörduda läbi kondensaatori C_5 tagasi katoodile, lisaks läbima veel kondensaatori C_3 , mis on kõrgsageduskomponentidele mõnevõrra väsitavam. Siiski on sellel skeemil teatavad praktilised eelised.

Loomulikult oled märganud, et raadiovastuvõtja skeemis suubub rohkesti ühendusi anoodtoiteallika negatiivsele poolusele. Selleks et negatiivne poolus asetseks sellega ühendatavatele lülituselementidele võimalikult lähedal, paigutatakse raadioseadmesse jämedast traadist nn. *üldjuhe* või «*üldmiinus*», mis läheb anoodtoiteallika miinusklemmilt läbi terve vastuvõtja. Sageli kasutatakse, kuigi see on vähem soovitatav, selle juhtme asemel metallkorpust (šassiid). Taolisel juhul on šassi ühtlasi ka anoodtoitepinge miinusklemmiks. Niiviisi, kui mingi skeemidetail on ühendatud anoodtoiteallika miinusega, võib kõnelda, et see on ühendatud šassiga või massiga.



LAHTERSKEEMIST-KONDIKAVAST TÄIELIKU SKEEMINI

H.: Kokku võttes mõistsin: lahtisidestuskondensaatoreid on märksa lihtsam ühendada šassiiga kui vedada nende ühendusjuhtmeid katoodile.

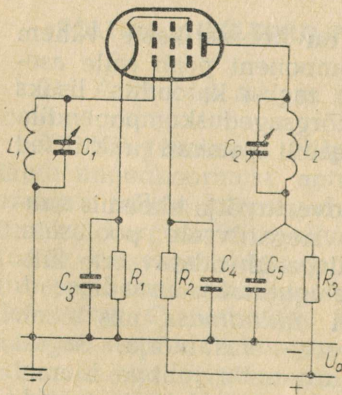
T.: Jah, nii see on, Huviste. Muide, tavaliselt tähistatakse skeemidel korpus spetsiaalse tingmärgiga. Tähendab selle asemel, et välja joonestada anoodtoiteallika üldist miinusjuhet, võib kasutada šassiiühenduse tingmärke vahetult nendes kohtades, kus neid skeemis vajatakse. Selle põhimõtte kohaselt kujuneb joonisel 75 kujutatud skeem selliseks, nagu on näidatud joonisel 76. Kuid pea hästi meeles, et kui näed skeemis palju šassiiühenduse sümboleid, siis tegelikult on need ikkagi üks ühine juhe, mis lähtub anoodtoiteallika miinuspoolusest.

H.: Kas nüüd olen lõpuks tundma õppinud kõiki raadiovastuvõtjate skeemides varitsevaid ohtusid ja kas suudaksin nüüd ise koostada skeemi, mille järgi saaksin ehitada tõeliselt töötava vastuvõtja?

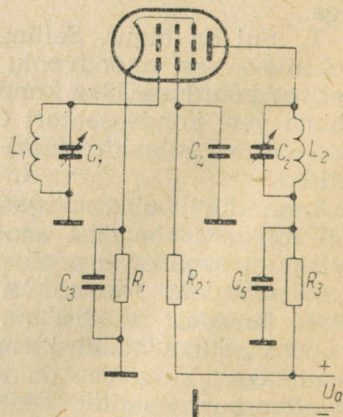
T.: Jah, arvan et nüüd tead sa enam-vähem kõike selleks tarvilikku. Pöördume veelkordselt selle skeemi juurde, mille sa oma teadmatuses joonistasid meie kaheteistkümnenda vestluse ajal ja katsume anda talle praktiliselt teostatava kuju. Algul joonistame selle lihtsustatuna — see on suurepärase meetod (joonis 77).

H.: Loodan, et kasutad kummaski kõrgsagedusastmes pentoode.

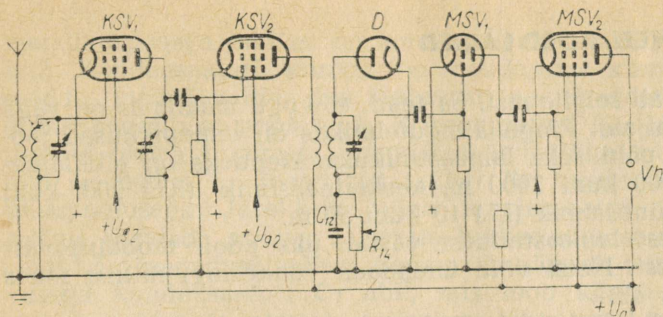
T.: Võid selles ise veenduda, kui vaatad joonist. Kuid ma lähen kaugemale, kasutades pentoodi isegi teises madalsagedusastmes. Praegusel ajal kasutatakse pentoode selleks otstarbeks meeleldi.



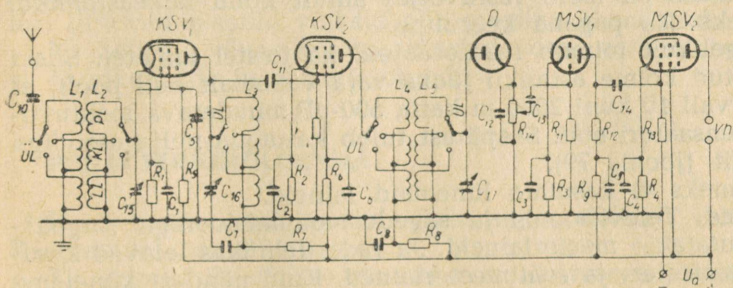
Joonis 75. Pentoodiga kõrgsagedusvõimendusastme skeem koos lahtisidestusfiltritega.



Joonis 76. Seesama skeem, mis on toodud joonisel 75, kuid joonistatud üldmiinusjuhtme tingmärkide abil.



Joonis 77. Kahe kõrgsagedusvõimendusastmega vastuvõtja lihtsustatud skeem.



Joonis 78. Vastuvõtja lõplik skeem.

Sa näed, et selles skeemis on toodud ainult tähtsamad lampidevahelised sidestusahelad. Lahtisidestusahelad, samuti ka eelpingestustakistid ja varivõreahelates paiknevad eeltakistid ei kuulu lihtsustatud skeemi.

H.: Uhesõnaga, sa kujutasid kahe kõrgsagedusvõimendusastmega (KSV_1 ja KSV_2), diodddetektoriga (D) ning kahe madalsagedusvõimendusastmega (MSV_1 ja MSV_2) skeemi «luustiku». Kuid kas võid nüüd kasvutada sellele skeetile ümber liha ja naha ning luua nii viisi tervikliku organismi?

T.: See pole raske. Täielik skeem ongi siin (joonis 78). Teiste iseärasuste kõrval vaatle esmalt eelpingestustakistid R_1, R_2, R_3 ja R_4 ; varivõrede pingestamiseks kasutatavaid takistid R_5 ja R_6 ; lahtisidestustakistid R_7, R_8 ja R_9 ning samuti samade numbritega tähistatud blokeerimiskondensaatoreid.

H.: Oota... Mind häirib hoopis midagi muud: poolid L_1, L_2, L_3, L_4 ja L_5 , mis otsekui koosnevad kolmest osast.



LAINED JA VEEL KORD LAINED

T.: See nõuab selgitamist. Sa tead, et kogu maailmas on väga palju raadiosaatjaid. Ringhäälingutehnikas on laine pikkused jaotatud kolmeks põhiliseks laineastmikuks. Nendeks on pikklaineastmik (PL) 1000 kuni 2000 m, keskaineastmik (KL) 200 kuni 600 m ja lühilaineastmik (LL) 10 kuni 50 m.

Igale nendest laineastmikest vastab üks pooli moodustavast kolmest mähisest. Neist võib ühendada võnkeringi millist tahes ümberlülitite UL abil.

H.: Kuid sel juhul tuleb ühest laineastmikust teise siirdumiseks üheaegselt muuta viie ümberlülitite asendit. Kas nende kiireks ümberlülitamiseks tuleb olla saajajalgne?

T.: Oh ei, ära muretse. Huviste. Kõik mähised lülitatakse ümber üheaegselt ja ühestainsast nupust.

H.: Õnneks on meie vastuvõtjal ainult kolm laineastmikku. Teisiti oleks see pagana keeruline.

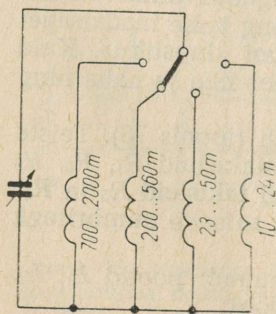
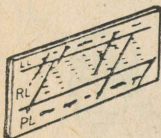
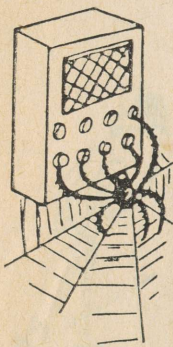
T.: Tegelikult toimub raadiosaateid ka teistel lainetel. Siiski on nimetatud kolme astmiku jaoks vaja vähemalt neli pooli, et kogu intervall 10 kuni 2000 m katta 500-pF muudetava mahtuvusega kondensaatori abil. Seepärast tuleb kasutada nelja asendiga ümberlülitit (joonis 79).

H.: Õnneks ei kasutata lühemaid laineid.

T.: Eksid. Televisioonis ja sagedusmodulatsiooniga ringhäälingus kasutatakse meeterlaineid. Ja radaritehnikas leiavad kasutamist detsimeeter- ja sentimeeterlained. Kuid nendest kõneleme teine kord.

H.: Ma vaatlen jälle vastuvõtja skeemi (joonis 78) ja ei suuda kondensaatori C_7 veidrast ühendusviisist aru saada. Nähtavasti moodustab see kondensaator koos takistiga R_7 lahtisidestusfiltri esimese lambi anoodahelas. Kuid miks asetseb ta võnkeringis L_3C_{16} ?

T.: Väga proosalisel põhjusel. Kaasaegsetel muudetava mahtuvusega kondensaatoritel on liikuvad plaadid ühendatud selle



Joonis 79. Nelja laineastmiku ümberlülitamise skeem.

metallkorpusega (millest on ainult paigalpüsivad plaadid isoleeritud). Kondensaatori korpus on omakorda kinnitatud raadioseadme metallšassiile, mis teatavasti on ühendatud anoodtoiteallika negatiivse poolusega. Kondensaatori C_{16} liikuvad plaadid peavad olema tingimata ühendatud toiteallika miinusega. Samal ajal on mähis L_3 ühendatud takisti R_7 kaudu anoodtoiteallika plusspoolusega. Järelikult tuleb kondensaator C_{16} alalispinge mõttes eraldada poolist L_3 , mitte katkestades samal ajal võnkeringi kõrgesageduse mõttes. Seda saab hõlpsalt teha suure mahtuvusega kondensaatori C_7 abil, mis loob kõrgsagedusvooludele vaba läbipääsu ja takistab alalispinge lühistumist takisti R_7 kaudu.

H.: Hüva, see seletus annab selgust ka ühele teisele probleemile, mis mind mõni aeg häirib. Ma küsin nimelt eneselt, miks detektorlülituse detailid R_{14} ja C_{12} , mis lahterskeemis paiknevad võnkeringi ja šassii vahel, on nüüd paigutatud šassi ja diodi katoodi vahele. Arvan, et tegid seda selleks, et pöördkondensaatori liikuvad plaadid võiksid olla massiga ühendatud.

T.: Sellega võime esialgu lõpetada oma vestluse, seda enam et tornikell löi juba kesköötundi.

PETLIK TERMINOLOOGIA

H.: Jutusta siiski veel, mis ülesanne on skeemis vastu takistit R_{14} toetaval noolel?

T.: Tegelikult on see muudetava takistusega takisti, mis on ühendatud potentsiomeetrina...

H.: See on nähtavasti potentsiaali mõõtmise seade?

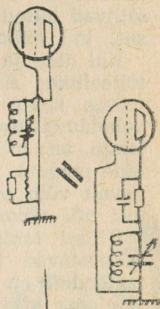
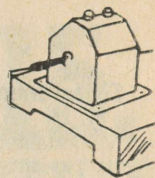
T.: Ei, selle termini nimetus viis sind segadusse. *Potentsiomeeter* on hoopis liugkontaktiga (mis ongi noole abil tähistatud) ja otstest väljatoodud ühendustega takisti. Liugkontakt võib — vastavalt asendile — olla ühenduses takisti ükskõik millise punktiga.

H.: Kuid milleks küll on ta siin vajalik?

T.: Takistil R_{14} eraldub detekteeritud pinget. Mõnikord võib ta olla väga suur, nii et pärast madalsagedusvõimendust osutuks heli liiga tugevaks. Helitugevuse vähendamiseks tuleb järgnevale lambile anda ainult osa detekteeritud pingest. Seda võibki teha potentsiomeetri abil, mille liugkontakt võib eraldada tervel takistil lasuvast pingest mistahes osa.

Järelikult on potentsiomeeter R_{14} vastuvõetava heli tugevuse reguleerimiseks.

H.: Selgub, et see on tõepoolest väga vajalik. Kahetsen, et seda ei kasuta mu naaber, kes jumaldab akordionimängu.



Sidestumine ühise takistuse kaudu

Varjestamine lubab kõrvaldada või vähendada parasiitsidestusi, mida põhjustavad magnetiline induktsioon või mahtuvused. Siiski säilivad teised sidestused, mis võivad tekkida siis, kui mitmel ahelal on ühiseid takistusi.

Kui ühte ja sama takistust (kas või anoodtoiteallika sisetakistust) läbib samaaegselt mitme lambi anoodvool, tekitab iga voolu vahelduvkomponent sellel vahelduva pingelangu, mis mõjutab kõikide lampide elektroodide pingeid. Niisuguse sidestuse märgist olevalt võib see samuti põhjustada endaergustust või võimenduse tunduvalt vähenemist.

Ühisel takistusel tekkiv pingelang, mida põhjustavad lampide voolude vahelduvkomponendid, on ohtlik; alaliskomponendid ei saa oma piisivuse tõttu tekitada soovimatuid koosmõjusid. Seepärast kuulutatakse seda liiki sidestuste vältimiseks sõda anoodvoolude vahelduvkomponentide vastu, kasutades vastavaid lahtisidestusahelaid (*-iiltreid*), s. o. individuaalseid väikese takistusega lühiseid nende vahelduvkomponentide jaoks.

Lahtisidestusahelad

Et anoodvoolu vahelduvkomponent peab sidestusahelas looma vahelduvpinge, siis sellest ahelast väljumisel ta ülesandend lõpevadki. Kõige lihtsam on suunata see vahelduvkomponent lähtepunkti, s. o. katoodile tagasi küllaldase mahtuvusega kondensaatori kaudu. Selleks et vahelduvkomponent ei saaks siirduda ahela sellesse harusse, mida kasutab alaliskomponent, seatakse sinna ette vahelduvkomponenti tõkestav aktiivne või induktiivne takistus.

Nii viisi puutume taas kokku anoodvoolu kahe komponendi eraldamise tavalise meetodiga (vt. joonis VII): kondensaator laseb läbi vahelduvkomponendi ja tõkestab alalisvoolu, kuid takisti või sobival viisil valitud induktiivpool laseb läbi alalisvoolu ja osutub vahelduvkomponendile tõkkeks.

Alalisvoolu harus kasutatakse lahtisidestamiseks aktiivtakisteid, kusjuures samaaegselt kasutatakse lahtisidestustakistil tekkivat pingelangu ka igale lambile sobivaima anoodpinge seadistamiseks.

Lahtisidestuskondensaatori mahtuvus peab olema seda suurem, mida madalam on lahti-

sidestamisele kuuluvate voolude sagedus ja mida väiksem on lahtisidestustakisti takistus. Kõrgsagedusvõimendites kasutatakse umbes 0,1-mikrofaradise mahtuvusega kondensaatoreid; sellest mahtuvusest piisab, sest sagedusel 1000 kHz (mis vastab lainepikkusele 300 m) on mahtuvustakistus kõigest 1,5 Ω . Madalsageduse puhul kasutatakse lahtisidestamiseks kondensaatoreid mahtuvusega umbes 20 μF ; nii suur mahtuvus pole üldse liigne luksus, sest tema takistus sagedusel 50 Hz on 150 Ω .

Lahtisidestusahelate montaaž

Lahtisidestusahelate elemendid tuleb monteerida vastavale lambile ja sidestusahelale võimalikult lähedale, et vahelduvkomponendid saaksid katoodile tagasi pöörduda lühimat teed pidi.

Praktikas ühendatakse lahtisidestuskondensaatorid tavaliselt mitte katoodiga, vaid anoodtoiteallika negatiivse poolusega, mis sunnib vahelduvkomponenti katoodile suundumisel minema ühtlasi ka läbi katoodtakistiga rööbitise kondensaatori. Seda ei saa õigupoolest soovitada, sest kahe järjestikuse kondensaatori kogumahtuvus on tingimata väiksem kasutuseloleva väiksema mahtuvusega kondensaatori mahtuvusest. Kuid nii toimatakse siiski sel põhjusel, et väga hõlbust on ühendada kõik anoodtoiteallika negatiivsele poolusele suunduvad juhtmed jämeda ühise maandusjuhtmega või metallsassiiga; eelistada tuleb muide ikkagi esimest võimalust. Meenu-tame, et poolide, lampide ja juhtmete varjed peavad samuti olema ühendatud raadioseadme šassiiga (korpusega).

Olles näidanud, millist kasu toovad lahtisidestusahelad, märgime, et paljud vastuvõtjad töötavad paremini... lahtisidestusahelatega. See seletub asjaoluga, et parasiitsidestused võivad põhjustada võimendust soodustava polaarsusega tagasisidestuse, mille tugevus ei küüni lülituse viimiseks genereerimise piirini. Just sel põhjusel esineb juhtumeid, kui odaval vastuvõtjal, milles kokkuhoiu kaalutlustel on lahtisidestusahelatest loobutud, on väga hea tundlikkus. Siiski ei tohi see peaaegu paradoksaalne tõik lahtisidestusahelate ostarbekust kahtluse alla seada. Ikkagi on parem saada tagasisidestuse peremeheks ja kasutada seda teadlikult seal, kus temast on kasu, kui ei jätta tagasisidestuse toime iseloomu määramine juhuse hooleks.

Kuni käesoleva ajani välfis Targaste teadlikult vastuvõtja toitega seotud küsimusi. Ta kõneles kütte- ja anoodvoolu allikatest, täpsustamata nende omadusi. Täna tutvub Huviste vahelduvvoolu alaldamise ja filtreerimisega. Samuti vaadeldakse vastuvõtja toitmist alalisvooluvõrgust, nii et toitega seotud küsimused lakkavad olemast ka lugeja jaoks saladused.

15.

VESTLUS

TOITE PROBLEEMID

Huviste: Mõnikord näib, et sarnanen ränduriga kõrbes, kes kannatab janu ja ajab taga petlikke miraaže. Mullu näis meie viimase vestluse ajal, et ometi kord saan täieliku ja lõpliku vastuvõtja skeemi. Kuid koju pöördununa ma konstateerisin kurbusena, et meie vaadeldud skeemis siiski puudub midagi.

Targaste: Mis siis, mu vaene Huviste?

H.: Väga oluline osa — toide, mida sa seni lihtsalt oled tähistanud U_a . Ega see pinge ei saabu meile välgu näol taevast!

T.: Sul on õigus, kuid võid alati eeldada, et toidet võetakse galvaanielementide patareist või akumulaatoritest.

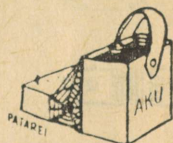
H.: Ega's ma sellist võimalust ei eitagi. Tean hästi, et juba ammu kasutatakse patareisid ja akusid väikestes kantavates vastuvõtjates ning samuti raadioseadmetes, mis on ette nähtud kasutamiseks kaugetes elektriitseerimata rajoonides. Kaasaegsete raadiovastuvõtjate enamik on ikkagi arvestatud toitmiseks elektrivõrgust.

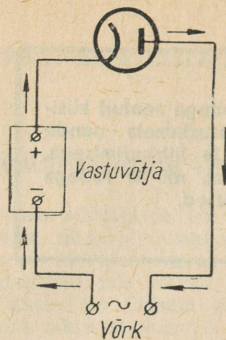
Mulle pole kõik selge — enamikus kohtades on elektrivõrkudes vahelduvvool, ja siiski kasutatakse seda lampide anoodahtlate toiteks.

T.: See on võimalik tänu vahelduvvoolu eelnevalt toimuvale alaldamisele. *Alaldada* vahelduvvoolu — see tähendab takistada tema voolamist kahes suunas ja sundida teda voolama ainult ühes suunas.

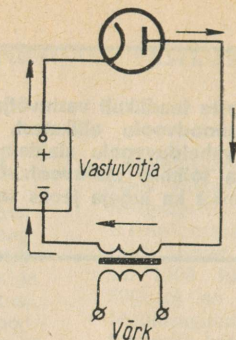
H.: Uhesõnaga, alaldamine on midagi detekteerimise taolist?

T.: Jah. Kuid kui detekteerimise puhul toimub moduleeritud kõrgsagedussignaali muundamine madalsageduspingeks, siis alaldamise puhul on meil tegemist tööstusliku, 50-hertsise sagedusega vahelduvvooluga ja lisaks peab alaldatud vool olema küllalt tugev (mitukümmend milliamprit). On iseenesest mõistetav, et alaldamiseks kasutatavate lampdiodide elektroodid peavad olema suuremad kui detektordiodi elektroodid. Sellist diodi nimetatakse mõnikord *kenotroniks* ehk alalduslambiks. Praegusaial on raadiovastuvõtjates anoodtoitevoolu alaldamiseks üldkasutatavad mitte lampdiodid, vaid samaotstarbelised pooljuhtseadised.

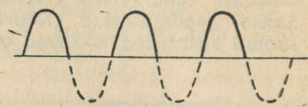




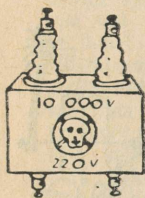
Joonis 80. Lihtsai-
ma alaldi skeem.



Joonis 81. Pinge-
tõstmistrafoga alaldi
skeem.



Joonis 82. Täisjoonega on
kujutatud joonistel 80 ja 81
kujutatud skeemide kohaselt
alaldatud voolu positiivsed
poolperioodid, kriipsjoonega
— negatiivsed poolperioodid,
mis ei läbi alaldusdiodid.



H.: Tähendab, et võrgust saadava voolu alaldamiseks piisab, kui asetada selle teele diodid; elektronid võivad liikuda ainult katoodilt anoodile ja mitte vastupidi.

T.: Õige. Kenotron (joonis 80) võib olla ahelasse ühendatud kas positiivse või negatiivse klemmi poolt, s. o. kas elektronide sisenemis- või väljumiskohal. Oluline on teha seda nii, et elektronide liikumissuund (joonistel tähistatud nooltega) vastaks nende liikumissuunale võimenduslampides katoodidelt anoodidele.

ETTEVAATUST!... KÕRGEPINGE!

H.: Kardan, et niiviisi saadud toitepingest ei piisa. Olemasolevast elektrivõrgust võime saada ainult kas 127 või 220 V. Kuid sa rääkisid, et mõned lambid vajavad mitmesaja voldist anoodpinget. Mida ma siis saan teha oma 127 voldiga?...

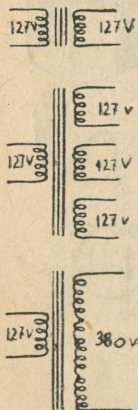
T.: Sul ei õnnestu isegi nii kõrget pinget kasutada, sest alalduslambis läheb pingelanguna kaduma osa pingest; on ju temal teatav sisetakistus. Niiviisi sa küll kaugele ei jõua... Õnneks on meie käsutuses väga lihtne abinõu, mis võimaldab võrgu vahelduvpinget soovitud vahekorras suurendada.

H.: Milline imevahend see siis on?

T.: See on meie vana tuttav — trafo. Oleta, Huviste, et kasutame trafot, mille primaar- ja sekundaarmähisel on võrdsed keerdude arvud. Kui sellise trafo primaarmähisele rakendada 127-voldine pinge, siis milline pinge ilmub sekundaarmähise otstel?

H.: Oletan, et samasugune, sest mähiste keerdude arvud on võrdsed.

T.: Õige. Nüüd oletame, et trafo on valmistatud mitme, näiteks kolme sekundaarmähisega, millest igal on samasugune keerdude arv kui primaarmähisel. Andes primaarmähisesse 127 V,



saame igast sekundaarmähisest samuti 127 V. Nüüd ühendame kolm sekundaarmähist järjestikku nii, et üks osutuks teise jätkuks. Kõikide mähiste pinged liituvad ja esimese sekundaarmähise alguse ning kolmanda lõpu vahel saame pinge, mis võrdub 380 V.

H.: Sealjuures osutuvad kolm sekundaarmähist tegelikult ühiseks mähiseks. Ja selleks, et näidata, et ma pole induktsooniseadusi unustanud, teen järelduse, et trafo suudab tõsta (või kahanendada) pinget nii mitu korda, kui mitu korda tema sekundaarmähise keerdude arv on suurem (või väiksem) primaarmähise keerdude arvust.

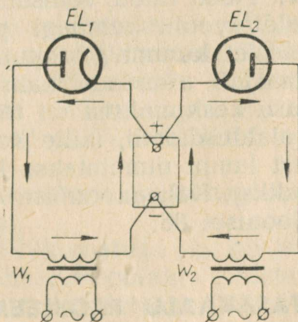
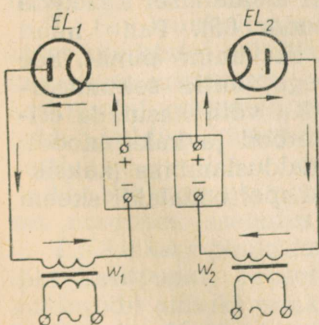
T.: Noh, Huviste, õnnitlen sind, sa vastasid just nagu füüsikatuunis ja õigustasid täiesti oma hüüdnime.

Niiviisi määrasime kindlaks, et trafo kasutamisega saab enne aldamist pinget kõrgendada (joonis 81). Nõutavast pingest sõltuvalt valime primaar- ja sekundaarmähise keerdude arvude vajaliku suhte ehk trafo ülekandeteguri.

VAHELDUVVOOLU KASUTUTE POOLPERIOODIDE KASUTAMISE MEETOD

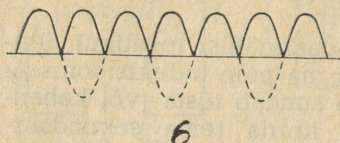
H.: Kuid kõige selle juures on olemas veel üks mind häiriv asjaolu. Vahelduvvoolu igas perioodis on kaks erineva polaarsusega poolperioodi, kuid nendest kasutame ainult üht (joonis 82). Kas pole mingit seadet, mis lubaks vastuvõtja toiteks kasutada ka vahelduvvoolu teist poolperioodi, andes talle nõutava suuna?

T.: Jah, niisugune seade on olemas, selleks on niinimetatud *täisperiodalaldi*. Selle saame, kui kasutame kaht omavahel sarnast toiteseadet, mille skeem oli joonisel 81. Asetades need kõrvuti (joonis 83), näeme, et kummagi alaldi poolt toidetavates koor-

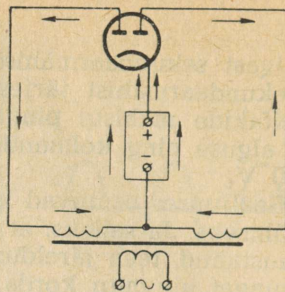


Joonis 83. Kaks alaldi, mis on joonisel 81 kujutatud skeemiga analoogilised; kumbki kasutab vahelduvvoolu ühesuunalisi poolperioode.

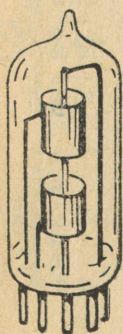
Joonis 84. Joonisel 83 kujutatud alaldis toidavad ühist tarbijat, alaldades vahelduvvoolu mõlemaid poolperioode.



Joonis 85. Täisjoonega on kujutatud voolu kuju täisperioodalaldamisel; kriipsjoonega on kujutatud ühe alaldi poolt tõkestatud, kuid teise poolt alaldatud poolperiood.



Joonis 86. Kaks alaldusdiiodi skeemis joonisel 84 on asendatud üheainsa, kuid kaht anoodi sisaldava lambiga — kaksikiidodiiga.



mustes (s. t. vastuvõtjates) on vool samasuunaline. Järelikult võib kasutada ühe vastuvõtja toitmiseks korraga kumbagi alaldi (joonis 84). Niisugusel juhul alaldab kumbki kenotron vahelduvvoolu kahest poolperioodist ühte. Sa võid nüüd ise kergesti jälgida voolu teekonda kummagi poolperioodi puhul.

H.: Oletame, et vahelduvvoolu esimese poolperioodi ajal lähevad elektronid sekundaarmähise keerdukes w_1 vasakult paremale. Läbinud vastuvõtja ja lambi EL_1 , pöörduvad nad tagasi mähisesse w_1 . Mähise w_2 elektronid ei saa läbida, sest selleks peaksid nad läbima lampi EL_2 anoodilt katoodile; see on aga nende keelatud suund.

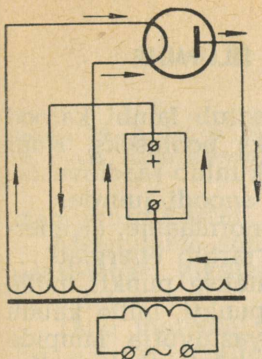
Järgmisel poolperioodil ei läbi elektronid mähise w_1 , sest nad ei saa siirduda alaldusdiiodis EL_1 anoodilt katoodile. Kuid nad läbivad vabalt mähise w_2 (paremalt vasakule), vastuvõtja ja alaldusdiiodi EL_2 , kusjuures voolu suund vastuvõtjas osutub samasuguseks nagu esimeselgi poolperioodil.

T.: Näed nüüd, selliselt õnnestubki meil aldamisel kasutada vahelduvvoolu kumbagi poolperioodi (joonis 85). Pane nüüd tähele, et kummalgi sekundaarmähisel on üks ühine punkt. See võimaldab asendada kaks trafot üheainsaga, mille sekundaarmähise keskpunkti on tehtud väljavõtte. Ka võib kasutada erilist alaldusdiiodi, mille kolvis on ühine katood ja kaks anoodi. Sellist lampi nimetatakse kahe anoodiga alalduslambiks (kaksikiidodiiks). Kaheanoodilise alalduslambiga täisperioodalaldi skeem on joonisel 86.

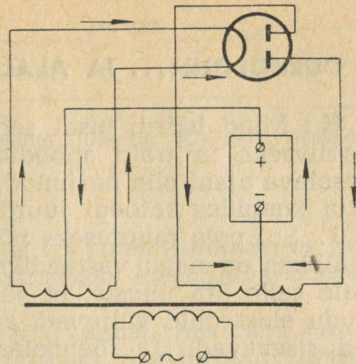
TASAKAALU PROBLEEMID

H.: Mil viisil kuumutatakse elektronide emissiooni saamiseks kenotronides kütteniiti või katoodi?

T.: Kütteniiti kuumutatakse madalapingelise (tavaliselt 6,3-vol-dise) vahelduvvooluga. Selleks võiks kasutada teist trafot, mis



Joonis 87. Joonisel 81 esitatud alaldi praktiline skeem (nooltega on näidatud alaldatud voolu suund).



Joonis 88. Joonisel 86 esitatud alaldi praktiline skeem (nooltega on näidatud alaldatud voolu suund).

madaldaks elektrivõrgu pinget tarviliku suuruseni. Siiski võetakse tavaliselt alalduslambi küttepinge spetsiaalsest väikese keerdude arvuga sekundaarmähisest, mis keritakse lisaks kõrgepingemähisele samale toitetrafole. Kuna alalduslambid peavad andma suhteliselt tugevat voolu, siis varustatakse need sageli otseküttega katoodidega. Sel juhul on kütteniit ise emiteerivate elektronide allikaks.

H.: Aga sel juhul kuumutatakse katoodi ikkagi vahelduvvooluga?

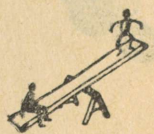
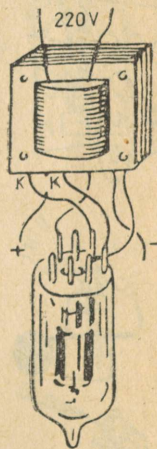
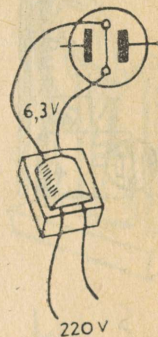
T.: Muidugi. Poolperioodalaldite (joonis 81) ja täisperioodalaldite (joonis 85) praktilised skeemid on kujutatud vastavalt joonistel 87 ja 88.

H.: Miks on nendes skeemides vastuvõtja ühendatud trafo küttemähise keskväljavõttega ja mitte vahetult kenotroni kütteniidiga?

T.: Kui kaudküttega kenotroni katoodi potentsiaal on selle kõikides punktides võrdne, siis potentsiaal vahelduvvoolust läbitud kütteniidi erinevates punktides muutub lakkamatult. Kütteniidi keskpunkti suhtes on selle otstel pidevalt muutuv pinge, mis näiteks 5-voldise küttepinge puhul on kord $+2,5$, siis jälle $-2,5$ volti.

H.: See meenutab mulle kiike, mille meisterdasin kunagi varases nooruses, asetades pingile lauajupi.

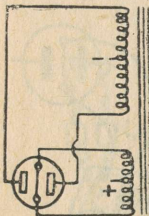
T.: Ainsaks punktiks, mis sinu kiigel liikumatuks jäi, oli lauajupi keskpunkt. Täpselt samuti on vahelduvvooluga toidetaval kütteniidil ainsaks punktiks, mille potentsiaal püsivaks jääb, selle keskpunkt. Kuid et kolvis asetseva kütteniidi keskpunktini on raske jõuda, ühendame koormuse küttemähise keskpunktiga. Potentsiaali seisukohalt on need kaks punkti ekvivalentsed. Muide, kaudküttega lampide kasutamisel aldis on kõrgepinge positiivseks pooluseks alalduslambi katood.



ODEKOLONN... JA ALALDATUD VOOLU SILUMINE

H.: Mind häirib pisut see, et alaldites osutub lambi katood positiivseks ja trafo anoodmähis negatiivseks pooluseks. Kuni käesoleva ajani olin harjunud, et miinusmärk kuulub raadiovastuvõtja lampides katoodi juurde ja plussmärk anoodi juurde.

T.: Sul pole rahunuks põhjust. Kas pole normaalne, et energiaallikas on nagu vastandiks seadmele, mis tarbib energiat? ... Peale selle ära unusta, et «anoodiks» nimetatakse punkti, mille kaudu elektronid väljuvad, aga «katoodiks» punkti, mille kaudu nad sisenevad. Ja tõepoolest, väljudes vastuvõtja lampide anoodidest, sisenevad elektronid alalduslambi katoodi, väljuvad selle anoodist ja sisenevad vastuvõtulampide katoodidesse. Nüüd sa näed, et kõik on õige.



H.: Muidugi. Vabanda, kuid täna on mul kange vasturääkimise himu ... Niisiis ütleksin, et alaldi (joonis 87 või 88) poolt toodetav vool on kaugel sellest meeldivast püsivusest, mis iseloomustab tõelist alalvoolu. Kuigi sinu alaldatud vool ei muuda suunda, muudab ta sellegi poolest pidevalt oma tugevust.

T.: Kahtlemata, kui sa tahad kasutada seda sellisel töötlemata kujul ja annad selle vastuvõtulampidesse, hakkab nende anoodvool samuti toitevoolu neid muutusi järgima ja tulemuseks on kohutav pörin valjuhääldajas.

H.: Kuid tõenäoliselt leidub ka vahend, millega saab alaldatud voolu tõepoolest alaliseks muuta?

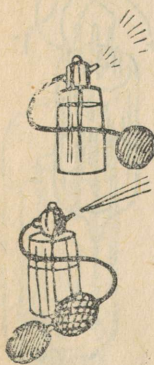
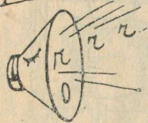
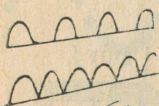
T.: Loomulikult. See saadakse silumise, või nagu ka öeldakse, *filtreerimise* teel. Alaldatud, kuid silumata voolu saab võrrelda lihtsamat tüüpi (ühe ballooni) pulverisaatorist väljuva kõlmi vee joaga. Tänu klappidele tekitab ballooni vahelduv pigistamine ja vallandamine pulverisaatorist väljuva katkendliku ühesuunalise joa.

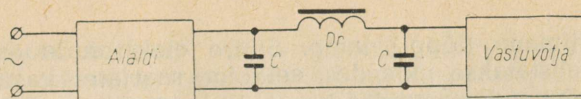
H.: Kuid see on samuti alaldamine!

T.: Jah ... Kuid täiuslikumates pulverisaatorites väljub kõlmi vesi pideva joana tänu teisele ballooni, mis asetseb esimese järel. Õhukesest ja elastest kummist teine balloon täitub ning paisub, kui saab esimesest ballooni teatava õhukoguse. Seejärel, kui kokkumuljutud esimene balloon vallandada ja see imeb läbi sisselaskeklapi enesesse uue õhukoguse, tõmbub teine balloon aegamisi kokku ja surub oma sisemusse salvestunud õhu pulverisaatorisse enam-vähem püsiva joana. Teine balloon toimib seega kogumisanumana. Kas ei meenu sulle miski, mis elektriskeemides toimib samalaadselt?

H.: Kondensaator! ... See on samuti suuteline laaduma ja tühjenema.

T.: Just kondensaatorit kasutamegi filtreerimisel. Ühendades alaldi positiivse ja negatiivse pooluse vahele kondensaatori, ühtlustame voolu. Siiski ei tarvitse ühest kondensaatorist, isegi suure





Joonis 89. Alaldi ja vastuvõtja vahele asetatud filterlüli (C-Dr-C) ülesandeks on siluda voolu pulseerimist.

mahtuvuse korral, jätkuda.

Meenutame siin aurumasinates ja sise põlemismootorites kolvi edasi-tagasi liikumise ebaühtluse silumiseks kasutatava hooratta põhimõtet.

Tänu inertsile ühtlustab hooratas liikumist. Kas tead elektrilist suurust, mis inerts sarnaselt takistaks elektrivoolu muutusi?

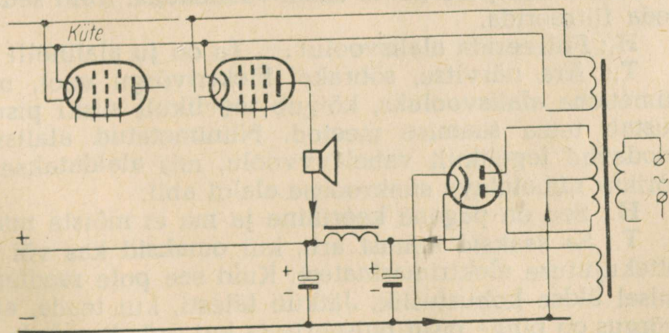
H.: Loomulikult, selleks on induktiivsus.

T.: Väga hea. Järelikult asetamegi alaldatud voolu teele suure induktiivsusega pooli. Kuna siin on tegemist väga madala sagedusega, on see pool mähitud raudsüdamikule. Pooli taga varustame filtri väljundi (joonis 89) teise kondensaatoriga, mis lõpetab silumise. Muide, kui vajatakse väga põhjalikku filtreerimist, võib kasutada kaht või kolme filterlüli sarnaselt joonisel 89 kujutatuga, ühendades need järjestikku. Siiski jätkub tavaliselt ka ühest lülist selleks, et alaldatud vool ei tekitaks valjuhääldajas põrinat (võrgumüra).

