A. Sillart

Televisiooni-tehnika

A
23786
1 ms.

A. SILLART

TELEVISIOONITEHNIKA

[illegible]

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1961

6S3
S53

Raamatus antakse ülevaade televisiooni füüsikalistest alustest ja elektron-televisiooni süsteemidest, kirjeldatakse saate- ning vastuvõtutorusid, hälvitus-seadmeid, saateaparatuuri ja eriti üksikasjaliselt televisioonivastuvõtjaid ning -antenne.

Teos on mõeldud raadioamatööridele ja teistele televisioonihuvilistele, kel on põhiteadmisi elektro- ja raadiotehnikast, samuti on ta kasutatav õpperaamatuna tehnikumides vastava eriala õpilaste poolt.

Arvamused ja märkused käesoleva raamatu kohta palutakse saata aadressil: Eesti Riiklik Kirjastus, tehnilise kirjanduse toimetus, Tallinn, Pärnu mnt. 10.

Retsenseerinud A. Isotamm.

2
Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
62746

EESSÕNA

Televisiooni ehk kaugnägemise all mõistetakse paigalseisvate ning liikuvate objektide kujutiste ülekandmist elektri- või raadioside vahenditega ja nende vastuvõtmist ekraanil. Televisioonitehnika leidis esialgu kasutamist ainult «televisiooniringhäälinguna» ehk vaatelevina. Käesoleval ajal aga tungib televisioon paljudesse rahvamajandus- ja teadusharudesse.

Televisioonitehnika kui suhteliselt noor tehnikaharu areneb pidevalt. Meie tööstus toodab järjest täiuslikumaid saate- ja vastuvõtuseadmeid nii vaatelevi kui ka teaduse ja tööstuse otstarbeks. Tiheneb vaatelevikeskuste võrk. Eesti NSV-s on juba lähemal ajal võimalik vaatelevisaateid kindlalt vastu võtta kogu vabariigi territooriumil. Jätkub releeliinide ehitamine liiduvabariikide vaatelevikeskuste vahel, mis võimaldab vahetada vaatelevisaateid ja seega muuta saatekava mitmekesisemaks ning sisukamaks.

Seoses televisiooni kiire arenguga on tekkinud tõsine vajadus vastavasisulise õpperaamatu järele, mis tutvustaks laiematele hulkadele seda kaasaja üht huvitavamat tehnikaharu.

Käesolev raamat ongi mõeldud peamiselt teadmiste täiendamiseks raadioamatööridele ja televiisorivaldajaile. Samuti on raamat kasutatav tehnilistes keskeriõppeasutistes. Teataval määral võiks teos olla abiks ka vastaval erialal töötajaile.

Teoses esitatav materjal on jaotatud üheksaks peatükiks. Esimeses peatükis selgitatakse valguse ja fotomeetria põhimõisteid, mis on televisioonitehnika aluseks. Teises peatükis käsitletakse televisioonisignaali tekitamist ja televisioonisüsteeme. Värvilise televisiooni kohta on antud ainult põhimõisted.

Elektronoptika põhimõisteid käsitletakse kolmandas peatükis. See peatükk annab eelteadmisi ka elektronkiiretorude ja nende hälvitusseadmete konstruktsioonist. Neljandas ja viiendas peatükis kirjeldatakse televisiooni vastuvõtu- ja saatetorusid, nagu kineskoopi, ikonoskoopi, vidikoni ja monoskoopi.

Kuuendas peatükis käsitletakse impulsi tekitamist ja hälvitusseadmeid. Hälvitusseadmete lõppastet on kirjeldatud põhjalikumalt, sest sagedamini esinevad pildidefektid on tingitud just

hälvitusseadmete lõppastmeist. Seitsmendas peatükis leiavad üksikasjalisemat käsitlemist stuudio tehniline aparatuur, kuna saatjatel, mis tekitavad kandesageduse, peatutakse väiksemas ulatuses, sest need ei erine põhiliselt ULL raadioringhäälingu saatjatest. Samas peatükis kirjeldatakse ka kujutisesignaali salvestusseadmete tüüpe, mis käesoleval ajal on juba rakendamist leidnud ja mille kasutamiselevõtmine võimaldab muuta televisiooni saatekava veelgi huvitavamaks ja rikkamaks.

Kaheksandas peatükis võetakse vaatluse alla televisioonivastuvõtjad. Siin kirjeldatakse televiisorite lülitusi ja antakse ühe televiisori skeemi lühikirjeldus.

Üheksandas peatükis kirjeldatakse mitmesugust tüüpi televisiooni vastuvõtu antenne, alates toaantennist kuni ülikaugvastuvõtuks vajalike antennideni.

Lisades on toodud NSV Liidus kasutatavate televisioonikanalite tabel, televisioonisaatjate loetelu, kineskoopide tehnilised andmed jm.

Materjali valikul ja esitamisel on eeldatud, et lugeja on tuttav elektro- ja raadiotehnika põhialustega.

Avaldan siinkohal tänu inseneridele H. Riikojale, J. Eiskopile, S. Pallole ja eriti ins. A. Isotammele, kes käsikirja viimistlemisel mulle tõsist kaasabi osutasid.

AUTOR

I PEATÜKK

VALGUS

1-1. Valguse tajumine

Energiat, mida kannab elektromagnetiline lainetus, nimetatakse kiirgusenergiaks, selle silmaga tajutavat osa aga valgusenergiaks. Kehade poolt elektromagnetilise energia väljasaatmist lainena nimetatakse kiirguseks.

Kiirguse mõõtmiseks kasutatakse mitmesuguseid kiirgusenergiale reageerivaid seadiseid, nn. kiirgust tajuvaid elemente ehk kiirgustajureid, milles neisse sattunud energia muundub soojuseks või elektrokeemiliseks energiaks.

Kiirgustajurid jaotatakse kahte liiki: a) tajurid, mille reageerimine sõltub ainult neisse ajaühikus sattuvast energiast, s. o. sõltub kiirgusvõimsusest, ja b) tajurid, mille reageerimine sõltub lisaks sellele veel ka lainepikkusest. Esimesse liiki kuulub termoelement, teise aga kuuluvad fotoelemendid ja silm. Vastavalt valgusvõimsuse mõõtmise meetoditele on kujunenud kaht liiki fotomeetrilisi ehk valgustehnilisi suurusi — energeetilised ja visuaalsed. Visuaalse meetodi puhul toimub kiirguse hindamine silmaga.

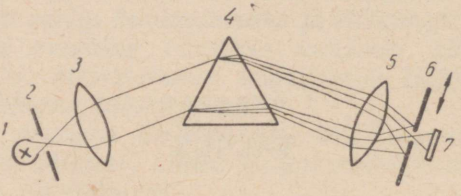
Energeetiliseks fotomeetriliseks põhisuuruseks on kiirgusvoog, mille kaudu on tuletatud teised energeetilised fotomeetrilised suurused. Kiirgusvooks Φ nimetatakse ajaühikus t (sekundites) antud pinda S läbivat kiirgusenergiat e (ergides):

$$\Phi = \frac{e}{t} S. \qquad (1\text{-}1)$$

Kiirgusvoogu mõõdetakse võimsuse ühikutes erg/sec või vattides.