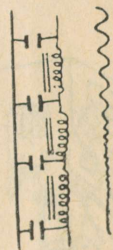
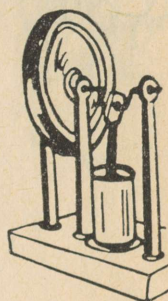
H.: Viimane küsimus. Kuidas kuumutatakse vastuvõtja lampide kütteniite? Arvan, et samuti vahelduvvooluga.

VIIMAST KORDA KÜTTEST

T.: Jah, sa ei eksi. Selleks on toitetratfole asetatud veel üks madalapingeline mähis, mille voolu ülesandeks on kuumutada lampide kütteniite (joonis 90). Tavaliselt on kõikidel lampidel kaudküttega katoodid, erandiks oli siin omaaegsetes vastuvõtjates



Joonis 90. Skeem vastuvõtja täielikuks toitmiseks vahelduvvooluvõrgust: kütteniite toitmine, kõrgepinge aldamine kaudküttega kahe anoodiga alaldusdiodi abil ning filtreerimine.



viimane (lõpp-) lamp. Suure elektronide emissiooni saamiseks eelistatakse mõnedes, eelkõige saatjates kasutatavates võimsates viimenduslampides kasutada katoodina vahetult kütteniiti.

H.: Aga kuidas saab niisugusele lambile eelpinget anda?

T.: Samal viisil nagu kaudküttega lampidelegi, andes katoodi ja anoodtoiteallika negatiivse pooluse vahele ühendatud takisti abil katoodile võre suhtes positiivse pinge. Ainult et siin katoodi potentsiaal vahetpidamatult muutub ja seepärast tuleb eelpingestustakisti üks ots ühendada mitte kütteniidi ühe otsaga, vaid toite-
trafo küttemähise keskpunktiga.

Noh nii, Huviste, nüüd tead sa vastuvõtjate toitmise kohta kõike vajalikku.

HUVISTE TEEB ANDESTAMATU VEA

H.: Ma pole sellega päri. Pean sulle ütleva, et mul on kunstnikust-humoristist onu, kellele lubasin valmistada vastuvõtja, mille toiteks saab kasutada 110-voldist alalisvooluvõrku.

T.: Saab kasutada! Sellest poleks palju kasu. Nimelt ei saa alalisvooluvõrgu puhul mõeldagi pinge tõstmisest, kui mitte kasutada vahelduvvoolugeneraatoriga kokkuliidetud elektrimootorit.

H.: Aga trafo? . . .

T.: Huviste! Su võhiklikkus sunnib mind punastama! Sa vae-
neke unustasid, et trafo töötab induktsiooni põhimõttel ja et indu-
seerimist võib täheldada ainult voolu muutuste korral.

H.: Jah õigus, sellele ma praegu ei mõelnud. Järelikult pole
trafost alalisvoolu puhul mingit kasu. Kuid kuidas siis toimida?

T.: Tuleb rahulduda olemasoleva pingega, vähendades võima-
luse piires pingekadusid. Õnneks on selliseks juhuks olemas
spetsiaallambid, mis isegi 100-voldise anoodpinge juures tööta-
vad päris hästi, ja samuti pooljuhtseadised. On pikemata selge,
et alalisvoolu pole tarvis enam «alaldada». Kuid seda enam tuleb
teda filtreerida.

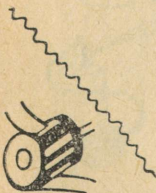
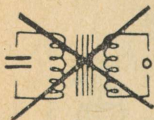
H.: Filtreerida alalisvoolu! . . . Ta on ju alaline!!!

T.: Ära närvitse, sõbrake. Elektrivõrgu vool, mida me küll
nimetame alalisvooluks, kõigub tegelikult siiski pisut. Seda põh-
justab tema saamise meetod. Niinimetatud alalisvoolumasinad
toodavad tegelikult vahelduvvoolu, mis alaldatakse «kommutaa-
toriks» nimetatava sünkroonse alaldi abil.

H.: See on pagana keeruline ja ma ei mõista midagi.

T.: Sa saaksid minust aru, kui omaksid kas või elementaarse
ettekujutuse elektrimasinatest. Kuid see pole raadiotehnika õppi-
misel üldse kohustuslik. Jätkub täiesti, kui teada, et alalisvoolu-
võrgus on pinge pisut pulseeriv ja kui seda kasutada lambi anood-
ahela toitmiseks, tuleb kasutada filtrit, mis on analoogiline joonisel
89 kujutatuga.

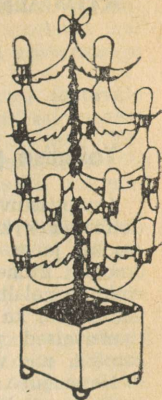
H.: Jah, kuid kuidas toimida küttega?



T.: Selles suhtes on alalisvool vähem paindlik kui vahelduvvool. Kuna puudub võimalus pinget madaldamiseks trafo abil, võib kasutada eeltakistit, millel tekitatakse pingelang. Täpselt väljaarvutatud takistusega takistites hävitatakse pinget ülejääk. Muide, alalisvoolukütte puhul kasutatakse lampe, millede kütteniidid on arvestatud mõnekümne-voldisele pingele. Pealegi saab nende lampide kütteniidid ühendada järjestikku. Näiteks vajavad viis lampi, milledest igaüks peab saama 20-voldise pinget, järjestikühenduse puhul juba 100 V. Nii võib ilma kartuseta neid kütta 110-voldisest elektrivõrgust, mida kasutab su onu.

H.: Täheleb see on sama põhimõte, mida kasutatakse näri-puu girkandi valmistamisel järjestikku ühendatud madalapingelisest valgustuslampidest.

T.: Muidugi. Kas nüüd, Huviste, kui olen sind pühendanud kõikidesse vahelduv- ja alalisvooluvõrkudest toitmise saladustesse, võin puhkama minna?...



KOMMENTAARID VIIETEISTKÜMNENDALE VESTLUSELE

Toitmise probleem

Lampvastuvõtja toitmiseks vajatakse kaht toiteallikat: kõrgepingelist, mis annab anoodvoolu, ja madalapingelist, mis annab küttevoolu. Esimesel peab olema 100...250-voldine alalispinge. Lampe saab kütta nii alalis- kui ka vahelduvvooluga, välja arvatud spetsiaalsed patareivastuvõtjates kasutatavad lambid, mis vajavad alaliskütet.

Nagu juba nägime, pole eelpeingestamiseks vaja kasutada iseseisvat toiteallikat, sest selleks tarvilik pinge saadakse anoodahelast — pingelanguna katoodaheleasse ühendatud takistil.

Jätame kõrvale patareivastuvõtja, kus kõik tarvilikud toitepinged saadakse patareidest või akudest ja kus kasutatakse otseküttetega lampe, mis tarbivad väga väikest voolu pingel 1,2 kuni 1,4 V.

Toide vahelduvvooluvõrgust

Kõige levinumad on vahelduvvooluvõrgust toidetavad vastuvõtjad. Nendel on pistikuga (kontaktkahvliga) varustatud juhe, mille kaudu juhitakse pinge seinakontaktist läbi vastuvõtja toitelüliti selle toitetraffosse. Täiesti mõistlikust ettevaatusest tuleb järjestikku sellesse ahelasse paigutada sulavkaitse, mis juhusliku lühise puhul põleb läbi ja katkestab voolu.

Trafo primaarmähis võib olla väljavõtetega, et aparati saaks kasutada erinevatel võrgupingetel (127 või 220 V). Tavaliselt on toitetrafo kolm sekundaarmähist: võimenduslampide kütteks, aladuslambi (kenotroni) kütteks ja alaldatava kõrgepinge saamiseks. Sageli varustatakse kõik need kolm mähist keskväljavõtetega. Uuemates vastuvõtjates on kenotron asendatud pooljuhtdiodidest ventiihiga, mis kütet ei tarbi. Siis piisab kahest sekundaarmähisest.

Lampalaldiga raadiovastuvõtjates kasutatakse peaaegu alati kahe anoodiga kenotrone; kui soovitakse alaldada ainult üht poolperioidi, võib selle mõlemad anoodid kokku ühendada, muutes need ühiseks suuremaks anoodiks. Varasemal ajal oli kenotronide küttepinge 4 või 2,5 V. Kaasajal on kenotronide enamiku küttepinge 5 või 6,3 V. Uha

enam kasutatakse kaudküttega kenotrone. Nende puhul saab kõrgepinge võtta vahetult katoodilt (ja mitte kenotroni küttemähise keskpunktist).

Kõrgepingelise voolu (anoodvoolu) saamiseks kasutatava sekundaarmähise otsad on ühendatud kenotroni anoodidega ja selle mähise keskpunkt on alaldatud pinge negatiivseks pooluseks. Silmapaari vahele ei tule jätta, et kenotronide anoodidele vaheldumisi antav pinge võetaks ainult mähise vastavalt poolelt, aga mitte tervelt mähiselt. Nii näiteks sekundaarmähise 600-voldise kogupinge puhul alaldatakse 300-voldist pinget; seepärast ei tule siis ka taga otsida alaldatud 600-voldist pinget.

Toitetrafole tootjatel on meeldiv harjumus talitlusandmetes tähistada mitte ainult sekundaarmähiste pingeid, vaid ka voole. Viimaste tõlgendamisel ei tule eksida: need pole voolud, mida mähised igasugustel juhtudel annavad, vaid ainult piirväärtused, mida ei tohi ületada, et mitte põhjustada trafo ebanormaalselt kuumenemist. Mida jämedam on mähise traat ja järelikult mida väiksem on selle takistus, seda suuremat voolu võib saada märgatava kuumenemiseta. Igas üksikus mähises esineva voolu määramiseks tuleb arvutada sellega ühendatud ahela kogutakistus ja kasutada Ohmi seadust.

Silumisfilter

Alaldatud vool on küll ühesuunaline, kuid ta pole veel alalisvool selle sõna otseses mõttes. Enne kui seda saab kasutama hakata, tuleb teda eelnevalt filtri abil siluda. Filtreerimise eel võib seda voolu vaadelda kahe komponendi — alalise ja vahelduva — summana. Sel juhul taandub silumisfiltri ülesanne sellele, et lasta vabalt läbi alaliskomponenti ja täielikult tõkestada vahelduvkomponenti.

Lahtisidestusahelate vaatlemisel kohtusime juba analoogilise probleemiga. See seisneb vahelduvkomponentide lühise loomises läbi kondensaatori ja teise tee tõkestamises induktiivtakistuse abil, mis laseb läbi ainult ala-

liskomponendi. Sellise takistusena kasutatakse suhteliselt väikese aktiivtakistusega järjestikust paispooli (kõige lihtsamates vastuvõtjates kasutatakse selle asemel tavalist takistit). Vahelduvkomponendi ärajuhtimiseks kasutatav kondensaator ühendatakse alaldi väljundiga rööbiti. Ja lõpuks paigutatakse filterahela väljundisse teine kondensaator, mille ülesanne on lämmatada vahelduvkomponendi jäägid, mis siiski võivad paispooli läbida (joonis 89).

Kui tuleb alaldatud voolu eriti hoolikalt siluda, võib ühendada järjestikku kaks filterlüli; kaks keskmist kondensaatorit võib asendada üheainsaga (selle kondensaatori mahtuvus peab olema kummagi välise kondensaatori mahtuvusest kaks korda suurem).

Kuna vahelduvkomponendi sagedus on väga madal (50-hertsise sagedusega toitevõrgu puhul on selle sagedus 100 Hz, sest alaldamisel saame iga perioodi asemel vastavalt poolperioodide arvule kaks voolu muutumist), peavad silumisfiltri induktiivsused ja mahtuvused olema suhteliselt suured. Mõnekümnehenrise induktiivsusega paispoolid valmistatakse terassüdämikele mähituna. Kondensaatorite mahtuvused on mõnikümned mikrofaradit ja seepärast tuli tavalise dielektrikuga, näiteks parafineeritud paberiga kondensaatoritest loobuda nende lubamatult suurte mõõtmete pärast. Siin kasutatakse eritüüpi kondensaatoreid, mida nimetatakse *elektrolüüt-kondensaatoriteks*.

Elektrolüüt-kondensaatorid

Vanemad elektrolüüt-kondensaatorid sisaldasid vedelikku või taigasarnast massi, mida nimetatakse *elektrolüüdiks*. Elektrolüüt on nendes kokkupuutes suhteliselt väikesepinnalise alumiiniumplaadiga.

Pinge rakendamisel elektrolüüdi ja alumiiniumi vahele (viimane ühendatakse toiteallika positiivse poolusega) hakkab elektrolüüt otsekohe lagunema, mille tulemusel alumiinium kattub dielektrikuna toimiva keemilise ühendi kihiga ja vool katkeb. Selle kihil paksum on väga väike (umbes tuhandik millimeetrit!) ja siit saabki mõistetakse, miks sellise kondensaatori mahtuvus, mille «plaatidena» toimivad alumiinium ja elektrolüüt, on suur.

Märgime, et erinevalt seni vaadeldud kondensaatoritest on elektrolüüt-kondensaatoritel kindel polaarsus: alumiiniumplaat tuleb tingimata pingestada positiivselt. Polaarsuse muutmisel kondensaator rikneb.

Järelikult ei tule sellist kondensaatorit kasutada puhta vahelduvpingega ahelates (kui sellele ei lisandu suurem sobiva polaarsusega alalispinge).

Iga kondensaator on arvestatud teatavale maksimaalsele talitluspingele, mis on tehases märgitud kondensaatorile; seda ei tohi ületada. Elektrolüüt-kondensaatori mahtuvus sõltub teataval määral pingest ja selle suurenemisel pisut väheneb.

Kas või hetkelise ülepinge toimel läbib kondensaatori dielektrikiikihti säde ja see kaotab isoleerivad omadused. Nii kujuneb plaatide vahel enam või vähem ilmne lühis ja kondensaator rikneb.

Elektrolüüt-kondensaatoritel on tavaliselt metallkest, mis moodustab ühenduse elektrolüüdiga. Negatiivne poolus ühendatakse elektrolüüt-kondensaatori kestaga. Elektrolüüt-kondensaatoreid kasutatakse mitte ainult alaldite silumisfiltrites, vaid ka madalsagedusahelate lahtisidestusfiltrites ja eriti just eelpingestustakistite sildamiseks.

Kütteniidi kuumutamine

Kui varem oli Euroopas üldiselt kasutusel küttepinge 4 V (ja Ameerikas 2,5 V), siis nüüd on mõlemad kontinendid jõudnud kokkuleppele ja võtnud üldise standardina kasutusele vahelduvvoolu küttepingsiks 6,3 V. Selle kõrval kasutatakse suurt hulka lampe, millede küttepinged on erinevad ja küünevad kuni 110 voldini (sel viisil välditakse pinget madaldava kütetrafo vajadus).

Vahelduvvooluvõrgust toidetavates vastuvõtjates ühendatakse lampide kütteniidid vahetult trafo küttemähisega.

Hoopis teisiti peab see olema vastuvõtja toitmisel alalisvooluvõrgust. Seoses sellega, et niisugusel juhul ei saa kasutada trafot, mis kahandab suhteliselt kõrge võrgupinge millise väärtuseni tahes, tuleb lampide kütteniidid ühendada järjestikku (loomulikult on siis tarvis, et kõikide lampide normaalsed küttevoolud oleksid võrdsed). Sel juhul kasutatakse mitte ainult 6,3-voldise, vaid ka kõrgema küttepingega lampe, eriti just lõppastmes — need lambid vajavad kõige kõrgeimat küttepinget. Kui lampide küttepingete summa osutub võrgupingest väiksemaks, tuleb selle ülejääk hävitada eeltakistis.

Nii näiteks viielambiline vastuvõtja, milles neli lampi on küttepingega 6,3 V ja üks lamp 25 V, vajab järjestikku ühendatud kütteniitide jaoks $6,3 \cdot 4 + 25 = 50,2$ V. Kui võrgupinge on 127 V, tuleb eeltakistis hävitada umbes 80 V. Selleks vajatava takisti

takistus 0,3-amprise küttevoolu puhul on Ohmi seaduse kohaselt $80:0,3 = 267 \Omega$.

Loomulikult hävib sel juhul rohkem kui pool võrgust võetavast energiast takistis soojusena ja vastuvõtja osutub väheökoonoomseks. Siiski on see ainus võimalus vähese paindlikkusega alalisvooluvõrgu kasutamiseks raadioseadmete toiteallikana.

Vastuvõtja toitmise alalisvooluvõrgust

Alalisvooluvõrgust töötavate vastuvõtjate¹¹ lampide anoodahelate toiteks pole täiesti põhjendatult tarvis voolu alaldada. Kuid silumisfilter on vajalik siingi, sest võrgu alalispinge pulseerib pisut. See nõrk vahelduvkomponent on hea filtriga hõlpsalt kõrvaldatav.

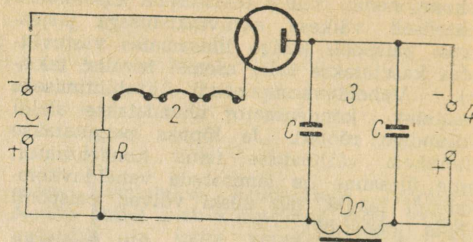
Et alalisvooluvõrgu pinget ei saa trafo abil tõsta, tuleb hoolitseda selle eest, et pingelang silumisfiltri paispoolis oleks võimalikult väike, muidu osutub lampidele antav anoodpinge liiga madalaks. Seepärast valmistatakse alalisvooluvõrgu pinge pulseerimist kõrvaldava filtri paispooli mähis aktiivtakistuse vähendamiseks suhteliselt jämedast traadist, kasutatakse väikest keerdude arvu ja kompenseeritakse sellest põhjustatud induktiivsuse vähenemine suurema mahtuvusega kondensaatorite abil. Näiteks kasutatakse talitluspingetel umbes 110 V elektrolüüt-kondensaatoreid, millele mahtuvused ületavad 100 μF .

Universaaltoitega vastuvõtjad

Kui pidasime otstarbekaks vaadelda alalisvooluvõrgust toidetavate vastuvõtjate ehitust küllaltki üksikasjalikult, siis mitte nende laialdase leviku pärast. Selliseid vastuvõtjaid valmistatakse harva. Tunduvalt rohkem on levinud universaaltoitega vastuvõtjad¹², mida

¹¹ Nõukogude Liidus alalisvooluvõrke ei kasutatud ja seetõttu ei toodeta ka laiatarbelisi alalisvooluvõrgust toidetavaid raadiovastuvõtjaid. — Tõlk.

¹² Laiatarbelisi universaaltoitega lampvastuvõtjaid Nõukogude Liidus enam ei toodeta; kui meil kõneldakse universaaltoitega vastuvõtjast, -magnetofonist vms., siis mõistetakse selle all seadet, mida saab toita soovi kohaselt kas vahelduvvooluvõrgust või sisse paigutatavatest kuivelementidest või hermeetilistest (õhukindlastest) pisiakudest. — Tõlk.



Joonis XIV. Universaaltoitega vastuvõtja toitmise skeem: 1 — toitevõrk; 2 — lampide kütteniidid; 3 — silumisfiltrid; 4 — alaldatud anoodpinge.

võib ühendada nii vahelduv- kui alalisvooluvõrku. Sellised vastuvõtjad erinevad konstruktsioonilt vähe alalisvooluvõrgust toidetavast vastuvõtjatest.

Universaaltoitega vastuvõtjates ühendatakse lampide kütteniidid samuti järjestikku, kusjuures ahelasse lülitatakse eeltakisti.

Anoodide toiteahelas (joonis XIV) peab võrguvool enne filtreerimist läbima ühe anoodiga. (või kahe kokkuühendatud anoodiga) alaldusdiodi.

Vastuvõtja toitmisel vahelduvvooluvõrgust alaldatakse toitepinge ühesuunalised poolperioodid, kõik ülejäänud toimub nagu normaalses vahelduvvooluvõrgust toidetavas seadmes. Alalisvoolu puhul võib esineda kaks juhtumit. Kui ühendada vastuvõtja toitejuhtme pistik seinakontakti nii, et alaldusdiodi katood osutub selle positiivse poolusega ühendatuks, siis vool ei saa alalduslampi läbida ja vastuvõtja vaikib. Õigesuunalise ühendamise korral läbib vool alaldusdiodi takistamatult ja pidevalt, jagades niiviisi vahelduvvoolu saatust, kuigi ta ei vaja alaldamist.

Märgime samuti, et alalisvoolutoitega ja universaaltoitega vastuvõtjate skeemidetailid on võrguga vahetus ühenduses, sest nendes ei ole tavalist eraldavat vahelüli — trafot, mille sekundaarmähistel puudub primaarmähisega vahetu elektriline kontakt. Kuid elektrivõrgul võib maa suhtes olla küllaltki suur potentsiaal. Seepärast võib taolisi vastuvõtjaid maandada ainult läbi väikese mahtuvusega kondensaatori, mis laseb vabalt läbi antenni kõrgsagedusvoolu, kuid tõkestab võrgu ohtlikku lühistumist maandusega ühendusse sattumise läbi. Samuti tuleks hoiduda sellise lülituse ühendusi puudutamast, kui nad on pingestatud. Hoidu surmavast elektrilöögist!

Selles vestluses asuvad me sõbrad uurima sageduse muundamise põhimõtteid, mida kasutatakse «superheterodiinideks» nimetatavates vastuvõtjates. Selle vestluse algus nõuab nii Huvistelt kui ka lugejatelt püsivat tähelepanu. Niipea kui see kriifiline moment on selja taha jäänud, pole enam midagi lihtsamat edasiste skeemide mõistmisest, kaasa arvatud isegi oktodi ja heptodi kasutamine.

16.

VESTLUS

HUVISTE VIIB OMA NAABRI RAEVUTSEMISENI

Huviste: Ma ei soovi omandada märtri kuulsust, armas Targaste, kuid sellele vaatamata näib mulle, et olen teaduse ohver.

Targaste: Miks siis, mu vaene Huviste?

H.: Just praegu kohtasin kodust väljudes trepil naabrit, kes vihaseks lubas mul kõrvad tuliseks teha, kui veel kas või üks kord minu süü läbi tema vastuvõtja peaks vilistama. Just nagu mina saaksin panna tema lustikummuti vilistama, laulma või nutma!!!

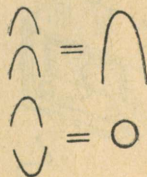
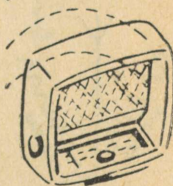
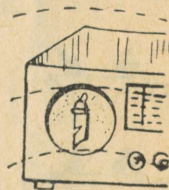
T.: Sa oled eksiarvamusel, Huviste. Su regeneratiivvastuvõtja (mis juba põhjustas mulle kibedaid etteheiteid su emalt) võib kõikide su naabrite raadiovastuvõtja tõe poolest vilistama panna. Küllaldane on ületada endaergutuspiir, et regeneratiivvastuvõtja muutuks tõeliseks väikeseks saatjaks.

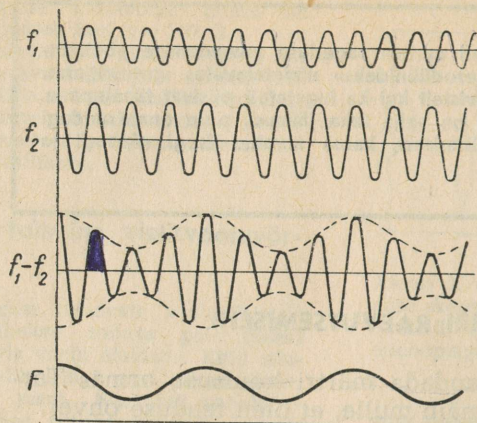
H.: Mis sa räägid? Kui isegi möönaksite, et teised vastuvõtjad võtavad vastu minu aparadi poolt kiiratavat lainet, ei peaks see tekitama mingit heli, kuivõrd see on puhas, moduleerimata kõrgsagedusvõnkumine.

T.: Jah, sinu vastuvõtja kiirgab tõe poolest moduleerimata kõrgsagedusvõnkumist. See ei oleks sinu naabri raadiovastuvõtja pärast detekteerimist kuulda, kui ta ei liituks nende saatjate kõrgsagedusvooludega, mida su naaber soovib kuulata. Kui kaks erinevate sagedustega vahelduvvoolu liituvad teineteisega, siis võib nende vahel märgata *interferentsi*- ehk *tuiklemisnähtust*; selle puhul just võibki moodustuda kuuldava sagedusega resulteeriv vool.

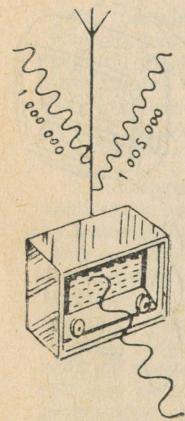
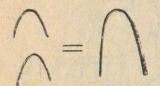
H.: See on veider. Mulle tundub, et kaks kõrgsagedusvoolu peaksid liitudes moodustama veelgi kõrgema sagedusega voolu.

T.: Kui soovid, siis vaatleksime seda küsimust põhjalikumalt. Oletame, et meil on kaks voolu, millede sagedused (ja järelikult ka perioodid) on pisut erinevad (f_1 ja f_2 joonisel 91), ja et mõlemad voolud algavad ühel ja samal hetkel. Algul nende amplituudid liituvad ja nad tugevnevad ühiselt. Kuid pärast teatavat hulka perioode suureneb faasinihe seevõrra, et amplituudid juba enam ei liitu, vaid, vastupidi, hakkavad lahutuma, sest voolud kulgevad juba peaaegu vastassuundades. Seega voolud kompenseeruvad





Joonis 91. Kahe võnkumise f_1 ja f_2 liitumisel tekib võnkumine $f_1 - f_2$, mis pärast detekteerimist annab voolu sagedusega F .



omavahel teatava miinumini, kui kummagi graafiku amplituudid on täpselt vastupidised. Seejärel jätkub faasinihke suuremine ja vähehaaval hakkab omavaheline kompenseerumine vähenema, kuni voolud hakkavad jällegi liituma, jõudes maksimumini sel hetkel, kui mõlemad voolud on jällegi täpselt koosfaasis. Seejärel algab kõik uuesti, sest faasinihke kahe erineva sagedusega voolu vahel muutub vahetpidamata.

Sa näed, et resulteeriv vool on pulseeriv, s. o. selline, mille amplituudid suurenevad perioodiliselt teatava maksimumini ja kahanevad miinumini sagedusega, mis on tunduvalt madalam kummagi voolukomponendi sagedusest. Resulteeriva voolu detekteerimisel saaksime voolu sagedusega F , mis iseloomustab tuiklemise amplituudi muutumist (joonis 91). Resulteeriva voolu sagedus võrdub kummagi komponentvoolu sageduste vahega $f_1 - f_2$.

H.: Küll on see aga pagana keeruline! Ma katsun seda mõistma hakata konkreetse näite alusel. Oletame, et kaks aerutajat aerutavad pisut erinevas rütmis ega tõsta aerusid veest välja. Arvan, et nüüd tekib samuti tuiklemine. Niipea kui aerutõmbed ühtivad, hakkab nende pisike paat energiliselt edasi liikuma. Seejärel, kui aerutajate töö kooskõlastatus hakkab kaduma ja ilmub faasinihke, väheneb paadi liikumiskiirus. Lõpuks on aerutõmbed üksteise vastu suunatud ja paat peatub. Vähehaaval taastub aerutõmmete kooskõlastatus ja paat hakkab jällegi liikuma. Järelikult paat vaheldumisi kas liigub või peatub.

T.: Ma näen, et said erinevate sagedustega perioodiliste võnkumiste liitumisel ilmuva interferentsinähtuse olemusest aru. Eeldame nüüd, et sinu naaber kuulab saadet sagedusel 1 000 000 Hz ja et sinu regeneratiivvastuvõtja kiirgab võnkumisi sagedusel 1 005 000 Hz. Kui need kaks voolu su õnnetu naabri raadiovastu-

võtjas liituvad, ilmub vool, mille sagedus võrdub vastuvõetavate sageduste vahega: $1\,005\,000 - 1\,000\,000 = 5000$ Hz. See 5000-hertsise sagedusega resulteeriv vool on suurepäraselt kuuldav ja avaldub valjuhääldajas terava kõrgetoonilise vilena. Sel viisil sa häiridki oma naabrit.

H.: Kinnitan sulle, et patustasin teadmatusest ja nüüd kui ma seda tean...

T.: ...võid kerge vaevaga aru saada superheterodüünvastuvõtja teooriast. See on nimelt just selline vastuvõtja, milles kasutatakse interferentsinähtust.

H.: Tähendab, et see on vastuvõtja, mis vilistab kogu aja?

T.: Ei... ehk kui soovid, nimetaksin seda vastuvõtjaks, mille vile pole kuuldav.

H.: Ja pärast niisugust selgitust jätkad kinnitamist, et raadio — see on imelihtne!...

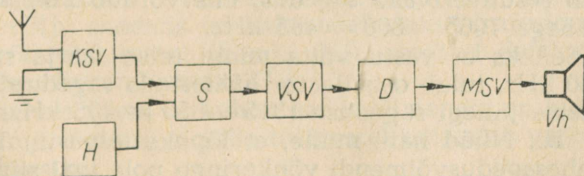
KÕRGSAGEDUSEST VAHESAGEDUSE KAUDU MADALSAGEDUSENI

T.: Ära pahanda. Supervastuvõtjates luuakse tuiklemine vastuvõetava jaama kõrgsagedusvoolu ja vastuvõtjas eneses asetseva heterodüüniks ehk ostsillaatoriks nimetatava väikese generaatori kõrgsagedusvoolu vahel. Ainult et ostsillaator häälestatakse sellisele sagedusele, mille puhul resulteeriv tuiklemissagedus kujuneb suhteliselt kõrgeks (üldiselt üle 100 kHz, tavaliselt 465 kHz); loomulikult pole sellise sagedusega vool valjuhääldajas kuuldav.

H.: Ma ei leia mõtet vastuvõetava kõrgsagedusvõnkumise asendamisel vähem kõrge sagedusega, kuid ikkagi mittekuuldava võnkumisega.

T.: Luba paari sõnaga selgitada sulle superheterodüünvastuvõtja talitluspõhimõtet, siis hakkad kõike mõistma. Vaatleme joonisel 92 kujutatud superheterodüünvastuvõtja lahterskeemi.

Ühelt poolt on siin saatja laine poolt vastuvõtu antennis tekitatud kõrgsagedusvool ja teises — kohalikus ostsillaatoris toodetav ja antennivoolust sageduselt pisut erinev vool. Need kaks voolu liituvad teineteisega ja moodustavad kolmanda



Joonis 92. Superheterodüünvastuvõtja lahterskeem: KSV — kõrgsagedusvõimendi; H — heterodüün ehk ostsillaator; S — segusti; VSV — vahesagedusvõimendi; D — detektor; MSV — madalsagedusvõimendi; Vh — valjuhääldaja.





voolu — sagedusega, mida nimetatakse *vahesageduseks* (VS). See vool on moduleeritud täpselt samuti nagu esialgne antennist saadav vool, sest teostuv muundamine ei riku saatjas stuudio mikrofonist saadud helisagedusvooluga teostatud modulatsiooni.

Vahesagedusvoolu on tunduvalt kergem võimendada kui antennist saadavat voolu: selle sagedus on madalam ja järelikult ka parasitmahtuvuste toime väiksem. Seda võnkumist võimendatakse vahesagedusastmetes ja seejärel detekteeritakse nagu igasugust kõrgsagedusvoolu. Detektoris eraldatud madalsagedusvoolu võimendatakse madalsagedusastmetes ja juhitakse lõpuks valjuhääldajasse.

H.: Näen, et superheterodüünvastuvõtja on kohutavalt keeruline aparaat. Need vastuvõtjad, mida seni uurisime, koosnesid kõrgsagedusvõimendusastmetest, detektorastmest ja madalsagedusvõimendusastmetest, samal ajal aga superheterodüünvastuvõtja sisaldab kohalikku ostsillaatorit, sagedusmuundurit, vahesagedusvõimendusastmeid, detektorastet ja madalsagedusvõimendusastmeid. Tõenäoliselt on sellise vastuvõtja häälestamine väga raske, sest üheleainsale sagedusele reguleerimise asemel, nagu seda seni tegime, tuleb sisendahel häälestada vastuvõtava saatja sagedusele, heterodüüni võnkering teisele sagedusele ja vahesagedusvõimendi võnkeringi sootuks kolmandale sagedusele...

HUVISTE ON SUPERHETERODÜÜNVASTUVÕTJAST LUMMUNUD

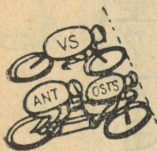
T.: Rahustu, ma ei selgitanud sulle veel superheterodüünvastuvõtja üht peamist eelist, nimelt et vahesagedusvõimendi ahelad on häälestatud püsivalt ühele ja sellele samale sagedusele. Heterodüün häälestatakse niiviisi, et iga vastuvõtava sageduse puhul annaks tema vool antennivooluga liitumisel alati ühe ja selle sama resulteeriva sageduse, mis võrdub vahesagedusega.

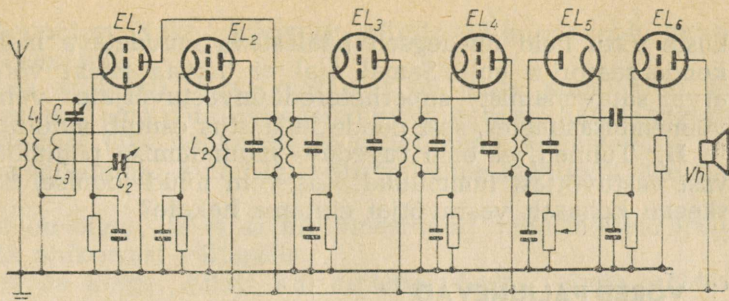
H.: Ma mõtlen, et arvnäide poleks siin sugugi liigne.

T.: Eeldame, et meil on superheterodüünvastuvõtja, mille vahesagedusastmed on häälestatud sagedusele 465 kHz. Selleks et võtta vastu saatja signaali sagedusega 600 kHz (lainepikkusel 500 m), tuleb ostsillaator häälestada sagedusele 1065 kHz; siis osutub resulteerivaks sagedus, mis võrdub komponentide sageduste vahega $1065 - 600 = 465$ kHz.

Selleks et vastu võtta mingi teise saatja signaali sagedusega 850 kHz, tuleb ostsillaator häälestada sagedusele 1315 kHz ja siis saame jällegi sageduse $1315 - 850 = 465$ kHz.

H.: Nüüd näib mulle, et lõpuks taipasin. Tulemus on see, et vahesagedusvõimendi võnkeringe pole igal siirdumisel ühe jaama vastuvõtult teisele üldse vaja ümber häälestada. Arvan, et sellepärast võime loobuda muudetava mahtuvusega kondensaatoritest, sest võnkeringide häälestus ei muutu. Järelikult on superhetero-





Joonis 93. Iseseisva lambiga töötava ostsillaatoriga superheterodüünvastuvõtja skeem.

düünvastuvõtjas ainult kaks ümberhäälestamist vajavat võnkeringi: sisendvõnkering (mis häälestatakse vastuvõetavale signaalile) ja ostsillaatori võnkering (see tuleb häälestada teatavale sagedusele, mis on vastuvõetavast sagedusest vahesageduse võrra kõrgem või madalam). Nii osutubki häälestamine väga lihtsaks.

T.: Veelgi hõlpsamaks, kui sa arvad. Kumbagi kondensaatorit keeratakse tavaliselt ühise nupuga. Sel puhul on häälestussageduste vahe püsiv, sõltumata kondensaatorite rootorite asendist.

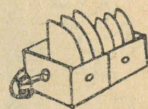
H.: Kuid mil viisil teostatakse praktiliselt kahe võnkumise kokkusegamist?

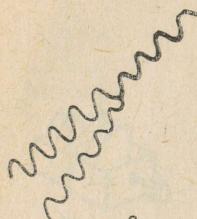
T.: Sageduse muundamiseks on tuhat ja üks võimalust, mis talitluspõhimõtetelt üldjoontes ei erine. Seepärast on küllaldane vaadelda nendest põhilisi ja levinumaid.

Üks kõige vanematest skeemidest (joonis 93) illustreerib hästi superheterodüünvastuvõtja talitluspõhimõtet. Iseseisva lambiga EL_2 töötava ostsillaatori võnkeringi L_2C_2 on ühendatud väike sidestuspool L_3 , mis on induktiivselt sidestatud sisendvõnkeringi pooliga L_1 . Tänu sellele sidestusele satub ostsillaatori võnkumine võnkeringi L_1C_1 . Niiviisi antakse lambi EL_1 võrele üheaegselt kaks vahelduvpinget: antennis tekkiv signaal ja ostsillaatori võnkumine. Lamp EL_1 töötab tänu selle katoodahelas asetseval takistil tekitatud võre-eelpingele nagu anooddetektor. Lambi EL_1 võrele antud kahe võnkumise koos detekteerimise tulemusena tekibki vahesagedus. Vastuvõtja skeemis on kaks häälestatud trafosidestuses vahesagedusvõimendusastet (EL_3 ja EL_4), seejärel detektor (EL_5) ja madalsagedusvõimendusaste (EL_6).

H.: Skeemi vaadeldes näen, et vahesagedusvõimendus on kuus häälestatud võnkeringi. Arvan, et selle tulemusel omandab vastuvõtja tohtu selektiivsuse.

T.: Loomulikult. Selles avaldub veel üks superheterodüünvastuvõtja eelis. Otsevõimendusvastuvõtjates ei saa kõrgsagedusosas suurendada häälestatavate võnkeringide arvu, kas või ras-





$$f_1 = f_2$$

$$F = f_2 - f_1 = 0$$



kuste tõttu neid üheaegselt häälestada muudetava mahtuvusega kondensaatorite abil. Samal ajal ei takista miski võnkeringide arvu suurendamist superheterodüünvastuvõtjate vahesagedusvõimendusastmetes, sest nende häälestus osutub muutumatuks.

H.: Tunnen, et olen sageduse muundamise põhimõttel töötavast vastuvõtjast lummunud. Kas võin nüüd joonisel 93 esitatud skeemi kohaselt vastuvõtjat ehitama hakata?

VÕRED PALJUNEVAD

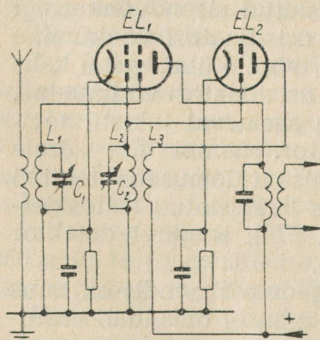
T.: Ära sellest veel unista. See skeem on tulvil puudusi. Juba ammu ei juhita lambi ühele elektroodile korraga kaht võnkumist, samuti välditakse sisendvõnkeringi ja ostsillaatori võnkeringi vahel nii tugevat sidestust.

H.: Tugeval sidestusel on puudusi?

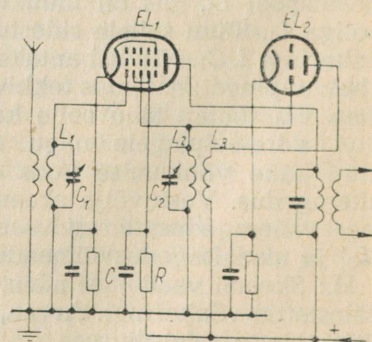
T.: Just nii, ja isegi tõsiseid. Kuna võnkeringide häälestuse erinevus on väike, võib ostsillaator hakata genereerima võnkumisi mitte võnkeringi L_2C_2 sagedusel, vaid sisendvõnkeringi L_1C_1 sagedusel; siis ei toimu sageduse muundamist. Seda nähtust nimetatakse võnkumise kaasatõmbamiseks.

H.: Kui ebameeldiv see on. Kuid ma ei näe võnkumiste liitmiseks ühtki muud võimalust peale sisendvõnkeringi ja ostsillaatori võnkeringi induktiivsidestamise.

T.: Lahendus peitub mitme võrega, lihtsamal juhul kahe võrega lambi kasutamises. Ostsillaatori võnkumine antakse lambi esimesele võrele (joonis 94), vastuvõetav signaal aga teisele võrele. Niiviisi mõjutab lambi anoodvoolu üheaegselt kaks võnkumist. Sa näed, et selles skeemis pole võnkeringide L_1C_1 ja L_2C_2 vahel induktiivsidestust.



Joonis 94. Sageduse muundamine kahevõrelise lambiga EL_1 ja lambiga EL_2 töötava ostsillaatori abil.



Joonis 95. Antiiksest kahevõrelamoist tunduvalt täiuslikum sagedusmuunduri skeem heksodiga.

H.: Tõepoolest. Kaks võnkumist mõjutavad anoodvoolu teineteisest sõltumatult.

T.: Seda süsteemi, mis omal ajal oli väga populaarne, ei kasutata enam. Tema põhiliseks puuduseks on teiste hulgas tugeva parasiitsidestuse teke võnkeringide vahel, mida põhjustab...

H.: Ma mõistatan: kummagi võre vaheline mahtuvus. On see nii?

T.: Sul on õigus. Ja et sa nii õnnestunudult minu mõtteid loed, püüa leida olukorrast väljapääs.

H.: See on kerge. Aitab, kui asetada võrede vahele eraldav vahesein ehk teiste sõnadega — varivõre.

T.: Veelgi parem võimalus on ühe võre, nimelt heterodüüni võre, paigutamine kahe varivõre vahele ja nendele veel sulgvõre lisamine.

H.: Jooniselt 95 nähtub, et niisuguseks võreks on anoodile lähim võre. Muide, ma ei märka selles mingeid ebageeldivusi. Kuidas nimetatakse sellist seitsme elektroodiga lampi?

T.: See on heksood. Mõlemad varivõred loetakse üheks ja nii viisi saadaksegi kuus elektroodi, aga kreeka keeles on hekso — kuus. Sellise lambi puhul pole tarvis karta parasiitsidestusi sisendvõnkeringi ja eraldi trioodiga ostsillaatori võnkeringi vahel. Sealjuures võib trioodi paigutada heksoodiga ühisesse ballooni ja kasutada kummagi lambi jaoks ühist katoodi. Taoline trioodheksood leiab kaasagsetes vastuvõtjates väga laialdast kasutamist.

H.: Joonisest 95 võib järeldada, et mõlemad varivõred on kokku ühendatud juba balloonis eneses.

T.: See on täiesti põhjendatud, sest kummalgi varivõrel on võrdne pinge. See valitakse eeltakisti R abil, mis on sillatud kondensaatoriga C .

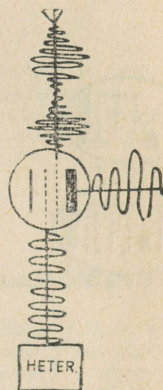
VÕREDE RIIGIS

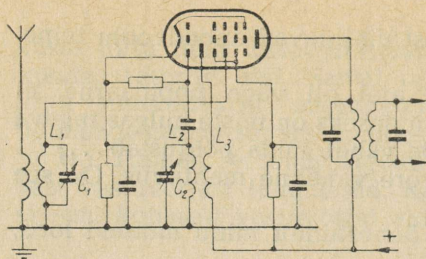
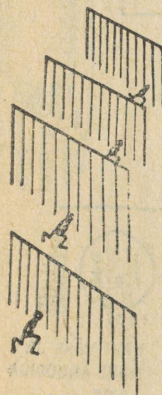
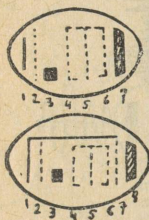
H.: Trioodheksood on väga keerukas kaheksast elektroodist koosnev süsteem. Kas ei saa nendest koostada ühtainust elektroodide süsteemi, selle asemel, et paigutada kõrvuti kaks süsteemi? Nii õnnestuks vähendada näiteks trioodi anoodi mõõtmeid selliselt, et sellest piisaks ainult ostsillaatori ergutamiseks. Elektronide voog siirduks vabalt järgmiste elektroodideni, mis kuuluvad heksoodi süsteemi: esimese varivõreni, siis võreni, millele juhitakse vastuvõetav signaal...

T.: ... ja mida nimetatakse tüürvõreks...

H.: Tänan! Ja lõpuks teisele varivõrele ning anoodile.

T.: Kallis Huviste, just praegu leiutasid sa teistkordselt heptoodi (seitsme elektroodiga lambi). Ja kui sa lisaksid veel sulgvõre, saaksid oktoodi — kaheksa elektroodiga lambi (joonis 96).





Joonis 96. Oktodiga sagedusmuunduri lülitusskeem.

H.: Ja selline lamp on tõeliselt olemas?

T.: Parem oleks öelda, et oli olemas, sest kaasajal loobutakse üha rohkem nii heptoodidest kui ka oktoididest, eelistades nendele triood-heksoode.

H.: Mind rusub selline võrede rohkus väga. Selles kuidagi viisi orienteerumiseks üritaksin ise sõnastada oktoidi elektroodide otstarbed:

- 1) katood, mille ilmseks ülesandeks on elektronide eraldamine;
- 2) kohaliku ostsillaatori esimene võre;
- 3) ostsillaatori pisike anood;
- 4) esimene varivõre, mille ülesandeks on ostsillaatori võre ja muunduri tüürvõre (sellele juhitakse antennist saadav võnkumine) vahelise parasiitmahtuvuse kõrvaldamine;
- 5) tüürvõre, millele antakse antennist saadav võnkumine;
- 6) teine varivõre, mis ühtlasi kiirendab elektronide liikumist;
- 7) sulgvõre, mis takistab sekundaarelektronide pääsu anoodilt teisele varivõrele;
- 8) anood, mille ahelast saadakse vahesagedussignaali.

T.: Näen, et orienteerusid selles õigesti.

H.: Kuid ma ikkagi ei taipa veel, kuidas elektronid ise orienteeruvad kõigi nende võrede vahel ja ei eksi teelt...

Otsevõimendusvastuvõtja

Seni vaadeldud raadiovastuvõtjad kuulusid *otsevõimendusvastuvõtjate* kategooriasse. Nendes võimendatakse antennist saadavat kõrgsagedusvoolu enne detekteerimist ühes või mitmes võimendusastmes.

Kuid selline võimendus ei saa olla väga suur, sest vaatamata igasugustele varjestamise ja lahtisidestamise näol rakendatavatele ettevaatusabinõudele on raske vältida parasiitseid tagasisidestusi, kui kõrgsagedusastmeid on üle ühe või kahe. Raskused kasvavad sageduse suurenemisel, kusjuures see ei kehti ainult tagasisidestuste, vaid ka küllaldase võimenduse saamise võimaluse kohta. Seepärast osutub lühilainetel (väga kõrgetel sagedustel) kõrgsagedusvõimendus vähe efektiivseks.

Pealegi kasvab koos kõrgsagedusastmete arvu suurendamisega paratamatult ka üheaegselt häälestatavate võnkeringide arv, mis samuti põhjustab mitmesuguseid ebameeldivusi.

Järeldus tuleneb iseenesest. Otsevõimendusvastuvõtjat võib kasutada ainult siis, kui suur tundlikkus pole vajalik. Teda võib eriti soovitada kohaliku saatja vastuvõtjaks ja tavaliselt ta polegi mõeldud kaugete saatjate kuulamiseks; viimaste puhul kasutatakse *superheterodüünvastuvõtjat* ehk lühemalt *supervastuvõtjat*.

Superheterodüünvastuvõtja põhimõte

Supervastuvõtjas alustatakse sellest, et esmalt muudetakse kõrgsagedusvõnkumine madalama sagedusega võnkumiseks ja alles seejärel võimendatakse seda. Olgu antenni signaali sagedus milline tahes, muundatakse see üheks ja samaks antud vastuvõtja puhul konstantseks sageduseks, mida nimetatakse *vahesageduseks*. Sel juhul on vastuvõtja põhilised võimendusastmed — *vahesagedusastmed* — konstrueeritud ainult ühe sageduse jaoks; järelikult ühelt saatjalt teisele siirdumisel ei tule nende häälestust muuta. Kuna vahesagedus on vastuvõetava signaali võimalikust maksimaalsest sagedusest madalam (kuuludes siiski kõrgsageduste piirkonda),

toimub võimendus väga efektiivselt ja parasiitsidestused on hõlpsasti kõrvaldatavad.

Olles sellega määranud supervastuvõtja põhimõtte ja peamised eelised, vaatleme, milliste vahenditega seda teostatakse.

Kahe lambiga sagedusmuundurid

Sageduse muundamine põhineb *tuiklemisnähtusel*, mille füüsikalist olemust võib täheldada paljude valgus- (interferentsi-), akustiliste ja mehaaniliste (sidestatud pendlid) nähtuste uurimisel.

Kui kaks perioodilist võnkumist liituvad, siis sisaldub liitvõnkumises selline komponent, mille sagedus võrdub kummagi võnkumiste sageduste vahega. Niiviisi saame kahe voolu (sagedustega f_1 ja f_2) koostoimel resulteeriva voolu. Selle võnkeamplituud muutub sagedusega $f_1 - f_2$ (joonis 91), mida nimetatakse *tuiklemissageduseks*, ja see ilmneb pärast detekteerimist.

Selline sageduse muundamine ei mõjuta üldse madalsageduslikku moduleerivat võnkumist, mis võib kaasneda ühega nendest vooludest. Kui antennist saadavale moduleeritud kõrgsagedusvoolule liita kohalikust generaatorist saadav teise sagedusega vool, siis võib pärast detekteerimist saada sageduse, mis võrdub antennivoolu ja kohaliku generaatori voolu sageduste vahega; sealjuures kannab resulteeriv vool enesel sedasama madalsagedusliku modulatsiooni nagu antennis tekitatud voolgi.

Kohalik generaator, mida nimetatakse *heterodüüniks* ehk *ostillaatoriks*, sisaldub superheterodüünvastuvõtja skeemis. Tema võnkumine võib liituda antennist saadava võnkumisega vastuvõtja sisendvõnkeringi ja ostillaatori võnkeringi vahelise nõrga sidestuse kaudu. Vähemalt nii tehti esimestes sagedusmuundamisega vastuvõtjates (joonis 93). Kuid sellisel meetodil on oluline puudus: sidestuse tõttu võib sisendvõnkeringis toimuv võnkumine hakata ostillaatori sagedust mõjutama, s. o. ostillaator võib hakata genereerima mitte tarvilikul sagedusel, vaid hoopis vastuvõetava signaali sagedusel. Sel juhul

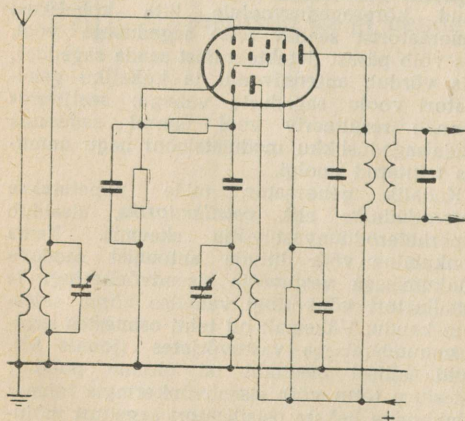
osutuvad mõlemad liidetavad sagedused võrdseteks ja resulteeriv sagedus (mis võrdub nende vahega) kujuneb nulliks, mis üldse ei ole nõutavaga kooskõlas. Sel juhul kõnel-dakse, et toimus ostsillaatori võnkumise kaasahaaramine.

Selle ärahoidmiseks tuleb sisendvõnkering ja ostsillaatori võnkeringi vaheline sidestus kõrvaldada varjete ja lahtisidestusahelate abil. Võnkumised liidetakse kahe tüürvõrega lam-bis, milledest kummalegi antakse üks kahest signaalist. Sellise *segustuslambi* anoodvoolu tüüritakse samaaegselt antenni kõrgsagedus-pingega ja kohaliku ostsillaatori pingega. Järelikult toimub võnkumiste liitumine, ja kuna lamp ka detekteerib, tekib selle anood-voolus tarvilik vahesageduslik resulteeriv komponent (joonis 94).

Kombineeritud lambid — ostsillaator-segusti

Üks ja seesama lamp võib samaaegselt täita ostsillaatori ja segusti ülesandeid. Selleks tuleb lambi elektroodide süsteemi täiendada. Lisaks võrele, millele antakse ostsillaatori võnkumine, asetatakse lampi väike abianood, mille voolu kasutatakse võnkumiste erguta-miseks tagasisidestusmähise kaudu. Niiviisi saadud lambi võiks asendada kaksiktriiodiga, mille üks triood töötab ostsillaatorina ja teine segustina.

Kuid sellise lambi elektroodide vahelised mahtuvused oleksid küllaldased parasitsidestuse tekkimiseks võnkeringide vahel, mis



Joonis XV. Sageduse muundamine triood-heksoodi abil (lambis pole näidatud katoodiga ühendatud sulgvõret).

põhjustaks sageduse kaasahaaramist. Seepärast ümbritsetakse lambi teine võre (segustussüsteemi võre) kahe varivõrega, milledele antakse suhteliselt kõrge pinge. Niiviisi saadakse seitsme elektroodiga lamp ehk *heptood*. Põhianoodilt lähtuva sekundaarmissiooni-voolu ärahoidmiseks asetatakse nimetatud elektroodi ja teise varivõre vahele sulgvõre, mille tulemusel elektroodide arv suureneb kaheksani. Sellist lampi nimetatakse *oktoodiks*.

Sageduse muundamiseks tarviliku kahe ülesande täitmiseks — abivõnkumise tekitamiseks ja segustamiseks — võib kasutada teisi meetodeid ja teist tüüpi lampe. Nii võib muunduslambis sisalduda kaks ühise katoodiga iseseisvat elektroodide süsteemi, milledest üht kasutatakse kohaliku võnkumise tekitamiseks ja teine toimib segustina. Selliseks lambiks on näiteks *trioid-heksood* (joonis XV), kus triood töötab ostsillaatorina ja heksood (kuue elektroodiga lamp) — segustina. Tuleb märkida, et kohalik võnkumine antakse heksoodi kolmandale võrele lambi enese sees asetseva väga lühikese juhtme kaudu.

Vahesagedussignaali võimendamine

Ostsillaator häälestatakse alati niiviisi, et tema sageduse ja vastuvõtava signaali sageduse vahe võrduks ettenähtud vahesagedusega. Kaasajal on see standardiseeritud ja võrdub 465 kHz. Kuigi see sagedus on pisut kõrgem pikklainesaatjate sagedusest, on ta madalam kesk- ja eriti lühilainesaatjate omast, kuid nagu mäletame, vajavad just need kaks laineastmiku sageduse vähendamist.

Vahesagedusvõimendi koosneb reeglina ühest või harvemini kahest võimendusastmest, milledes kasutatakse pentoode. Astmete sidestamiseks kasutatakse enamasti trafosid, millede primaar- ja sekundaarmähised on häälestatud vahesagedusele. Ühe vahesagedusvõimendusastme korral on vastuvõtjas neli vahesagedusele häälestatud võnkeringi: kaks, mis moodustavad sidestustrafo astme sisendis (sagedusmuunduri ja vahesagedusastme vahel), ning kaks, mis moodustavad võimendit detektoriga sidestava trafo (sest pärast võimendamist vahesagedussignaali detekteeritakse ja seejärel võimendatakse madalsageduslikult).

Pole raske mõista, et nende nelja häälestatud võnkeringi olemasolu suurendab eraldusteravust. Ka on pikemata selge, kui raske oleks võnkeringe ümber häälestada juhul, kui need paikneksid kõrgsagedusvõimendis. Vaadeldaval juhul häälestatakse need ainult

üks kord alaliseks vahesagedusele ja küllaldase stabiilsuse puhul ei vajata hiljem mingit täiendavat reguleerimist.

Kaasaegsed vahesagedustrafod koosnevad tavaliselt magnetodielektrikust südamekele mähitud kahest poolist; nende häälestamine võib toimuda väikeste reguleeritava mahtuvusega kondensaatorite abil. Väga laialt olid selleks otstarbeks kasutusel kvaliteetsed keeraamilised seadekondensaatorid.

Siiski häälestatakse vahesagedustrafosid praegusel ajal mitte nende võnkeringide kondensaatorite mahtuvuse, vaid poolide induktiivsuse muutmise, kusjuures kondensaatorite mahtuvused jäävad muutumatuks. Selliste trafode magnetilisest materjalist südamikke saab poolides edasi-tagasi nihutada või keerata, millega muudetaksegi induktiivsust.

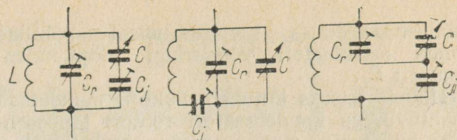
Milline ka poleks vahesagedustrafode konstruktsioon, varjestatakse nad parasitsete induktiivsidestuste tekkimise vältimiseks koos võnkeringide kondensaatoritega.

Nagu juba kõnelesime, soodustab nelja häälestatud vahesagedusvõnkeringi olemasolu (arvestamata neid võnkeringe, mis võivad asetteda vastuvõtja kõrgsagedusosas, s. o. enne sagedusmuundurit) eraldusteravuse suurenemist. Kuid eraldusteravuse suurenemist soodustab juba ka sageduse vähenemise fakt iseenesest. Selle oma olemuselt lihtsa nähtuse selgitamine väljub meie kommentaaride raamist. Piisab, kui märkida, et sellega ongi seletatav superheterodüünivastuvõtjatele iseloomulik väga suur eraldusteravus.

Kooshäälestamine

Üks kõige teravamaid probleeme, mida meie ette seab superheterodüüni põhimõte, seisneb vastuvõtja kõrgsagedusvõnkeringide ja ostsillaatori võnkeringi üheaegses häälestamises ühise nupu abil. Otsevõimendusvastuvõtjas toimetatakse kooshäälestamist suhteliselt lihtsalt: selleks on küllaldane, kui kõik identsetest induktiivpoolidest koosnevad võnkeringid häälestatakse sama arvu identsete muudetava mahtuvusega kondensaatorite abil, mis paiknevad ühisel teljel ja on seega ühisest nupust reguleeritavad. Väikesed hälbed (mida põhjustavad näiteks juhtmetevahelised parasitmahtuvused) kõrvaldatakse võnkeringidega rööbiti ühendatud väikese mahtuvusega trimmerkondensaatoritega.

Supervastuvõtja puhul kujuneb kooshäälestamise probleem keerukamaks. Siin tuleb kõrgsagedusvõnkering ja ostsillaatori võnkering alati häälestada kahele erinevale sagedusele, säilitades nende vahel terve laineastmiku



Joonis XVI. Järjestik- ja rööpkondensaatorite ühendamise kolm võimalust ostsillaatori võnkeringi kooshäälestamise saavutamiseks.

ulatuses püsiva vahe, mis võrdub vahesagedusega. Nii näiteks peab vastuvõtjas, mille vahesagedus on 465 kHz, ostsillaatori sagedus olema häälestatava kõrgsagedusvõnkeringi omasagedusest 465 kHz võrra kõrgem (või madalam) ja see nõue peab kehtima igas laineastmikus ning muudetava mahtuvusega kondensaatorite igas asendis. Kuna kummassegi võnkeringi ühendatud muudetava mahtuvusega kondensaatorite mahtuvused võrduvad, siis tuleb sageduste tarviliku erinevuse saamiseks kasutada kõrgsagedusvõnkeringis ja ostsillaatori võnkeringis erineva induktiivsusega induktiivpoole.

Paraku ei säili see vahe püsivana muudetava mahtuvusega kondensaatori kõikides asendites. Et sellegipoolest hoida teda püsivana, kasutatakse kavalat võtet, mis lubab muudetava mahtuvusega kondensaatori asendist olenevalt muuta võnkeringi häälestuse iseloomu. Selleks ühendatakse muudetava mahtuvusega kondensaatoriga (pöördkondensaatoriga) C rööbiti väikese mahtuvusega kondensaator C_r ja järjestikku teine suurema mahtuvusega kondensaator C_j . Neid kondensaatoreid saab ühendada kolmel viisil, mida näitab joonis XVI.

Meenutades rööbiti ja järjestikku ühendatud kondensaatorite kohta käivaid reegleid, mõistame, et rööpkondensaatori C_r mahtuvus liitub võnkeringi pöördkondensaatori C mahtuvusega, kuid järjestikku ühendatud kondensaator C_j vähendab selle mahtuvuse toimet võnkeringis.

Igaüks nendest kondensaatoritest mõjutab võnkeringi häälestumist suuremal või väiksemal määral, olenevalt pöördkondensaatori C liikuvate plaatide asendist. Tõepoolest: kui kondensaatori C mahtuvus on minimaalne, osutub rööpkondensaatori C_r mahtuvus, vaatamata selle väiksusele, suhteliselt oluliseks. Järjestikkondensaator C_j vähendab pöördkondensaatori mahtuvust vaid tühisel määral, sest selle mahtuvus on sel juhul minimaalseks keeratud. Seepärast on muudetava mahtuvusega kondensaatori rootori algseisus (mis vastab antud laineastmiku kõige kõrgemale sagedusele ehk kõige lühemale lainele)

häälestussageduse korrigeerimisel põhiline toime ostsillaatori võnkeringi rööpkondensaatoril C_7 .

Hoopis teiseks kujuneb olukord muudetava mahtuvusega kondensaatori rootori lõppasendis, kui tema mahtuvus on maksimaalne. Sel juhul võib rööpkondensaatori C_7 väikese mahtuvuse jätta lihtsalt arvestamata. Kuid järjestikkondensaator C_7 avaldab märgatavat toimet, vähendades kondensaatori C võnkeringis mõjuvat mahtuvust.

Sel viisil, sobitades rootori *algasendis rööpkondensaatori mahtuvust ja rootori lõppasendis järjestikkondensaatori mahtuvust*, õnnestub häälestuskondensaatori liikuvate plaatide pööramisel anda mahtuvuse muutumisele sobiv iseloom. Tänu sellele saab ostsillaatori

võnkeringi muudetava mahtuvusega kondensaatorit pöörata sisendvõnkeringi kondensaatoriga ühisest nupust (vastuvõtja häälestusnupust).

Arusaadavalt tuleb heterodüüni võnkeringis iga laineastmiku jaoks kasutada oma järjestik- ja rööpkondensaatorit. Kõik need kondensaatorid reguleeritakse vastuvõtja esialgse häälestamise protsessis ühekordselt. See seadistamine peab tagama ka saatjate ühtimise vastuvõtja skaalale paigutatud tähistega.

Kaasaegsetes vastuvõtjates kasutatakse ostsillaatori võnkeringi järjestikkondensaatoritena sageli püsiva mahtuvusega kondensaatoreid ja vastuvõtjat häälestatakse laineastmike madalamatel sagedustel poolisüdamike nihutamisega.

Huviste mõtiskles kaua supervastuvõtjast ja leidis sellest suure vea. Õnneks ületab Targaste sellegi tõkke. Tulemuseks on, et meie sõpradel õnnestub koostada praktiliselt teostatav skeem. Vestluse lõpetamiseks selgitab Targaste oma õpilasele mitmesuguste valjuhääldajate talituspõhimõtet ja ehitust. Kuid sellega see vestlus veel ei lõpe...

17.

VESTLUS

ÜHE RÖÖVLI LUGU

Huviste: Ma seedisin mõttes suurte pingutustega läbi kõik selle, mida sain supervastuvõtja kohta teada. Õnneks aitas mind selles osas mu eruditsioon vana ajaloo alal.

Targaste: Vannun oktoodi nimel, et ma ei näe mingit seost...

H.: Ära närvitse. Sagedusmuundur meenutab mulle seda sümpaatset antiikgangsterit, keda hüüti Prokrusteseks. Ta külalislahkus oli nii sügavalt arenenud, et ta paigutas oma külalised raudvoodile ja lõikas neil ära jalad, kui nad olid voodist pikemad. Kui nad aga ei ulatunud voodi otsani, siis ta lihtsalt venitas neid.

T.: Jah, selle antiikröövli lugu on mulle tuttav, kuid...

H.: Kas mitte seesama põhimõte pole ka superheterodüüni aluseks? Sest olgu vastuvõetava signaali sagedus milline tahes, püütakse seda muuta nii, et saada alati üks ja seesama püsiv sagedus, s. o. sagedus, millele vahesagedusvõimendi võnkeringid on häälestatud.

T.: Sul on õigus, Huviste. Supervastuvõtja on erinevate saatjate sageduste jaoks ehtne Prokrustese voodi.

H.: Ei tea, kas sain õigesti aru supervastuvõtja põhimõttest, kuid üks seik häirib mind väga.

T.: Milline nimelt, sõbrake?

H.: Oletame, et vahesagedus võrdub 100 kHz ja me tahame kuulata saadet sagedusel 1 MHz. Selleks tuleb ostsillaator häälestada 900 kilohertsile, sest nende kahe komponendi sageduste vahe on siis täpselt 100 kHz. Kuid oletame nüüd, et mingi sootuks teine saatja töötab samal ajal sagedusel 800 kHz ja et selle signaal satub samuti segustuslambi. See tekitab ostsillaatori võnkumisega liitudes samuti 100-kilohertsise sagedusega resulteeriva võnkumise. Järelikult võimendub seegi vahesagedusvõimendusastmetes ja muutub valjuhääldajas kuuldavaks.

T.: Su arutelu on õige. Tõepoolest vastab ostsillaatori igale sagedusele kaks sisendsignaali sagedust, mis annavad ühe ja sama vahesageduse: üks niisugune signaal on ostsillaatori sagedusest kõrgema ja teine madalama sagedusega. Neid nimetatakse peegelsagedusteks.



$$\begin{array}{r} 1\ 000\ 000 - 900\ 000 \\ = 100\ 000 \\ 900\ 000 - 800\ 000 \\ = 100\ 000 \end{array}$$



SISSEPAAS PEEGEL-
SAGEDUSELE KEELATUD



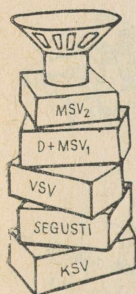
H.: Kuid oleks väga nukker kuulata samaaegselt kaht erinevat saadet.

T.: Ma olen sinuga täiesti päri. Kuid sellegi häda vastu leidub rohtu: tuleb teha nii, et segustuslampi satuks ainult tarvilik sagedus.

Tõenäoliselt märkasid, et kummagi peegelsageduse erinevus võrdub vahesageduse kahekordse väärtusega. Kui valida vahesagedus küllalt kõrge, näiteks 465 kHz, siis peegelsagedused erinevad 930 kHz võrra. Nüüd piisab hea selektiivsusega sisendahelest, et peegelsagedusel töötava saatja vastuvõtu võimalust täielikult kõrvaldada. Selleks kasutatakse vastuvõtja sisendis suure selektiivsusega võnkeringi, mida mõnikord nimetatakse *eelselektoriks*. Teine variant on selline, et häiriv signaal kõrvaldatakse kõrgsageduse eelvõimendusastmega, milles on samuti selektiivsed võnkeringid.

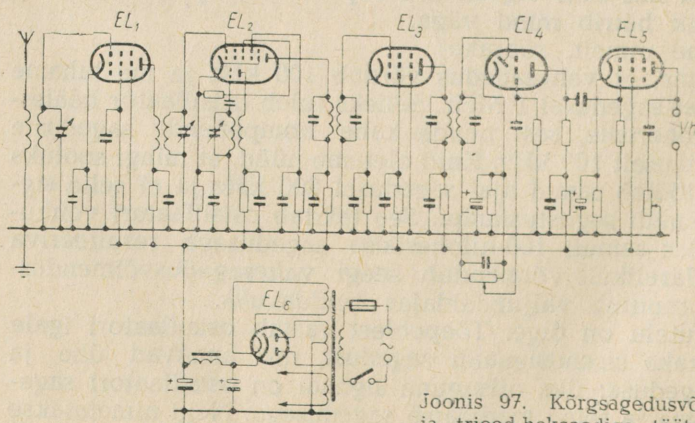
H.: Eelistan viimast meetodit. Mulle näib, et enne kui hakata saatjast vastuvõtuantenni saabunud, kuid pika reisi tulemusena jõuetuks jäänud signaali muundama, poleks paha teda pisut võimendada...

Kas sa ei arva, et nüüd, kus me superheterodüünvastuvõtjast juba nii palju teame, oleks aeg mõtlema hakata vastuvõtja ehitamise üle sinu tädi jaoks, sest ta ootab seda juba nii kaua. Kas võid joonistada skeemi?

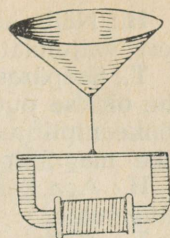


TARGASTE TÄDI VASTUVÕTJA

T.: Siin ongi täielikult väljajoonistatud skeem (joonis 97). Sa näed, et põhijoontes koosneb ta kõrgsageduse eelvõimendusastmest lambiga EL_1 , muundurist trioodheksoodiga EL_2 , vahesagedusvõimendusastmest pentoodiga EL_3 , detektorastmest ja madalsage-



Joonis 97. Kõrgsagedusvõimendusastmega ja triood-heksoodiga töötava muunduriga superheterodüünvastuvõtja lülitus.



Joonis 98. Elektromagnetilise ruupor-
valjuhääldaja ehitus.

Joonis 99. Koonilise difuursoriga elekt-
romagnetilise valjuhääldaja ehitus.

duse eelvõimendusastmest kombineeritud lambiga — diod-trioodiga EL_4 ja madalsageduse lõppvõimendusastmest madalsagedus-
pentoodiga EL_5 .

Kõiki neid lülituselemente üksikult sa tunned juba hästi, kaasa arvatud ka toiteblokk vastuvõtja toitmiseks vahelduvvooluvõrgust, mis sisaldab alalduslampi EL_6 .

VALJUHÄÄLDAJA AJALUGU

H.: Minu jaoks leidub veel osake tervikust, mis pole mulle täiesti selge, nimelt valjuhääldaja.

T.: Tõepoolest, seni pole me veel sellest kõnelnud.

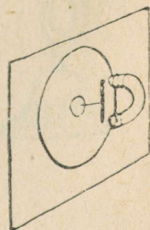
H.: Ma mõtlen, et ta sarnaneb telefonidega, kuid et selles kasutatakse lihtsalt võimsamaid magneteid ja suuremat membraani.

T.: Täpselt niiviisi olidki esimesed valjuhääldajad ehitatud. Helitugevuse suurendamiseks varustati need pikkade luigekaalu meenutavate ruuporitega, mis laenati vanaaegselt fonograafilt (joonis 98). Heli sarnaneb plekiklirinaga, kuid esimesed kuulajad olid isegi sellest vaimustuses...

Sellistes valjuhääldajates täitis väike terasmembraan üheaegselt kaht ülesannet: ta muundas elektrivoolu madalsagedusliku võnkumise mehaanilisteks võngeteks ja seda võnkumist ümbritsevale õhule edasi andes tekitas helilained.

H.: Seda oli ühe vaese terasplaadikese jaoks ikkagi liiga palju.

T.: Sedasama pidid tunnistama ka tehnikud. Seepärast jaotati ülesanded: universaalne membraan asendati elastse terasplaadikesega, mis vibreeris elektromagneti vahelduva magnetvälja toimel, ja suure paberist või mõnest muust niisama kergest materjalist koonilise membraaniga — difuursoriga (joonis 99). Difuusor seostati vibreeriva plaadikesega peenikese varda abil, mille kaudu plaadikese võnked kandusid difuursorile ja sealt edasi suurele õhumassile.



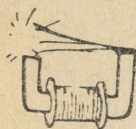
H.: Näib, et see on väga hea lahendus. Miks sa kõneled nendest valjuhääldajatest mineviku vormis?

T.: Seepärast, et taolisi valjuhääldajaid ei kasutata enam nende ühe olulise puuduse tõttu. Asi on vibreeriva plaadikese väikeses võnkeamplituudis. Liiga tugeva vibreerimise korral hakkas plaadike magnetipooluste vastu puutuma.

H.: Aga kas poleks võimalik olnud seda kinnitada magnetitest kaugemale?

T.: Vahekauguse suurendamine viis magnetvälja tugevuse vähenemisele ja järelikult võnkeamplituudi kahanemisele. Sinu ettepaneku kasutamisel jääksime kahe tule vahele.

H.: Kas siiski leiutati mingisugune süsteem, mis on nendest puudustest vaba?

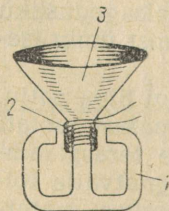
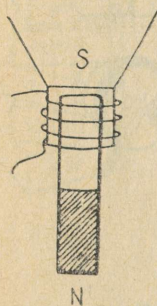


KAASAEGNE VALJUHÄÄLDAJA

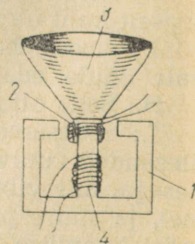
T.: Telefoni põhimõttel töötavate vanaaegsete elektromagnetiliste valjuhääldajate asemele tuli edukalt elektrodünaamiline valjuhääldaja. Selles valjuhääldajas on püsomagnet ja selle väga tugevas magnetväljas asetsev liikuda võiv pool (joonis 100). Pooli mähist läbib madalsagedusvool. Selle toimel muutub ta omakorda väikeseks magnetiks, mille polaarsus pidevalt vaheldub. Nii hakkab magnet teda vaheldumisi tõmbama ja tõukama. Pool on kinnitatud koonilise difuusori tippu ja annab oma võnked sellele üle. Näed, et pooli võnkumist piirab ainuüksi difuusori elastsus.

H.: See on tõesti teravmeelne. Kuid sinu joonisest nähtub, et võnkuva pooli paigutamiseks on väga vähe ruumi.

T.: Tõepoolest, püsimagneti välja kontsentreerimiseks peab magneti pooluste vahekaugus olema nii väike kui võimalik. Osalt ruumpuudusel, kuid samuti ka selleks, et võnkepool oleks võimalikult kerge, on tal vähe keerde, mis tuleb mähkida ühte või maksimaalselt kahte kihti. Traadi ristlõige on üsna väike. Pooli läbib ainult anoodvoolu vahelduvkomponent, tänu pinget madal-

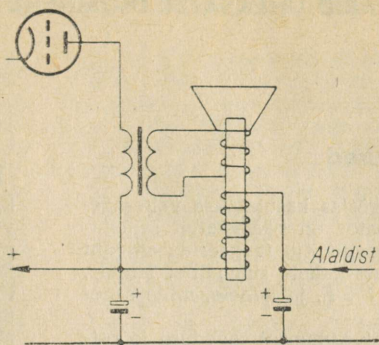


Joonis 100. Elektrodünaamilise valjuhääldaja ehitus: 1 — magnet; 2 — võnkepool; 3 — difuusor.



Joonis 101. Eelmagneetismähisega elektrodünaamiline valjuhääldaja: 1 — magnet; 2 — võnkepool; 3 — difuusor; 4 — eelmagneetismähis.

Joonis 102. Eelmagneetismähise kasutamine silumisfiltri paispoolina.



dava trafo kasutamisele viimase madalsagedusvõimenduslambi anoodahela ja valjuhääldaja võnkepooli vahel. See on muide tarvilik ka muudel kaalutlustel.

H.: Arvan, et püsimagnet peab olema üsna tugev.

T.: Sa ei eksi. Omal ajal kasutati magnetiliste sulamite suhteliselt kõrge hinna tõttu valjuhääldajates sageli elektromagneteid, millede magneetiv mähis — ergutusmähis — asetses elektromagneti sees selle keskmisel vardal (joonis 101) nagu «potis».

H.: Aga kust võetakse selle magneetmiseks voolu?

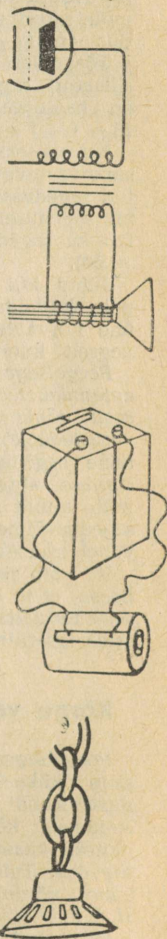
T.: Suurte valjuhääldajate elektromagnetite toiteks kasutatakse iseseisvat filtriga varustatud alaldit, kuid raadiovastuvõtjate väikese võimsusega valjuhääldajate magneetimisvooluks võib olla kõikide lampide ühine anoodvool. Niisugusel juhul toimib magneetismähis ühtlasi ka anoodtoitealadi filtri paispoolina (joonis 102).

H.: See on väga praktiline! Niiviisi ei lähe magneetimisvool üldse midagi maksma.

T.: Mitte täiesti nii. Paraku jääb magneetismähisele võrdlemisi suur pinge, mida tuleb alaldi ehitamisel arvestada.

H.: Nüüd, pärast valjuhääldajaga tutvumist, mis on raadioülekanne pikas ahelas viimaseks lüliks, näib, et mul pole raadio alal enam midagi õppida.

T.: Tõepoolest, võiksime sellega oma vestlused lõpetada, sest sa oled üldjoontes tutvunud raadiotehnika alustega. Kuid kaasaege vastuvõtjas on hulk elemente, millede ülesanne on hõlbus-tada seadme käsitlemist või parandada helikvaliteeti. Seepärast tuleb meil tunda õppida nendest elementidest kasutatavamaid, et viia sinu tehniline haridus lõpuni.



Peegelsagedused

Kui supervastuvõtjas kasutatakse vahesagedust F ja ostsillaator on häälestatud sagedusele f , siis võib vastuvõtja reageerida antenni sattuvatest lainetest kahele signaalile: lainele, mille sagedus on $f + F$, ja lainele, mille sagedus on $f - F$.

Tõepoolest annab kummagi sageduse ja ostsillaatori sageduse vahe sageduse F , millele on häälestatud vahesagedusvõimendi: $(f + F) - f = f - (f - F) = F$.

Nii näiteks võib 50-kHz vahesagedusega supervastuvõtja, mille ostsillaator on häälestatud sagedusele 750 kHz, vastu võtta signaale nii sagedusel 800 kHz (sest $800 - 750 = 50$) kui ka sagedusel 700 kHz (sest $750 - 700 = 50$).

Juhul kui sisendvõnkeringi eraldusteravus pole küllaldane nendest kahest sagedusest ühe kõrvaldamiseks, hakkame kuulma üheaegselt kumbagi saatjat.

Peegelsageduse häirete vältimiseks tuleb antennihelasse asetada suure eraldusteravusega võnkeringid. Selleks võib vastuvõtja varustada kõrgsageduse eelvõimendusastmega. Enne sagedusmuundurisse sattumist võimendatakse antennivoolu ja filtreeritakse seda mitte ainult sisendvõnkeringis, vaid ka kõrgsagedusvõimendusastme ja sagedusmuunduri vahel asetsevas häälestatavas võnkeringis.

Ka võib sisendvõnkeringi konstrueerida sellisena, et ta eraldusteravus oleks suur. Kuidas seda teostada, näeme hiljem, kui asume vaatlema ribafiltreid.

Kõrge vahesagedus

Peegelsageduste kõrvaldamise probleemi saab radikaalselt lahendada sellise vahesagedusvõimendi kasutamisel, mis on häälestatud suhteliselt kõrgele sagedusele, nagu seda on näiteks kaasaegne standardne 465-kHz vahesagedus. Tuleb märkida, et peegelsageduste vahe võrdub kahekordse vahesagedusega: $(f + F) - (f - F) = 2F$.

Eeltoodud arvnäites oli vahesagedus 50 kHz ja peegelsagedusteks 800 ning 700 kHz. Nende vahe, 100 kHz, ongi kahekordne vahesagedus.

Kasutades võimalikult kõrget vahesagedust, eemaldame peegelsagedused teineteisest nii

kaugele, et neid saab summutada vastuvõtja võnkeringi praktiliselt igasuguse eraldusteravuse puhul. Nii on 465-kHz vahesageduse korral peegelsageduste erinevus 930 kHz, mistõttu soovimatu saade on vastuvõetavast saatest sageduse poolest nii erinev, et seda pole raske summutada. Kuid veelgi olulisem on see, et kesk- ja pikk laineastmikus jätkub sellest 930-kHz erinevusest, et peegelsagedus väljuks antud laineastmiku piiridest niisugusesse sageduspiirkonda, kus tõenäolisus mingit võimsat saatjat tabada on üldse väike.