Valguse kiirgusenergia mõõtmiseks kasutatakse spektraalset kiirgusemõõtjat, mis on skemaatiliselt kujutatud joonisel 1-1. Valguseallikast *1* suunatakse läbi optilise süsteemi (*2*, *3*, *4*, *5*) valguskiir, mis tekitab ekraanil *6* valgusspektri. Ekraani *6* pilust pääseb läbi ainult kitsas valgusriba laiusega kuni 10 mμ. Nihutades seda pilu piki spektrit, võime suunata

mõõteriistale 7 kordamööda üksikud valgust moodustava elektromagnetilise kiirguse lainealad. Mõõteriista suhteline hälve näitab kiirgusenergia sisaldust vastavas valguse lainealas. Saadud mõõteandmete järgi koostatud nn. spektraalne energiakõver kujutab vaadeldava valgusallika spektraalset energiajaotust.



Joon. 1-1. Spektraalne kiirgusmõõtja.

Joonisel 1-2 on kujutatud rahvusvahelisest standardsest valgusallikast saadud kolm kiirguse spektraalset energiakõverat.

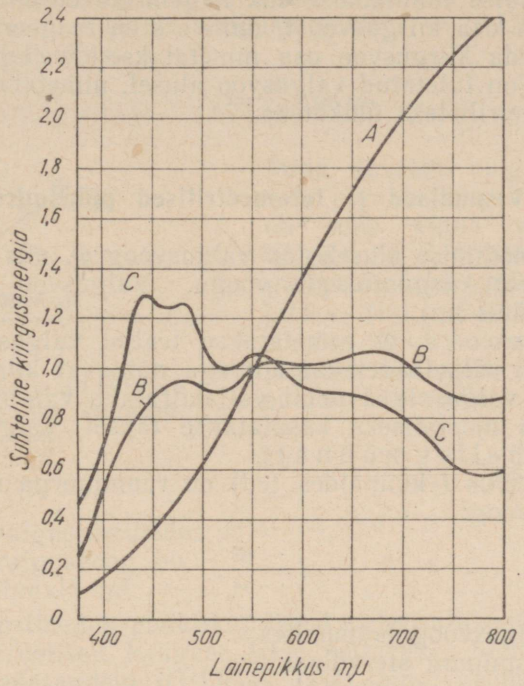
Kõver *A* kujutab teatud hõõglambi kiirgust temperatuuril 2850°K, mida nimetatakse standardseks valguskiirguseks «*A*».

Kõverad *B* ja *C* saadakse standardse valgusallika kiirguse juhtimisel läbi teatud vedelikfiltrite.

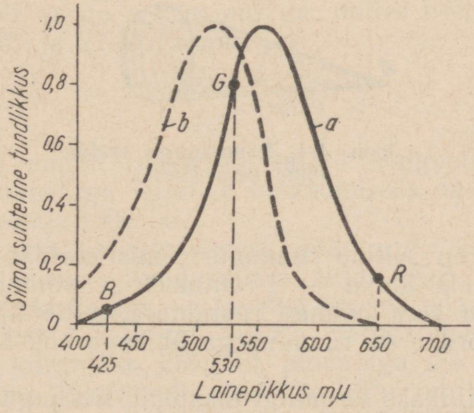
Standardne valguskiirgus «*B*» sarnaneb keskpäevase päikesevalgusega või hõõguva mustkeha valgusega temperatuuril 4800°K. Standardne valguskiirgus «*C*» sarnaneb põhjataeva valgusega või hõõguva mustkeha valgusega temperatuuril 6000°K.

Olgu märgitud, et must-valge televiisori ekraan levitab heledades peaaegu «*C*»-ga sarnanevat kiirgust.

Eespool käsitlesime valgust kiirgusvoona, mida mõõdetakse võimsusühikutes — vattides. Silm on kiirguse vastuvõtja, mille valgustaju sõltub peale kiirguse võimsuse ka selle lainepikkusest. Seega ei ole silma tundlikkus nähtava spektri ulatuses ühtlane, vaid sõltub valguse lainepikkusest. Mõõtmised näitavad, et silm on kõige tundlikum lainepikkusele $\lambda = 555$ mμ. Pikemate ja lühemate valguslainete osas silma tundlikkus langeb. Seega on silm selektiivne valguslainete vastuvõtja. Ta tajub elektromagnetilisi laineid lainepikkuse alas $\lambda = 400 \ldots 700$ mμ. Olgu kiirgusenergia väljaspool nimetatud sagedusala ükskõik kui suur, silmale ta siiski mõju ei avalda — silm ei näe seda. Nimetatud nähtus on analoogiline raadiovastuvõtja «tajuga», sest ka viimane võtab vastu ainult teatud pikkusega elektromagnetilisi laineid, millele ta on häälestatud, ükskõik kui suur ka ei oleks energia väljaspool seda sagedusala. Silma tundlikkuse ja raadiovastuvõtja tundlikkuse kõverad on omavahel sarnased. Joonisel 1-3 on kujutatud silma tundlikkuse sõltuvus valguse lainepikkusest



Joon. 1-2. Standardsete valgusallikate «A», «B» ja «C» kõverad.



Joon. 1-3. Silma spektraalse tundlikkuse kõver:

B — sinine, *G* — roheline, *R* — punane.

silma spektraalse tundlikkuse ehk nägemiskõverana. Meid huvitab ainult see osa kiirgusvoost, millele silm reageerib ehk mida ta tajub. Seda kiirgusvoo osa nimetatakse *valgusvooks*. Ühikuid, mis on tuletatud valgusvoo alusel, nimetatakse visuaalseteks fotomeetrilisteks ühikuteks.

1-2. Visuaalsed ja fotomeetrilised põhisuurused

Valguse mõõtmise aluseks on valgusvoog Φ, mis kujutab silmaga nähtavat kiirgusenergia voogu. Valgusvoo ühikuks on *luumen* (tähis lm).

Valgusvooks Φ nimetatakse teatud valgusallika poolt igas sekundis väljasaadetavat silmaga nähtavat kiirgust. Seega väljendab ta valgusallika poolt väljakiiratava valguse võimsust.

Valgusvoo mõõtmiseks kasutatakse täpset valgusallikat — *rahvusvahelist küünalt*.

Valgustugevus I küünaldes (cd) on ruuminurga ühikusse kiiratav valgusvoog:

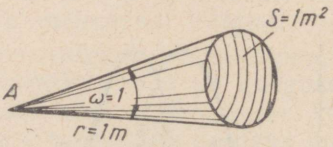
$$I = \frac{\Phi}{\omega}, \qquad (1\text{-}2)$$

kus Φ on valgusvoog luumenites,

ω — ruuminurk steradiaanides.

Steradiaan on ruuminurga ühik. Kera pindala $S = 4\pi r^2$. Kui $r = 1$ m, siis on niisuguse ühikkera pindala

$$S_1 = 4\pi 1^2 = 4\pi = 12{,}57 \text{ m}^2.$$



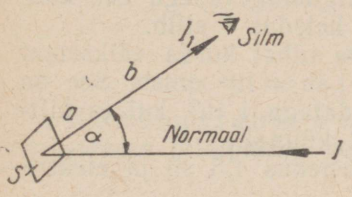
Joon. 1-4. Ruuminurga eraldamine kera pinnal.

Steradiaan on selline ruuminurk, mis eraldab ühikkera pinnast ühe pindala ühiku — 1-ruutmeetrise pindala (joon. 1-4). Seega on kogu kera hõlmav ruuminurk, mille tipp toetub kera keskmele A, võrdne 4π ruuminurga ühikuga ehk 12,57 steradiaaniga.