Elektrodünaamiline valjuhääldaja

Valjuhääldajate tundmaõppimisele siirdes märgime, et kaasajal ei kasutata enam elektromagnetilisi valjuhääldajaid. Kõikjal kohtame elektrodünaamilisi valjuhääldajaid, milles on rohke koobalti- ja alumiiniumisisaldusega terasest, uemal ajal ka ferriitidest püsimgagnetid või harvemini elektromagnetid.

Elektrodünaamilise valjuhääldaja tundlikkus sõltub põhiliselt selle magnetvälja tugevusest, milles asetseb võnkepool. Seda saab suurendada pooluste vahekauguse vähendamisega. Seepärast peab väga piiratud ruumis liikuv võnkepool rangelt säilitama oma liikumissihhi, et vältida magneti vastu puutumist, mis põhjustaks heli moonutatavat hõõrdumist. Võnkepooli fikseerimiseks tarvitlikku asendisse ehk selle tsentreerimiseks kasutatakse erilist elastset materjalist, lainelist või väljalõigetega varustatud ketast; keskosaga on see kinnitatud difuusori ja koos sellega võnkepooli külge ja välisservaga valjuhääldaja korpuse külge. See detail, mida nimetatakse *isentreerimisreibiks*, ei takista tänu oma elastsele difuusori normaalset liikumist, kuid väldib võnkuva süsteemi külghälbeid.

Võnkepool sisaldab mõnikümend keerdude ühes või kahes kihis keritud traati.

Difuusor valmistatakse üldiselt paberimasist, mida immutatatakse erilise ainega, et muuta ta niiskuskindlaks. Difuusori servale antakse laineline kuju, selleks et ta võiks vabalt võnkuda. Difuusori välisserv kinnitatakse metallist hoidiku külge, mis on omakorda kinnitatud magnetsüsteemi külge.

Nõuded heli taasesitusele

Valjuhääldaja peab olema monteeritud pak-sule, suhteliselt suurte mõõtmetega lauakile või vineerplaadile, millesse on lõigatud difuusori läbimõõdule vastav auk. See laud on akustiline ekraan ehk kõlalaud, mis kõrvaldab difuusori nõgusalt esiküljelt kiiratud helilainete ja difuusori kumeralt tagaküljelt kiiratud helilaine koostoime. Sellisel koostoimel tekib nn. «akustiline lühis», mille tagajärjeks oleks madalate helide kadumine ja keskmise registri sumbumine. «Tagumiste» lainete teekonna pikendamisega ümber akustilise ekraani serva säilitatakse taasesitatava heli kõrge kvaliteet.

Tõelise akustilise ekraani puudumisel võib tema ülesannet täita vastuvõtja kast, tingimusel, et ta on küllalt suur ja massiivne. Õnnetuseks arvestatakse neid nõudeid harva, sest

liigagi sageli kiputakse unustama, millist tähtsust omab akustika jaoks kast.

Üksainus elektrodünaamiline valjuhääldaja ei suuda laitmatult edasi anda helisid terves helisageduspiirkonnas. Väikese läbimõõduga difuusoriga valjuhääldajad (millede difuusor on suhteliselt kerge) taasesitavad paremini helisageduspiirkonna kõrgeid ja suure difuusoriga valjuhääldajad. — madalaid sagedusi. Seepärast kasutatakse vastuvõtjates sageli kaht või enam valjuhääldajat; nendest üks või mitu töötab madalatel ja keskmistel, ülejäänud aga kõrgetel helisagedustel. Mahtuvustest ja induktiivsustest koosnevate ahelate abil eraldatakse vastavate helisagedustega komponendid, et igasse valjuhääldajasse saaks anda just neid sagedusi, mida nad hästi taasesitavad.



18.

VESTLUS

Helitugevuse reguleerimise ja ühtlase faseme säilimise probleemid moodustavad ühe kõige huvitavamatest peatükkidest raadiotehnikas. Helitugevuse reguleerimist on kerge teostada, kuid seda püsival fasemel hoida on raskem, sest vaibumisahtus mõjutab vastuvõtuaseme püsivust... Targaste jutustab sellest ebameeldivast nähtusest ja näitab, millisel viisil automaatse võimendusregulaatori [AVR] kasutamine kaasaegsetes raadiovastuvõtjates võimaldab tunduvalt vähendada vaibumisahtuste toimet.

MÖTISKLUSI LAINETE PEEGELDUMISEST

Targaste: Täna jutustaksin sulle, Huviste, mis on *automaatne võimenduse reguleerimine*. Selline reguleerimine võimaldab säilitada vastuvõtu helitugevust, vaatamata vaibumisahtuse toimele.

Huviste: Kuid ma ei tea, mis on vaibumisahtus.

T.: *Vaibumisahtus* ehk *feeding* on juba ammu tuntud. See avaldub niiviisi, et kaugete saatjate vastuvõtul hakkab laine intensiivsus mõnikord ilma nähtava põhjuseta tublisti kõikumama. Need vastuvõtu tugevuse muutused võivad olla kestvamad või lühiajalised, kusjuures aeg-ajalt võib vastuvõtt täielikult katkeda. Vaibumisahtus pakkus teadlastele juba ammu huvi.

H.: Arvan, et vastuvõtu vaibumised segasid kuulajaid väga, sest niisugune vastuvõtu nõrgenemine ei vastanud heliloojate taotlustele, kellede teosed ilmselt moonutusid. Kuid olen kindel, et juba on avastatud vaibumisahtuste põhjused ja leitud viisid nende vastu võitlemiseks.

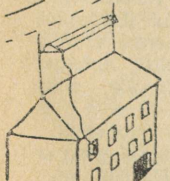
T.: Nii see olekski, kui vaid vaibumiste tekkimise põhjused sõltuksid saatjast või vastuvõtjast. Kuid see nähtus ilmub just nimelt nende vahel. Saatja poolt tekitatud püsiva intensiivsusega lained jõuavad vastuvõtjani tunduvalt kõikuva intensiivsusega.

H.: Tähendab, et vaibumised osutuvad elektromagnetiliste lainete levimise anomaaliaks?

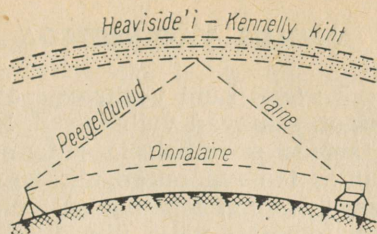
T.: Jah. Kaasaegse teooria kohaselt levivad lained mööda erinevaid teid. Üks tee asetseb piki maakera pinda; mööda seda levib nn. *pinnalaine*. Ta sumbub suhteliselt kiiresti energia neeldumise tõttu kõikides laine teel olevates elektrijuhtides, milledes ta tekitab kõrgsagedusvoolu. On olemas ka *ruumilaine*; see levib antennist väljudes mööda teed, mis moodustab Maa pinnaga suurema või väiksema nurga...

H.: Need lained on meie jaoks kadunud; nad lähevad arvata-vasti planeetidevahelisse ruumi.

T.: Sa eksid! Teatavas kõrguses (umbes 120 km) kohtavad lained ioniseeritud gaasi kihti, mis kujutab nende suhtes tõelist peeglit, mille pinnalt nad peegelduvad tagasi maapinnale. Seda kihti nimetatakse *ionosfääriks* või nende teadlaste nimede järgi, kes



Joonis 103. Saatja laine jõuab vastuvõtuantennini mööda kahte erinevat teed: maapinda mööda ja pärast atmosfääri ülakihtidelt peegeldumist.



esimesena väljendasid arvamust selle olemasolu kohta, Heaviside'i-Kennelly kihiks (joonis 103).

H.: Järelikult võib juhtuda nii, et antenni satub ühest ja samast saatjast samaaegselt kaks lainet — pinnalaine ja ionosfääriilt peegeldunud laine.

T.: Õige. Sa märkad muidugi, et nende lainete teekondade pikkused on erinevad. Sel ajal, kui üks, kulgedes mööda maapinda, jõuab päralt lühimat teed pidi, siirdub teine kaugele atmosfääri ülakihtidesse, enne kui saabub sihtpunkti. Kui mõlemad lained kohtuvad vastuvõtuantennis, võivad nad osutada faasis olevateks. Siis tugevneb nende poolt tekitatud signaal. Kui aga nad kohtuvad vastandfaasis, siis kummagi laine poolt antennis tekitavad signaalid nõrgenevad või kompenseeruvad.

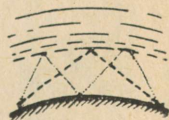
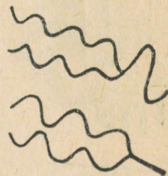
H.: Siiski ei seleta see põhjust, miks vastuvõtu intensiivsus pidevalt muutub. Ometi peaksid kaks lainet, mis ühest ja sellest-samast saatjast satuvad ühte ja sellesamasasse vastuvõtuantenni, alati andma kas tugevnenud või nõrgenenud signaali, mille intensiivsus ei tohiks ajas muutuda.

T.: Jah, nii see ka oleks, kui ionosfäär oleks liikumatu ja jäik peegel. Tegelikult võib teda võrrelda merega ühes selle lainete, tormide ja tõusude-möönadega. Ionosfääri pind liigub pidevalt ja tema kõrgus sõltub ööpäevast ja aastaajadest. Seepärast osutub peegeldunud lainete teekonna pikkus erinevaks ja nad hakkavad pinnalainet kord tugevdama, samas aga jälle nõrgendama. Just see põhjustabki vastuvõtu intensiivsuse pideva kõikumise.

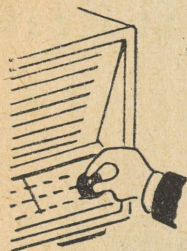
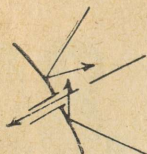
H.: Kuid sa ütlesid, et pinnalaine nõrgeneb suhteliselt kiiresti, vastavalt sellele, kuidas ta eemaldub saatjast. Ma arvan, et alates teatavast kaugusest asetseb vastuvõtuantenn ainuüksi ruumilaine väljas. Sel juhul ei esine vaibumisi.

T.: Kahjuks satub antenni tavaliselt mitu peegeldunud lainet, mis läbisid erineva tee, isegi peegeldusid korduvalt ionosfääriilt ja maapinnalt, mis samuti peegeldab laineid.

H.: Nii et vaibumisahtuste kõrvaldamiseks vahendeid polegi?



VÖITLUS VAIBUMISTEGA



T.: Seni kuni vastuvõtja antenn võtab üheaegselt vastu mitut lainet, esinevad vaibumised. Neid võib nõrgendada, kui saatjates kasutada spetsiaalseid antenne, mis kiirgavad laineid horisondi suhtes teatava nurga all, samuti ka vastuvõtja poolel suunatomi-mega antenni kasutamise teel, mis valiks kõikidest seda tabavatest lainetest välja ühe, kindlaksmääratud suunast saabuva.

H.: Kui võitlus vaibumistega sellega piirdubki, siis peaks see olema pagana keeruline!

T.: Ei, kallid Huviste. Peale saateantennide täiustamise kasutatakse vaibumistähtsuse mõju vähendamiseks ka teisi võitlusvahendeid juba vastuvõtjas eneses. Teades, et vastuvõtuantenni tulevad väga erineva tugevusega lained, püütakse säilitada helitugevus vastuvõtja väljundis püsivana võimenduse vastava reguleerimisega.

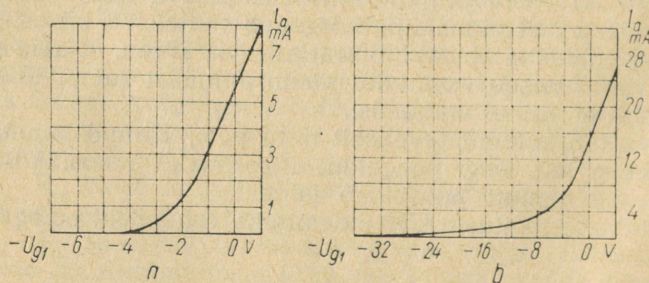
H.: Tähendab, et signaali tugevuse muutumine kompenseeritakse, kui ma õigesti mõistsin, võimenduse muutmise teel. Kui laine intensiivsus nõrgeneb, suurendatakse võimendust, ja vastupidi, kui laine intensiivsus suureneb, vähendatakse võimendust.

T.: Just nii tehaksegi. Kui saabub vaibumise tõttu väga nõrgenenud signaal, suurendame vastuvõtja tundlikkust, tõstes kõrgsagedusastmete võimendust (kui meil on aga superheterodüünvastuvõtja, siis ka vahesagedusastmete võimendust).

H.: Kuid ma ei tea, kuidas saab elektronlambi võimendust reguleerida.

SALAPÄRANE «PUNKT X»

T.: Sa tead juba, et mida suurem on lambi tunnusjoone tõus, seda paremini ta võimendab. Ühe ja sama lambi tõus muutub sõltuvalt sellest, millises tunnusjoone osas lamp töötab. *Talitluspunkti* asend tunnusjoonel on määratud selle lambi võrele antud negatiivse eelpinge suurusega...



Joonis 104. Lambi tunnusjooned: a — lühike tunnusjoon; b — muudetava tõusuga lambi pikendatud tunnusjoon.

H.: Ma katkestan sind, Targaste. Mäletan suurepäraselt, et lambi tunnusjoone tõus erinevates punktides on samuti erinev. Selle väärtus on suurim kõvera sirgjoonelises osas. Kui suurendame eelpinget, siis siirdume tunnusjoone alumisele põlvikule, kus tõus hakkab kiiresti kahanema (joonis 104, a). Kuid sa oled mulle sageli korranud, et tunnusjoone seda osa tuleb pidada keelutsooniks. Moonutusvabalt saab ju võimendada ainult tunnusjoone sirgosa piirides.

T.: See ongi nii, kui meil on tegemist tavaliste lampidega ja signaali suurte amplituudidega, nagu näiteks madalsagedusastmetes. Kuid kõrgsageduse ja vahesageduse korral on signaali amplituud veel väga väike ja sel puhul piisab talitluspunkti piirkonnas ka ligikaudselt sirgjoonelisest lõigust. Selleks on loodud erilised lambid, mille tunnusjoone tõus muutub suhteliselt sujuvalt, sest tunnusjoone põlvik pole kujundatud teravalt (joonis 104, b). Selliseid lampe nimetatakse *muudetava tõusuga* lampideks. Muidugi ei tähenda see, et kõikidel teistel lampidel on tõus püsiv, vaid sootuks seda, et nendel spetsiaalsetel lampidel saab talitluspunkti paigutada tunnusjoone erineva tõusuga osadesse.

H.: Kui oleksin teadnud muudetava tõusuga lampide olemasolust, poleks ma vaidlema hakanud. Muudetava tõusuga tunnusjoon näitab, et kui lambi võrele anda suur eelpinge, siis ta ei tarvitse selle võrele antud signaale võimendada, vaid võib neid isegi nõrgendada.

T.: Seda me just vajame. Tänu sellele õnnestub meil säilitada helitugevuse normaalset väljundtaset ka väga intensiivsete signaalide korral.

Võimenduse reguleerimiseks muudetava tõusuga lampide abil võib kasutada potentsiomeetrit R_1 , millega saab reguleerida võreelpepinge suurust (joonis 105).

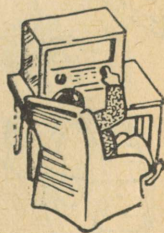
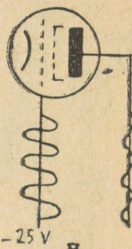
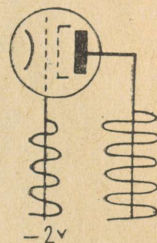
H.: Kuid see oleks kohutav! Siis ei saaks kuulaja üldse kätt potentsiomeetri nupult võtta ja ta pööraks seda väibumiste olemasolul pidevalt vastuvõtutugevuse muutumiste kompenseerimiseks. Millist rahuldust võib anda muusikasaade sellistes tingimustes kuulamisel!...

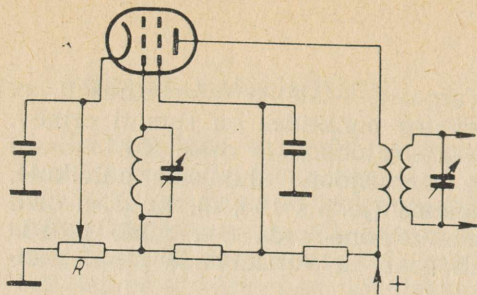
T.: Õnneks saame sellise reguleerimise automaatseks muuta. Selleks tuleb vastuvõtjas leida punkt, mille potentsiaal muutub negatiivsemaks, kui vastuvõetavad signaalid tugevnevad. Kas tunned mõnda sellist?

H.: Ma ei näe ühtki.

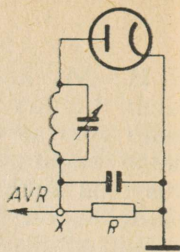
T.: Vaata diodddetektor skeemi (joonis 106), mida tunned juba ammu. Punkt, millest kõneleme, on takisti R tähega X tähistatud ots. Dioddiga alaldatud kõrgsagedusvool loob sellel takistil pingelangu, kusjuures punkti X potentsiaal on üldmiinusjuhtme suhtes negatiivne. See pinge on võrdeline dioddile antava signaali *k e s k m i s e* intensiivsusega.

H.: Mõistsin! Sa juhid pinge punktist X kõrgsageduse või

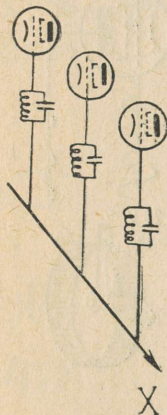




Joonis 105. Võimenduse reguleerimine liugkontaktiga potentsiomeetri R abil, mis muudab lampi võre negatiivset eelpinget.



Joonis 106. Punktis X tekkev negatiivne pinge on võrdeline kõrgsagedussignaali keskmise intensiivsusega.



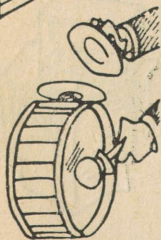
vahesageduse võimenduslampide võredele, kusjuures need lampid peavad olema muudetava tõusuga. Kui signaal tugevneb, kasvab negatiivne pinge punktis X ja vastavalt KSV ja VSV lampide võrel, mille toimel võimendus väheneb. Vastupidi, kui vaibumise tõttu signaal nõrgeneb, kahaneb punktis X negatiivne pinge ja kõrgsagedus- ning vahesageduslampide võimendus suureneb. Lõpptulemusena silub selline süsteem kõrgsagedussignaali intensiivsuse kõik muudatused ja säilitab helisignaali püsiva taseme, mida just vajamegi.

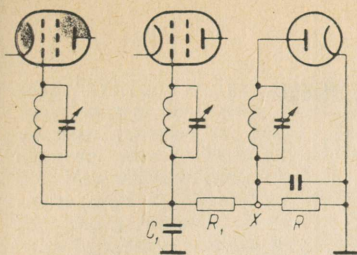
T.: Näen, et said aru automaatse võimendusregulaatori talitluspõhimõttest. Pane tähele, et siin toimetatakse reguleerimist madalaima taseme järgi. Ainult kõige nõrgemate signaalide korral kasutatakse tervet vastuvõtja tundlikkuse kogureservi. Vastavalt sellele, kuidas signaali tugevus kasvab, vähendab automaatne võimendusregulaator (lühendatult AVR) võimendust võrdeliselt saabuva signaali tugevuse suurenemisega.

RAADIOVASTUVÖTJA KASUTAMISEKS KURTIDELE

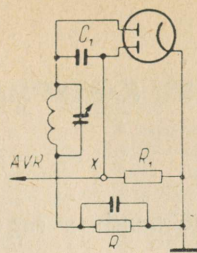
H.: Kui lubad, siis üks vastuväide. Oleta, et kantakse üle muusikat ja et löödi trummi. Kas sel hetkel AVR ei põhjusta silmapilkselt võimenduse vähenemist? Ometi peaks sinu AVR talitluspõhimõtte kirjelduse kohaselt ka mingil määral muusika varjundeid «summutama».

T.: Sinu vastuväide, Huviste, on kaalukas. Selleks et AVR-i süsteem töötaks mitte diodis detekteeritud pinge hetkeliste muutuste alusel ja et kõrgsagedus- ning vahesagedusastmete lampidele mõjuks ainult moduleeritud signaali keskmine suurus, asetatakse punkti X ja lampide võrede vahele silumisfilter, mis laseb läbi ainult automaatreguleerimispinge suhteliselt aeglaselt muutuva alaliskomponendi. See filter koosneb takistist R_1 ja kondensaatorist C_1 (joonis 107). Nad tõkestavad pinge hetkelist läbimist, sest kondensaator silub pinge hetkelisi muutusi. Süsteemi R_1C_1 koostoime on teataval määral analoogiline paispooli ja kondensaatori toimega anoodtoite silumisfiltris.





Joonis 107. Kahe lambi tüürimine automaatse võimenduse reguleerimise pingega, mida saadakse punktist X.



Joonis 108. Kaksikdiodi kasutamine võimaldab eraldada detektori koormusahelat AVR-i skeemist.

H.: Näen, et igasse dioddetektoriga vastuvõtjasse võib lisada takisti ja kondensaatori, et saada automaatset võimenduse reguleerimist. See on ju oivaliselt lihtne!

T.: Tahaksin märkida, et mõnikord võetakse pinge AVR-i jaoks iseseisvalt diodilt (joonis 108). Teine diod asetseb esimesega ühises kolvis (esimest diodi kasutatakse signaali detekteerimiseks), kusjuures neil on ühine katood. Vahelduvpinge juhitakse teisele anoodile läbi väikese mahtuvusega sidestuskondensaatori C_1 . Alaldatud vool tekitab takistil R_1 pingelangu, mis antakse (punktist X) läbi filtri muudetava tõusuga lampide võredele.

H.: Ma eelistan kaksikdiodiga skeemi, sest see võimaldab detekteerimise ja võimenduse reguleerimise ülesandeid eraldada.

T.: Kas sa, Huviste, suudaksid vastata ühele riukaga küsimusele? Kas tead, kuidas muutub AVR-i süsteemi poolt tüüritava kõrgsagedus- või vahesageduslambi keskmine anoodvool?

H.: Loomulikult. Kui signaal suureneb, kasvab punktis X negatiivne pinge ja vastavalt sellele väheneb lampide anoodvool.

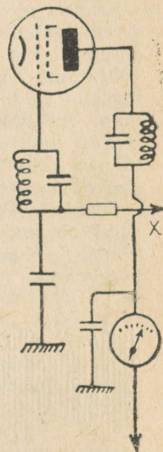
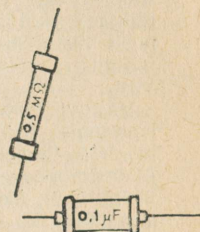
T.: Suurepärase. Pea nüüd meeles, et seesama toimub, kui muudetava mahtuvusega kondensaatori pööramisega häälestad vastuvõtja täpselt mingile saatjale. Sel puhul on diodil suurim pinge, kuid reguleeritavate lampide anoodvool väiksem. Kui nüüd AVR-i süsteemi poolt reguleeritavatest lampidest ühe anoodahelasse paigutada milliampermeeter, siis võime selle näidu järgi hinnata vastuvõtava saatja lainele häälestamise täpsust.

H.: Ühe sõnaga, sellise mõõteriista abil võib isegi kurt vastuvõtjat täpselt häälestada?

T.: Loomulikult, sest see mõõteriist osutub häälestustäpsuse indikaatoriks. Ometi pean sulle ütlema, et vastuvõtjates ei kasutata selleks otstarbeks milliampermeetrit, vaid erilist lampi.

H.: Kas see polegi too roheline silmake, mida ma näen mõnedes vastuvõtjates?

T.: Loomulikult! See «maagiline silm» ongi optiline häälestusindikaator. Sellises lambis on lisaks katoodile, anoodile ja võrele veel üks elektrood, mis helendab sellele langevate elektronide toimel. Kui selle lambi võre ühendada meie skeemis punktiga X, hakkab optiline indikaator näitama häälestuse täpsust.



Automaatne võimenduse reguleerimine

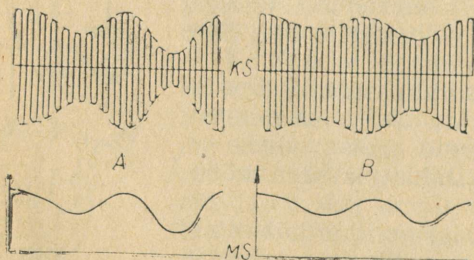
Vastuvõtja helitugevuse reguleerimise probleem osutub sügavamal uurimisel keerukamaks kui esimesel pilgul näib. Asi on selles, et keskmist helitugevust tuleb reguleerida kooskõlas kuulaja sooviga ja seejärel säilitada stabiilset tasemel. Kuid raadiolaine poolt vastuvõtuantennis tekitatava pinge halb püsivus ei võimalda saada stabiilset helitugevust.

Vastuvõetava signaali tugevuse tunduva muutumise põhjuseks on sageli vaibumisenähtus, mis ilmneb raadiolainete lihtsa või paljukordse peegeldumise tulemusena atmosfääri ülakihitelt. Lisaks sellele võib liikuvast seadmes (näiteks autoraadiovastuvõtjas) vastuvõetavate signaalide tugevus muutuda metallpindade mõjul, mis moodustavad varje või peegeldi. Nii näiteks läbisõit metallsilla alt või kahe raudbetoonist maja vahelt avaldub signaali tunduva nõrgenemisenähtuse.

Seadet, mis võimaldab vastuvõtjas vähendada vaibumisenähtuse mõju, nimetatakse automaatseks võimendusregulaatoriks (AVR).

Ideaalne regulaator peaks automaatselt tagama ühetaolise helitugevuse kõikide saadete vastuvõtmisel. Praktiliselt võib AVR püsiva helitugevuse säilitada ainult tingimusel, et kõigil saatjatel oleks üks ja seesama modulatsioonisügavus. Mis see on?

Joonisel XVII on kujutatud kaks moduleeritud kõrgsagedusvoolu, mille amplituudid on võrdsed. Kuid vool A on madalsagedusega tugevamini moduleeritud kui vool B ja see-



Joonis XVII. Võnkumise A modulatsioonisügavus on suurem kui võnkumisel B. Joonise allosas on kujutatud detekteeritud voolud.

pärast annab sügavama modulatsiooniga vool pärast detekteerimist ka tugevama madalsagedusvoolu, nagu see on kujutatud joonise alumises osas.

Käsitsi reguleerimise vajadus

Kõikide AVR-i süsteemide toime piirduv detektorile antava kõrgsageduspinge hoidmisega püsivana ja, nagu eespool näidati, ei kindlusta kõikide saadete jaoks üht ja sedasama helitugevust. Üsna sageli juhtub, et kauge, kuid sügavalt läbimoduleeritud saatja annab tugevama heli kui kohalik ja nõrgalt läbimoduleeritud saatja.

AVR-i põhieesmärgiks on hoida antud saate helitugevus püsivana terve selle vastuvõtjaja vältel. Seepärast ei ärasta AVR-i olemasolu helitugevuse käsitsi reguleerimise tarvidust, mis võimaldab sobivat helitugevust seadistada modulatsioonisügavusele vaatamata.

Seoses sellega, et helitugevuse käsitsi reguleerimine ei tohi mõjutada detektori sisendpinge suurust (seda mõjutab automaatregulaator), peab see asetsema vastuvõtja madalsagedusosas. Tavaliselt kasutatakse selleks liugkontaktiga potentsiomeetrit madalsagedusvõimendi astmete sidestusahelas, mis võimaldab reguleerida pinget võimenduslambi võrel. Sageli ühendatakse selline potentsiomeeter detektoriahelasse koormustakistina. See loob võimaluse kasutada soovivat osa detekteeritud madalsageduspingest.

Hüdrauliline analoog

Nüüd, kui me oleme määranud automaatse võimendusregulaatori toimimispiirkonna, võime asuda selgitama tema põhilist talitusviisi.

Põhimõte on selles, et regulaatoris kasutatakse pinget, mille tekitab detekteeritud voolu keskväärts, detektorile eelnevate lampide elektroodide mõjustamiseks nii, et signaali suurenemisel võimendus väheneks.

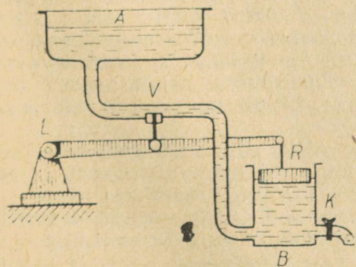
Väga lihtne hüdrauliline analoog aitab meil esitatud mõista. Samastame signaali intensiivsuse vastuvõtja sisendis vedeliku tase-

mega anumus A (joonisel XVIII). Vedeliku tase anumus B vastab detektorile antavale pingele. Joonisel on näha kumbagi anumast ühendav toru ja kraan K, mille kaudu vedelik võib väljuda anumast B. Kui seade koosneb ainult kirjeldatud detailidest, siis taseme muutumine anumus A (vaibumisahtus) põhjustaks taseme vastava muutumise anumus B. Kuid seadmes on veel regulaator, mis peab anumus B vedeliku taset säilitama püsivana. Regulaator koosneb ujukist R, mis on ühendatud ümber liigendi L pöörleva kangi kaudu ka ventiiliga V. Kui nivoo tõus anumus A põhjustab nivoo tõusu anumus B, siis suleb kerkiv ujuk R ventiili V rohkem, nii et juurdevoolava vedeliku hulk väheneb ja tase anumus B otsekohe alaneb. On selge, et vedeliku tase anumus B jääb praktiliselt muutumatuks.

Täpselt samuti põhjustab sisendsignaali intensiivsuse suurenemine automaatse võimendusregulaatoriga vastuvõtjas detekteeritud voolu keskvaartuse kasvamine. See vool tekitab takistil pingelangust, mis antakse negatiivse eelpingena ühe või mitme eelneva lambi tüürvõrele ja mis vähendab nende võimendust.

Lõpptulemusena huvitab meid vedeliku väljumine, ehk raadio puhul: resulteeriv helitugevus. Hüdraulikas sõltub vedeliku väljumine mitte ainult tasemest, vaid ka vedeliku omadustest, peamiselt tema viskoossusest. Kui meil oleks tegemist ainult ühe vedelikuga, siis osutuks kraanist K sekundis väljuv vedeliku hulk muutumatuks, sõltumata tasemest anumus A. Kui kasutame kord elavhõbedat, siis jällegi õli, ei võrdu nende vedelike voolamiskiirused. Just siis osutub tarvilikuks kraan K, mis määrab lõplikult iga vedeliku kulu.

Pöördume tagasi raadio juurde; tähelepanelik lugeja ilmselt juba avastas, et vedeliku omadused vastavad modulatsioonisügavusele ja kraan



Joonis XVIII. Hüdrauliline seade, mis on analoogiline automaatse võimendusregulaatoriga.

K täidab vastuvõtja madalsagedusosas asetseva helitugevuse käsiregulaatori ülesannet.

Märgime ka, et hüdrauliline regulaator võimaldab vajaduse korral vähendada vedeliku juurdevoolamise kiirust, takistades sel viisil taseme tõusu anumus B. Kui aga tase anumus A kujuneb mingil põhjusel liiga madalaks, siis langeb ühtlasi ka tase anumus B ja regulaator ei suuda enam seda alanemist kompenseerida. Sellist nähtust võib täheldada ka raadio puhul. *Automaatne võimendusregulaator vähendab suuremal või väiksemal määral vastuvõtja tundlikkust*, kuid ei suurenda seda.

Nii viisi teostab automaatne võimendusregulaator «nivelleerimist madalaima taseme järgi». Seda võib kasutada ainult küllaldase tundlikkusreserviga vastuvõtjates.

Järelikult see pinge, mille loob võimendatav signaal detektori väljundis, reguleerib automaatselt võimendust. See pinge peab jääma püsivaks. Niipea kui ilmub selle pinge muutumise, kas suurenemise või vähenemise tendents, hakkab ta eelnevaid lampe mõjutama, muutes nende võimendust ja kompenseerides sellega antenni siseneva signaali kõikumise tagajärgi.

Muudetava tõusuga lambid

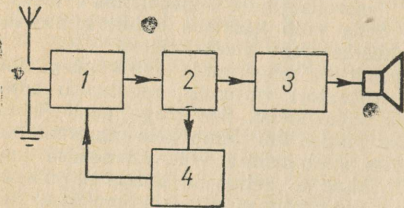
Detektorile eelnevate lampide võimendusteguri reguleerimine põhineb nende tõusu muutmisel. Lampide tunnusjoonte tundmaõppimisel nägime, et tõus on püsiv üksnes tunnusjoone sirgosa piires. Niipea kui eelpinge küünib tunnusjoone alumise põlvikuni, kahaneb tõus ja võib lõpuks langeda nullini (mil suure negatiivse eelpinge juures anoodvool lakkab).

Kõikidel AVR-i süsteemiga hõivatud lampidel on eriline tunnusjoon. Nende, nn. *muudetava tõusuga lampide* tõus muutub eelpingest olenevalt üsna sujuvalt. Tunnusjoonel pole järske põlvikuid ja selle kõikides osades võib väikesi löike hõlpsasti vaadelda sirglõikudena. Seega osutuvad mittelineaarsusest tingitud moonutused võrepinge väikestel amplituudidel tühisteks, ükskõik kus talitluspunkt ka ei asetseks.

Mida suurem on negatiivse eelpinge absoluutväärtus, seda väiksem on lambi tõus ja järelikult ka võimendustegur. Muutes teatavates piirides muudetava tõusuga lambi eelpinget, saame reguleerida tema võimendust maksimaalväärtusest kuni sellise suuruseni, mis on pigemini nõrgendamine kui võimendamine.

AVR-i talifilus

Võimenduse reguleerimine detektori eel (mis sisuliselt polegi midagi muud kui vastuvõtja tundlikkuse reguleerimine) võiks toimuda käitsi, näiteks lambi võre potentsiaali reguleerimisega või sellega samaväärse katoodi potentsiaali reguleerimisega potentsiomeetri abil. Kuid automaatregulaatori võetakse tarvilik eelpepinge detektorist. Tõepoolest on diooddetektori punktis X (joonis 106) madalsageduspinge igal hetkel vastuvõetava signaali keskmise intensiivsusega võrdeline.



Joonis XIX. AVR-iga raadiovastuvõtja lahterkoem: 1 — kõrgsagedusvõimendi; 2 — detektor; 3 — madalsagedusvõimendi; 4 — AVR-i ahel.

Seda negatiivset pinget kasutatakse eelnevate lampide võreahelates eelpingena. Need ühendatakse sellisel juhul AVR-i ahelaga (joonis XIX). Tuleb märkida, et lampide esialgne eelpepinge saadakse tavalisel viisil pingelanguna katoodi ja anooditoiteallika miinuspooluse vahele ühendatud takistil. Sellele lisandatakse AVR-i pinget, mis suurendab negatiivset eelpinget, selleks et suuremal või väiksemal määral vähendada iga lambi võimendustegurit.

Kui vaibumisnähtuse tagajärjel antennis tabava signaali intensiivsus kahaneb, siis väheneb samuti ka detekteeritud pinge punktis X; selle tulemusel väheneb täiendav eelpepinge ja lampide võimendus suureneb, neutraliseerideski vaibumisnähtuse toime.

Ajakonstant

Automaatse võimendusregulaatori ülesandeks on taasesitatava heli tugevusele stabiilsuse andmine. Loomulikult ei taotle me kõikide helide võimsuse viimist ühele ja samale väärtusele, millega muusikas kaoksik kõik nüansid. Hoopis vastupidi: võimaluse piires tuleb täielikult säilitada pianissimo ja fortissimo vaheline kontrast. Stabiliseerida tuleb ainult keskmist helitugevust.

Selle nõude täitmiseks tuleb toimida nii, et signaalide intensiivsuste lühiajaliste muutuste (näiteks tugevate akordide) puhul ei hakkaks AVR tööle. Intensiivsuse kiired muutused neutraliseeritakse spetsiaalse suure *ajakonstandiga* ahela abil, mis koosneb näiteks takistist R_1 ja kondensaatorist C_1 (joonis 107). See ahel juhib vahelduvkomponendi mingisse püsiva potentsiaaliga punkti (näiteks anooditoiteallika miinusklennile).

Ajakonstanti mõõdetakse sekundites ja arvuliselt on ta võrdne R ja C korrutisega (oomides ja faradites). Nii näiteks annavad oomides 500 000 Ω ja kondensaator 0,1 μF (ehk 0,000001 F) ajakonstandi 500 000 · 0,000001 = 0,05 s (ehk $1/20$ s). Seega signaali kõikumised, millede kestus on lühem $1/20$ sekundist, seda takistist ja kondensaatorist moodustatud ahelat ei läbi. Helisagedused raadiovastuvõtjates on 20 hertsist kõrgemad, s. t. nende periood on $1/20$ sekundist lühem, vaibumised aga kulgevad üldiselt tunduvalt aeglasemalt. Seepärast ei osuta isegi madalaimatest helisagedustest põhjustatud pinget hetkelised muutused mingit toimet detektori eel toimuvale võimendusele; seevastu vaibumisnähtusest põhjustatud intensiivsuse kõikumine läbib sellise ajakonstandiga ahelat ja lampide võimendus muutub vastavalt.

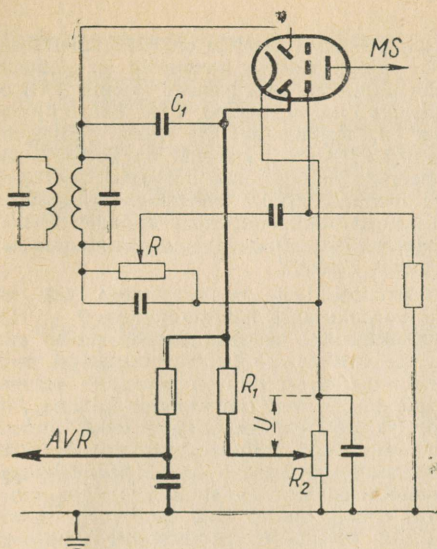
Viivatud AVR

Käesoleval ajal kasutatakse detekteerimiseks reeglina ühise katoodiga kaksikdiodde. Nii saab detekteerimise ja automaatse võimenduse reguleerimise funktsioonid eraldada. Nagu joonisel 108 oli näidatud, toimib ülemine diood detektorina ja alumisele antakse läbi väikese mahtuvusega kondensaatori C_1 kõrgsageduspinge. Detekteeritud voolust põhjustatud pingelangu takistil R_1 kasutatakse AVR-i pingena. Siiski ei paku kaksikdiodi selline kasutamiskiis olulisi eeliseid. See lamp pakub tõelist huvi *viivatud AVR-i* puhul.

Nii nimetatakse reguleerimissüsteemi, mis hakkab tööle ainult juhul, kui vastuvõetavate signaalide intensiivsus ületab teatava minimaalväärtuse. Millist huvi pakub selline seadise?

Tavaline AVR, mida äsja vaatlesime, avaldab oma toimet ka tühiseima signaali olemasolul antennis. Väljend «avaldata toimet» tähendab siin: «vähendab vastuvõtja tundlikkust». Kuid nõrkade signaalide puhul just see osutubki mittevajalikuks.

Et mitte takistada kaugele või nõrkade saatjate vastuvõttu, on vajalik, et regulaator hakkaks tööle alles siis, kui signaal ületab tea-



Joonis XX. Viivitusega AVR. Skeemi põhiline osa on jämejoonega. Pinge U tekitab viivituse.

tava taseme. Me viivitame regulaatori toimet selleks, et ta hakkaks reageerima ainult nendele signaalidele, mis tekitavad detektoris teatavat kindlat väärtust, viivituspinget ületava pinge. See ongi viivitusega AVR-i eesmärk.

Viivitusega AVR-i lülitus on üsna lihtne (joonis XX). Selleks et AVR-i pinge tekiks ainult teatavat intensiivsust ületavatest signaalidest, antakse AVR-i jaoks eraldatud alumise diodi anoodile katodi suhtes negatiivne pinge. See eelpinge saadakse kombineeritud lambi anoodvoolu toimel pingelanguna takistil R_2 , mis on ühendatud katodi ja anoodtoiteallika miinuskleemi vahele. Tänu pingele U , mis tekib katodi ja selle takisti sobival viisil valitud punkti vahel, kujuneb alumise diodi anoodi potentsiaal katodi suhtes negatiivseks. Sellepärast ei kaasne nende signaalidega, mis tekitavad diodil pingest U madalama pinge, voolu diodis ja järelikult ka pingelangu takistil R_1 . Detekteerimine ja automaatregeerimispinge tekkimine võivad esineda ainult sellise diodile rakenduva pingepuhul, mis ületab viivituspinge U .

Niiviisi säilib AVR vastuvõtja maksimaalse tundlikkuse nõrkade signaalide puhul ja hakkab toimima alles tugevamate signaalide saabumisel sisendisse.

Jooniselt XX nähtub, et ülemist diodi (mis teostab detekteerimist madalsagedussignaali

eraldamiseks) viivituspinge ei mõjuta, sest vastav koormustakisti R on ühendatud vahetult katoodiga. Skeemis on selleks takistiks liugkontaktiga potentsiomeeter, mida kasutatakse helitugevuse käsiregulaatorina.

Tummhäälestus

Kui AVR-iga varustatud vastuvõtja pole häälestatud mingi saatja lainele, on tema tundlikkus maksimaalne. Siis võtab ta ka maksimaalse võimendusega vastu kõiki elektrilisi häireid, mida põhjustavad atmosfäärielektrinähtused (atmosfäärihäired) ja mootorid, generaatorid, lülitid, valgussignalisatsioon, elektrikõlistid jne. (tööstushäired). Need häired kostavad vastuvõtja valjuhääldajas väga ebameeldiva mürana, kui pöördkondensaatori nupu pööramisega otsitakse mingit saatjat ja ületatakse skaalal jaamade vahekohti.

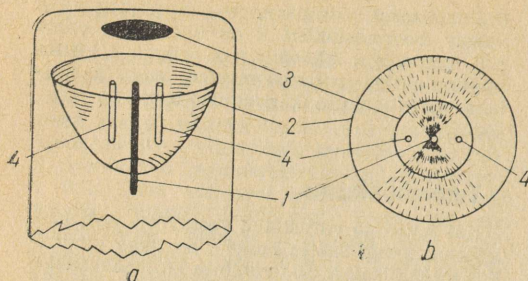
Raadiokuulaja säästmiseks sellest ärritavast mürust on mõnes vastuvõtjas kasutusel nn. tummhäälestuse seadis, mis summutab müra, kui vastuvõtja pole saatjale häälestatud. Siin jätame selleks kasutatavad erinevad lülitused vaatlemata. Suurem osa nendest põhineb AVR-i pinge kasutamisel, mis antakse ka madalsagedusvõimenduslampidele. Signaali puudumisel on lambid suure eelpingega «lukustatud», nii et vastuvõtja muutub tummaks. Kui aga vastuvõtja on häälestatud saatja lainele, avab tekkiv AVR-i pinge madalsagedusvõimenduslambi, taastades selle eelpinge normaalväärtuse.

Müravaba häälestamise seadmeid kasutatakse harva, sest nad ei tööta iga kord rahuldavalt ja mõnikord muutuvad tõsiste moonutuste põhjustajaks.

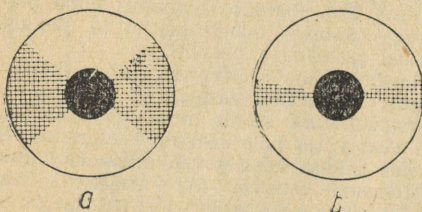
Optilised häälestusindikaatorid

Optilised häälestusindikaatorid, mis võimaldavad vastuvõtjat tarvilikule saatjale häälestada ka helitugevuse regulaatori nupu nullasendis, on leidnud rohket kasutamist. Häälestanud visuaalse kontrolli süsteemi abil sel viisil vastuvõtja ilma ebameeldiva müra kaasnemiseta, võib hiljem vastavalt soovile valida helitugevuse.

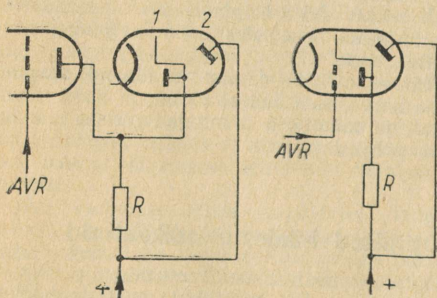
Võib kasutada kaht tüüpi visuaalseid häälestusindikaatoreid. Üheks on tavaline milli-ampermeeter, mis ühendatakse AVR-iga hõivatud lampide anoodtoiteahelasse. Kuna täpsel häälestusel omandab AVR-i pinge maksimaalväärtuse, osutub eelpinge lampidel samuti suurimaks ja anoodvool vähimaks. Seega täp-



Joonis XXI. Elektronoptilise häälestusindikaatori ülaosa ehitus: *a* — vaade kõrvalt; *b* — vaade ülalt (1 — katood; 2 — luminesseeriv anood; 3 — läbipaistmatu varje; 4 — hälvituselektrood).



Joonis XXII. Varisektor häälestusindikaatori ekraanil: *a* — vastuvõtja pole saatja sagedusele häälestatud; *b* — täpse häälestuse puhul.



Joonis XXIII. AVR-i pinge, mis on võimendatud trioodis, tekitab elektronoptilise häälestusindikaatori elektroodide 1 ja 2 vahel tarviliku hälvituspinge.

Joonis XXIV. Elektronoptilise häälestusindikaatori tegelik lülitusviis, milles joonisel XXIII kujutatud mõlemad elektroodide süsteemid on koondatud ühte kolbi.

sel häälestamisel saatjale on milliampermeetri hälve vähim. Märksa levinumad on elektronhäälestusindikaatorid. Nendes (joonis XXI) on elektrone kiirgav katood 1 ja kausikujuline anood 2, millele antakse teatav positiivne potentsiaal. Anoodi sisepind on kaetud luminesseeriva ainega, mis helendab elektroni-dega pommitamisel. Vaadeldes pingestatud indikaatorit ülalt, on näha anoodi ühtlaselt helendav pind; must varje 3 varjab punaselt hõõguvat katoodi.

Elektronide teele on paigutatud üks või mitu vardakujulist hälvituslektroodi 4. Hälvituslektroodile antakse anoodi suhtes suurem või väiksem negatiivne potentsiaal, mille tulemusena elektronid on sunnitud erineval määral normaalsest trajektoorist hälbima. Nii viisi tekitab iga hälvituslektrood anoodil varju, mille laius sõltub elektroodi negatiivse potentsiaali suurusel. Kahe hälvituslektroodi olemasolul näeme väga suure negatiivse pinge korral anoodi suhtes kaht laia varju (joonis XXII, *a*) ja anoodi potentsiaaliga peaaegu võrdse potentsiaali puhul kaht väga kitsast varju (joonis XXII, *b*). See ongi «maagilise silma» talituspõhimõte.

Pole raske mõista, et hälvituslektroodi pingestatakse AVR-i süsteemist. Seda pinget võimendatakse eelnevalt trioodiga (joonis XXIII). Indikaatori hälvituslektroodidele antakse pinge anoodtakistilt *R*. Täpsel häälestusel on AVR-i pinge kõige negatiivsem. Sel hetkel on trioodi anoodvool nõrgim, pingelang takistil *R* puudub peaaegu täielikult ja hälvituslektroodi potentsiaal osutub luminesseeriva ekraani potentsiaaliga peaaegu võrdseks. Varisektorid ahenevad, mis tähendabki täpset häälestust.

Võimenduslamp ja elektronindikaator monteeritakse ühisesse klaaskolbi, nagu on näidatud joonisel XXIV, kus on kujutatud joonisel XXIII esitatuga samaväärne skeem. Takisti *R* takistus on 1...2 MΩ.

Tänu optilisele indikaatorile saab vastuvõtjat täpselt häälestada; see on aga moonutusvaba vastuvõtu saamiseks üks tarvilikumaid nõudeid.

Lisame, et käesoleval ajal toodetakse ka kahekordeid erineva tundlikkusega elektronoptilisi indikaatoreid, millede üks varisektor aheneb koos suhteliselt nõrkade signaalidega. Üht sektorit kasutatakse täppishäälestamiseks kohalike saatjate puhul, teine aga hõlbustab kaugete saatjate otsimist.

Raadiospetsialistide kõik jõupingutused on suunatud ülekantava heli kvaliteedi tõstmisele. Kuid juba ammu osufusid eraldusteravus (selektiivsus) ja helikvaliteet omavahel vaenulikeks. Kvaliteetse heliga vastuvõtja polnud selektiivne ja vastupidi... Kuid appi tõttasid ribafiltrid, et vaenulikke naabreid lepitada. Targaste jutustab talle omase tuhinaga nendevahelised konfliktid. Tavalisest rohkem hämmeldunud Huviste pooldab reguleeritavat eraldusteravust.

19.

VESTLUS

VÕISTLUS — ERALDUSTERAVUS ÜLEKANDE HELIKVALITEEDI VASTU

Huviste: Eile õhtul viibisin ühe sõbra pool, kellel on väga tundlik vastuvõtja. Me kuulasime paljusid saatjaid. Paraku kaases mitmete saadeteга vile. Kust see tuli?

Targaste: Vile on kahe liiga lähedastel sagedustel töötava saatja omavahelise segamise tulemus.

H.: Tähendab, see on sama nähtus, mida superheterodüünvastuvõtjates kasutatakse sageduse muundamiseks. Teisiti väljendudes saadakse kahe pisut erinevate sagedustega naabersignaali vahel tuiklemine sagedusel, mis võrdub nende signaalide sageduste vahega.

T.: Täpselt nii. Seepärast rahuldab meid vaevalt saatjate sageduste kindlaksmääratud 9-kilohertsine erinevus, sest see võimaldab igal saatjal kasutada ainult 4,5-kilohertsist ribalaiust muusika ja kõne ülekandmiseks.

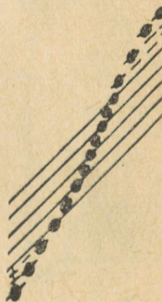
H.: Ma ei näe ikkagi veel seost saatjate sageduste erinevuse ja heli ülekandekvaliteedi vahel.

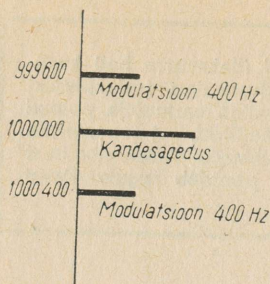
T.: Ometi on see erakordselt tähtis. Kui modulatsioon puudub, kiirgab saatja ainult üht sagedust, oma kandesagedust. Kuid moduleerimisel ühe mingi tooniga tekib otsekohe kaks uut sagedust, mis asetsevad kandesageduse suhtes sümmeetriliselt. Niiviisi tekitab saatja, mis töötab näiteks sagedusel 1 MHz ja on moduleeritud 400-hertsise sagedusega heliga, kandesagedusele lisaks veel kaks uut sagedust: 1,0004 ja 0,9996 MHz (joonis 109). Sa näed, et need lained osutuvad kandesageduse ja moduleeriva sageduse liitmise ning lahutamise tulemuseks.

H.: Tähendab, kõrgsagedusvõnkumise moduleerimisel teostab madalsagedusvool tõelist sageduse muundamist.

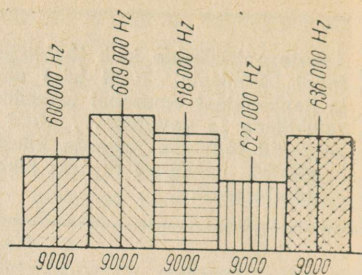
T.: Õigus. Et iga sagedus tekitab kandesageduse suhtes kaks sümmeetriliselt asetsevat sagedust, siis muusikahelide kogum, millede võnkesagedused küünivad 10 kilohertsini (ja isegi rohkem), tekitab kandesageduse ümber kaks sümmeetrilist sagedusriba, mida nimetatakse *külgribadeks*.

H.: Järelikult kiirgab muusikat saatev saatja lisaks kandesagedusele veel 10 kHz võrra sellest kummalegi poole ulatuvaid

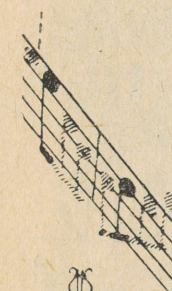




Joonis 109. 1-MHz kandesageduse moduleerimine sagedusega 400 Hz.



Joonis 110. Saatjate sagedusspektrid. Kandesagedused paiknevad 9 kHz kaugusel teineteist. Moduleerivad sagedused ei ületa 4,5 kHz.



sagedusi. Näiteks saatja puhul, mis töötab kandesagedusel 1 MHz, hõivavad külgribad spektri 0,99 kuni 1,01 MHz. Kas sain õigesti aru?

T.: See on täiesti õige. Kui aga iga saatja hõivaks sagedusriba 20 kHz, siis ei jätkuks laineastmikes tarviliku hulga saatjate jaoks ruumi. Rahvusvahelise kokkuleppe kohaselt, välja arvatud lühilainetel, kus on rohkem vaba ruumi, on seepärast külgribade laius kummaltki poolt piiratud 4,5 kilohertsiga. Niiviisi hõivab iga saatja enesele sagedusriba 9 kHz. Just see annabki võimaluse saada kahe kandesageduse vaheliseks erinevuseks 9 kHz, selleks et kaks saatjat ei hakkaks teineteist häirima (joonis 110), muidugi tingimusel, et vastuvõtja eraldusteravusest piisab 9 kHz eraldamiseks.

H.: Arvan, et omades küllalt palju häälestatud võnkeringe, võiks valmistada vastuvõtja, mis võtaks vastu võnkumist ainult ühelainsal sagedusel.

T.: See oleks asjatu ajaraiskamine! Kas sa annad üldse enesele aru, Huviste, et selline vastuvõtja suudaks võtta vastu ainult mingit üht nooti. Kas saab tunda rahuldust näiteks «Pastoraalsümfoonia» ettekandest, kui sa selle tervest helidetulvast kuuleksid ainult kolmanda oktaavi mi-bemolli?

H.: Muidugi mitte. Näen, et vastuvõtja peab moonutusteta läbi laskma terve 9-kHz külgsagedusriba, et saaks tervet ülekantavat muusikat taasesitada.

T.: Kuid poleks hea, kui ta laseks läbi veelgi avarama sagedusriba. Vastasel juhul tekiks naabersaatjate sageduste vahel ilmuvate tuiklemiste tõttu häired. Ja nii seisadki selle kohutava dilemma ees, mis vastandab ülekande helikvaliteedile eraldusteravuse: mida väiksem on eraldusteravus, seda kõrgem on taasesitatava heli kvaliteet.

H.: Kui juba valida eraldusteravuse ja helikvaliteedi vahel, siis ma pooldaksin viimast.

RIBAFILTER LEPITAB VASTASEID

T.: Milleks üldse taotleda kõikide helisageduste õiget ülekandmist, kui seda ülekannet katab häirevile?

H.: Kuid kas ei leidugi võimalusi 9-kilohertsise sagedusriba täielikuks ülekandmiseks ja sealjuures kõikide sellesse piirkonda mittekuuluvate signaalide tõkestamiseks?

T.: Jah, see on võimalik, vähemalt teatava lähendusega. Üksiku võnkeringiga on seda küll võimatu teha. Tema resonantsikõver...

H.: Mis see on? Sa pole sellest kunagi kõnelnud.

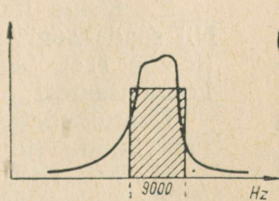
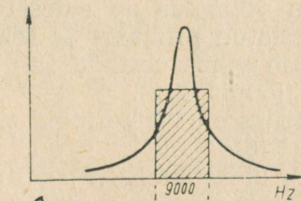
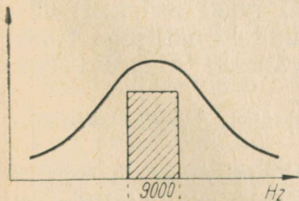
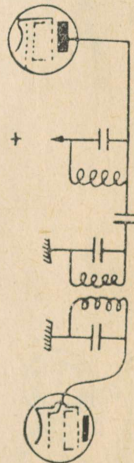
T.: Nii nimetatakse graafikut, mis näitab, kuidas võnkumise intensiivsus võnkeringis muutub sõltuvalt sagedusest. On ilmne, et maksimaalne võnkeamplituud ilmub võnkeringis resonantsi hetkel. Vastavalt sageduse muutumisele väheneb võnkeringis võnkumise intensiivsus enam või vähem järsku, olenevalt võnkeringi takistusest kõrgsagedusvoolu suhtes.

Kui võnkeringi takistus või, nagu öeldakse, tema sumbuvus on suur, siis on resonantsikõver lamedam (joonis 111) ja võnkering võib läbi lasta avarama sagedusriba. Kuid samas on ta eraldusteravus halb.

Vastandjuhul, kui võnkeringi sumbuvus on väga väike (joonis 112), siis ta laseb läbi ainult kitsa sagedusriba. Suure eraldusteravuse puhul ei lase ta läbi tervet külgribasid moodustavate sageduste kogumit. Ideaalne resonantsikõver peaks olema ristküliku kujuga ja 9 kHz laiune. Sellise resonantsikõveraga võnkering laseks läbi üksnes 9-kilohertsise sagedusriba ja muud midagi.

H.: Kuna sa räägid, et selline kõver on ideaalne, siis võin arvata, et seda pole üldse võimalik saada?

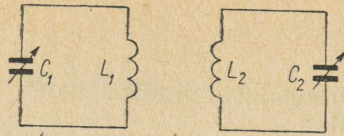
T.: Jah, kuid sellisele resonantsikõverale võib läheneda ribafiltri kasutamisel. Lihtsamad ribafiltrid koosnevad kahest kandesagedusele häälestatud ja omavahel sidestatud väikese sumbuvusega võnkeringist. Sidestustugevuse muutmiseга nende vahel



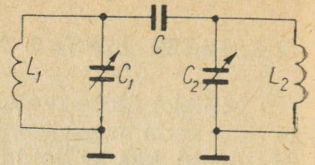
Joonis 111. Suure sumbuvusega võnkeringi resonantsikõver; väike eraldusteravus — hea helikvaliteet. (Ideaalne resonantsikõver on viirutatud.)

Joonis 112. Väikese sumbuvusega võnkering; suur eraldusteravus — halb helikvaliteet.

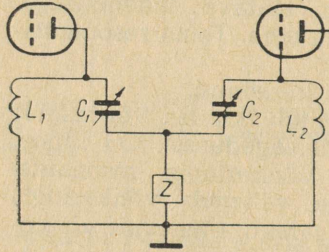
Joonis 113. Ribafiltri resonantsikõver, mis ühendab suure eraldusteravuse hea helikvaliteediga.



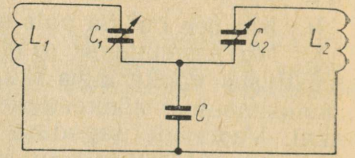
Joonis 114. Induktiivsidesuses ribafilter.



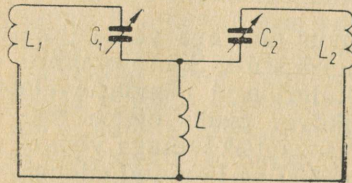
Joonis 115. Mahtuvussidesuses filter.



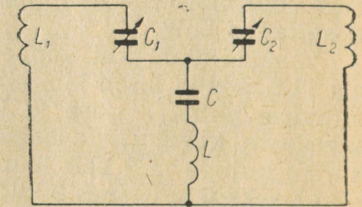
Joonis 116. Ühise reaktiivtakistuse Z kaudu sidestatud filter.



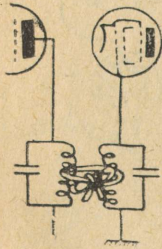
Joonis 117. Ühise mahtvustakistusega filter.



Joonis 118. Ühise induktiivtakistusega filter.



Joonis 119. Ühise induktiiv- ja mahtvustakistusega filter.



võib saada laiemat või kitsamat resonantsikõvera, mis on kujult lähedane riskülikule (joonis 113).

H.: Aga kuidas sidestada ribafiltri kumbki võnkering omavahel?

T.: Kõige lihtsam võimalus on sidestada need induktiivselt. Nii saadaksegi häälestatud primaar- ja sekundaarmähisega trafo (joonis 114). Sidestuse võib teostada ka väikese mahtvusega kondensaatori abil (joonis 115).

Keerukamates filtritres on võnkeringid sidestatud reaktiivtakistuse kaudu (joonis 116).

H.: Mil viisil võib ühine takistus osutada sidestuselemendiks?

T.: Esimeses võnkeringis esinev vool tekitab sellel takistusel pingelangu, mis rakendub teisele võnkeringile ja ergutab selles võnkumise. Kui takistus on väike, siis on ka temal arenev pingeväike: see olukord vastab nõrgale sidestusele.

H.: Millist tüüpi reaktiivtakistust kasutatakse kõige sagedamini?

T.: Kõige rohkem kasutatakse mahtvuslikku (joonis 117) ja harvemini induktiivtakistust (joonis 118).

Väikese mahtvustakistuse saamiseks tuleb kasutada küllalt suure mahtvusega kondensaatorit. Mida väiksem on võnkesagedus, seda suurem peab olema kondensaatori mahtvus.

H.: Jah, mulle meenub, et mahtvustakistus väheneb sageduse suurenemisel ja mahtvuse suurenemisel. Et aga induktiivtakistus käitub diametraalselt vastupidiselt, siis arvan, et nõrga sidestuse saamiseks tuleb induktiivtakistuse kaudu sidestatud filtritesse ühendada väikese induktiivsusega mähis; mida madalam on sagedus, seda väiksem peab olema sidestuspooli induktiivsus.

T.: Sa hakkad arutlema loogiliselt, sõbrake. Püüa nüüd veel lahendada niisugune kerge ülesanne. On olemas kaks filtrit: üks nendest olgu sidestatud mahtvustakistuse ja teine — induktiivtakistuse kaudu. Filtri kummagi sidestatud võnkeringi häälestus muutugu madalamatest sagedustest kõrgemate sageduste suunas. Kas jääb mõlema filtri läbilaskeriba laius püsivaks?

H.: Mõistagi mitte. Mahtvussidestusega filtris väheneb sageduse suurenemisel mahtvustakistus ja järelikult ka sidestus nõrgeneb. Selle toimel läbilaskeriba aheneb. Induktiivtakistuse kaudu sidestatud filtris sageduse suurenemisel sidestus muutub tugevaks ja riba avardub.

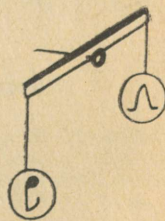
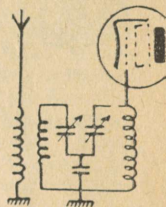
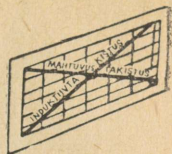
T.: Suurepärase! Kuid pane tähele, et siin avaldub veel üks väga kahetsusväärne asjaolu. Kujutle, et mahtvussidestusega filtrit kasutatakse vastuvõtja kahe kõrgsagedusvõimendusastme vahelise sidestuselemendina. Eelda samuti, et teataval sagedusel on filtri sagedusriba võrdne ettenähtud 9 kilohertsiga. Kui häälestad vastuvõtja lühematele lainetele, siis läbilaskeriba aheneb, eraldusteravus suureneb ja helikvaliteet halveneb.

H.: Arvan, et ikkagi leidub mõni väga lihtne vahend, mis võimaldab hoida läbilaskeriba laiust püsivana häälestuse terves ulatuses. Selleks aitab, kui sidestustakistusena kasutada järjestikülituses kondensaatorit ja induktiivpooli (joonis 119). Nende takistuste vastandlik iseloom hakkab üheskoos läbilaskeriba muutmist kompenseerima.

T.: Enne sind tegeles juba taoliste filtritega üks teadlane, kelle nimi oli Vreeland. Kahjuks osutub kõik see tublisti keerukamaks, sest arvesse tuleb võtta ka kondensaatoris ja induktiivpoolis tekivad faasinihked. Õnneks on selle ebameeldivuse ületamiseks veel teine võimalus. Selleks aitab ribafiltri kasutamisest ainult superheterodüünvastuvõtjate vahesagedusvõimendusastmetes.

H.: Vannun takisti nimel, sul on õigus! Vahesagedusvõimendis on kõik võnkeringid häälestatud ühele püsivale sagedusele ja me ei pea kartma läbilaskeriba laiuse muutumist.

T.: Tuleb siiski märkida, et peegelkanalist tingitud häirete summutamiseks kasutatakse superheterodüünvastuvõtja antenni ja esimese lambi vahele ühendatud eelselektsooniahelas sageli



mahtuvussidestuses ribafiltreid. Sel juhul on tegemist niisuguse hääresignaali summutamisega, mille sagedus on häälestussagedusest väga kaugel. Seepärast võib filtri läbilaskeriba olla ilma minigite ebaseeldivusteta tublisti laiem kui 9 kHz.

HUVISTE POOLDAB MUUDETAVAT ERALDUSTERAVUST

H.: Eelda nüüd, Targaste, et meil on 9-kilohertsise läbilaske-ribaga vastuvõtja ja me tahame kuulata kauge saatja signaale, mille sagedus erineb 9 kHz võrra sellest sagedusest, millel töötab kohalik võimas saatja. Kas see ei sega kauge saatja vastuvõttu?

T.: Kuna filtrite resonantsikõverad ainult ligikaudselt sarnanevad ideaalse, riskülikulise kujuga, hakkab kohalik saatja vastuvõttu ilmselt segama. Selleks et niisugustes tingimustes võtta nõrka signaali vastu segamisvabalt, on tarvilik suurema eraldusteravusega vastuvõtja, mille läbilaskeriba peab olema väiksem kui 9 kHz. Sel viisil saab osaliselt vastuvõtu kvaliteedi arvel saavutada nõrga saatja rahuldavat vastuvõttu.

H.: Eelistan üldse mitte kuulata mõningaid saatjaid, juhul kui tarvilik suur eraldusteravus osutub halva helikvaliteedi põhjuseks.

T.: Õnneks saab ühildada omadused, mis näivad mitteühildatavatena, muutes eraldusteravuse reguleeritavaks. Siis võib lähedasi võimsaid saatjaid segamiste puudumistel vastu võtta väiksema selektiivsuse juures. Parim helikvaliteet kaasneb häirete puudumisega.

H.: See on hämmastav! Ent kuidas muuta eraldusteravust?

T.: Täna, Huviste, esitad sa lapsikuid küsimusi. Selleks et teha filtri läbilaskeriba muudetavaks, tuleb võnkeringidevaheline sidestus muuta reguleeritavaks. Nii muudetakse induktiivsidestuses filtrite poolide vahekaugust, ühise sidestustakistusega filtrites aga kasutatakse reguleeritavaid kondensaatoreid või induktiivpoole. Tõsi, sel juhul kasutatakse mõningaid ettevaatusabinõusid, mis eraldusteravuse reguleerimisel väldivad võnkeringide võimalikku häälestuse muutumist. Sidestustugevuse reguleerimine võib nimelt seda pisut mõjutada.

H.: Niisiis tuleb minu vastuvõtja tingimata muudetava eraldusteravusega!



Moonutuste liigid

Juba rida aastaid on raadiospetsialistide jõupingutused suunatud muusika võimalikult tõetruuks taasesitamiseks. Ideaalseks lahenduseks oleks loomulikult valjuhääldaja heli täielik identsus selle heliga, mis raadiosaatja stuudios satub mikrofonile. Kuigi selline ideaalne lahendus on teostamatu, lähenevad uurijad sellele üha enam, kõrvaldades päevast päeva mitmesuguseid moonutuste põhjusi. Kui võrrelda kaasaegsete vastuvõtjate helikvaliteeti sellega, mida aastat kakskümmend tagasi loeti heaks heliks, siis võime täheldada selle arengu suurust.

Moonutused võivad iseloomult olla mitmesugused. Eristatakse *linearmoonutust*, mis avaldub erinevate helisageduste ebaühtlase taasesitusena. Nii on näiteks enamikul keskmise kvaliteediga vastuvõtjatel madalaimad ja kõrgeimad helisagedused nõrgenenud keskmise registrisse kuuluvate sageduste suhtes.

Peale nende on lugeja juba tuttav *mitte-linearmoonutuse* olemasoluga, mida põhjustab lampide tunnusjoonte kõverus. See moonutus avaldub üheaegselt nii intensiivsuste suhtes kui ka signaali kuju osas; selle moonutuse tulemusel ilmuvad uued sagedused, mis esialgses signaalis ei sisaldu.

Lõpuks võivad ilmuda võõra päritoluga mürad: toitevõrgu *võrgumüra*, mis tekib puuduliku filtreerimise või parasitise induktiivsi-destumise tulemusel; mürad, mis tulenevad elektronide emissiooni ebaühtlusest ja soojuslike fluktuatsioonide toimest juhtmetes (omakahin) ning lõpuks atmosfääri- ja tööstushäired.

Selle probleemi sügavam uurimine viib järgmise rüsuva järelduseni: moonutused võivad tekkida vastuvõtja kõikides elementides, kõrgsagedusvõimendis, detektoris, madalsagedusvõimendis. Võib ainult imestada, et vaatamata tuhandetele ohtudele, mis ripuvad muusikasaate kohal raadioülekanaltrakti kõikides lülides, õnnestub siiski peaaegu täielikult säilitada tema esialgsel puhtust...

Kõrgsagedusvõimendis (kaasa arvatud superheterodüünvastuvõtja vahesagedusvõimendi) võivad moonutused tekkida võnkeringide liigse eraldustervavuse tõttu.

Külgribad

Seni lugesime oma aruteludes, et antenni poolt vastuvõetav kõrgsagedusvõnkumine toimub ainult ühel sagedusel — selle sumbumatu võnkumise sagedusel, mis on madalsagedusliku modulatsiooni kandesageduseks. Niisugune kujutelm on liigselt lihtsustatud ning ei vasta tegelikkusele.

Kõrgsagedusvoolu f moduleerimine madalsagedusvooluga F sarnaneb tõelisele sageduse muundamisele, mis on teataval määral analoogiline superheterodüünvastuvõtjas toimuvaga. Kuid siin avaldub ka oluline erinevus. Pärast detekteerimist sisaldub resulteerivas voolus sageduskomponent $f - F$. Kui moduleerime sagedusega f kandevõnkumist helisignaali, mille sagedus on F , tekitame sagedusest f kummalgi pool kaks uut sageduskomponenti: $f - F$ ja $f + F$, mis on sageduse f suhtes sümmeetrilised. Neid sagedusi nimetatakse *külgsagedusteks*.

Kõne või muusika ülekandmisel on meil tegemist mitte ühe sagedusega F , vaid terve sagedusribaga, mis küünib 10 000 või 16 000 hertsini. Sel viisil tekivad kandesageduse f ümber külgribad, mis hõivavad $2F$ laiusga sagedusintervalli sagedusest $f - F$ kuni sageduseni $f + F$.

Näiteks sagedusel 1 MHz toimuva saate puhul (lainepikkus 300 meetrit), mis on moduleeritud kõikide kuni 10 000 hertsini küündivate helisagedustega, ilmuvad kõik sagedused 0,99 ja 1,01 MHz vahel, seega 20 kHz laiuses intervallis.

Helikvaliteet ja eraldustervavus

Iga saatja kandesagedus peab erinema lähima naabersaatja kandesagedusest vähemalt $2F$ võrra, et vältida külgsageduste vahel tekkivat interferentsi. Ülaloesitatud näites tuleb naabersaatjad häälestada sagedustele 0,98 ja 1,02 MHz; teise saatja külgribad hõivavad sagedusintervalli 1,01 kuni 1,03 MHz.

Et mahutada paljusid saatjaid ringhäälingu jaoks eraldatud sagedusastmikesse, piirab rahvusvaheline konventsioon iga saatja kummagi külgriba jaoks kokku sagedusintervalliks 9 kHz. Sellistes tingimustes ei tohi üle-

kantavad modulatsioonisagedused ületada 4,5 kHz. Selle nõude tõttu jääb raadio taasesitatava heli kvaliteedi osas helisalvestuse ja helikino vaeseks sugulaseks, sest viimati nimetatud ei tunne sellist piiramist ja on suutelised taasesitama kõige kõrgemaidki helisagedusi.

Õnneks lühilainetel ja eriti meeterlainetel need piiramised puuduvad. Eks seepärast ongi meeterlainetel toimuva ultralühilainesaate ja televisiooni heli kvaliteet ilmselt kõrgem kesk- ja pikklainetel toimuvate saadete helikvaliteedist.

Kuid isegi 4,5-kilohertsise ribalaiuse puhul võib saada täiesti rahuldava helikvaliteedi tingimisel, et vastuvõtjas eneses kõrgemad modulatsioonisagedused ei hävi. Ent just selles ongi liiga suure eraldustavusega võnkeringide saatustlik omadus. Üksnes väga kitsast sagedusriba läbi lastes nõrgendavad või summutavad nad kõiki kõrgemaid modulatsioonisagedusi.

Loomulikult on lihtne vähendada võnkeringi eraldustavust. Selleks tuleb suurendada sumbuust, ühendades rööbiti võnkeringiga takisti, milles tekivad energiakaod. Kuid sel juhul kaotame tundlikkuses, pealegi jääb eraldustavus ebapisavaks, et vältida mitme naabersagedustel töötava saatja üheaegset vastuvõttu.

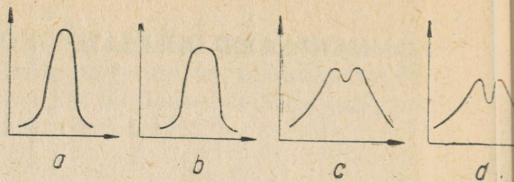
Vastuolu muutub veelgi ilmsemaks resonantsikõverate uurimisel. Need kõverad näitavad võnkeringis esineva voolu sõltuvust sagedusest. Vool osutub maksimaalseks resonantsipunktis.

Paigutades need kõverad ristkülikule, mis graafikul vastab kandesagedusele koos selle juurde kuuluvate külgsagedustega, näeme, et väikese eraldustavusega võnkeringi (joonis 111) resonantsikõver on tunduvalt laiem kui meid huvitav sageduste intervall ja seepärast laseb ta läbi ka teiste saatjate signaale. Liiga suure eraldustavusega võnkering (joonis 112) löikab ära külgribade kõrgemaid helisagedusi.

Sellesse probleemi saab lahenduse keeruliste võnkeringide kasutamine, mida nimetatakse *ribafiltriteks*; nende resonantsikõverad on 9000-hertsises intervallis kujult lähedased ristkülikule, kuid selle piiridest väljudes langeb kõver järsult ja naabersaatjate signaale ei võimendata.

Ribafiltrid

Ribafilter koosneb kahest omavahel sidestatud võnkeringist. Olenevalt sidestustugevusest (nõrk, keskmine, tugev ja väga tugev) võib resonantsikõver omada üht joonisel XXV esi-



Joonis XXV. Kaks sidestatud võnkeringi annavad sõltuvalt sidestuse tugevusest ühe siin kujutatud neljast resonantsikõverast: a — nõrk sidestus; b — keskmine sidestus; c — tugev sidestus; d — väga tugev sidestus.

tatud põhikuju. Tugevat sidestust iseloomustab kahe kүүruga kõver ilmub ainult sellise sidestustugevuse juures, mis ületab *kriitilise sidestuse*. Ainult kriitilisele lähedase sidestustugevuse juures on ribafiltri resonantsikõver sellise kujuga, mis rahuldab küllaldase eraldustavuse nõuet ka hea helikvaliteedi juures.

Kahe võnkeringi sidestamiseks on mitu võimalust: induktiivsidestus (sellel põhimõttel rajaneb vahesagedustrafode ehitus), mahtvussidestus, kombineeritud mahtvussidestus, samuti ka sidestus ühise takistuse kaudu (see võib olla mahtvuss, induktiiv- või mahtvuss-induktiivsidestus; vt. joonis 116).

Ribafiltrid kasutatakse sisendvõnkeringidena ja kõrgsageduslampide või vahesageduslampide vahelise sidestuselemendina.

Reguleeritav eraldustavus

Ribafiltri läbilaskeriba laius oleneb sidestustugevusest. Reguleeritava sidestuse abil võime oma äranägemise järgi muuta filtri poolt läbilastava sagedusriba laiust ja seega *eraldustavust*, mis võimaldab vastuvõtjat sobitada kõige erinevamate vastuvõtutingimustega.

Kauge saatja programmi kuulamiseks, mida võib kergesti lämmatada võimas saatja, kasutatakse maksimaalset eraldustavust, ohverdades helikvaliteedi. Nendel juhtudel, kui lähedase või võimsa saatja vastuvõtt ei nõua suurt eraldustavust, muudetakse sidestustugevamaks, et saavutada maksimaalset helikvaliteeti.

Moonutused madalsagedusahelates

Vastuvõtja madalsagedusahelates tekkivad moonutused kuuluvad eelkõige lampide tunningjoonte kõverusest tingitud mittelineaar-

moonutuste liiki. See kõverus on omane isegi tunnusjoone sellele osale, mida me esimeses lähenduses lugesime lineaarseks (sirgeks). Seni kui võimendatakse väikesi vahelduvpingeid, võib seda lõiku põhjendatult lineaarseks pidada. Kuid madalsagedusvõimendites ja eriti lõpplambis kohtame suhteliselt suuri vahelduvpingeid ja tunnusjoone mittesirgjoonelisus põhjustab siin märgatavat anoodvoolu moonutumist.

Analüüs näitab, et anoodvoolu kuju muutumine tekitab helis *harmooniliste sageduste*, s. o. taasesitatava heli põhisagedusest kaks, kolm ja enam korda suurema sagedusega võnkumiste ilmumise. Need harmoonilised sagedused muudavad heli kõlavärvingut ja järelikult moonutavad selle ülekannet.

Negatiivne tagasisidustus

Nende moonutuste kõrvaldamiseks madalsagedusvõimendites või äärmisel juhul nende vähendamiseks lisandatakse signaalile täiendavad moonutused, mis on analoogilised nendega, mida nad ise tekitavad, kuid vastasmärgilised. Niiviisi kompenseerivad ühed moonutused teisi.

Kuid kust leida moonutusi, mis on võimendi poolt tekitatud moonutusega identne? Kõige lihtsam ja kindlam meetod on selles, et need tuleb võtta võimendi enese väljundist ja kanda sisendisse vastandfaasilisena selle pinge suhtes, mis neid moonutusi võimendusprotsessis esile kutsub.

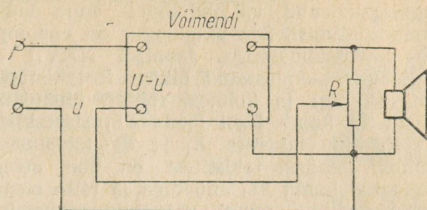
Nii jõudsimegi *negatiivse tagasisidestuse* põhimõtte.

Ideaalseks lähenduseks oleks väljundist võtta ainult pinget, mis vastab moonutustele. Kuid loomulikult on seda tervest pingest võimatu eraldada. Seepärast võetakse väljundist teatav osa u kogupingest ja antakse see võimendi sisendisse võimendatava pingega U vastandpolaarsuses (joonis XXVI).

Mis sel juhul toimub?