Kui valgusallikaks on mingi tasapind, siis jaguneb tema poolt kiiratav valgus ümbritsevas ruumis ebaühtlaselt. Nagu jooniselt 1-5 selgub, on mingilt pinnalt S selle pinna normaalist nurga α võrra nihutatud sihis ab kiirguva valguse tugevus $I_1 = I \cos \alpha$, kui

I on valgustugevus pinna normaali sihis. Kui $\alpha = 0$, siis langeb valgus normaali sihis ja valgustugevus $I_1 = I$. Üldiselt valgustugevus teatud sihis

$$I_1 = \frac{\Phi}{4\pi} \cos \alpha. \qquad (1\text{-}3)$$



Joon. 1-5. Nurga all kiirguva valguse tugevuse selgitamiseks.

Mida suurem valgusvoog teatavale pinnale langeb, seda suurem on selle pinna valgustustihedus E antud pinnal. Valgustustiheduse mõõtühikuks on luks (lx). See on valgustustihedus juhul, kui valgusvoog 1 lm jaguneb ühtlaselt ühe ruutmeetri suurusele pinnale:

$$E = \frac{\Phi}{S}, \qquad (1\text{-}4)$$

kus E on valgustustihedus lx,
Φ — valgusvoog lm,
S — pindala m².

Valgustustihedus punktikujulisest valgusallikast eemaldumisel väheneb võrdeliselt kauguse teise astmega. Selle tõestamiseks kasutame võrrandeid (1-2) ja (1-4) ning geomeetriast teada olevat seost $\omega = S/r^2$. Nende põhjal

$$E = \frac{I}{r^2}. \qquad (1\text{-}5)$$

Valguskiirte sihile kaldu oleva pinna valgustustihedus väheneb võrdeliselt nurga α koosinusega, milles veendume, võrreldes valemeid (1-3) ja (1-5). Saame, et

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha. \qquad (1\text{-}6)$$

Näiteks on raamatu lugemisel vajalik valgustustihedus 50 lx, televisioonikaameraga kujutise üleandmiseks on vaja valgustustihedust vähemalt 1500 lx.

Ühe ja sama valgustugevuse võib anda kas suurema või väiksema heledusega valgusallika pind. Kui näiteks võrrelda kaht 25 W elektrilampi — tavalist ja mattklaasist, siis annavad nad mõlemad peaaegu võrdse valgustugevuse küünaldes. Esimesel on kiirgajaks hõõgniit pindalaga 0,1 cm², teisel aga 25-cm² suurune klaaskuuli pind. Seetõttu on heledus esimesel juhul palju suurem. Heledus B võrdub vaatamise sihis oleva valgustugevuse I jagatisega selles sihis nähtava helendava pindalaga:

$$B = \frac{I}{S \cos \alpha}, \qquad (1\text{-}7)$$

kus S on kiirgava keha pindala cm^2,

α — nurk vaatamise sihi ja pinna normaali vahel.

Heleduse mõõtühikuks on *stilb* (sb).

Kui valgusallikas kiirgab ühtlase valgustugevusega üks küünal ruutsentimeetri kohta, siis on tema heledus 1 stilb.

Enamasti kasutatakse stilbist kümme tuhat korda väiksemat mõõtühikut — detsimillistilbi (dmsb) : 1 sb = 10^4 dmsb. See on heledus, mille tekitab valgusallikas pindalaga 1 m^2, kui ta kiirgab normaali sihis valgustugevusega 1 küünal.

Näiteks on petrooleumilambi leegi heledus 1,5 sb ja elektrilambi hõõgniidi heledus 200 sb.

Energeetilise kiirgusvoo ja valgusvoo vahel esineb seos, mis sõltub kiirguse lainepikkusest. Kiirgusvoo ja valgusvoo suhet lainepikkusel λ nimetatakse *valguse mehaaniliseks ekvivalendiks*:

$$A_\lambda = \frac{\text{kiirgusvoog W}}{\text{valgusvoog lm}}. \qquad (1\text{-}8)$$

Silma suurimale tundlikkusele vastaval lainepikkusel (λ = = 555 mμ) on A_{555} = 0,00160 W/lm. Seega tekitab lainepikkusel 555 mμ valgusvoo üks luumen kiirgusvoog 0,00160 W. Teistsugusel lainepikkusel tekitab kiirgusvoog palju väiksema valgusvoo. Silma spektraalse tundlikkuse kõver joonisel 1-3 ongi selliselt koostatud, et kiirgusenergia säilitatakse igasugusel lainepikkusel jäävana, kuid muutub valgusvoog sõltuvalt lainepikkusest.

Peale eespool loetletud valguse mõõtühikute on värviõpetuses kasutusel veel *ühikvalge* valguse mõiste. Ühikvalge valgus saadakse juhul, mil kiirgusenergia võimsus (vattides) on jaotatud ühtlaselt kogu nähtava spektriosa lainepikkuste ulatusel. Ühikvalge valguse energia jagunemine vastavalt lainepikkusele kujutab sirgjoont. Ühikvalge on matemaatiline mõiste. Sellist valgust looduses ei leidu ega pole ka võimalik täpselt tekitada. Tema spektraalne energiakõver asub standardsete kiirgusallikate «*B*» ja «*C*» energiakõverate vahel ja tema kiirgus sarnaneb musta hõõguva keha kiirgusega temperatuuril 5 700°K. Ühikvalge mõistet kasutatakse värvilises televisioonis.

Pinnale langevast valgusvoost Φ_0 peegeldub teatav osa tagasi. Vastavalt peegeldumise valemile on peegeldunud valgusvoog

$$\Phi_p = \gamma \Phi_0, \qquad (1\text{-}9)$$

kus γ on hajutatud *peegeldumise tegur* — langeva ja peegelduva valgusvoo suhe.

Peegeldunud valgusvoog sõltub peegeldavast pinnast. Näiteks kipsi peegeldustegur on 0,98, liival 0,25 ja pruunil tapeedil 0,15. Ideaalselt hajutava valge pinna puhul aga $\gamma = 1$.

Osa langevast valgusvoost absorbeerub ehk neeldub pinnal. Neelduva valgusvoo Φ_n ja langeva valgusvoo Φ_0 suhet nimetatakse neeldumisteguriks:

$$\alpha = \frac{\Phi_n}{\Phi_0} = 1 - \gamma. \tag{1-10}$$

Kontrastsus k on kõige heledama pildipunkti ja kõige tumedama pildipunkti heleduse suhe:

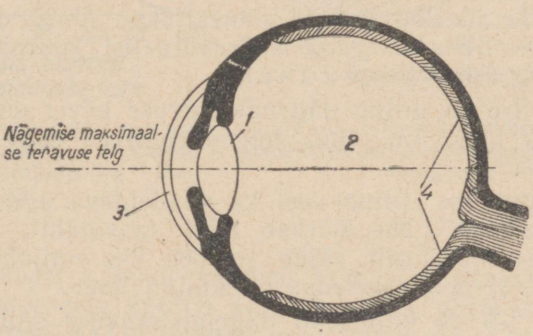
$$k = \frac{B_{max}}{B_{min}}. \tag{1-11}$$

Televisioonis kujutab ta kujutisesignaali maksimaalse ja minimaalse väärtuse suhet.

Kontrastsuse väärtused ulatuvad mitme tuhandeni.

1-3. Silm ja tema omadused

Silma optilise süsteemi moodustavad silmalääts *1*, klaaskeha *2* ja läbipaistev sarvkest *3* koos vesivedelikuga (joon. 1-6).



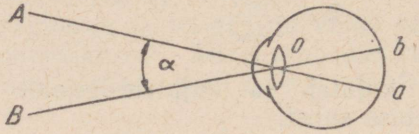
Joon. 1-6. Silma lihtsustatud läbilõige.