Sisendpinge U suhtes vastandpolaarsusega pinge u lahutub sellest ning sisendpinge väheneb väärtuseni $U - u$. Kuid see on tähtsusetu, sest pinge vähenemist saab kompenseerida vastava täiendava võimendamisega. Oluline on see, et pinges $U - u$ leiduvad need moonutused, mida polnud sisendpinges U ja mis on võimendis tekkivate moonutustega vastassuunalised. Kokku võttes vähenevad võimendi väljundis moonutused tunduvalt.

Kuna sisendpinge U väheneb väljundpinge osa u arvel väärtuseni $U - u$, siis vähendab negatiivne tagasisidustus teataval määral või-



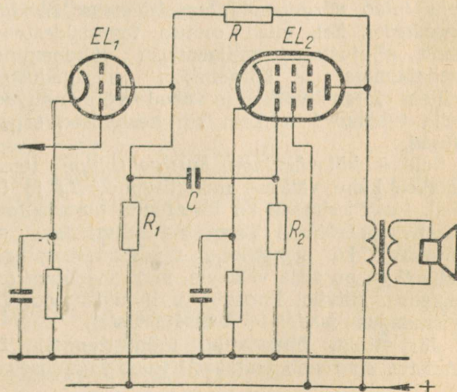
Joonis XXVI. Negatiivse tagasisidestuse põhimõte. Vajalik osa väljundpingest saadakse potentsiomeetri R abil.

mendust. Seda vahendit tuleb kasutada ainult nendes võimendites, millel on küllaldane võimendusvaru, et lõpplamp võiks võimenduse vähenemisele vaatamata anda tarvilikku väljundvõimsust.

Negatiivne tagasisidustus lõppastmes

Seoses sellega, et põhilised moonutused tekivad peamiselt lõpplambis, kasutatakse tagasisidestust sageli ainult selle lambi ahelas. Kõige lihtsamaks meetodiks (joonis XXVII) on lõpplambi EL_2 anoodi ühendamine eelastme lambi EL_1 anoodiga läbi suure takistusega takisti R ($1 \dots 2 \text{ M}\Omega$). Tänu sellele satub osa väljundtrafo primaarmähisel tekkivast vahelduvpingest läbi kondenssaatori C lõpplambi tüürvõrele.

Tuleb märkida, et samuti nagu joonisel XXVI kujutatud skeemis, vähendatakse siin



Joonis XXVII. Negatiivne tagasisidustus madalsagedusvõimendis, mis on teostatud kahe lambi anoodide vahele ühendatud takisti R abil.

pingejaguri abil väljundpinget enne lambi võrele juhtimist. See pingejagur on analoogiline potentsiomeetriga. Joonisel XXVII on pingejagur moodustatud takisti R takistusest (esimene õlg) ja kolmest rööbiti ühendatud takistusest (teine õlg): lambi EL_1 sisetakistusest R_i ning takistite R_1 ja R_2 takistustest (kumbki nendest takistitest on ühe otsaga ühendatud lambi EL_1 anoodiga ja teise otsaga anooditoiteallika pluss- või miinusklommiga, millisel asjaolul vahelduvvoolu seisukohalt erinevust pole). Kuna rööptakistite R_i , R_1 ja R_2 kogutakistus on takisti R takistusega võrreldes väike, antaksegi lambi EL_2 võrele tagasi väike osa väljundpingest.

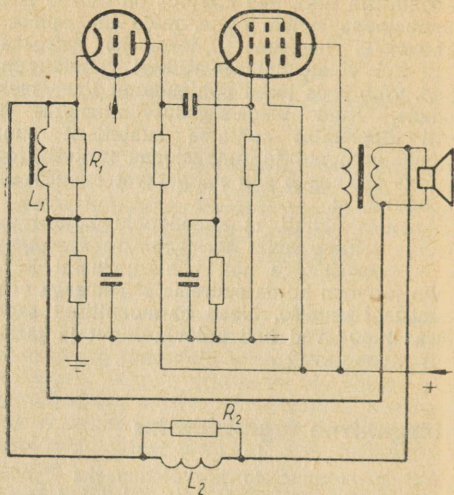
Kõlavärvingu korrektsiooniga negatiivne tagasisidestus

Kui negatiivse tagasisidestusega soovitakse hõivata vastuvõtja madalsagedusvõimendi mõlemad lambid, siis on tulusam tagasisidestuspinget võtta väljundtrafo sekundaarmähiselt, mis teatavasti madaldab pinget. See pinget antakse esimese lambi katoodehelasse järjestikku eelpingestustakistiga ühendatud (joonis XXVIII) väikese takistusega takistile R_1 ($10 \dots 20 \Omega$). Sel viisil osutub katoode tagasisidestusahela suhtes lambi tüürelektroodiks.

Mõnikord kasutatakse tagasisidestust üheaegselt ka madalaimate ja kõrgeimate helisageduste taasesitamise parendamiseks (need on tavaliselt keskmiste helisagedustega võrreldes nõrgenenud). Madalaimate ja kõrgeimate helisageduste võimenduse suurendamiseks tuleb nõrgendada tagasisidestust nendel sagedustel. Sel viisil osutub tagasisidestuse poolt põhjustatud võimenduse vähenemine madalaimatel ja kõrgeimatel helisagedustel vähem intensiivseks ja need võimenduvad selle tulemusel rohkem kui keskmised sagedused.

Selline kõlavärvingu korrigeerimine teostatakse kahe väikese induktiivpooli L_1 ja L_2 abil. Neist esimene on ühendatud tagasisidestusahelaga rööbiti. Tema induktiivtakistus ja järelikult ka negatiivne tagasisidestuspinge takistil R_1 on seda väiksem, mida madalam on sagedus. Nii viisi korrigeerib induktiivpool L_1 võimendust madalatel helisagedustel.

Järjestikku ühendatud induktiivpooli L_2 takistus suureneb teatavasti koos sagedusega.



Joonis XXVIII. Kõlavärvingu korrektsiooniga negatiivne tagasisidestus madalsagedusvõimendis: R_1 — $10 \dots 20 \Omega$; R_2 — 100Ω ; L_1 — 25 mH ; L_2 — 15 mH .

Selle tagajärjel väheneb kõrgetele helisagedustele vastav pinge takistil R_1 ja tagasisidestus mõjutab nende võimendust vähem.

Tänu suhtelisele lihtsusele on selline kõlavärvingu korrigeerimise meetod väga ahvatlev, kuid seda võib soovitada ainult suurte mõõndustega. Vähendades tagasisidestuse tugevust mõnedes sageduspiirkondades, ei tule unustada, et tagasisidestamise põhieesmärk on moonutuse vähendamine. Seepärast osutuvad negatiivse tagasisidestuse poolt vähem nõrgendatud sagedused rohkem moonutatuteks. Ja kui see pole eriti oluline kõrgete sageduste juures (millele harmoonilised sagedused on nii kõrged, et nad ei saa kuulda-vaid moonutusi põhjustada), siis võib see madalate sageduste puhul osutada üsna eba-meeldivaks.

On olemas ka teisi kõlavärvingu korrigeerimise meetodeid, mis pole seotud negatiivse tagasisidestuse ahelatega. Sageli on parem kasutada neid, kui riskida võimalusega lisandada teiste ja sageli vähemoluliste moonutuste kõrvaldamise käigus uusi, eba-meeldivaid moonutusi.

Selles vestluses vaadeldakse mitmesuguseid piiramisi, mis ilmuvad moduleerimisprotsessis. Modulatsioon on piiratud nii sageduse kui ka sügavuse osas. Targastel osutub veel kord võimalikuks näidata, kuidas tuleb tõkkeid võita. See nõuab sagedusmodulatsiooni kirjeldamist.

20.

VESTLUS

75 cm ON LAIEM KUI 400 m!

Huviste: Olen väga rõhutatud, Targaste.

Targaste: Mispärast, sõbrake?

H.: Viimases vestluses näitasid, kuivõrd piiratud on ringhäälingus ülekantav helisagedusriba. Ma pean muusika sellist rikkumist lubamatuks. Kas poleks eelistatavam vähendada saatjate arvu, avardades vastavalt külgribasid?

T.: Kahtlemata oleks see parem, kuid siin osutuksid vajalikuks rahvusvahelised kokkulepped või muud laadi tehniliste lahenduste otsingud.

H.: Ma ei suuda mõista, millele viitad.

T.: Saatjate poolt kasutatavat kandesageduste ala saab avardada ja saateid teostada meeterlainete astmikus, s. o. lainepikkustel ühest kuni mõne meetrini. See laineastmik on tunduvalt vähem hõivatud, ja sel juhul õnnestub muusikateoseid üle kanda moonutamata.

H.: Pean tunnistama, et ma ei näe, miks sellises väikeses mõnemeetrises vahemikus võib tunda ennast vabamana kui 200-st 600 meetrini ulatuvas, ehk teiste sõnadega 400-meetrise laiusega avaras kesklaine astmikus.

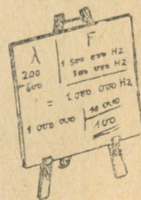
T.: Näed nüüd, vaene Huviste, kuhu viib rumal harjumus laineastmikke lainepikkustega iseloomustada. Mul on sinust kahju. Aga katsu korra arvutada hertsides.

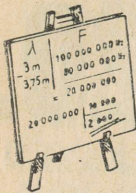
H.: Pole midagi lihtsamat. Lainepikkusele 200 m vastab sagedus 1 500 000 Hz, lainepikkusele 600 m aga sagedus 500 000 Hz. Nii viisi vastab tervele laineastmikule 1 000 000-hertsine intervall.

T.: Oletame arvutamise lihtsustamiseks, et igale saatjale on eraldatud 10 000 hertsit laiune sagedusriba (või nagu öeldakse, kanal). Kui mitu saatjat mahuks sellesse intervalli?

H.: Väga lihtne: kui 1 000 000 jagada 10 000-ga, saadakse 100. Nii viisi võib kesklaineastmikku mahutada omavaheliste segamiste kartuseta ainult 100 saatjat. Kuid nende koguarv ületab seda tunduvalt.

T.: Nii see on. Mitu saatjat võib ju töötada üheaegselt samal lainel, kui nende programm on ühine ja kandesagedused täpselt sünkroniseeritud. Programmid võivad erineda ainult sel juhul, kui





saatjate võimsused on tühised ja nad asetsevad üksteisest kaugel. Ikkagi võib kesklaaineastmikku paigutada põhimõtteliselt kõigest 100 erinevat lainepikkust.

H.: Seda pole palju. Kuid kas meeterlainete astmikus saadakse kanaleid rohkem?

T.: Tee samasugused arvutused ja leia, mitu 10 000 hertsi laiust kanalit võib asetada näiteks lainete 3 ja 3,75 m vahele.

H.: Mida sa küll tahad saada sellelt näruselt 0,75-meetrise intervallilt? Muide, kuna meie ajastul tuleb võistelda isegi Einsteini-ga, teen siiski vajalikud arvutused. Lainepikkusele 3 meetrit vastab sagedus 100 000 000 Hz ja 3,75 meetrile sagedus 80 000 000 Hz. Niiviisi on intervalliks 20 000 000 Hz... Kas see on võimalik? Sinna mahuks 10 000 hertsi laiusi kanaleid tervelt 2000 tükki!... Nähtavasti ma eksisin. Kas tõesti need 0,75 meetrit on nii palju laiemad kesklaaineastmiku 400 meetrist?

T.: Ei, sõber, sinu arvutustes vigu ei ole. Need näitavad, et meeterlainete piirkonna näol on olemas ulatuslik sagedusala, kuhu võib paigutada ilma modulatsiooni külgribasid piiramata suure hulga saatjaid.

MEDALI TEINE KÜLG

H.: Vapustav! Kahtlemata oleks selle üle tulnud mõelda. Kuid antud juhul loodan, et kesklaaineastmikust loobutakse täielikult ja kõik saatjad kolivad sellesse avarasse ning suurepärasesse meeterlainete piirkonda, kus nad löövad tõeliste muusikasõprade suurimaks rahulduseks vabaduses õitsema.

T.: Milline lüüriline puhang!... Suurima kahetsusega olen sunnitud juba — kes teab mitmendat korda — asetama su tulise entusiasmi külma duši alla. Paraku on meeterlainetele omane üks tohutu puudus. Nende levikuulatus on äärmiselt väike.

H.: Oi äpardust! Lõpuks ometi leidsid lained, mis helisagedusspektrit ei piira. Miks nad küll nii halvasti levivad?

T.: Seepärast, et nad paiknevad üldises spektris lähemal valgusvõnkumistele ja nendel on peaaegu ühesugused omadused. Viimased on samuti elektromagnetilised lained, kuid veelgi lühemate lainepikkustega. Selle asemel et peegelduda atmosfääri ioniseeritud kihtidelt, mis tagastavad neid peegli sarnaselt maapinnale, läbivad meeterlained need kihid mingite tagasipöördumislootusteta.

H.: Kuid sel juhul saab neid kasutada ühenduse pidamiseks teiste planeetide asukatega?

T.: Loomulikult, eeldusel, et sellised on olemas... Kuid isegi ilma nii kaugete ulatuvate eesmärkideta õnnestus saata neid laineid Kuule ja nad pöördusid tagasi Maale pärast selle pinnalt peegeldumist.

H.: Ja kui palju aega kulus selliseks edasi-tagasi reisiks?



T.: Umbes kaks ja pool sekundit. Meeterlaineid iseloomustab levimise rangelt sirgjooneline iseloom. Samal ajal kui pikemad lained meeleldi painduvad ümber maakera, mis lubab neil levida ka piki maapinda suurtele kaugustele, ei lähe meeterlained, sirged nagu valguskiired, horisondi joonest kaugemale.

H.: Lõpptulemusena, kui ma õigesti mõistsin, on siin saate- ja vastuvõtuantenni vahel vaja tagada vahetu nähtavus.

T.: Just nimelt. Seepärast püütakse meeterlaineastmikus töötavate saatjate antenne tõsta nii kõrgele kui võimalik. Vaatamata sellele ei ületa saatekaugus mõndasadat kilomeetrit.

H.: Ja järelikult on suure territooriumi katmiseks vaja palju saatjaid.

T.: Paraku, jah. Eriti kehtib see televisiooni puhul, milles samuti (nagu ühes teises raamatus teada saame) kasutatakse meeterlaineid.



DÜNAAMIKADIAPASOONI PIIRAMINE

H.: Kuid ilmselt ei ole meeterlainete astmiku saatjate väike tegevuskaugus ületamatuks raskuseks. Loodan, et on eraldatud küllaldaselt vahendeid tarviliku hulga saatjate ehitamiseks, et tagada kvaliteetset, ilma mingite piiramisteta heliülekannet.

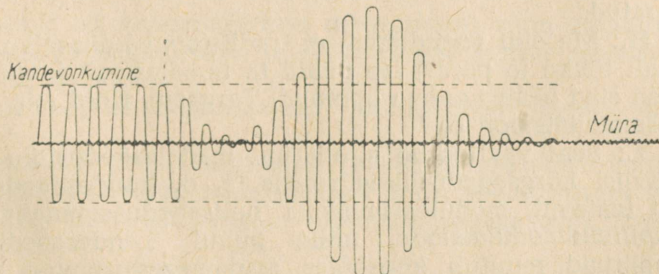
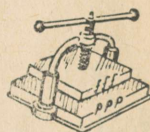
T.: Sellest ei piisa. Meeterlainete astmiku puhul pole küll tarvis piirata sagedusriba, kuid jääb alles teine piiramine, mis on omane sellele moduleerimissüsteemile enesele, mida me seni tundma õppisime. See on *dünaamikadiapasooni* piiramine.

H.: Kuid mis see on?

T.: Nii nimetatakse helitugevuse suurima ja väikseima väärtuse suhet. Suure sümfooniaorkestri fortissimo võib olla 10 000 korda valjem kui viulisoolo pianissimo. *Amplituudmodulatsiooni* puhul pole võimalik üle kanda nii avarat helitugevuste piirkonda.

H.: Kuid miks mitte?

T.: Helitugevuse suurenemisel ei saa kandesageduse võnkeamplituudi suurendada rohkem kui kaks korda (joonis 120).



Joonis 120. Moduleeritud võnkumise amplituudi muutumine on maksimumi osas piiratud kandevõnkumise kahekordse amplituudiga ja miinimumi osas müratasega.



H.: See on arusaadav. Kuid kandesageduse võnkeamplituudi küllaldase vähendamise abil võiks ikkagi üle kanda terve dünaamikadiapasooni?

T.: Kahjuks, sõbrake, jõuame ka selles suunas kindla piirini, mille määravad *mürad*. Kõne all on mürad, mida sa kuuled saate puudumisel (või pauside ajal) ja mis on tingitud paljudest põhjustest.

H.: Olen arvamusel, et atmosfääri- ja tööstushäiretel on selles küllalt tähtis osa.

T.: Kahtlemata. Siiski leidub väliste põhjuste kõrval ka teisi, mis on omased saate- ja vastuvõtuaparatuurile enesele. Need mürad tekivad nii elektronide emissiooni korrapäratuse tõttu lampides kui ka soojuslike fluktuatsioonide ehk hoovuste tagajärjel takistites ja võnkeringides.

H.: See meenutab mulle fotomaterjalide valgustundlike kihide teralisust, mis piirab fotode suurendamise võimalust.

T.: Võrdlus on omal kohal.

H.: Kui ma õigesti taipasin, ei või moduleeriva signaali amplituudi väikseim väärtus olla madalam mürade tasemest, et nendes mitte uppuda.

T.: Õnnitlen, sa formuleerisid õigesti. Seepärast tuleb dünaamikadiapasooni kokku suruda, et fortissimo ei väljuks kandevõnkumise kahekordse amplituudi piirest ja pianissimo ei laskuks allapoole mürataset.

H.: Lõbus lugu! On leitud vahend ülekantava sagedusriba puutumatus säilitamiseks, kuid sealjuures pole võimalust päästa kõlanüansse ja seepärast moonutatakse jämedalt helitugevuste suhteid! Kui kahju!... Ja mõelda ainult, et kõigele lisaks julgevad vastuvõtjate tootjad rääkida kõrgekvaliteedilisest helist!...

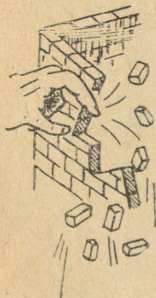
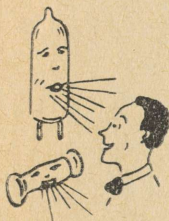
SAGEDUS ON MUUTUV, AMPLITUUD PÜSIV

T.: Siiski vastab see tegelikkusele real juhtudel, kui kasutatakse *sagedusmodulatsiooni*, mis ei ole dünaamikadiapasooni osas piiratud.

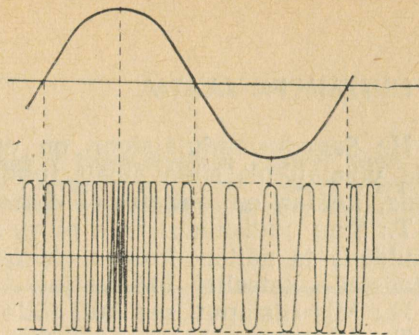
H.: Ma olin veendunud, et traditsiooni kohaselt püstitad hoolikalt tõkke ja pärast ise pühid ta üheainsa tõukega maapinnalt. Olen sind hästi tundma õppinud, Targaste. Kuid mis asi see sagedusmodulatsioon on?

T.: Seni vaatlesime ainult üht madalsagedusliku reisija sõitmiskiisi kõrgsageduslikus rongis, s. o. kandesagedusvõnkumise üht teatavat moduleerimisviisi helisagedussignaali. See oli *amplituudmodulatsioon*, mille puhul kandesagedusvõnkumise amplituud muutub kooskõlas madalsageduspinge hetkväärtuse muutumisega.

H.: Ega sa ei kavatse kinnitada, et sagedusmodulatsiooni



Joonis 121. Sagedusmodulatsiooni puhul jääb kandevõnkumise amplituud püsivaks, kuid tema sagedus hakkab muutuma helisagedusliku modulatsiooni taktis teatava kesk-
väärtuse ümber.



puhul muutub kandevõnkumise sagedus sõltuvalt madalsagedussignaali hetkväärtusest?

T.: Siiski on see tegelikult nii. Moduleeriv pingeline muudab kandevõnkumise amplituudi mõjutamise asemel sootuks selle sagedust (joonis 121). Mida suurem on moduleeriva pingeline hetkväärtus, seda kõrgem on kandevõnkumise sageduse hetkväärtus.

H.: Ja kandevõnkumise amplituud selle juures ei muutu.

T.: Jah. Selles ongi üks sagedusmodulatsiooni (lühendatult SM ehk FM) tähtsamaid voorusi. Amplituudi konstantsus annab saatjale kõrgema energeetilise kasuteguriga, sest see töötab pidevalt maksimaalvõimsusega. Vastuvõtul on signaali tase alati müra tasemest tunduvalt kõrgem. Võrreldes seda amplituudmodulatsiooniga (lühendatult AM), suureneb reaalne ülekandekaugus, sest saade toimub ainult väljakiiritava võnkumise maksimaaltasemel.

H.: Järelikult muutub sellise modulatsioonisüsteemi puhul kandevõnkumise sagedus madalsagedussignaali taktis. Ent kuidas kantakse üle moduleeriva signaali pingeline (helitugevuse) muutused?

T.: Sageduse hälbe suurusega kandevõnkumise sageduse sellest väärtusest, mida ta omab modulatsiooni puudumisel. Väikese helitugevuse puhul on sageduse hälve (ehk *deviatsioon*) samuti väike. Võimsad akordid põhjustavad sageduse tunduva deviatsiooni.

H.: Järelikult on kandesageduse deviatsiooni rütm määratud moduleeriva pingeline sagedusega ja deviatsiooni suurus moduleeriva pingeline amplituudiga.

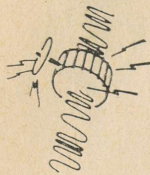
T.: Sa said sagedusmodulatsiooni põhimõttest õigesti aru, Huviste.

H.: Ja kuna siin pole põhjusi, mis piiraksid sageduse deviatsiooni, näib mulle, et nüüd saab säilitada helitugevuste originaalseid suhteid ehk teiste sõnadega — dünaamikadiapasooni õigesti üle kanda.

T.: Selles pole kahtlust. Just seepärast kasutatakse sagedusmodulatsiooni jaoks meeterlainete astmikku, sest selles pole sagedusriba piiratud.



LIHTSAIM FM-SAATJA



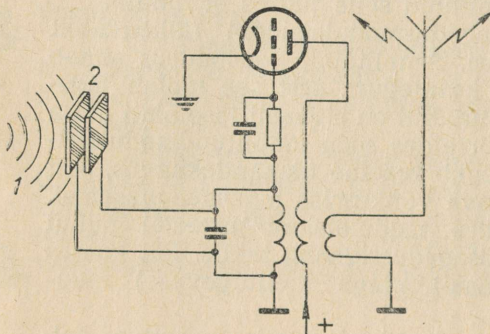
H.: Sagedusmodulatsioon on erakordselt veetlev. Ma tahan teda võimalikult sügavamalt tundma õppida. Algul sooviksin teada, kuidas on ehitatud FM-saatja.

T.: Sinu uudishimul pole piire, sõbrake. Ma püüan seda siiski rahuldada ja näitan, kuidas *elektrostaatilisest mikrofonist* abil saab valmistada katselist FM-saatjat.

H.: Mis riistapuu see küll jälle on?

T.: Lihtlabane kahest plaadist koosnev kondensaator, mille üks plaat on liikumatu massiivne metallplaat, samal ajal kui teine on väga elastne metallmembraan, mis on paigutatud esimese plaadiga rööbiti. Seepärast nimetataksegi elektrostaatilist mikrofonit tavaliselt *kondensaatormikrofoniks*.

H.: Ma mõistan, et see seadis osutub kondensaatoriks, mille mahtvus muutub helivõnkumise toimel, kui see paneb elastse membraani vibreerima.



Joonis 122. Lihtsaima sagedusmoduleeritud saatja skeem. Geneereeritava võnkumise sagedust muudetakse elektrostaatilisest (kondensaator-) mikrofonist, mis on ühendatud rööbiti võnkeringi mahtvusega: 1 — helivõnkumised; 2 — mikrofon.

T.: Sinu eest ei saa midagi varjata, sõbrake. Sa mõistsid seda nii hästi, et sind ei hämmasta isegi sellise mikrofonist ühendamine rööbiti lampgeneraatori võnkeringiga (joonis 122). Mikrofonist mahtvuse kõikumine tekitab lampgeneraatori sageduse vastava muutumise.

H.: Ja me saame sagedusmoduleeritud võnkumise. Ma ei arvanud, et see on nii lihtne!

T.: Tõeliste FM-saatjate skeemid on muidugi tunduvalt keerukamad, kuid see pole sinu jaoks kuigi oluline.

H.: Loomulikult mitte. Kuid mind huvitab väga selle ebatavalise võnkumise vastuvõtmise viis.

T.: Kannata kuni järgmise vestluseni ja me vaatleme seda küsimust.



Pärast sagedusmoduleerimise põhimõtete tundmaõppimist eelmises vestluses vaatlevad meie noored sõbrad FM-vastuvõtjate mitmesuguseid iseärasusi, eriti kaskoodskeemi, diskriminaatorit, suhtedetektorit, piirajat jm. ...

21.

VESTLUS

KÕIK ON SUHTELINE

Huviste: See, mida sa viimati sagedusmodulatsiooni kohta seletasid, ei andnud mulle rahu. Need mõisted on üsnagi määramatud. Madalsagedusvõnkumise erinevatele intensiivsustele vastab kandesageduse suurem või väiksem deviatsioon. Aga moduleeriva pinge sagedusele vastab... kuidas seda öelda?... kandesageduse võnkumise võnkesageduse muutumine?

Targaste: Kuigi sa ei väljenda oma mõtteid eriti elegantselt, kõneled siiski täiesti arukalt.

H.: Mõtlesin ka FM-võnkumise vastuvõtu võimaluste üle. Arvan, et tavalised raadiovastuvõtjad, mis on mõeldud amplituudmodulatsiooni jaoks, ei sobi selleks otstarbeks. Sest kui detekterida selliselt moduleeritud kõrgsagedusvõnkumist, mille kõik amplituudid on võrdsed, saaksime alalispinge, mitte aga madalsagedusliku moduleeriva võnkumise. On mul õigus või mitte?

T.: Sul on vaieldamatult õigus. Tavalisi detektorlülitusi ei saa sagedusmodulatsiooni puhul kasutada. Kuid see pole FM-vastuvõtjate ainus iseärasus.

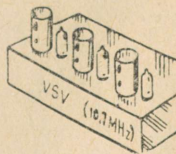
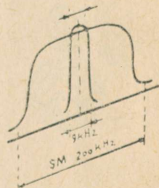
H.: Ma ei näe põhjusi superheterodüünvastuvõtja klassikalisest skeemist loobumiseks, kui mitte arvestada detektorastet.

T.: Superheterodüün on skeem, mida kõikjal rakendatakse ka sagedusmodulatsiooni puhul. Kuid nii skeem ise kui ka tema elemendid erinevad oluliselt klassikalistest. Nähtavasti unustasid, et saade toimub meeterlainete astmikus, s. o. sagedustel sajad miljonid hertsid, ja lisaks sellele ulatuvad külgribad kandesagedusest kummalegi poole sadu tuhandeid hertse amplituudmodulatsiooni tühise 4500 Hz asemel.

H.: Tõsijutt, sellele ma ei mõelnud. Järelikult tuleb nii kõrgsagedusvõimendis kui ka vahesagedusvõimendis kasutada võnkeringe, millede läbilaskeriba laius oleks umbes 200 kHz.

T.: Nii see ongi. Isegi kuni 300 kHz. Ja kuna seda oleks 465-kHz vahesagedusel äärmiselt raske teostada, on sagedusmodulatsiooni vastuvõtul vahesagedusvõimendi jaoks valitud sagedus 8,4 MHz, mõnikord ka 6,5 MHz.

H.: See on mulle selge. Sagedusele 465 kHz häälestatud vahe-



sagedustrafo jaoks osutuks 300-kilohertsine läbilaskeriba suuremaks kui pool resonantsisagedust, samal ajal kui 8,4 MHz puhul seesama läbilaskeriba ei ületaks põhisagedusest 4%.

T.: Kõik on suhteline... Kuid igal medalil on ka teine külg. Avara sagedusriba võimendamisel ei ole võimalik saada suurt võimendust. Seepärast tuleb kasutada kaht ja isegi kolme vahe-sagedusastet.

H.: Kuid see ei ärasta vajadust kasutada kõrgsageduseelvõimendust?

T.: Ei mingil määral. Ikkagi tuleb soovitada ühe kõrgsagedusvõimendusastme kasutamist sagusti või muunduri ees. Kuid tavalised võimenduskeemid nii kõrgete sageduste juures enam ei rahulda. Ka pentoodid pole eriti sobivad nende suure omamüra pärast. Vaatamata madalamale võimendustegurile on siin ikkagi tulusam kasutada trioode.

H.: Kõik vooresed ei sobi kokku!

T.: Ära lobise, Huviste. Ja ära unusta, et trioodil on väga tõsine puudus, millest oleme palju kõnelnud.

KAS POLE SEE RUMALUS!

H.: Sa kõneled katoodi või võre kurikuulsast mahtuvusest anoodi suhtes, mida vähendatakse varivõre abil.

T.: Just nimelt. Kuivõrd me ei taha kasutada ei tetroode ega ka pentoode, tuleb leida teatav riugas, et kompenseerida selle mahtuvuse kahjulikku toimet. Lugu on selles, et võime tüürvõrele omistada varivõre ülesande. Selleks säilitatakse võrel püsiv potentsiaal, mis võrdub toiteallika negatiivse klemmi (maanduse, korpuse, üldmiinusjuhtme) potentsiaaliga. Sellist skeemi nimetatakse *maandatud* ehk *ühise võrega lülituseks* (joonis 123).

H.: Kuid see on ju täielik rumalus! Võre maandamisel sa ei saa ju temale juhtida võimendamisele kuuluvat muutlikku pinget.

T.: Ilmselt mitte. Seepärast antaksegi see pinge katoodile, nagu ka skeemist selgelt nähtub.

H.: Taga targemaks! Järelikult, kui mõistsin õigesti, saab tüürivaks elektroodiks katood?...

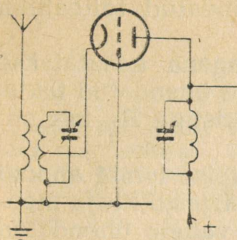
T.: Kas pole see ükskõik? Anoodvoolu tüürimiseks on oluline ainult see, et muutuks võre ja katoodi potentsiaalide vahe. On täiesti ükskõik, kas muutub pinge võrel katoodi suhtes või pinge katoodil võre suhtes.

H.: Tõepoolest, sul on õigus. Maandatud võrega lülitus ei erinegi kuigi palju tavalistest lülitustest. Just nagu minu naabrite perekonnas...

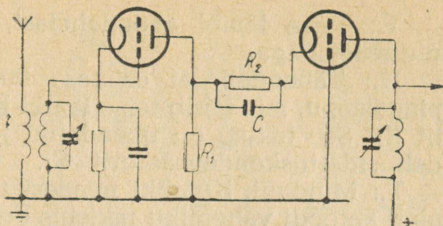
T.: Millise järjekordse rumalusega sa tahad välja tulla?

H.: See pole üldse rumalus. Mu naabrite juures ema ei klapi tüürega. Kord tungib üks nendest teisele kallale, kuigi viimane on





Joonis 123. Maandatud võrega või-
mendusastme lülitus.



Joonis 124. Kaskoodvõimendi teoreetiline
lülitus. Takisti R_1 pole tingimata tarvilik.

rahalikult meelestatud, siis aga jälle vastupidi. Kuid sõltumatult järjekordse tüli initsiaatorist sööstab perekonnaisa kummagi kallale, kuna ta toimib võimendatud anoodvooluna.

T.: Selle loo mõtlesid sa spetsiaalselt antud juhtumi jaoks välja...

H.: Mind huvitab meie skeemis üks seik. Miks antakse katoodile võnkeringi pooli väljavõttelt ainult osa, mitte aga võnkerin-
gise toimiv terve pinge?

T.: Sellepärast, et maandatud võrega skeemis on lambi sisendtakistus üsna väike. Terve võnkeringi ühendamisega katoodahelasse suureneks selle sumbuvus märgatavalt ja võimendus väheneks. Seepärast antakse pinge katoodile võnkeringi osalt. Kuid on olemas ka teine meetod, mis võimaldab sisendvõnkeringi sumbuvuse suurenemist vältida. Kas sa ei mõistata?

H.: Ei, ma annan loobumisvõidu.

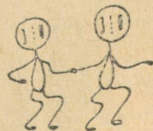
T.: Aitab, kui ühendada maandatud võrega trioodi ette teine, tavalise ühendusviisiga triood (joonis 124).

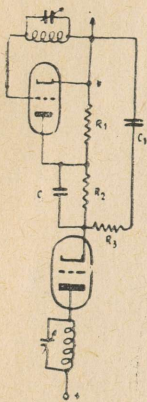
KASKOOD — KAKS KASKAADINA LÜLITATUD ASTET

H.: Kas sa ei pilka mind, Targaste? Selline skeem ei saa töötada, kuna esimese astme koormus — takisti R_1 — on maandatud, teiste sõnadega, ühendatud toiteallika miinusklommiga. Järelikult puudub lambi anoodil positiivne pinge. Ja sa võid, sellise trioodi ette kas või põlvili laskuda, mis sinu arvates (milline enesekindlus!) on tavalise skeemi kohaselt ühendatud, ta mitte ainult et ei võimenda, vaid isegi ei anna järgmisele lambile sisendpinget.

T.: Hoopiski sina oled liiga enesekindel. Selline skeem, mida nimetatakse kaskoodlülituseks, erineb üsna vähe tavalisest skeemist, mida sa nii julgelt kaitsed. Vastupidiselt sinu väidetele saab esimese lambi anood positiivse pinge ja skeem töötab hästi.

H.: Kust see pinge tuleb?





T.: Teise lambi anoodahelast, mis on ühendatud toiteallika plussklemmiga.

H.: Tähendab, et esimese lambi anoodpingena kasutatakse pingelangu, mis tekib teise lambi katoдахelasse ühendatud takistil R_1 ? See takisti on ühendatud järjestikku takistiga R_2 , mis sildab sidestuskondensaatorit C_1 .

T.: Muidugi. Kumbki nendest takistitest ja teise lambi anoodi ning katoodi vahemiku takistus on ühendatud järjestikku ja moodustavad toiteallika pluss- ning miinusklemmi vahele ühendatud pingejaguri. Seepärast asetseb takistite R_1 ja R_2 ühenduspunkt, millega on ühendatud ka esimese lambi anood, positiivse potentsiaali all. See on küllalt suur, sest takisti R_1 takistus on umbes $0,5 \text{ M}\Omega$, takisti R_2 takistus aga mõnisada oomi.

H.: Väljendan kahetsust! Oleksin võinud seda ka ise ette kujutada. Täiendavalt võib märkida, et maandatud võrega teise lambi elektroodidel on potentsiaalide erinevused õigesti jaotatud, sest et tema katoodil toimib positiivne potentsiaal ja järelikult on võre katoodi suhtes negatiivne. Kõik selles suurepärasest maailmas läheb paremuse poole!

UNUSTATUD SKEEMI TAASSÜND

T.: Võib-olla. Siiski olin segipaisatud küsitlemiste tõttu sunnitud FM-vastuvõtja käsitlemist alustama vahesagedusest ja alles seejärel siirduma kõrgsageduse juurde, mis on ilmselt ebaloogiline.

H.: See tähendab, et midagi saab jutustada ka segusti kohta?

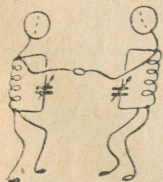
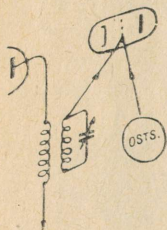
T.: Kahtlemata, sest nii kõrgetel sagedustel on tavalised segustid väheefektiivsed. Kui mitte arvestada väheseid erandeid, loobuti FM-vastuvõtjate muundusastmetes nii heptoodidest kui ka triood-heksoodidest (milledes sisendsignaali ja ostsillaatori võnkumine antakse erinevatele võretele) ja pöörduti tagasi vana, iseiseiva ostsillaatoriga segusti skeemi juurde. Sel puhul antakse sisendsignaali ja ostsillaatori pinget segustuslambi ühele ja selle samale võrele (joonis 125).

H.: Noh, nüüd sa ilmselt jälle pilkad mind. Kas tõesti arvad, et olen unustanud kõik selle skeemi puudused, mida oled kirjeldanud? Mulle meenub, et peamiseks paheks on ostsillaatori sageduse kaasatõmbamine vastuvõtava signaali poolt.

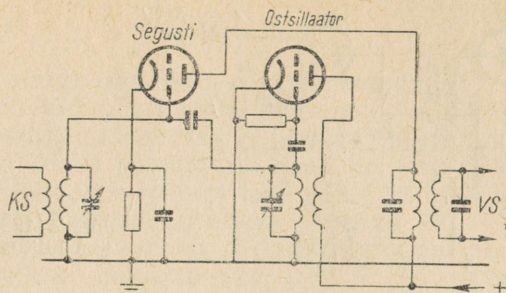
T.: Tõepoolest, mõnikord on väga raske ära hoida nende kahe võnkumise sellist «sünkroniseerumist», mis täielikult häirib segusti talitlust.

H.: Milleks siis üldse kasutada FM-vastuvõtjates nii oluliste puudustega skeemi?

T.: Kuna sageduste erinevus mõne megahertsiga võrra (mis ole-



Joonis 125. Kahe trioodiga segustis antakse antennist saabuv võnkumine ja ostsillaatori võnkumine ühisele võrele.



neb vahesagedusest) on sünkroniseerumise vältimiseks juba küllaldane.

H.: Niisiis kasutatakse selles skeemis kaht trioodi. Üks nendest on segusti. Selle võrele juhitakse eelnevalt võimendatud sisendsignaali ja sidestuskondensaatori *C* kaudu ka ostsillaatori pinget.

T.: Just nii. Sageli kasutatakse kaksiktrioodi. Sel juhul kaob tarvidus sidestuskondensaatori *C* järele, sest kaksiktrioodi kumagi sektsiooni elektroodide vahelised mahtuvused loovad küllaldase sidestuse.

H.: Kas ei saaks siiski kasutada segustina pentoodi? See suurendaks võimendust.

T.: Mõnikord tehaksegi nii. Tõsi, sealjuures kasvavad häiremürad. Ikka ja jälle see medali teine külg...

SÜMMEETRIA VALLAS

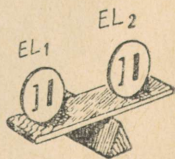
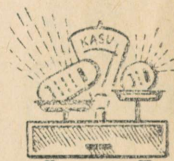
H.: Pärast seda, kui me üheskoos analüüsisime kõrgsagedus-eelevõimendit, segustit ja vahesagedusvõimendit, jäid järele veel detektor ja madalsagedusvõimendi.

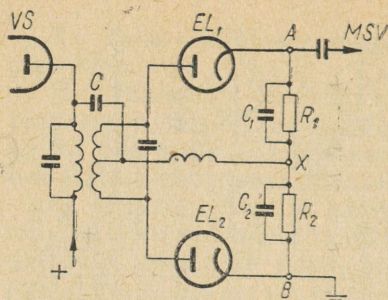
T.: FM-vastuvõtjates tuleb kõnelda *sagedusdetektorist* (-demodulaatorist). Sagedusdetekteerimist saab teostada erinevate skeemide abil.

H.: Nähtavasti on sõltumata skeemist sagedusdetektori ülesanne sageduse deviatsiooni teisendamine amplituudi muutumiseks.

T.: Sa ei eksinud, sõbramees. Seda saavutatakse võnkeringidega, mis on häälestatud keskmisele sagedusele, s. o. sellisele sagedusele, mis vastab modulatsiooni puudumisele. Võnkeringid on ühendatud sümmeetrilise skeemi järgi, nii et deviatsiooni puudumisel võrdub väljundpinge nulliga või mingi püsiva väärtusega. Niipea kui kandesagedus hakkab ühes või teises suunas muutuma, kaob sümmeetria ja ilmub vahelduvpinge.

H.: Võib-olla peitub sinu selgituses sügav tõde, kuid minu jaoks kõlab see kohutavalt abstraktselt. Kas sa ei joonistaks selguse mõttes skeemi?





Joonis 126. Sagedusdetektori-diskriminaatori lülitus.

T.: Siin on niinimetatud *diskriminaatori* ehk *faasieristi* levinuim skeem (joonis 126). Otsekohe paistab silma selle täielik sümmeetria. Pööra tähelepanu sellele, et lisaks induktiivsidestusele vahesagedusvõimendi viimase astme ja diskriminaatori vahel on siin veel mahtuvussidestus kondensaatori *C* kaudu, mis on ühendatud täpselt trafo sekundaarmähise keskpunktiga.

H.: Arvan, et koer on maetud just sinna.

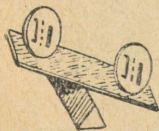
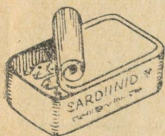
T.: Su intuitsioon ei petnud sind. Kondensaatori kaudu antav pinge on induktiivsidestuse kaudu antava pinge suhtes faasis nihutatud. Seni, kuni kummagi pinge sagedus võrdub võnkeringide (trafo) resonantsisagedusega, on sekundaarmähise kummagi otsa pinged keskpunkti suhtes võrdsed.

H.: Ma aiman, mis järgneb. Need pinged detekteeritakse lampidoodidega *EL1* ja *EL2*. Selle tulemusel ilmuvad takistitel *R1* ja *R2* võrdsed, kuid vastupidise polaarsusega alalispinged. Tahan öelda, et need positiivsed potentsiaalid punktides *A* ja *B* on punkti *X* suhtes võrdsed ja järelikult vastastikku kompenseeruvad.

T.: Vean kihla, Huviste, et sa tühjendasid veel ühe sardiinikarbi ja täiendasid oma ajude fosforitagavara... Jätka, sest su arutelu on täiesti õige.

H.: Miski pole kergem. Oletame, et signaal on moduleeritud, ehk teiste sõnadega: selle sagedus suureneb või väheneb mingi teatava keskvaartuse suhtes. Sealjuures hälbib signaali sagedus võnkeringide resonantsisagedusest, sümmeetria kaob ja pinge trafo sekundaarmähise ühel otsal osutub suuremaks kui teisel otsal (keskpunkti suhtes). Selle tagajärjel pole pärast detekteerimist pinged punktides *A* ja *B* punkti *X* suhtes enam võrdsed. Pinge punktide *A* ja *B* vahel võrdub nende osapingete vahega. See pinge osutubki vajalikuks helisageduspingeks.

T.: Õnnitlen, sõbrake, sa vabastasid mind tarvidusest selle skeemi talitlust analüüsida. Võid vaid lisada, et takistitega *R1* ja *R2* rööbiti ühendatud kondensaatorid täidavad tavalist ülesannet, summutades vahesageduskomponenti.



SUHTEDETEKTOR

H.: Kas on kasutusel ainult üht tüüpi diskriminaatoreid?

T.: Ei. Sellest skeemist leidub erinevaid variante. Kuid kõik nad põhinevad ühel ja samal, sümmeetrilise skeemi ja vastandpolaarsusega pingete kasutamise põhimõttel. Kuid on olemas ka sagedusdetektorid, kus kasutatakse mõneti teisi põhimõtteid. Ühe nendest, nn. *suhtedetektori* skeemi, kujutasin joonisel 127.

H.: Kuid see on erakordselt sarnane diskriminaatoriga. See sama sümmeetria, samasugune induktiiv-mahtuvuslik segasidesutus. Ainult sa vist ilmselt eksisid diodide ühendamisega, sest aladatud pinged ei kompenseeru omavahel, vaid liituvad.

T.: Ei, see pole eksitus. Ongi tarvis, et pinged, mis laevad suure mahtuvusega kondensaatorit C_3 (see on mitmemikrofaraadine elektrolüüt-kondensaator), liituksid. Selle plaatidel, ehk teiste sõnadega punktide A ja B vahel, tekib alalispinge. Punkti X osas peaksid taipama ise...

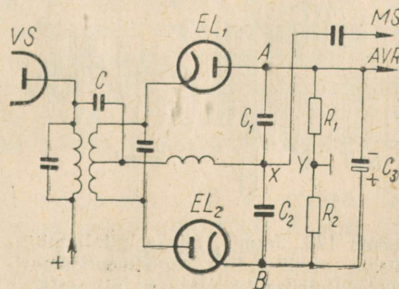
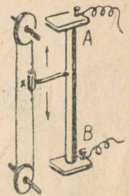
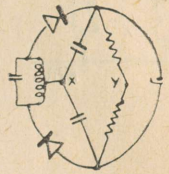
H.: ...et pinge sellel peab olema kaks korda väiksem, sest sümmeetriliselt ühendatud elemendid C_1 ja C_2 , samuti kui R_1 ja R_2 , on võrdsed.

T.: Sardiinide soodne toime sinu intellektile kestab! Modulatsiooni puudumisel on kõik tõepoolest niiviisi. Kuid niipea kui sagedus hakkab võnkeringide resonantsisageduse suhtes muutuma, siis...

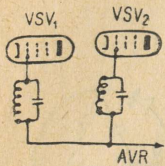
H.: ...ühes diodis detekteeritud pinge kujuneb suuremaks või väiksemaks teises detekteeritud pingest. Seepärast ei paikne punkt X pinge mõttes punktide A ja B täpses vahekohas.

T.: Sa väljendad juba ei tea mitmendat korda, kuigi mitte just väga elegantsel viisil, vaieldamatuid tõdesid. Tuleb rõhutada, et sageduse muutumisel ei muutu punktide A ja B vaheline pinge (sest see ei sõltu sagedusest). Muutub üksnes punktide X ja B ning X ja A vaheliste pingete suhe.

H.: Selle tulemusena ilmub punktide X ja Y vahele madal-sageduspinge, sest igal antud hetkel on ta võrdeline sageduse hälbega modulatsiooni puudumisele vastavast keskväärtusest.



Joonis 127. Suhtedetektori lülitus.



T.: Sa arutled nagu Eukleides ja Descartes üheskoos võetuna! Suhtedetektori punktide X ja Y vaheline pingeline sõltub igal antud hetkel ainult kandesagedusest, samal ajal kui kogupinge punktide A ja B vahel üldse ei sõltu sagedusest.

H.: Ma mõtlen, et see pingeline sõltub detekteeritud signaali amplituudist.

T.: Sa ei eksi. Just seepärast võibki seda pinget kasutada vastuvõtja võimenduse automaatseks reguleerimiseks (AVR).

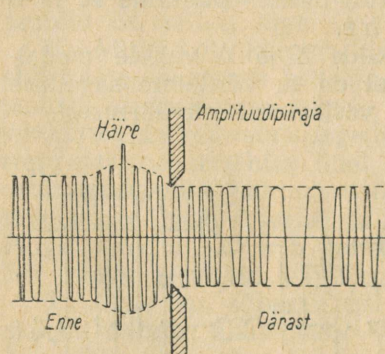
KADUGU HÄIRED!

H.: Nii et pingeline punktide A ja B vahel sõltub amplituudist, kuid pingeline punktide X ja Y vahel sõltub sagedusest. See viib mind ühele mõttele, mis võib-olla tundub sulle naeruväärseks.

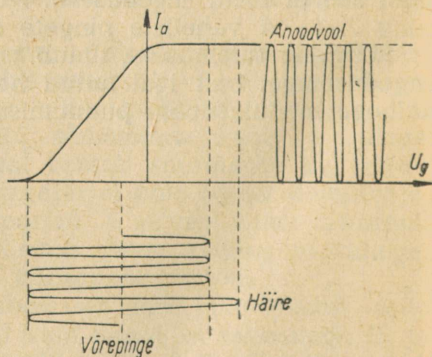
T.: Aga võib ka olla, et mitte. Räägi ometi.

H.: Nagu tead, olen väga hädas meie maja neonreklaami tekitatud häiretega, mis põhjustab uskumatuid raginaid mu vastuvõtjas. Need häired tekivad selle tõttu, et vastuvõtavate võnkumiste amplituud moduleerub häirepingetega. Järelikult, kui suhtedetektori abil kuulaksin sagedusmoduleeritud saadet, siis need vastuvõtuhäired, mis mõjutavad signaali amplituudi, kuid mitte sagedust, puuduvad punktide X ja Y vahel ilmuvas madalsagedussignaalis... Miks sa naerad, Targaste? Kas ütlesin midagi absurdset?

T.: Oh ei, vastupidi, Huviste. Kõik, mida ütlesid, on täiesti õige. Mõtlesin lihtsalt, et kui peaksin sulle seletama operaatorarvutuse keerukat teooriat, siis piisab su mõtlemisvõime loogiliste omaduste stimuleerimiseks vastava hulga sardiinide allakugistamisest...

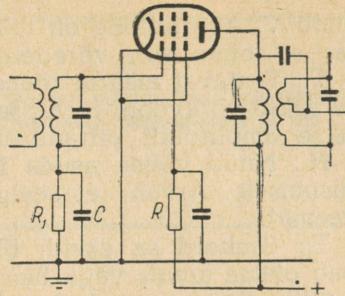


Joonis 128. Joonis, mis selgitab mitte-püsiva amplituudiga sagedusmoduleeritud võnkumise kahepoolset piiramist.



Joonis 129. Amplituudi piiramine toimub tunnusoone ülemisel ja alumisel põlvikul.

Joonis 130. Amplituudipiiraja praktiline skeem.



H.: Tähendab, lisaks kõrgele helikvaliteedile (mis pole ei sagedusriba ega dünaamikadiapasooni osas piiratud) on FM-saatele omane ka suur häirekindlus. See on tööpoolest suurepärase!

T.: Ära kiirusta, sõbrake. See kehtib peaaegu täiesti suhtedetektoril puhul, kuid hoopiski mitte vastuvõtul diskriminaatoriga, mis reageerib nii sageduse kui ka amplituudi muutustele.

H.: Kui kahju! Kas tõesti pole olemas võimalusi amplituudi kõikumise piiramiseks, kui võrd see on täiesti kasutu ja üksnes soodustab häirete sattumist vastuvõetavasse programmi?

T.: Seda saab teha ja seda teostataksegi tegelikult *amplituudipiirajas*.

H.: Aga mis see on?

T.: See on seade, mis lülitatakse sagedusdetektorit ette ja mis piirab signaali amplituudi ettenähtud tasemeni. Kõik teatavat ettevalitud suurust ületavad amplituudid justkui lõigatakse ära (joonis 128). Tänu sellele kõrvaldatakse kõik nii häiretest kui ka signaali vaibumistest põhjustatud amplituudi muutused.

H.: Sinu piiraja meenutab mulle potti, mida kasutavad mõned külajauksurid oma klientide pügamiseks. Kõik, mis jääb poti alt välja paistma, lõigatakse ära.

T.: Ma pole iialgi sattunud sellise operatsiooni ohvriks.

H.: Ent kuidas on amplituudipiiraja ehitatud?

T.: Kõige levinum on küllastusrežiimis pentoodiga skeem. Pentoodi režiim valitakse selliselt, et anoodvoolu sõltuvust võrepingest kujutaval tunnusjoonel oleks hästi väljakujunenud rõhtosa (joonis 129). Küllalt kõrge signaalpinge puhul võrel väljub võnkumine tunnusjoone sirgjoonelisest osast ja osutub ülemise ja alumise põlviku poolt piiratuks.

H.: Aga kuidas õnnestub luua sellise ebatavalise kujuga tunnusjoont?

T.: Kui anda varivõrele üsna väike (5...15 V) pinge. Seda võib saada näiteks väga suure takistusega eeltakisti R abil (joonis 130). Mõnikord vähendatakse ka anoodpinget.

H.: Vaene nälgiv pentood! Loomulikult muutub ta nii nõrgaks, et ei oma jõudu edasi anda teatavat väärtust ületavaid ampli-

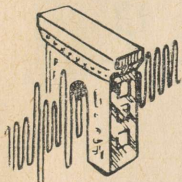


tuude... Aga milline on takisti R_1 ja kondensaatori C ülesanne? Kas ei toimu siin võredetekteerimine?

T.: Teataval määral tõepoolest. Tänu pingelangule takistil R_1 , mis tekib võrevoolu tõttu, seadistub talitluspunkt selliselt, et saadakse amplituudi piiramiseks parim režiim.

H.: Nüüd võime asuda FM-vastuvõtja madalsagedusosa analüüsimisele. Arvan, et sealgi peaksid olema mingid isevärki skeemid.

T.: Seekord sa eksid. FM-vastuvõtja madalsagedusvõimendi peab olema ainult väga hea kvaliteediga, et mitte moonutada ei amplituudi- ega sageduskarakteristikut. Tarvilik on ka kõrgekvaliteediline valjuhääldaja, ja parem kui neid oleks mitte üks, vaid mitu. Kuid ma märkan, et sardiinide õgimise efekt hakkab kaduma ja seepärast vabastan sinu, et saaksid täiendada oma fosforitagara...



Paljudes kaasaegsetes raadiovastuvõtjates leidub heliplaatide mängimise seade (radioolad), kuid ka seade heli salvestamiseks magnetlindile ja selle taasesitamiseks (magnetoolad).

22.

VESTLUS

KONSERVEERITUD HÄÄLED

Huviste: Seniajani, Targaste, oled sa mulle kõnelnud ainult helide ülekandmisest ruumis. Siiski võib neid teataval viisil edasi anda ka ajas. Nii näiteks kuulasin ma eile 1921. a. surnud suure tenori Enrico Caruso plaati.

Targaste: Sul on muidugi õigus, Huviste. Raadioelektronika-spetsialistide loodud seadmed võimaldavad helisid «konserveerida», et neid hiljem taas kuuldavaks muuta.

H.: Millised on siis need seadmed?

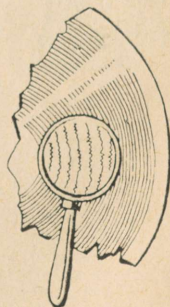
T.: Kõigepealt lampidega või transistoridega madalsagedusvõimendid. Nagu heli salvestamisel, nii ka selle taasesitamisel on meil kasutada alati väikesed helisageduspinged, kuid taasesitamiseks vajatakse üsnagi suurt võimsust.

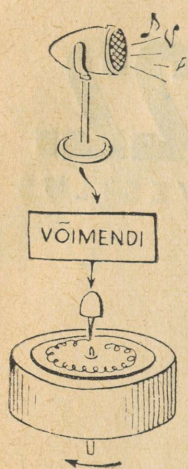
H.: Hüva, kuid kuidas tegelikult saab kirjutada helisid heliplaadi süvenditesse?

T.: Nagu sa ise võisid veenduda, moodustavad need süvendid erakordselt tiheda spiraali: ühele sentimeetrile (heliplaadi raadiuse suunas) mahutatakse kõrvuti 35...100 süvendit; sealjuures jääb nende sügavus muutumatuks. Süvendit «moduleeritakse» heliga, mis annab sellele lainelise kuju. Lained paiknevad rohkem või vähem tihedatena (sõltuvalt heli sagedusest) ja nende laius — võnkeamplituud — on suurem või väiksem (olenevalt heli tugevusest).

H.: Niisiis, kui mõistsin õigesti, on süvendid vaikuse hetkedel spiraalsed, seega võiksime neid praktiliselt lugeda ringideks, millede läbimõõt järk-järgult väheneb. Neid saab võrrelda sumbumatu moduleerimata kõrgsagedusvõnkumisega. Nendes kohtades, kuhu on kirjutatud heli, on süvend rõhtsihis laineline, s. o. hälbib vaheldumisi heliplaadi keskpunkti ja serva poole. Sel juhul meenutab süvend madalsagedussignaali moduleeritud kõrgsagedusvoolu kõverat.

T.: Tore, Huviste! Nähtavasti oled laetud tubli fosforilaenguga, muidu poleks sa nii hästi mõistnud heliplaadile salvestamise olemust.





H.: Ja sellegi poolest huvitab mind väga üks seik. Kuidas saavutati see, et suurte heliampliitudide puhul ei hakka süvendid üksteist katma?

T.: Selle vältimiseks piiratakse süvendite maksimaalset hälvet pooleni kahe naabersüvendi vahelisest kaugusest.

TUMM VALJUHÄÄLDAJA

H.: Kuidas salvestatakse helisid heliplaadile? Arvan, et algul muundatakse salvestatavad helid mikrofoni abil vastavaks madal-sageduslikuks elektrisignaaliks. Kahtlemata võimendatakse neid meie poolt juba tundma õpitud seadmetega. Aga seejärel?

T.: Seejärel jääb ainult üle muundada võimendatud signaal mehaaniliseks võnkumiseks rekorderi abil, mille löiketera all ilmubki spetsiaalse plaadi pinnale laineline spiraalsüvend.

H.: Seda on lihtne öelda, kuid ma ei kujutle, kuidas sellist elektrilise võnkumise mehhaaniliseks liikumiseks muundamist praktikas läbi viia.

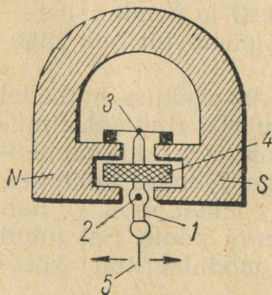
T.: Kuid kas me juba ei lahendanud seda probleemi heli taas-esitamisel elektromagnetilise valjuhääldaja abil?

H.: Tõepoolest, valjuhääldajas kutsub vool esile mehaanilise võnkumise, mis antakse edasi membraanile või difuusorile. Kuid kõneldes tõsiselt, ega sa ei taha soovitada plaadile süvendeid lõigata valjuhääldaja abil?

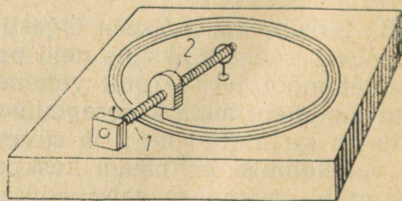
T.: Selleks otstarbeks kasutame ainult elektromagnetilise valjuhääldaja ankrumehhanismi, olles tema küljest difuusori eemaldanud. Selle tagajärjel muutub meie valjuhääldaja tummaks. Rekorderi kirjutav mehhanism selle lihtsaimal kujul on elektromagnet, mis on asetatud tugeva püsिमagneti pooluste vahele (joonis 131).

H.: Jutusta sellest põhjalikumalt.

T.: Palun suvatse kuulata. Elektromagnet koosneb liikuvast



Joonis 131. Rekorder heli salvestamiseks plaadile.



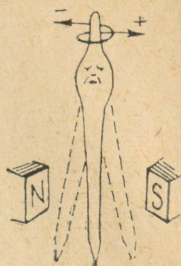
Joonis 132. Nihkudes piki kruvi 1 löikab rekorder 2 plaadile spiraalse süvendi.

terasplaadist 1, mis võib pöörduda ümber telje 2 ja mida hoiab keskasendis elastne kumminöör 3. Plaati ümbritsevat pooli 4 läbib madalsagedusvool. Selle toimel muutub vahelduvvoolu igal poolperioodil plaadi kummagi otsa polaarsus ja nad tõmbuvad vaheldumisi kord ühe, siis jälle teise magnetipooluse poole.

H.: Näen, et plaadike nihkub kord paremale, kord vasakule. Aga mida tähistasid selle plaadi otsa juures numbriga 5?

T.: See on lõiketera, mis lõikabki plaadi pinnasse süvendid.

Noh, aga nüüd läheme edasi. Liikuv vankrike koos rekorderiga on asetatud tiheda keermega pikale kruvile, mis paikneb plaadi kohal selle raadiuse suunas või viimasega rööbiti (joonis 132). Plaadiks on klaas-, plastmass- või teraspõhimikule kantud vahakiht (või spetsiaalse plastmassi kiht). Koos heliplaadi pöörlemisega liigub rekorderit kandev vankrike piki kruvi keeret, mille tulemusena tekib vahekihis spiraalne süvend. Rekorderi lõiketera annab süvendile lainelise kuju. Niiviisi salvestataksegi heli.



NEGATIIVIST SAAME POSITIIVI

H.: Aga salvestus vahal pole tõenäoliselt üldsegi vastupidav. Ja pealegi, kuidas saab selle ainsa salvestuse abil valmistada tuhandeid heliplaate?

T.: Plaatide paljundamine on keerukas protsess, mida alustatakse galvanoplastika meetodil täpse vasest koopia valmistamisega vahast (või plastmassist) originaalplaadist. Selleks kaetakse vaha pind õhukese grafiidipulbri kihiga, tänu millele ta hakkab elektrit juhtima. Salvestust kandev grafiidiga töödeldud vahaplaat asetatakse vasksulfaadi lahusega vanni massiivse vaskelektroodi kõrvale. Seejärel juhitakse läbi lahuse alalisvoolu, ühendades selleks toiteallika positiivse pooluse vaskelektroodiga ja negatiivse pooluse vahaplaadiga (joonis 133).

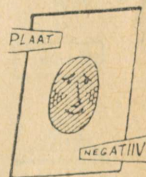
H.: Taipasin! Elektrivool rebib elektroodist välja vase aatomid, kannab need läbi lahuse ja jätab vaha pinnale.

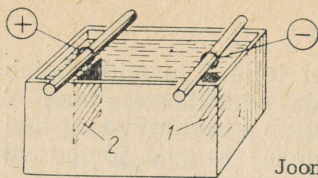
T.: Väliselt näib kõik sinu hüpoteesile vastavat. Siiski on siin toimuvad nähtused tunduvalt keerulisemad kui sa arvad, kuid sellel pole tähtsust... Meile on oluline, et teatava aja möödumisel tekib vaha pinnale vasest kooruke, mis jäljendab täpselt süvendid kõiki käänakuid.

H.: Jah, kuid pahempidi: kõik süvendid said kõrgendikeks ja vastupidi. Saadud vaskkoopia meenutab fotograafilist negatiivi.

T.: Täiesti õige. Nüüd on meil juba midagi vahast vastupidavat. Samal galvanoplastika meetodil võetakse meie negatiivilt veel üks koopia.

H.: Seekord saame positiivi: selle süvendid ja kõrgendikud on identsed vahast originaali süvendite ja kõrgendikega.





Joonis 133. Galvaniseerimisvannis saadakse plaadist 1 vaskkoopia. 2 — positiivne elektrood.

T.: Õige. Sellelt positiivkoopialt võetakse mitu uut koopiat — negatiivi, mida kasutatakse pressimismatriitsideks. Nende abil saadakse nõutav arv plastmassist heliplaate.

H.: Oota üks minut, Targaste. Süvendite ja kõrgendike paljudkordne muutumine ajas mind pisut segi. Arutame seda veel. Vahast originaal on positiiv, esimene vasest koopia — negatiiv, teine koopia — positiiv, pressimismatriitsid — negatiivid, järelikult on heliplaadid positiivid. Kõik on korras!!!

T.: Sa arutled õigesti.

PÖÖRATAVAD NÄHTUSED



H.: Kuid me vaatlesime ainult küsimuse üht külge — salvestust. Aga kõige enam oleksin tahtnud mõista, kuidas helisid taas kuuldavateks muudetakse. Oletan, et siin, nagu alati, otsitakse abi elektrinähtuste pööratavusest.

T.: Su intuitsioon ei vedanud sind alt. Salvestamisel kasutatav seadis on suurepäraselt rakendatav ka salvestuse lugemiseks heliplaadilt. Tavaliselt nimetatakse seda seadist helipeaks.

H.: Tõepoolest, kui rekorderi teravik kombib heliplaadi lainelist süvendit, hakkab liikuv plaadike võnkuma ja tema magnetilisus püsिमagneti toimel muutuma. Järelikult asetseb helipea mähis muutlikus magnetväljas ja temas peab tekkima heli salvestamisel süvendi lõikamiseks kasutatud helisagedusvooluga identne indutseeritud vool.

T.: Ja jääbki üle seda vaid võimendada, et valjuhääldaja abil saaks plaadile salvestatud helisid kuulata. Sel eesmärgil võib kasutada näiteks raadiovastuvõtja madalsagedusosa. Tõenäoliselt tead, et raadiovastuvõtjad on varustatud sisendkontaktiga gramofoni helipea ühendamiseks.

H.: Seda ma tean. Arvan ka, et taasesitamisel oleks liigne asetada helipea keermetatud kruvile, sest heliplaadi süvend ise juhhib helipea nõela. Seepärast kinnitatakse helipea pöörduva kangi otsa.

T.: Võta veel teadmiseks, et helipea nõel peab olema valmistatud kõige kõvemast materjalist: teemandist või korundist ja eeskujulikult poleeritud.

H.: Mõistan. Kui nõel kulub, siis ta ei saa enam süvendi pisi-maid kõverikke järgida ja peale selle hakkab ta veel heliplaati rikkuma.

MIKROMEETRID KAUAMÄNGIVAL HELIPLAADIL

T.: Aga kas tead, millise pikkusega on 30-cm läbimõõduga heliplaadi välismises süvendis 5000-Hz sagedusega heli üks periood, kui plaat pöörleb kiirusega $33\frac{1}{3}$ pöört minutis?

H.: Oleks huvitav seda teada saada.

T.: Kumbki poolperiood kokku on lühem kui üks kümnendik millimeetrit.

H.: Seda on hirmus vähe.

T.: Kuid see oli soodsaim juhus. Heliplaadi mängimise lõpul liugub nõel sisemistes süvendites, millede läbimõõdud on vähenenud kuni 13 sentimeetri. Siis oleks seesama 5000-Hz sagedusega helivõnkumise periood pikkusega kõigest 0,04 mm (ehk 40 mikromeetrit)!

H.: Sul on õigus, Targaste. Süvendi liikumise kiirus helipea nõela all väheneb nõela lähenemisel heliplaadi keskpunktile, kuigi plaadi enese pöörlemiskiirus ei muutu.

T.: Jah. Kauamängiva (niinimetatud mikrokiri-) heliplaadi kuulamisel, mille läbimõõt on 30 cm ja pöörlemiskiirus $33\frac{1}{3}$ pöört minutis, väheneb lineaarkiirus 45 sentimeetrilt sekundis plaadi alguses kuni 20 sentimeetrini sekundis plaadi lõpus.

H.: Arvan, et sellepärast taasesitatakse heliplaadi tsentrile lähemal salvestatud kõrgeid noote ebapiisavalt.

T.: Praktikas on nende nõrgenemine vähemärgatav. Kuid sellegipoolest peitub selles suhtelise kiiruse järkjärgulises vähenemises heliplaadisalvestuse üks põhiline puudus.

HELIPLAATIDEST MAGNETLINDINI

H.: Kahtlustan, et nagu alati, annad diagnoosi määramise järel mulle ka ravimi selle haiguse vastu.

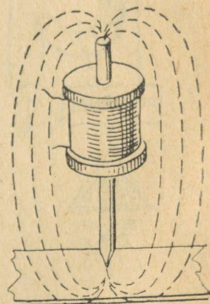
T.: Selleks on heliplaadist loobumine magnetlindi kasuks.

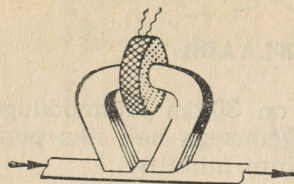
H.: Sa pead silmas magnetofone, milles plastmassist linti keritakse ühelt poolilt või kassetilt teisele, kusjuures ta möödub väikestest karbiketest, mida kentsakalt nimetatakse magnetpeadeks?

T.: Just nii. Selle lindi üks külg on kaetud rauapulbrikihiga, mis on samalaadne kõrgsageduspoolide südameike valmistamisel kasutatava materjaliga. Tibatillukesed rauaosakesed võivad magnetväljas hõlpsasti magneetuda ja magneetunud oleku säilitada.

H.: Näib, et mõistata sin, mis toimub. Magnetpeas peab asetsema teravikuga elektromagnet. Magnetlint möödub sellest teravikust. Ja kui elektromagneti mähist läbib madalsagedusvool, siis sellega kaasnev muutlik magnetväli kirjutatakse piki linti selle vahelduva magneetumisena üles.

T.: Sinu oletused ei ole tõest kaugel. Kuid sa ka eksisid. Nimelt



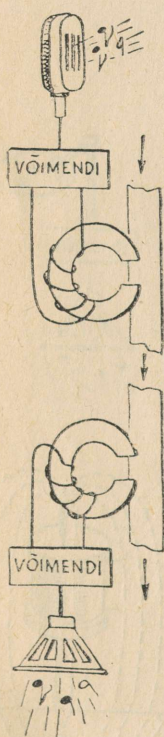


Joonis 134. Heli salvestamine magnetlindile.

peavad teravikutaolise elektromagneti jõujooned väljaspool magnetit pöörduma tagasi selle teise poolusesse ja lint osutub siis otsekui hajunud magnetvälja sukeldunuks.

H.: Sellele ma ei mõelnud... Mida nüüd teha?

T.: Kontsentreeritud magnetvälja saamiseks — see on aga kõrgete sageduste taasesitamise seisukohalt väga tarvilik — tuleb kasutada hobuserauakujulise südamikuga elektromagnetit, mille pooluste vaheline pilu on väga kitsas (mõned mikromeetrid). Sel juhul magneetub lint täpselt selles laiuses, millega ta vastu pilu liibub (joonis 134).



KOLM PEAD VÕI ÜKSAINUS!

H.: See on erakordselt selge. Eeldan, et taasesitamisel kasutatakse samasugust pead kui salvestamisel. Lindi möödumisel helipea pilu eest tekitab salvestuse ajal rauapulbris loodud muutlik magneetumine pea mähises madalsagedusvoolu, millega pärast võimendamist luuaksegi võimalus kuulata varem salvestatud helisid.

T.: See on õige. Enamikus laiatarbelistes magnetofonides kasutatakse ühist helipead nii salvestamiseks kui ka taasesitamiseks. Esimesel juhul lülitatakse ta võimendi väljundisse, mille sisendisse on ühendatud mikrofon. Magnetofoni ümberlülitamisel taasesitamiseks osutub helipea ühendatuks võimendi sisendiga; võimendatud signaal juhitakse valjuhääldajasse.

H.: Satun mõttele, et magnetofoni oluline eelis peitub lindi veokiiruse konstantsuses.

T.: Õige. Lint liigub standardse kiirusega (4,76; 9,53; 19,05 või 38,1 cm sekundis). Mida suurem on kiirus, seda parem on salvestuse kvaliteet, eelkõige kõrgemate sagedustega helide puhul.

H.: Jah, kuid kiiruse suurenemisega väheneb salvestuse kestus lindil.

T.: Loomulikult. Kuid praegusel ajal toodetakse magnetofone, mis salvestavad helisid ühe lindi kahele või isegi neljale paralleelsele rajale, millega salvestuse kestus suureneb kaks või neli korda ja võib küündida mitme tunnini.

H.: Olen kuulnud, et linti võib kasutada korduvalt, kustutades sellelt salvestuse nagu pliiaatsijoone paberilt. On see nii?

T.: Täiesti õige. Magnetsalvestust kustutatakse lihtsalt ultrahelisagedusliku (s. o. inimese kõrva poolt tajutavatest sagedustest kõrgema sagedusega) magnetväljaga, näiteks sagedusel 40 000 Hz. See magnetväli tekitatakse kustutuspea abil, mis paigutatakse salvestuspea ette.

H.: Tähendab, et kustutuspeast möödumisel vabaneb lint eelmisest salvestusest?

T.: Jah, kuid seda tehakse ainult uue salvestamise ajal. Taasestamisel on kustutuspea välja lülitatud. Pean sulle veel ütleva, et salvestatava väljaga peab liituma vahelduv ultrahelisageduslik magnetväli. Selleks juhitakse salvestuspeasse lisaks madalsagedusvoolule veel ka ultrahelisagedusvoolu.

H.: Pagan võtku, milleks ometi veel see?

T.: Ära ärritu, see ei hävita salvestust, sest ta on kustutusvooluga võrreldes väga nõrk. Väike annus kõrgsagedusvoolu on tarvilik selleks, et «raputada» lindi rauaterakesi, mis peavad vastu võtma signaali poolt tekitatud magneetivat madalsageduslikku välja.

H.: Väga hea, et helipead võivad täita mitut ülesannet. Kuid mina tunnen, et minu pea pole täna õhtul enam suuteline täitma ainsatki.

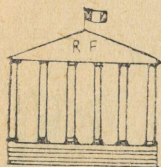
T.: Üldtuntud küllastumisnähtust arvesse võttes on parem, kui lõpetame oma helisalvestust käsitleva vestluse.

23.

VESTLUS

Ja nii lõpetamegi oma foreda refke raadio maalilisse riiki, mille Te sooritasite meie sõprade vestluste abil. Kui Te neid tähelepanelikult jälgisite, siis ei osutu raadioasjandus Teie jaoks enam saladuseks, vähemalt mitte selle põhijoontes. Kuid enne hüvastijätmist joonistavad Targaste ja Huviste, omandatud teadmisi kasutades, valmistamiseks kavandatava raadiovastuvõtja skeemi ning analüüsivad seda.

NUÜD TÖÖLE



Huviste: Vannun pentoodi nimel! Mida ma näen! Nähtavasti oled tühjendanud terve raadiodetailide kaupluse, kallis Targaste.

Targaste: Peaaegu et tõesti, Huviste. Nüüd asume oma tehnilise koostöö aktiivsesse faasi, mis loodetavasti osutub niisama viljakaks, nagu...

H.: Halasta, ära masenda mind sellise ülespuhutud stiiliga. Ütle, milleks on vaja sellisel hulgal varjestatud poole, lampe, takisteid ja kondensaatoreid?

T.: Noh selleks, et lõpuks ometi alustada nii ammu lubatud raadiovastuvõtja ehitamist mu tädi jaoks. Arvan, et nüüd tead sa juba kõike vajalikku vastuvõtja töötamise kohta, et võiksid kartust tundmata selle ehitamisele asuda.

H.: Ma olen väga meelitatud sellisest usaldusest ja isegi kõnelen samuti sellises stiilis, mille sa tänaseks valisid. Ühtlasi tahaksin teada, millist skeemi sa kavatsed soovitada.

T.: Ma ei taha midagi sulle kaela määrida, sõbrake. Avalda mulle oma soov ja ma püüan koostada skeemi, mis sind rahuldaks.

H.: Suurepärane. Täiesti ilmselt peab see olema supervastuvõtja. Ja kuna ta peab omama väga suurt tundlikkust, peab temas tingimata olema kõrgsagedusvõimendi.

T.: Sinu soovid on täidetud, Huviste (joonis 135). Kõrgsagedusvõimenduslambi EL_1 võrele anname signaali trafo L_1L_2 sekundaarmähiselt, mis on häälestatav pöördkondensaatori C_1 abil. Lambi tüürvõre eelpinge luuakse takisti R_1 abil selle katodaheles, varivõrepinge — eeltakisti R_2 abil. Samade indeksitega on tähistatud ka kõigi ülejäänud lampide vastavad takistid.

H.: Sa unustasid tähistada blokeeriva kondensaatori.

T.: Seda tegin meelega, et mitte joonist üle koormata. Võta lihtsalt teadmiseks, et tähistusteta kondensaator on soovimatute sidestuste vältimiseks.

H.: Olen nõus. Ma arvan, et kondensaatori C_7 ülesanne on sama kui kondensaatoril C_7 jooniselt 78.

T.: Sul on suurepärane mälu. Selle kondensaatori ülesanne on tõepoolest võnkeringis L_2C_1 kõrgsagedusliku ühenduse loomi-



seks. Pöördkondensaatori rootor on tingimata maandatud, sest ta kinnitatakse metallsassiile. Kuid mähise L_1 lõpp on ühendatud automaatse võimendusregulaatori ahelaga, milles on tühine pinge. Tänu kondensaatorile C_7 on võnkering terviklik. Takisti R_7 ja kondensaator C_7 loovad automaatse võimendusregulaatori ahelas tarviliku ajakonstandi.

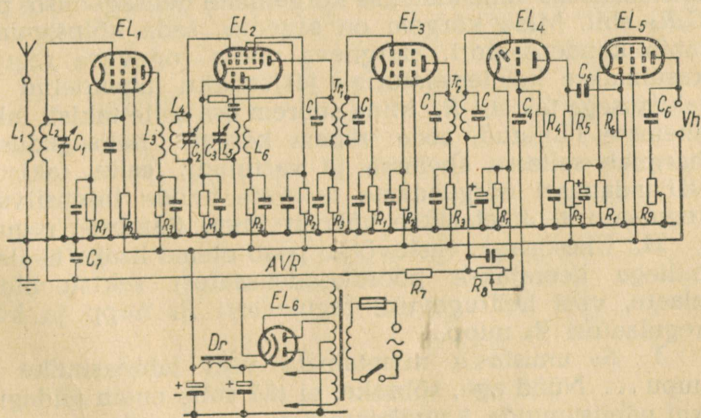
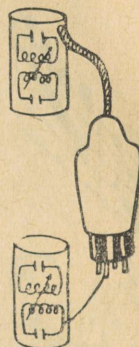
H.: Aga nüüd huvitab mind triood-heksoodiga EL_2 segustusaste.

T.: Pole midagi lihtsamat. Läbi trafo L_3L_4 , mille sekundaarmähis on kondensaatori C_2 abil häälestatav, anname võimendatud kõrgsageduspinge heksoodi esimesele võrele. Möödamannes pööra tähelepanu sellele, et kõikide lampide anoodahelatesse on ühendatud lahtisidestusfiltrite takistid R_3 . Ostsillaator koosneb kombineeritud lambi trioodsüsteemist, võnkeringist L_5C_3 ja tagasisidestusmähisest L_6 . Tema pinge antakse tavalisel viisil heksoodi kolmandale võrele.

H.: Edasi suudan skeemis orienteeruda juba iseseisvalt. Vaheageduspinge antakse vaheagedusvõimendusastme pentoodi EL_3 võrele esimese trafo Tr_1 abil, millel on häälestatud primaar- ja sekundaarmähis. Teine vaheagedustrafo Tr_2 annab võimendatud vaheageduspinge detektordiodile, mis kuulub kombineeritud lampi EL_4 . Viimane sisaldab ka madalsageduse eelvõimendusastme trioodi...

T.: Huviste, sa räägid nagu elav raadiotehnika õpik... ja sa ei räägi rumalusil!

H.: Ära solva mind, Targaste. Pärast seda, kui ma õppisin üksikasjalikult tundma kõiki üldise skeemi elemente, pole mul ka raske mõista tervikut. Diod-triood EL_4 on ühendatud klassi-



Joonis 135. Lõplik skeem, mille järgi Huviste hakkab pärast korduvat ümbertegetmist vastuvõtjat ehitama.

kalise skeemi kohaselt. Detekteeritud pinget saame potentsio-
meetri R_8 liugkontaktilt ja juhime sidestuskondensaatori C_4 kaudu
trioodi võrele. Eelpinget antakse sellele läbi takisti R_4 .

T.: Kuid automaatne võimenduse reguleerimine?

H.: Samuti kõige tavalisem skeem. Detekteeritud pinget
antakse läbi ahela R_7C_7 kõrgsageduse ja vahesageduse võimen-
duslampide tüürvõrele, tänu millele osutubki võimendus regu-
leeritavaks.

T.: Täna sa oled lausa ammendamatu. Lõpeta ometi skeemi
analüüsimine.

H.: Takistist R_5 ja kondensaatorist C_5 koosnev klassikaline
sidestusahel madalsageduse eelvõimendusastme ja lõppastme pen-
toodi EL_5 vahel on täiesti igapäevane. Samuti ei kujuta enesest
midagi ebatavalist kaudküttega kenotroniga EL_6 täisperioodalaldi.
Midagi ei saa öelda ka filtri suhtes, mis koosneb kahest elektro-
lüüt-kondensaatorist ja terassüdamikuga paispoolist Dr .