Vesivedeliku, silmalääätse ja klaaskeha murdumistegurid on enam-vähem ühesugused, mistõttu valguskiired, suundudes ühest nimetatud keskkonnast teise, murduvad väga vähe. Kõige enam aga murduvad valguskiired õhust sarvkesta minnes, sest nende keskkondade optilise tiheduse erinevus on suur.

Optilise süsteemi abil saame vaadeldavast esemest silma tagapõhjal ehk nn. võrkkestal *4* kujutise.

Võrkkesta moodustab keerukas kude, mis sisaldab nägemisnärvi harude otsakesi. Olulisemateks valgusärritust vastuvõtvateks osadeks on nn. kolvikesed ja kepikesed (valgustundlikud närviotsakesed), mis asetsevad võrkkesta väliskihis. Nende jagunemine võrkkestal ei ole ühtlane, vaid selle äärte poole kahaneb kolvikeste arv pindala ühiku kohta ja suureneb kepikeste arv. Kolvikesed on värvustundlikud, kepikesed aga on tundlikumad valguse heleduse suhtes. Nõrga valguse puhul tekitavad nägemisaistingu kepikesed, mistõttu sel puhul näivad kõik esemed värvusetuina ehk hallidena (kõver *b* joonisel 1-3).

Kogemustest teame, et üksteisele lähedal asuvad jooned (või punktid), kui nad on meist küllalt kaugel — sulavad vaatamisel üheks punktiks (või jooneks).



Joon. 1-7. Silma vaatenurk.

Nurk, mille moodustavad silma optilisest keskmest *O* läbi antud punktide *A* ja *B* (joon. 1-7) tõmmatud sihid, nimetatakse vaatenurgaks. Vaatenurka mõõdetakse nurgaminutites.

Vaatenurka, mille ulatusel silm on veel võimeline eristama kujutise kahte üksikut punkti, nimetatakse silma eristusteravuseks. Selle nurgaga pöördvõrdelist suurust aga nimetatakse nägemisteravuseks.

Joonisel 1-8 on antud nägemisteravuse kõver suhtelistes ühikutes. Nagu näha, on silma nägemisteravus suur ainult võrkkesta keskosas.

Nägemisteravus sõltub veel ka vaadeldava eseme heledusest ja kontrastsusest. Nii märkab silm taevatähti, kuigi nende vaatenurk on äärmiselt väike (umbes üks miljondik minutit), tänu sellele, et nende heledus on küllalt suur.

Joonisel 1-9 on kujutatud nägemisteravuse sõltuvus vaadeldava eseme tagapõhja heledusest ja kontrastsusest.

Neist kõveraist selgub, et heleduse ja kontrastsuse suurenemisega nägemisteravus suureneb.

Televisioonisaate jälgimisel on vaja, et televiisori ekraanil tekkiva kahe rea vahe oleks väiksem kui silma nägemisteravus. Sel juhul read ei sega pildi jälgimist.

Praktiliselt on soovitav valida televiisori vaatekaugus *d* ekraani kõrgusest *h* 6...8 korda suurem (joon. 1-10).

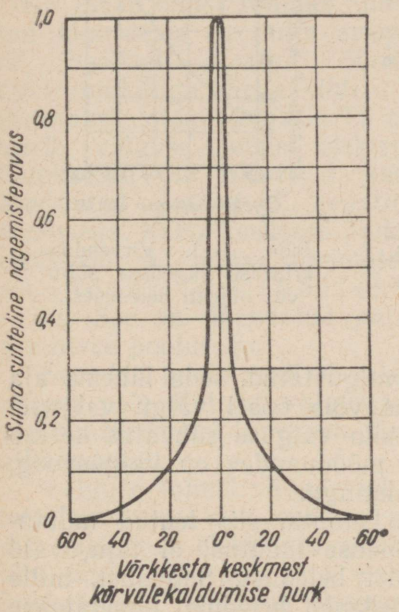
Näiteks kui ekraani kõrgus on 290 mm, siis

$d_{min} = 6 \cdot 290 = 1740$ mm

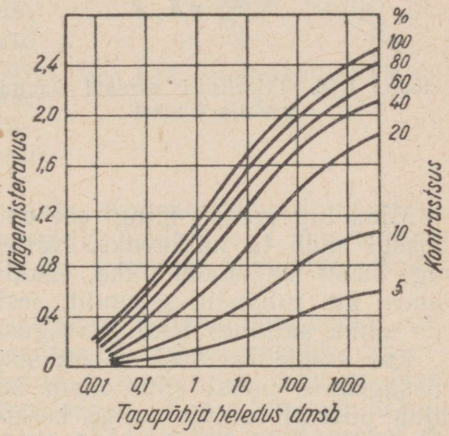
ja

$d_{max} = 8 \cdot 290 = 2320$ mm.

Valguse toimel võrkkestal areneva kujutise ulatusel tekkinud protsess ei lõpe samal hetkel, mil kaob kujutist tekitanud põhjus, vaid kestab veel lühikest aega (umbes 0,1 sec). Seetõttu



Joon. 1-8. Silma nägemisteravuse sõltuvus valguskiirte võrkkesta keskmest kõrvalekaldumise nurgast.



Joon. 1-9. Nägemisteravuse sõltuvus vaadeldava objekti heledusest ja kontrastsusest.

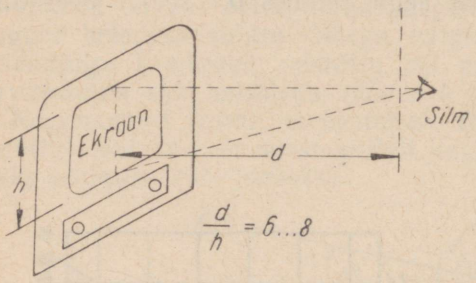
jätkub ka esemest saadud valguse taju veel pärast seda, kui teda põhjustav eseme kujutis silmast kadus. Järelikult avaldub nägemisel teatav s i l m a i n e r t s.

Sellel silma omadusel põhinebki kiiresti üksteisele järgnevate valgusaistingute liitumine üheks pidevaks katkemata fajuks, mida kasutatakse ära kinotehnikas ja televisioonis. Samuti ei taju silm ka hetkelist mõjuvat valgust, vaid ärritus silmas kujuneb aja jooksul.

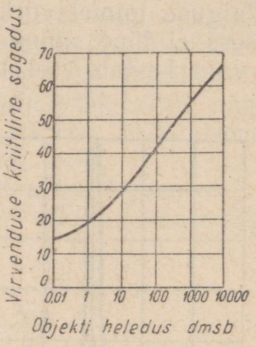
Seepärast võib silma toimest sõltuvat aistingu kestuse kõverat võrrelda elektrotehnikas tuntud mahtuvustakistusliku vooluringi laadimise ja tühjenemise kõveraga.

Nägemise a j a k o n s t a n t τ iseloomustab silma reageeri-

mist valgusärritusele. Ta pole püsiv suurus, vaid sõltub aistingut tekitanud valguse heledusest, olles suurema heledusega valguse puhul väiksem. Seetõttu tajub silm muutliku heleduse puhul ainult heleduse keskväärtust.



Joon. 1-10. Televiisori ekraani kaugus vaataja silmast.



Joon. 1-11. Virvenduse kriitilise sageduse sõltuvus objekti heledusest.

Mida tugevamalt mingi ese on valgustatud, seda lühema aja jooksul saab ta nähtavaks. Näiteks võib öösel välgu valgusel väga hästi maastikku näha, ehkki siin valguse sähvatus kestab vähem kui tuhandik sekundit, sest mõõduandev on valgusvoog, mis silma sattudes tekitab valgusaistingu.

Kui eseme heledust vaheldumisi muuta, siis teatud muutumissageduse puhul silm enam heleduse muutusi ei taju, vaid tajub püsivalt ainult eseme keskmist heledust. Sagedust, mille puhul silm hakkab tajuma eseme keskmist heledust, nimetatakse kriitiliseks vilkumissageduseks.

Joonisel 1-11 on antud kriitilise vilkumissageduse sõltuvus eseme heledusest. Järelikult mida heledam on televisioonikujutis, seda suuremat pildisagedust on vaja, et vaatajal ei tekiks virvenduse muljet.

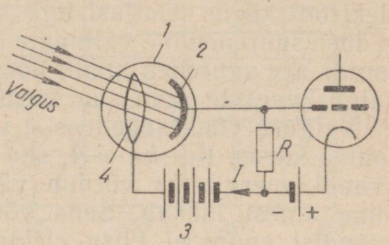
1-4. Fotoefekt ja fotoelektrilised seadised

Valguse toimel muutub kristalsete pooljuhtide elektritakistus, teatavates piiri- ehk tõkkekihtides aga eraldavad need kristallid elektrone.

Valguse võimet vabastada kehadest elektrone või muuta kehade elektritakistust nimetatakse fotoefektiks. Nähtust, et metall emiteerib valguse toimel elektrone, nimetatakse välisfotoefektiks. Aine elektritakistuse muutumist nimetatakse sisefotoefektiks. Seadist, milles rakendatakse välis- või

sisefotoefekti, nimetatakse fotoelektriliseks seadiseks. Tuntumateks fotoelektrilisteks seadisteks on välisfotoefektiga fotoelemendid, mis toimivad elektronide vabanemise põhimõttel, ja fototakistid, milledes rakendatakse elektritakistuse muutumise nähtust. Televisioonis kujutiste üleandmiseks kasutatavad saatetorud toimivad enamikus välisfotoefekti põhimõttel.

Fotoelement. Fotoelement (joon. 1-12) omab õhust tühjaks pumbatud klaaskesta *1*, mille sisepind on osaliselt kaetud õhukese naatriumikihiga. Seda kihti *2* nimetatakse fotokatoodiks. Ta emiteerib valguse toimel elektrone. Fotokatood on takisti *R* kaudu ühendatud patarei *3* negatiivse poolusega. Kesta keskosas paikneb elektrood *4*, mida nimetatakse anoodiks ehk kollektoriks. See on ühendatud patarei positiivse poolusega.



Joon. 1-12. Fotoelement ja selle lülitus.

Seni kui fotokatoodi ei valgustata, elemendi vooluringis elektrivoolu pole. Katoodi valgustamisel aga tekib vool *I*, mis valgusvoo suurenemisel tugevneb. Selle nn. fotovoolu tekkimine seletub alljärgnevalt.

Valguse toimel vabanevad naatriumi pinnast elektronid (nn. fotoelektronid), mis lendavad positiivselt laetud anoodile. Katoodist lahkunud elektronid asenduvad patarei negatiivsel poolusel läbi takisti *R* saabuvate elektronidega. Kuna fotovool sõltub fotokatoodile langenud (luumenites mõõdetavast) valgusvoost Φ, siis saame koormustakistil *R* valgusvoo muutusi järgiva pingemuutuse. Valguse toimel tekkivat elektronide eraldumist nimetatakse fotoemissiooniks.

Selleks et elektron saaks aine pinnast väljuda, peab ta saavutama teatud kiiruse ehk omandama teatud kineetilise energia. Niisugusele kiirusele vastavat kineetilist energiat nimetatakse väljumistööks. Viimane on igal materjalil erisugune.

Teatavasti koosneb valgus üksikutest väikestest energiaannustest ehk valguskvantidest, mille energiasisaldus on $h\nu$, kus $h = 6{,}624 - 10^{-27}$ ergsec (Plancki konstant) ja ν — valguse võnkesagedus ($\nu = 1/T$).

Kui aines olevale vabale elektronile anda täiendavalt lisaenergiat valguskvandi näol, siis ületab elektroni kineetiline energia väljumistöö (A) ja elektron paiskub ainest välja.

Seda võib väljendada matemaatiliselt Einsteini valemiga:

$$h\nu = \frac{mv^2}{2} + A. \qquad (1\text{-}12)$$

Valemist näeme, et osa valguskvandi energiast kulub väljumistööks A, ülejäänud osa aga fotoelektroni kiiruse suurendamiseks, s. t. temale täiendava kineetilise energia $mv^2/2$ andmiseks. Kuna teatud metalli väljumistöö A on konstantne, siis on elektroni kiirus v seda suurem, mida suurem on valguskvandi energia. Teame, et valguskvandi energia on võrdeline sagedusega. Järelikult suureneb valguse võnkesageduse suurenemisel ka fotoelektroni kiirus. Ühtlasi aga selgub siit ka, et valguse võnkesageduse suurenemine väljuvate elektronide arvu ei suurenda. Elektronide arv suureneb ainult koos valgusvoo Φ suurenemisega, s. o. valguskvantide arvu suurenemisega.

Valguse võnkesageduse ν vähenemisel väheneb väljuvate elektronide kiirus. Kui $h\nu = A$, siis $\nu = 0$. See on olukord, mil valguskvandi energia $h\nu$ võrdub väljumistööga ja elektronide väljumine ainest lakkab. Seda võnkesagedust, mille puhul energiakvandist enam ei piisa elektroni väljatoomiseks metallipinnast, nimetatakse kriitiliseks sageduseks.

Fotokatoodid valmistatakse niisugusest ainest, milles elektronid omandavad väljumistööd ületava kineetilise energia valguse sagedusel $\nu = 3 \cdot 10^4 \ldots 3 \cdot 10^{16}$ Hz. Kõige sagedamini esinevateks fotokatoodi materjalideks on tseesiumoksüüd ja antimontseesium, mis annavad kõige tugevamat fotovoolu.

Ajavahemik valgusvoo langemisest katoodile kuni sellest elektronide eraldumiseni on väga lühike (10^{-9} sec), mistõttu fotoelement on tegelikult inertsivaba.

Fotokatoodi pinda töödeldakse eriliselt, et hõlbustada elektronide väljumist ainest.

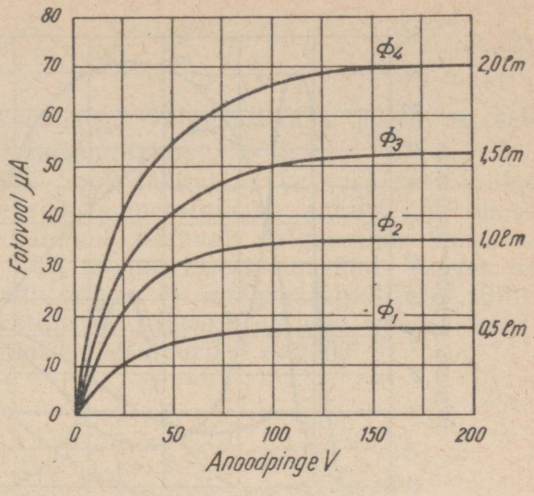
Esineb väga mitmesuguse ehitusega fotokatoode, nagu massiivsed, poolläbipaistvad ja mosaiikkatoodid.

Massiivseid fotokatoode kasutatakse niisugustes fotoelementides, milledes valgus küll langeb katoodile, kuid ei läbi seda. Poolläbipaistvaid fotokatoode aga kasutatakse superikonoskoobis. Siin on fotokatood õhuke ja asub valguskiiri läbilaskval alusel.