T.: Võin ainult lisada, et madalsagedusvõimenduslampide
katoodehelates on blokeerivate kondensaatoritena samuti kasuta-
tud elektrolüüt-kondensaatoreid, sest seal vajatavad mahtuvused
on suured... On's nüüd kõik selles skeemis sulle selge?

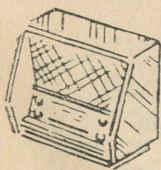
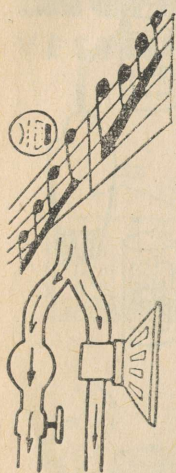
H.: Justament. Pean märkima, et lõpplampi anoodi ja üldmi-
nusjuhtme vahele on ühendatud veel ebatavaline kondensaator
 C_6 koos järjestikuse reguleeritava takistiga R_9 . Milleks nad on?

T.: Selleks, et mitte lasta ülekantava heli kõrgemaid sagedusi
valjuhääldajasse liiga tugevatena.

Vaata, madalsagedusvõimendites kasutatavatel pentoodidel on
halb harjumus kõrgemaid sagedusi rohkem võimendada, rõhu-
tades niiviisi teravaid helisid. Muusikasaate kõlavärvingu peh-
mendamiseks vähendatakse kõrgeimate helisageduste pinget ahela
 C_6R_9 abil. Mida kõrgem on sagedus, seda hõlpsamini see vool
läbib kondensaatori. Hargneva voolu tugevuse reguleerimiseks
kasutatakse kondensaatoriga järjestikku ühendatud muudetava
takistusega takistit R_9 . Mida suurem osa selle takisti takistusest on
ahelasse lülitatud, seda vähem kõrgete helisageduste voolust
hargneb sellesse ahelasse ja vastupidi, selle takisti takistuse
vähendamisel nõrgendame teravate helide intensiivsust. Sellist
regulaatorit nimetatakse kõlavärvingu- (tämbri-) regulaatoriks.

H.: Ühesõnaga, vastuvõtjal peab olema lisaks häälestusnupule,
millega keeratakse pöördkondensaatori sektsioonide rootori-
plaate, veel helitugevuse regulaatori R_8 nupp ja kõlavärvingu
regulaatori R_9 nupp.

T.: Sa unustasid nimetamata veel laineastmike ümberlüli-
tisi nupu... Nüüd aga, sõbrake, ei jää sulle enam midagi muud üle,
kui näpistangide, kruvikeeraja ja jootekolviga varustatuna tööle
asuda.



VIIMASED SOOVITUSED

H.: Kas sa tõesti arvad, et nüüd suudan toime tulla sinu soovitudusteta?

T.: Loomulikult ei puudutanud ma nende kahekümne kolme õhtu vältel, mida me nii meeldivald vestlustega veetsime, teoreetilisi peensusi. Kuid praegu on sul juba küllaldaselt teadmisi, et hõlpsalt juba igasugusest skeemist aru saada. Kõige keerukamaid skeeme võib tükeldada teatavaks hulgaks lihtsateks elementideks, mis on sulle täiesti tuntud. Aeg ja kogemused õpetavad sind neid esimesest pilgust ära tundma.

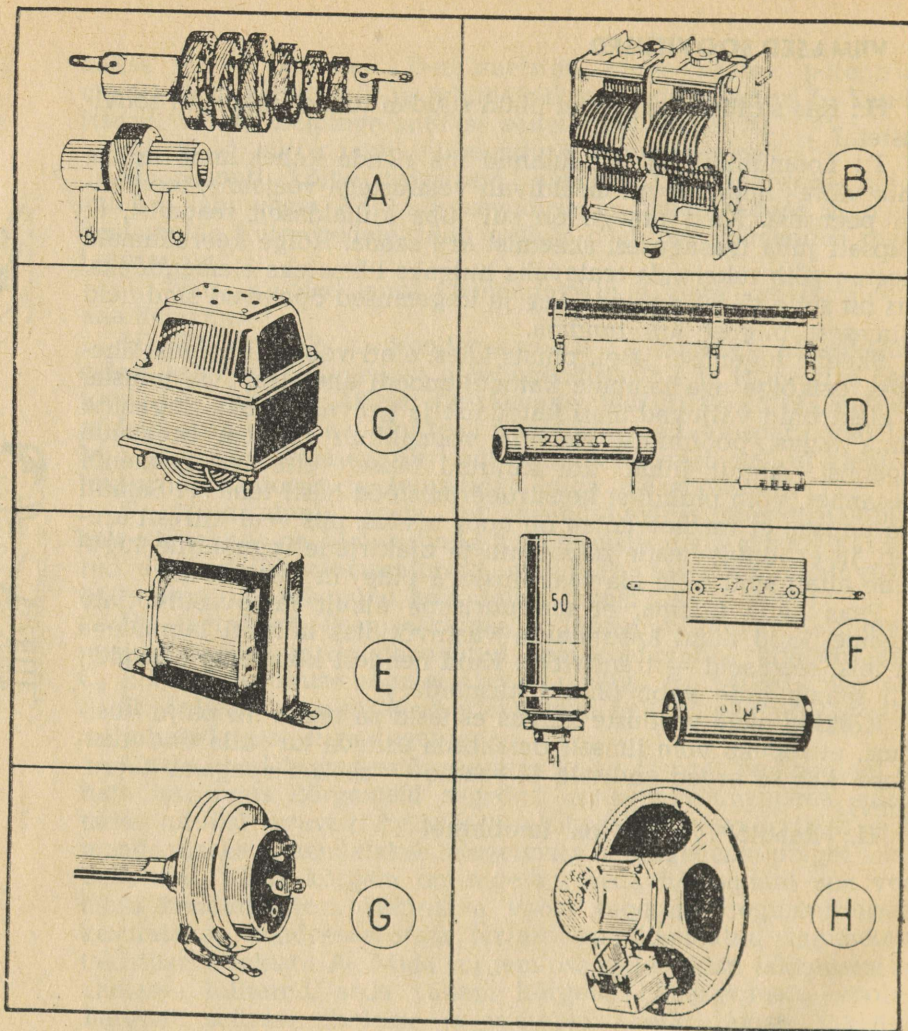
Skeemi lugemisel jälgi, pliiats käes, alati voolu kulgemist ahelates, eelkõige aga lampide katoodi-anoodi ahelates. Ära unusta, et elektronid väljuvad alati katoodist ja peavad lõpuks tingimata sinna tagasi pöörduma. Harjuta võimalikult rohkem skeemide lugemist. Ainult juhul, kui kujutad täpselt ette iga elemendi ülesannet, võib praktilist konstrueerimistööd hästi teha... Samuti ära unusta, et raadiotehnika on noor teadus, mis veel kiiresti areneb, ja et ainult heade raamatute ja ajakirjade regulaarne lugemine aitab sind selle ala saavutustega pidevalt kursis olla.

Pean sulle ütlema, et me uurisime ainult lampvastuvõtjate skeeme, kuid nüüd kasutatakse vastuvõtjates kõrvuti lampidega ka teisi seadiseid — transistore. Kuid nendest kõneleme edaspidi, kui saame jälle vabu õhtuid kasutada.

Kõikide meie vestluste käigus esitasid sa mulle nii palju küsimusi, et lõpuks võin ilmselt omakorda esitada ka sulle ühe küsimuse: kas sa arvad endiselt, et raadio — see on «pagana keeruline»?

H.: Raadio?... See on imelihtne!...





Joonis 136. Raadiodetailide väliskujusid: A — poolid; B — pöördkondensaator; C — toitetrafo; D — püsitakistid; E — madalsagedustrafo; F — püsikondensaatorid; G — potentsiomeeter; H — elektrodünaamiline valjuhääldaja.

Tööstuslikud raadiohäired

Oma viimases vestluses koostasid Huviste ja Targaste ühisel nõul ja jõul kõikide detailide osas hästi läbimõeldud vastuvõtja skeemi. Kuid nad möödusid vaikides *antenniseadise* probleemist.

Selline hooletus on täiesti andestatav. Kaas-aegsel vastuvõtjal, mida meie sõbrad kavatsevad ehitada, on nii kõrge tundlikkus, et lubab toime tulla ka kõige tagasihoidlikuma antenniga. Paarist meetrist lae alla tõmmatud ja naeltest hästi isoleeritud traadist jätkub, et hea helitugevusega kuulata paljusid kaugaid saatjaid. Teiselt poolt aga kasutatakse *maanduseks* tavaliselt veetorstikku, kesk-kütteseadet või gaasitorusid.

Muide, enamasti võib vastuvõtja jätta maandamata, sest selleks piisab metallässii ja maa vahel esinevast mahtuvusest.

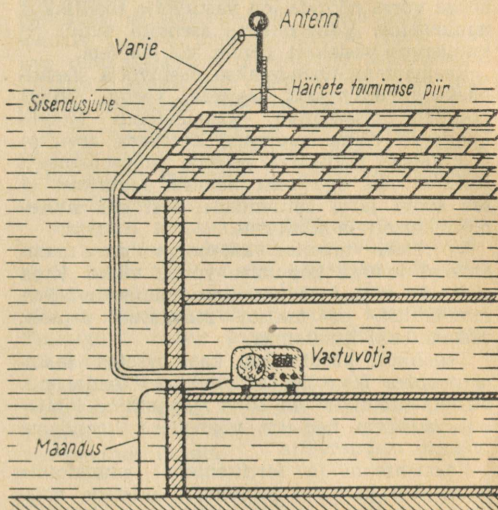
Kuid toantenn võtab vastu mitte ainult saatjate signaale, vaid ka tööstushäired. Nagu juba kõnelesime, tekitavad neid häireid mitmesugused tööstuslikud, meditsiinilised ja laiatarbelised elektriseadmed ning aparaadid. Need häired on kõrgsagedusvõnkumised, mis levivad elektromagnetiliste lainetena väga laias sagedusribas ja seepärast segavad peaaegu kõigil sagedustel normaalset vastuvõttu.

Häired on suhteliselt väikese võimsusega ja levivad ainult mõne maja ulatuses, kus nende levikut hõlbustab elektrijuhtmistiku, metalltorude ja -armatuuri olemasolu. Häirete intensiivsus väheneb järsult katuste kohal ja juba mõne meetri kõrgusel ülalpool katust on nad sageli juba tühihed.

Häirevabad vastuvõtuantennid

Seepärast on vastuvõtukvaliteedi parendamise huvides tulusam asetada antenn välja, majade katuste kohale. Antenni kujul pole erilist tähtsust; ta võib olla horisontaalse juhtme, vertikaalse varda või isegi traatpintli kujuline. Probleem on selles, et vältida häirete sattumise võimalusi antenni sisseviigjuhtmesse, mis seda ühendab vastuvõtjaga.

Sellelgi juhul lahendatakse probleem varjestamise abil edukalt. Tänu varjestatud sisseviigu kasutamisele jõuab antennivool vastuvõtjasse ilma häirete lisandumiseta.



Joonis XXIX. Varjestatud (häirevaba) antenni montaaž.

Varjestatud sisseviigujuhe on vasktraat, mis on paigutatud painduvasse tunduvalt suurema läbimõõduga metalltorusse (näiteks traatidest põimitud «sukka»). Varjestus peab olema maandatud. Traati hoiavad varjest eemal näiteks vastavad isolatsioonid, mis asetsevad üksteisest teataval kaugusel.

Hästi konstrueeritud antenniseadis on efektiivne vahend tööstushäiretega võitlemises, kuid ta ei kaitse atmosfäärihäirete vastu. Õnneks on viimaste toime — seni kui vaid pole äikest — nõrgem.

Raamantenni suunatoime

Vastuvõtuantennid on suunatoimeta, kui mitte arvestada teatavaid lühilainevastuvõtuks kasutatavaid antenne. Teisiti väljendudes võtavad nad nõrgelt vastu laineid, mis saavad mistahes suunast.

Kuid on olemas ka teisi «lainete kogujaid», nagu raamantennid, millel avaldub terav suunatoime. Mis on *raamantenn*? See on suure läbimõõduga pool. Tema keerduvaga lõikumisel tekitavad raadiolained nendes

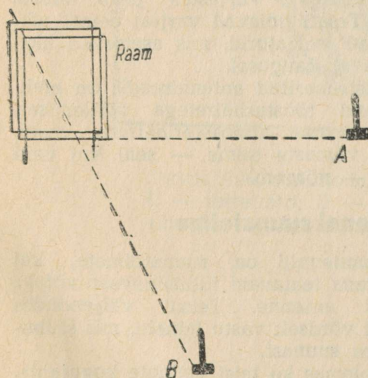
kõrgsageduspinge. See pinge on sõltvalt raamantenni asendist saatja suhtes suurem või väiksem. Pinge on maksimaalne siis, kui pooli keerdude tasand asetseb saatja suunas; sel juhul on saade kuuldav maksimaalse tugevusega (joonis XXX). Kui raamantenni täisnurga võrra pöörata, on vastuvõtja tundlikkus minimaalne. Vahepealsete asendite puhul on kuuldavus vastavalt parem või halvem.

Raamantenn ühendatakse vastuvõtja sisendahela induktiivpooli asemele, seega rööbiti pöördkondensaatoriga. Raamantenni lainete kogumise võime suureneb keerdude arvu ja keerdudega hõivatava pindala suurendamisel. Kuid ei üht ega teist nendest teguritest ei saa soovi järgi suurendada, sest siis suureneks liigselt induktiivsus.

Võrreldes tavalise antenniga on raamantenni lainete kogumise võime väike. Kuid arvesse võttes superheterodüünvastuvõtjate tundlikkust, ei takista nimetatud asjaolu raamantenni kasutamist.

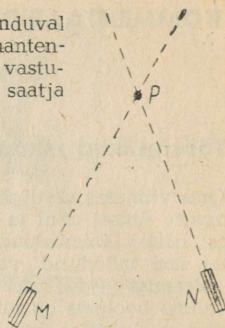
Tegelikult kasutatakse kaasaegsetes raamantennides ferriidist südamikku. Nendel nn magnetantennidel on suur magnetiline läbitavus, mistõttu nad on võimalised koondama endasse magnetvälja.

Raamantenni ja ferriitantenni suunatoime võimaldab paljudel juhtumitel ärastada märgatavat hulka vastuvõtuhäireid, nimelt kõiki neid, mis tulevad sellistest suundadest, millest vastuvõtt kas puudub või on tühine. Veelgi parem on, et samal põhjusel osutub raamantenniga varustatud vastuvõtja näiline eraldustevõime suuremaks. Kui kaks naaber-sagedustel töötavat saatjat ei asetse vastuvõt-



Joonis XXX. Saatja A, mille suunas raamantenn on orienteeritud, annab suurema vastuvõtutugevuse kui saatja B, mis on risti antenni hea vastuvõtu suunaga.

Joonis XXXI. Kahe tunduval kaugusel asetseva raamantenniga M ja N üheaegse vastuvõtu abil saab määrata saatja P asukohta.



ja ga ühisel sirgel, siis suunatakse raam- või magnetantenn sellele saatjale, mida soovitakse kuulata, ja nõrgendatakse niiviisi soovimatu saatja toimet tunduvalt.

Lõpuks saab raamantenni abil määrata saatjate asendit; see toiming kannab nimetust *radiogoniomeetria* ehk peilimine. Mingi saatja asukohta avastamiseks sel viisil tuleb saadet vastu võtta raamantenni abil kahest punktist, mis paiknevad teineteisest küllaldasel kaugusel. Maksimaalset vastuvõtutugevust andvad suunad märgitakse hoolikalt üles ja joonestatakse kaardile. Nende joonte ristumispunkt vastabki saatja asukohale (joonis XXXI).

Samal viisil võib avamerel sõitev laev või lennuk raadiosignaale väljastades määrata oma täpset asukohta, kui laseb ennast jälgida kahes maal asetsevas radiogoniomeetriaajamas.

Raadio pakub tänu raamantennidele suurt abi merelaevandusele ja õhustranspordile, eriti aga lennuki juhtimisele ja maandamisele nähtavuse puudumisel. Teatavasti leidub ka teisi vahendeid, mida kasutatakse laeva- ja õhuliikluse julgeoleku suurendamiseks. Nendest tuntuim on radiolokatsioon.

Mida toob homme!

Need read avavad eesriide raadio kasutamise arvukate võimaluste ees, mis hoopiski ei piirdu meelelahutusmuusika, loengute ja rohkem või vähem meeldiva informatsiooni ülekandmisega, vaid täidab ka selliseid tähtsaid ülesandeid, nagu ajateenistus (õige aja signaalide edasiandmine) hädaohusignaalide või meteoroloogiateenistuse signaalide ülekanne jpm.

Raadio kasutamine avardub iga päevaga. Kui sajandi algupoolel kasutati raadiolaineid

ainult telegraafisignaalide ülekandmiseks, hiljem kõne ja muusika edasiandmiseks, siis täna kannavad nad maailma ka elavaid televisioonikujutisi.

Televisioonitehnika oli Targaste ja Huviste mitme järgneva vestluse teemaks. Need on esitatud teises raamatus, mis on käesoleva järjeks.

Kas ei osutu aega ja ruumi ületavad elektromagnetilised lained homme siduvaks lülits murdumatu solidaarsuse ja vastastikuse mõistmise rajamisel maakera kõigi rahvaste vahel? Kas ei loo me ülehommest sidet teiste planeetide elanikega? Ja kas ei soodusta raadiotehnika inimkonna ülemaailmset lähemist?

Soovime, et see oleks nii...

Elektronika

Praegusel ajal moodustab raadio ja televisioon üksnes osakese avarast tehnikaharust, mida tuntakse *elektronikana* ja mis hõlmab elektronlampide kõiki kasutusalasid. Elektronlampide abil saab lahendada kõige mitmekesemaid probleeme tänu võimalusele suvaliselt muuta elektrisignaali kuju.

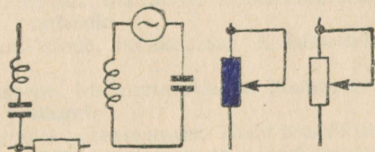
Astronoomia, bioloogia, füüsika — kõik teaduse ja tootmise harud kasutavad elektronseadmeid.

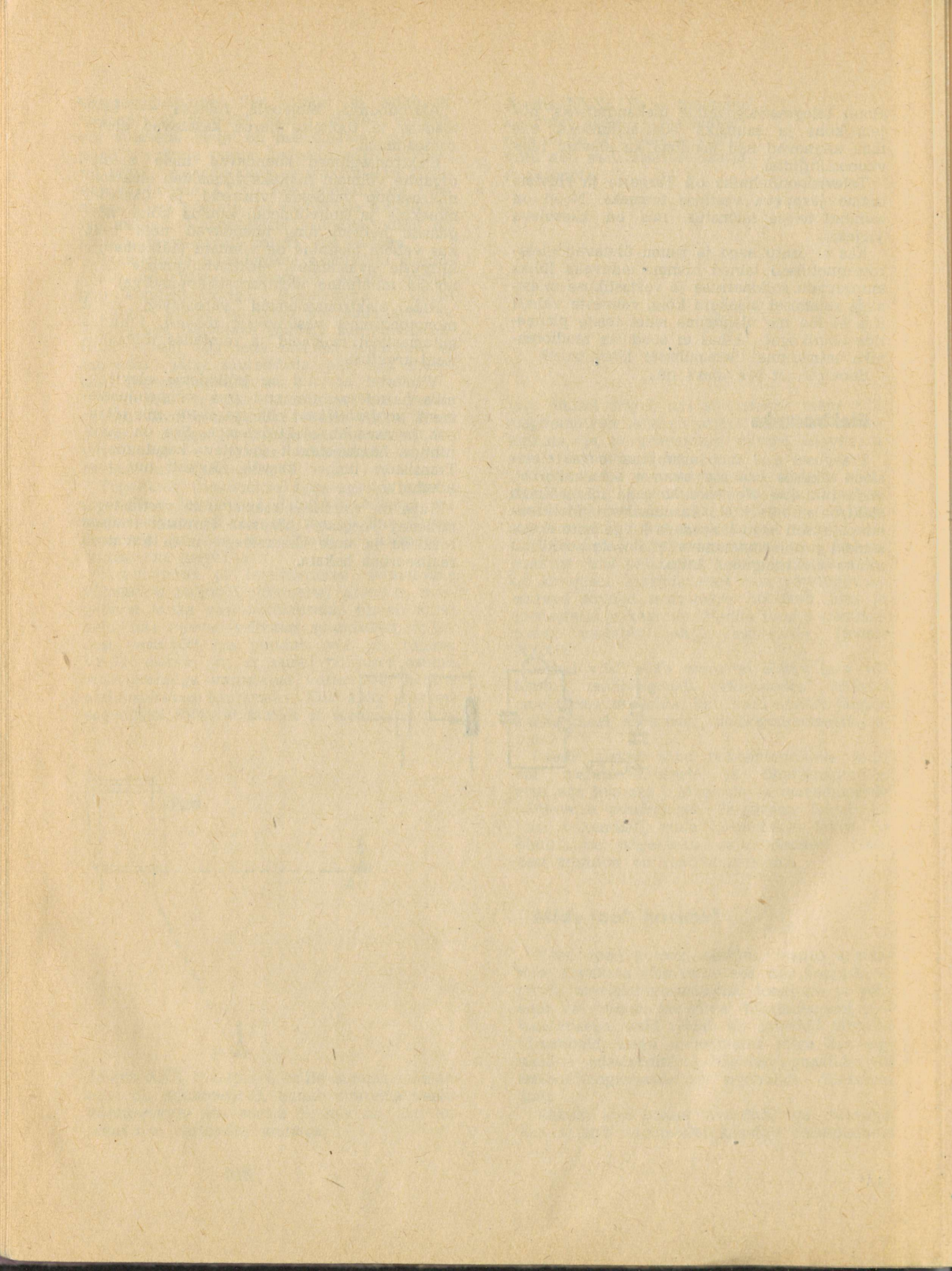
Elektronseadmed laiendavad meie meeleorganite võimeid (näiteks võimaldab elektronmikroskoop vaadelda viiruseid ja üksikuid molekule ja helivõimendi kuulda kõige nõrgemaid helisid) ning täiendavad neid seal, kus vahetu aistmine on võimatu (nähtamatute kiirguste avastamine, elektrivõnkumiste nähtavaks muutmiseks elektronostillograafia).

Rida elektronseadmeid vabastavad meid monotoonsetest väsitavatest töödest, juhtides automaatselt masinaid ja teostades töömahukaid arvutusi.

Viimastel aastatel on kõikidesse elektronika harudesse ilmunud uus võimenduselement, *pooljuhttriid* ehk *transistor*, mis täiendab ja asendab elektronlampe. See on pooljuhtide hämmastavalt huvitav kasutamisaala. Transistori ümber kasvab jõudsalt uus tehnikaharu.

Juba on valmimas raamat uute vestlustega, milledes Targaste tutvustab Huvistet transistoridega ja uute skeemidega, mida kavatseb realiseerima hakata.





SISUKORD

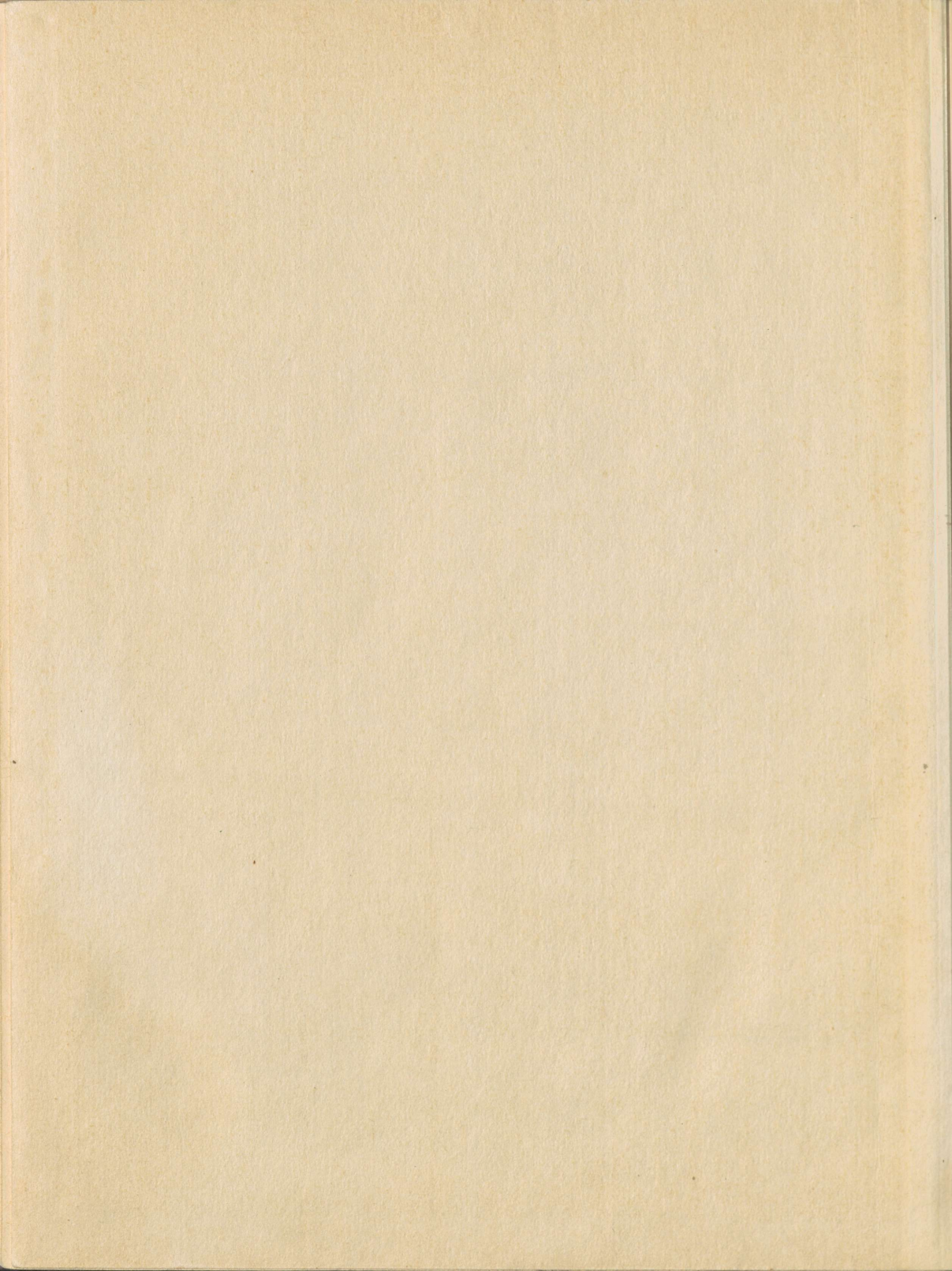
Saateks eestikeelsele väljaandele	5
Kellele on see raamat mõeldud?	6
Mis on esitatu omandamiseks vajalik?	8
Tegelased	9
Esimene vestlus	10
Elektronid ja prootonid. Vool. Pinge. Voolu tugevus. Takistus. Ohmi seadus.	
Kommentaariid esimesele vestlusele	17
Potentsiaal, elektrijuhid ja dielektrikud. Elektrivool. Volt, amper, oom. Ohmi seadus. Ohmi seaduse kolm kuju.	
Teine vestlus	19
Vahelduvvool. Magnetväli. Induktsioon.	
Kommentaariid teisele vestlusele	25
Vahelduvvool. Elektromagnetilised lained. Magnetväli. Induktsioon.	
Kolmas vestlus	27
Eneseinduktsioon. Induktiivsus. Mahtuvus. Kondensaatorid.	
Kommentaariid kolmandale vestlusele.	32
Lenzi seadus. Eneseinduktsioon. Induktiivsus. Kondensaator. Mahtuvus.	
Neljas vestlus	34
Laadimine ja tühjendamine. Mahtuvustakistus. Reaktiivtakistused.	
Kommentaariid neljandale vestlusele	39
Vahelduvvoolu läbiminek kondensaatorist. Mahtuvustakistus. Faasinihe. Takistuste ühendamine. Reaktiivtakistuste jadaühendus. Takistuste rööpühendus.	
Viies vestlus	42
Faasinihe. Resonants. Vönkering.	
Kommentaariid viiendale vestlusele	48
Elektriline resonants. Vönkuv lahendumine. Vönkeringi takistus. Resonants induktiivsuse ja mahtuvuse jada- ning rööpühenduse puhul.	
Kuues vestlus	50
Häälestamine. Häälestusteravus. Häälestatud vönkering.	
Kommentaariid kuuendale vestlusele	53
Thomsoni valem. Eraldusteravus (selektiivsus). Vönkeringide häälestamine.	
Seitsmes vestlus	55
Elektronlambid. Katood. Anood. Võre. Diod. Triood. Lampide tunnusjooned.	
Kommentaariid seitsmendale vestlusele	61
Elektronlambid. Millest koosneb elektronlamp? Katood ja tema kuumutamine. Diod. Triood. Tõus. Võimendustegur. Sisetakistus. S , μ ja R_i vaheline sõltuvus.	
Kaheksas vestlus	64
Tunnusjoonte sarjad. Talitluspunkt. Eelpinge.	

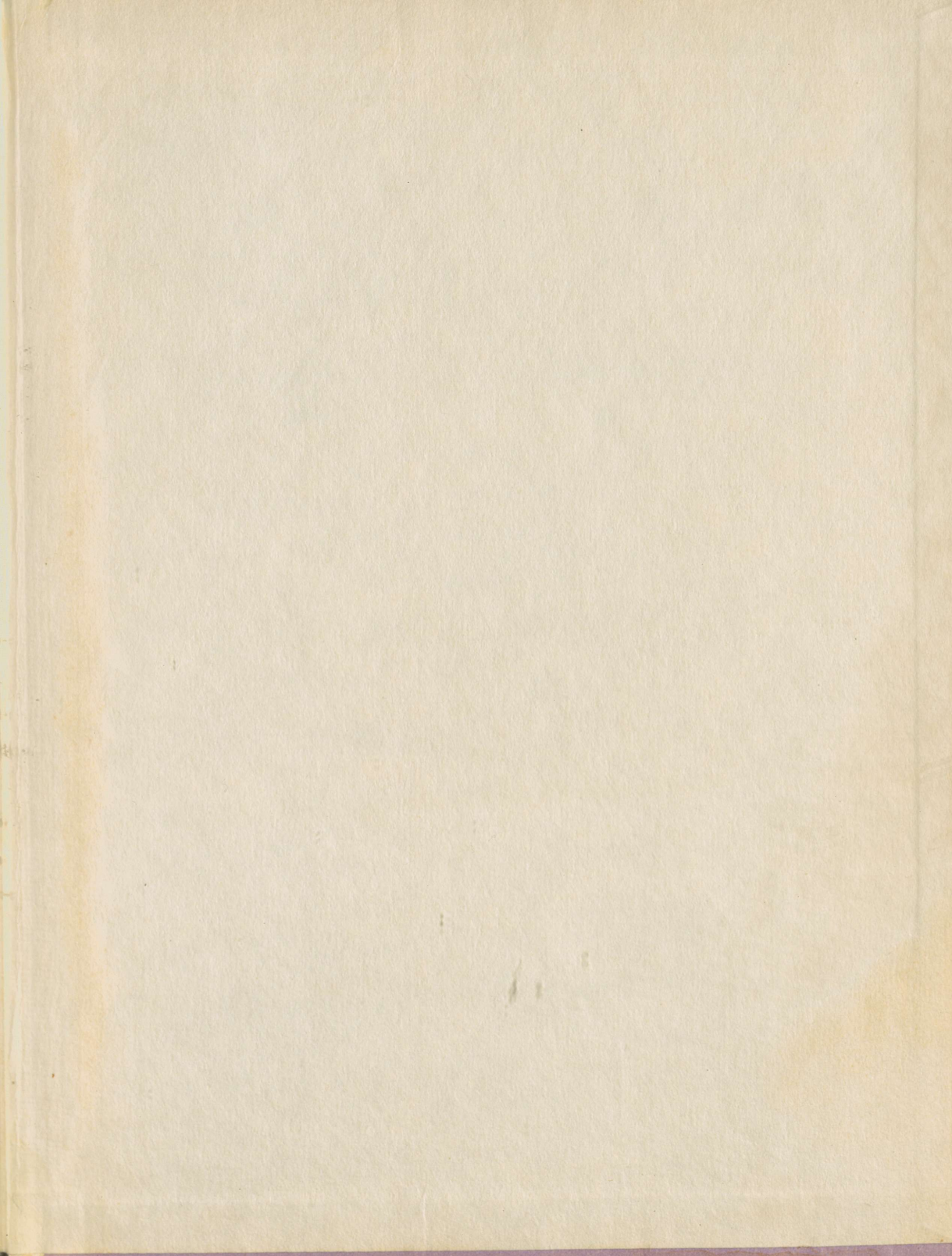
Kommentaariid kaheksandale vestlusele	69
Lambi võretunnusjoon. Lambi teised tunnusjooned. S , μ ja R : graafiline määramine. Võimendusastme sisend ja väljund. Võre-eelpinge.	
Üheksas vestlus	72
Mikrofon. Madalsagedusvool. Generaator. Raadiotelegraafisaatja. Modulatsioon.	
Kommentaariid üheksandale vestlusele	78
Mikrofon. Modulatsioon. Raadiosaatja.	
Kümnnes vestlus	80
Detekteerimine. Diod- ja anooddetekteerimine. Kristalldetektor.	
Kommentaariid kümnendale vestlusele	85
Telefonid. Detekteerimine. Detektorid. Anooddetekteerimine.	
Üheteistkümnes vestlus	87
Kõrg- ja madalsagedusvõimendamine. Trafosidestus. Anoodtoide ja eel- pingestamine.	
Kommentaariid üheteistkümnendale vestlusele	95
Kõrg- ja madalsageduse võimendamine. Trafo. Trafosidestus. Automaateel- pinge. Komponentide eraldamine. Madalsagedus- ja kõrg- sagedustrafod. Vastastaktilülitus.	
Kaheteistkümnes vestlus	98
Takisti-kondensaator-sidestuses, paispoolsidestuses ja võnkeringidega võimendid. Võre- detekteerimine. Sidestustakistus.	
Kommentaariid kaheteistkümnendale vestlusele	105
Mitmesugused võimendusrežiimid. Takisti-kondensaatorsidestus. Aktiiv- takistiga koormatud võimendusaste. Paispoolkoormusega võimendus- aste. Teised lülitused. Faasipööramislülitused. Diodi sidestamine. Võre- detekteerimine. Madalsagedusastmete arv.	
Kolmeteistkümnes vestlus	109
Tagasisidestus. Hartley skeem. Parasiitsidestused. Varjestamine. Tetroot. Pentood.	
Kommentaariid kolmeteistkümnendale vestlusele	117
Tagasisidestus. Regeneratiivdetektor. Parasiitsidestused. Varjestamine. Tetroot. Sekundaaremissioon. Pentood.	
Neljateistkümnes vestlus	121
Parasiitsidestumine. Lahtisidestusfilter. Lahter- ja põhimõtteskeem. Lai- neastmik. Laineastmike ümberlülitamine.	
Kommentaariid neljateistkümnendale vestlusele	128
Sidestumine ühise takistuse kohta. Lahtisidestusahelad. Lahtisidestus- ahelate montaaž.	
Viieteistkümnes vestlus	129
Toide. Alaldamine. Kahe anoodiga kenotron. Filtreerimine. Kaudne küte. Eel- pinge. Alalisvoolutoide.	
Kommentaariid viieteistkümnendale vestlusele	138
Toitmise probleem. Toide vahelduvvooluvõrgust. Silumisfilter. Elektro- lüüt- kondensaatorid. Kütteniidi kuumutamine. Vastuvõtja toitmine alalis- vooluvõrgust. Universaaltoitega vastuvõtjad.	
Kueteistkümnes vestlus	141
Häired. Superheterodüüni põhimõte. Sageduse muundamise skeem. Kahe võre- ga lamp. Heksod. Heptod. Oktod.	
Kommentaariid kueteistkümnendale vestlusele	149
Otse- võimendusvastuvõtja. Superheterodüün- vastuvõtja põhimõte. Kahe lambiga sagedusmuundurid. Kombineeritud lambid — ostsillaator- segusti. Vahesagedussignaali võimendamine. Kooshäälestamine.	
Seitsmeteistkümnes vestlus	153
Vastuvõtt peegelsagedusel. Eelsektsioon. Supervastuvõtja skeem. Elekt- romagnetilised ja elektrodünaamilised valjuhääldajad.	
Kommentaariid seitsmeteistkümnendale vestlusele	158
Pegelsagedused. Kõrge vahesagedus. Elektrodünaamiline valjuhääld- daja. Nõuded heli taasesitusele.	

Kaheksateistkümnes vestlus	160
Vaibumishähtus. Helitugevuse reguleerimine. Muudetava tõusuga lambid. Võimenduse automaatne reguleerimine. Häälestustäpsuse indikaator.	
Kommentaariid kaheksateistkümnele vestlusele	166
Automaatne võimenduse reguleerimine. Kätsi reguleerimise vajadus. Hüdrauliline analoog. Muudetava tõusuga lambid. AVR-i talitus. Aja-konstant. Viivitatud AVR. Tummhäälestus. Optilised häälestusindikaatorid.	
Üheksateistkümnes vestlus	171
Külgrid. Eraldusteravus ja taasesitatava heli kvaliteet. Ribafiltrid. Reguleeritav eraldusteravus.	
Kommentaariid üheksateistkümnele vestlusele	177
Moonutuste liigid. Külgrid. Helikvaliteet ja eraldusteravus. Ribafiltrid. Reguleeritav eraldusteravus. Moonutused madalsagedusahelates. Negatiivne tagasisidestus. Negatiivne tagasisidestus lõppastmes. Kõlavärvingu korrektsiooniga negatiivne tagasisidestus.	
Kahekümnes vestlus	181
Ultralühilained ja nende levimine. Sagedusmodulatsiooni põhimõte. FM-saatja skeem.	
Kahekümne esimene vestlus	187
FM-vastuvõtjad. Kaskoodlülitus. Diskriminaator. Suhtedetektor. Amplituudipiiraja.	
Kahekümne teine vestlus	197
Heli salvestamine grammofoniplaadile. Magnetilise helisalvestuse ja taasesituse põhimõte.	
Kahekümne kolmas vestlus	204
Supervastuvõtja täielik skeem. Selle analüüs. Viimased soovitusel.	
Kommentaariid kahekümne kolmandale vestlusele	209
Tööstuslikud raadiohäired. Häirevabad vastuvõtuantennid. Raamantenni suunatoime. Mida toob homme? Elektroonika.	

Э. Айсберг. РАДИО?.. ЭТО ОЧЕНЬ ПРОСТО! На эстонском языке. Перевод с французского Х. Педусаар. Издательство «Валгус». Таллин, Пярнуское шоссе,

Toimetaja L. Abo. Kunstiline toimetaja M. Niin. Tehniline toimetaja E. Toomsa
Korrektorid T. Nahkur ja S. Vettik.
Laduda antud 14. III 1969. Trükkida antud 10. IX 1969. Kohila Paberivabri
trükipaber nr. 2. 70×90/16. Trükipoognaid 13,5. Tingtrükipoognaid 15,79. Arve
tuspoognaid 16,18. Trükiarv 15 000. Tellimuse nr. 3483. Trükikoda «Kommunist»
Tallinn, Pikk tn. 2. Hind 91 kop.





A



30255

84581

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00346553 3

A ✖
30255
84581

TÜ RAAMATUKOGU

1 0300 00346553 3

EASHENG · RAADIO?.. SEE ON IMELIHTNE!

RAADIO?..
SEE ON IMELIHTNE!