Mosaiikfotokatood esineb ikonoskoobis kujutisesignaale tekitava plaadina. Ta kujutab endast isoleeralusele kantud ning üksteisest isoleeritud valgustundlikke terakesi, mis osutuvad iseseisvateks üksikuteks fotokatoodideks.

Peale eelkirjeldatud, nn. vaakuumfotoelemendi on olemas ka gaasiga täidetud fotoelemendid, millel on aga suur inerts, mistõttu neid televisioonis ei kasutata.

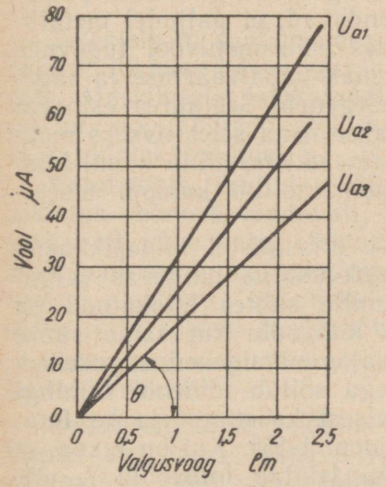
Fotoelemendi tunnusjooned. Fotoelemendi voltampertunnusjoon kujutab fotovoolu I sõltuvust anoodile rakendatud pingest U_a konstantse valgusvoo Φ puhul. Joonisel 1-13 on kujutatud vaakuumfotoelemendi voltampertunnusjooned 4 erisuguse valgusvoo Φ_1, Φ_2, Φ_3 ja Φ_4 puhul. Siit selgub, et valgusvoo suurenemisega fotovool I tugevneb. Teatud anoodpingel



Joon. 1-13. Hapnik-tseesium-fotokatoodi volt-amper-tunnusjooned.

saavutab fotovool küllastusväärtuse — anoodpinge edasisel tõstmisel fotovool enam ei tugevne. Küll aga võimaldab fotovoolu tugevdada valgusvoo suurendamine.

Valgustunnusjoon kujutab fotovoolu sõltuvust valgusvoost konstantsel anoodpingel U_a. Jooniselt 1-14 näeme, et igal konstantsel anoodpingel (U_{a1}, U_{a2}, U_{a3}) on fotovool võrdeline valgusvooga Φ. Mida kõrgem on anoodpinge, seda suurem on tunnusjoone tõusunurk Θ.



Joon. 1-14. Fotokatoodi valgustunnusjooned.

Fotovoolu I sõltuvus valgusvoost Φ avaldub valemiga:

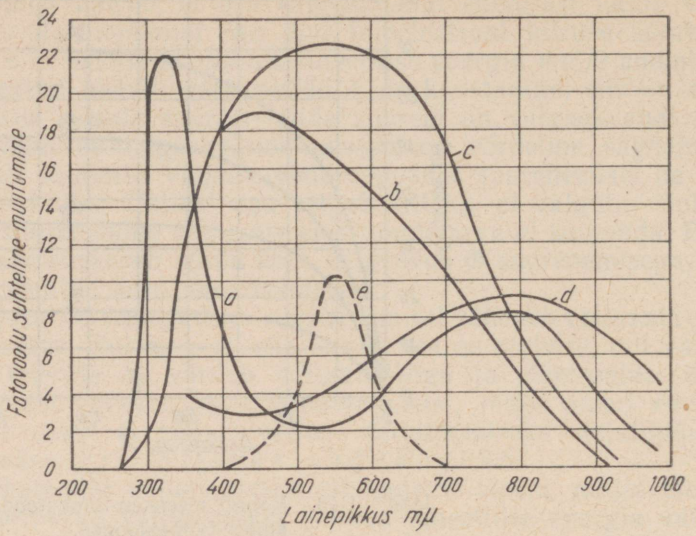
$$I = \varepsilon_0 \Phi, \qquad (1\text{-}13)$$

kus $\varepsilon_0 = \operatorname{tg} \Theta$ ja $U_a = \text{const}$.

Kui I on väljendatud mikroamprites ja Φ luumenites, siis

$$\varepsilon_0 = \frac{I}{\Phi} \quad \frac{\mu A}{lm}. \qquad (1\text{-}14)$$

Suurust ε_0 nimetatakse sageli fotoelemendi viljakuseks. Kuna valgusvoo muutus kutsub esile võrdelise fotovoolu muu-



Joon. 1-15. Fotokatoodi spektraalsed tunnusjooned:

a, b, c, d — eri töötlusega katoodide spektraalsed tunnusjooned, *e* — silma suhteline valguse tunnusjoon.

tuse, siis on võimalik muundada valgusvoo muutusi moonutusvabalt vastavaiks fotovoolu muutusteks.

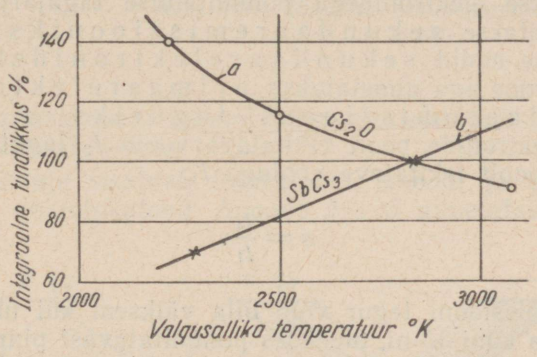
Fotoelemendi spektraalsed tunnusjooned väljendavad fotovoolu sõltuvust katoodile langeva valguse lainepikkusest või võnkesagedusest. Katsed tõendavad, et paljudel metallidel valguse võnkesageduse suurenedes emissioonivool tugevneb kiiresti, saavutades teatud sagedusel maksimaalväärtuse ja sageduse edasisel suurenemisel jällegi nõrgeneb. Seejuures esinevat fotovoolu maksimaalväärtust nimetatakse tema selektiivseks maksimumiks. Jooniselt 1-15 näeme, et lainepikkus, mille puhul fotoelemendil esineb selektiivne maksimum, sõltub katoodi materjalist.

Fotokatoodi tundlikkus on valguse erisugustel lainepikkustel (võnkesagedustel) erisugune. Kui fotokatoodile langevas valguses on ülekaalus need sagedused, mille suhtes fotokatood on tundlikum, siis tekitab ta tugevama fotovoolu kui sama suure valgusvooga valgus, milles on ülekaalus niisugused sagedused, mille suhtes fotokatood on tuim. Seega sõltub fotovool I mingi valgusvoo Φ puhul viimase spektraalsest koostisest ja ka fotokatoodi spektraalsest tundlikkusest (joon. 1-15). Kui on teada, et mingi valgusallika x valgusvoog Φ_{x1} tekitab fotovoolu I_i μA, siis nimetatakse selle fotokatoodi integraaltundlikkuseks suhet

$$\varepsilon_x = \frac{I_i}{\Phi_{xi}} \quad \frac{\mu A}{lm} \tag{1-15}$$

ning teise spektraalse koostisega valgusallika y puhul on sellesama fotokatoodi integraaltundlikkus $\varepsilon_y \neq \varepsilon_x$.

Kuna hõõguvate kehade poolt tekitatava valguse spektraalne koostis sõltub nende kehade temperatuurist, antakse mõnikord fotokatoodide integraaltundlikkus sõltuvalt valgusallika temperatuurist. Nii on joonisel 1-16 toodud tseesiumoksüüd- (kõver *a*) ja antimontseesium-katoodi (kõver *b*) integraaltundlikkus sõltuvalt valgusallika temperatuurist. Aluseks on siin võetud tundlikkus valgusallika absoluuttemperatuuril $T = 2800°$ K.



Joon. 1-16. Fotokatoodi integraalse tundlikkuse sõltuvus valgusallika temperatuurist.

Televisiooni saatetorudes kasutatakse fotokatoode, mille integraaltundlikkuse kõver vastab silma spektraalse tundlikkuse kõverale. Massiivsete fotokatoodide integraaltundlikkus on 30 ... 140 μA/lm, poolläbipaistvatel 50 ... 60 μA/lm ja vähem tundlikel mosaiikfotokatoodidel 5 ... 6 μA/lm.

Fototakisti. Teatud pooljuhtidest, näiteks seleenist plaadikese takistus väheneb tunduvalt, kui seda valgustada. Seleenis leidub tavaliselt vähe vabu elektrone, mistõttu tema takistus on suur. Kuid valguse toimel muutuvad seleeni pindkihis olevate aatomite seotud elektronid vabadeks juhtivust tekitavateks elektronideks, mille tõttu seleeni takistus väheneb.

Suuremat sisefotoefekti omavateks pooljuhtideks on seleen ja talliumsulfiid.

Seleenfototakisti takistus pimedas on 0,2 ... 0,4 MΩ, valguse toimel aga tema takistus väheneb kuni 5 korda. Sisefotoefekti põhimõttel toimivate fotoelektriliste seadiste puuduseks on võrdlemisi suur inerts. Nimelt muutub fototakisti takistus mitte samaaegselt valgusvoo muutumisega, vaid teatav aeg hiljem.

Valgusvoo suurenemisega inerts väheneb, kuid koos sellega väheneb ühtlasi ka valgusviljakus.

Viimasel ajal on televisioonis kasutusele võetud saatetorusid, mis põhinevad sisefotoefektil, näiteks vidikontüüpi saatetorud. Suure valgusviljakuse tõttu on vidikontüüpi saatetorud mõõtmetelt palju väiksemad välisfotoefektil põhinevatest saatetorudest.

1-5. Fotokordistaja

Peale fotoefekti on üheks põhjuseks, mis sunnib elektrone väljuma, aine pommitamine elektronidega. Nähtust, mille puhul ainest lüüakse elektronidega pommitamise tagajärjel elektrone välja, nimetatakse *sekundaaremissiooniks* ja väljalöödud elektrone endid *sekundaarelektronideks*. Pommitavaid elektrone aga nimetatakse *primaarelektronideks*.

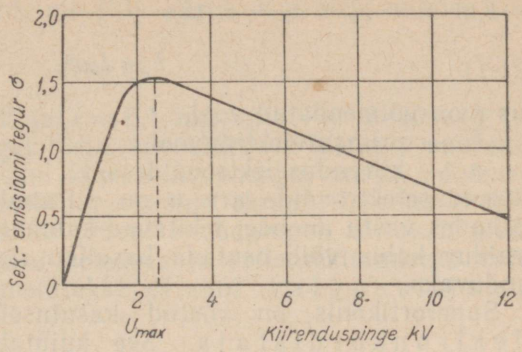
Sekundaaremissiooni teguriks σ nimetatakse sekundaarelektronide poolt tekitatava voolu I_2 jagatist primaarelektronide poolt tekitatava vooluga I_1:

$$\sigma = \frac{I_2}{I_1}. \tag{1-16}$$

Sekundaaremissiooni tegur võib olla väiksem kui üks ja teiselt poolt ulatuda kuni 15-ni, olenedes pommitatavast pinnast ja pommitamise tingimustest. Eriti suur sekundaaremissiooni tegur on siledal tseesiumoksüüdi pinnal.

Sekundaaremissioon sõltub ka kiirenduspingest U_a. Jooniselt 1-17 nähtub, et esialgu, kui kiirenduspinge on madal, suureneb σ kiirenduspinge tõstmisega õige tunduvalt. Teatud kiirenduspingel saavutavad primaarelektronid küllalt suure kiiruse, mille tõttu antud ainest eralduvate sekundaarelektronide arv osutub maksimaalseks. Edasine kiirenduspinge tõstmine sekundaaremissiooni tegurit enam ei suurenda, vaid vastupidi, vähendab seda. See tuleneb sellest, et primaarelektronid on nüüd saavutanud nii suure kiiruse, et nad tungivad sügavale pommitatava aine sisse. Siin saavad ained leiduvad vabad elektronid küll primaarelektronidelt kineetilist energiat juurde, kuid sekundaarelektronidena aine pinnale jõudmiseks kulub neil rohkem energiat, kui nad primaarelektronidelt said. Seetõttu nad aine pinnale ei pääsegi ja sekundaaremissiooni tegur väheneb.

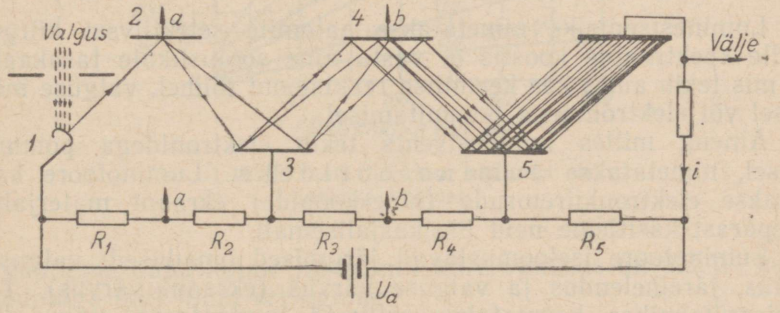
Isoleeraine pommitamisel elektronidega tekib ka selles sekundaaremissioon. Kuna aga isoleeraines vabad elektronid puuduvad, muutuvad tema aatomid positiivseteks ioonideks. Nii koondub pommitatavale isoleeraine pinnale suures koguses energiat ja isoleeraine võib soojenemise tõttu puruneda. Sellist sekundaaremissiooni tuleb saate- ja vastuvõtutorudes vältida.



Joon. 1-17. Tüüpiline sekundaaremissiooni tunnusjoon.

Sekundaaremissiooni rakendatakse elektronkordistajates, mille põhimõtet selgitab joonis 1-18.

Fotokordistaja sisaldab fotokatoodi, anoodi ja pingejagajat. Katoodiks *1* on fotokatood. Anoode *2*...*5* nimetatakse ka kiirenduselektroodideks. Need on paigutatud selliselt, et katoodist väljuvad elektronid läbivad ava ja suunduvad esimesele anoodile *2*, millest löövad välja väikese sekundaarelektronide joa. See saab teise anoodi *3* positiivse pinge mõjul lisakiirenduse, langeb teisele anoodile ja lööb sealt välja suurema arvu elektrone jne., kuni sekundaarelektronid satuvad lõpuks väljeanoodile.



Joon. 1-18. Elektronkordistaja.

Kui σ on suurem kui üks, siis toimib fotokordistaja võimendajana. Tema võimendust saab väljendada valemiga

$$I = I_0\sigma_1\sigma_2\sigma_3.$$

Kui $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma$, siis

$$I = I_0 \sigma^n, \tag{1-17}$$

kus I on võimendatud vool,
I_0 — primaarelektronvool,
n — kiirenduselektroodide arv.

Kiirenduselektroodide arv n on piiratud. Teatavasti elektronid, põrkudes vastu anoode, tekitavad kahinat. See nn. haavelefektina avalduv kahin võib osutada kasuliku signaaliga võrreldes üsna tunduvaks.

Superortikonis on võetud kasutusele *sümmeetriline elektronkordistaja*. See kujutab ümarsilindrit, millele on paigutatud emiteerivad pinnad. Viimaste ette on asetatud võrdlemisi hõre võrk, mis samuti moodustab kiirendava pinna. Nimetatud võrk takistab elektronide tagasilangemist samale pinnale, kust nad on väljunud. Emiteerivad pinnad paiknevad üksteise suhtes 30° nurga all. Sel viisil saavutatakse küllalt suur võimendus, kusjuures müratase on suhteliselt madal.

1-6. Luminestsents

Luminestsentsiks nimetatakse aatomite selektiivset kiirgust, mille spektraalne koostis ei vasta aine soojuslikule tasakaalule ja mis tekib aines kas keemilise reaktsiooni toimel, valguse mõjutusel või elektronidega pommitamisel.

Aineid, milles luminestsents tekib elektronidega pommitamisel, nimetatakse *luminofoorideks*. Luminofoore kasutatakse elektronkiiretorude (kineskoopide) ekraani materjalina, seepärast käsitleme neid üksikasjalisemalt.

Luminofoore iseloomustavad järgmised omadused: valgusviljakus, järelhelendus ja valguse värvus (ekraani värvus). Televisioonitehnikas kasutatakse selliseid luminofoore, nagu villemiit ja looduslikud tsinksulfiidid (tabel 1-1).

Ekraanile tekkiva valgustähni heleduse määrab elektronkiire kineetiline energia, mis muundub seal valgus-, soojus-, või keemiliseks energiaks. Kui anoodpinge U_a annab elektronile (mille laeng on e) energia $U_a e$, siis saavutab see elektron kiiruse v, nii et tema kineetiline energia

$$\frac{mv^2}{2} = U_a e, \tag{1-18}$$

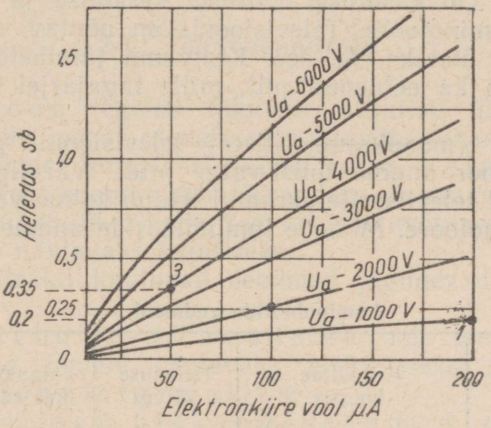
kus m on elektroni mass,
v — kiirus,
U_a — kiirenduspinge.

Teatud anoodpinge puhul on kiirenduselektroodide vahelt lah-

kunud elektronil elektronkiires jääv kiirus. Kui elektronkiire vool on I, siis tema võimsus

$$P = U_a I. \qquad (1\text{-}19)$$

Kui näiteks $U_a = 2000$ V ja $I = 0{,}1$ mA, siis $P = 2 \cdot 10^3 \cdot 10^{-4} = 0{,}2$ W. Kui anoodpinget tõsta, siis elektroni kiirus v suureneb ja seega suureneb ka tema kineetiline energia $mv^2/2$. Joonisel 1-19 on kujutatud tsinksulfiidiga kaetud ekraani heledus B küünaldes ruutsentimeetri kohta jääval anoodpingel, sõltuvalt elektronkiire voolust I. Ekraani heleduse ja selle tekitamiseks vajaliku võimsuse suhet nimetatakse ekraani valgusviljakuseks.



Joon. 1-19. Ekraani heleduse sõltuvus elektronkiire voolust.

Vaatleme nüüd kolme juhtu, mil kiire võimsus on 0,2 W, kuid anoodpinge igal juhul erisugune:

1) $I = 0{,}2$ mA, $U_a = 1000$ V, $P = 0{,}2$ W,
2) $I = 0{,}1$ mA, $U_a = 2000$ V, $P = 0{,}2$ W,
3) $I = 0{,}05$ mA, $U_a = 4000$ V, $P = 0{,}2$ W.

Kuigi kiire võimsus on kõigil kolmel juhul üks ja seesama (0,2 W), on ekraani heledus B iga anoodpinge puhul siiski erisugune. Nimelt saame jooniselt 1-19 järgmised heledused:

1) $B_1 = 0{,}2$ sb,
2) $B_2 = 0{,}25$ sb,
3) $B_3 = 0{,}35$ sb.

Siit võime järeldada, et antud luminofoori valgusviljakus anoodpinge tõusuga suureneb.

Valgusviljakuse suurendamiseks manustatakse ekraani materjalile lisaaineid, mida nimetatakse aktivaatoriteks.

Tegelikult püsib anoodpinge U_a alati jäävana, muudetakse vaid elektronkiire voolu, mille tulemusena samuti muutub ekraani heledus. Siit nähtub ka, et kõrgema anoodpinge puhul tekitab teatud elektronkiire voolu muutus suurema heleduse muutuse kui madalama anoodpinge puhul.

Pärast elektronkiirega pommitamist jääb ekraan teatavaks ajaks helendama. Seda helendust nimetatakse järelhelenduseks. Järelhelenduse kestus sõltub kasutatavast luminofoorist. Kestust, mille jooksul järelhelendus väheneb ühele protsendile esialgsest heledusest, nimetatakse järelhelenduse kestuseks. On kasutusel väikese, keskmise ja suure järelhelendusega luminofoore. Televisioonis on nõutav, et järelhelenduse kestus ei ületaks $^1/_{25}$ sec. Kestvama järelhelenduse puhul jääb nähtavaks ka eelnenud pilt, mille tagajärjel tekib segane kujutis.

Must-valges (monokromaatilises) televisioonis peab ekraani kattev luminofoor andma must-valge pildi. Värvilise vastuvõtu jaoks määratud televiisorite ekraanil leidub kolme värvuse suhtes tundlikke luminofoore. Mõnede luminofooride andmeid on toodud tabelis.

Tabel 1-1

Luminofooride andmeid

Luminofoori nimetus	Keemiline koostis	Heleduse värvus	Valgusviljakus cd/W	Järelhelenduse kestus sec
Tsinksulfiid	ZnS. Ag	Sinine	0.9 ... 1.2	2.10^{-3}
„	ZnS. Cu	Roheline	5.0 ... 7.0	4.10^{-3}
Tsink-kadmium-sulfiid	(Zn, Cd) S. Ag	Kollane	5.0 ... 6.5	2.10^{-6}
Tsink-sulfiid-seleniid	Zn (S, Se) Ag (Cu)	Kollane	5.0 ... 8.0	ca 10^{-3}
Tsinksulfiid ja tsink-kadmium-sulfiid	ZnS Ag: (Zn, Cd) S. Ag	Valge	5.0 ... 5.5	5.10^{-3}
Sulfiid-seleniid	ZnS. Ag: Zn (S, Se) S. Ag	Valge	4.5 ... 6.0	—
Villemiit	Zn_2SiO_4. Mn	Rohekas	1.8 ... 2.1	ca 10^{-2}

II PEATÜKK

TELEVISIOONI ÜLDPÕHIMÕTE

2-1. Televisioonitrakt

Televisioon tegeleb liikuvate kujutiste ülekandmisega sidekanali kaudu eemal olevatesse vastuvõtupaikadesse. Selleks vajalike seadmete kompleksi nimetatakse televisioonitraktiks. Televisioonitrakti ülesandeks on muundada optiline kujutis elektrisignaaliks, anda see üle vastuvõtupaika ja muundada seal taas nähtavaks kujutiseks.

Televisioonitrakti kuuluvad seadmed jagunevad kolme põhirühma:

1) saatetehnilised seadmed, mis muundavad üleantava kujutise temale vastavaks elektriliseks signaaliks — nn. televisioonisignaaliks;

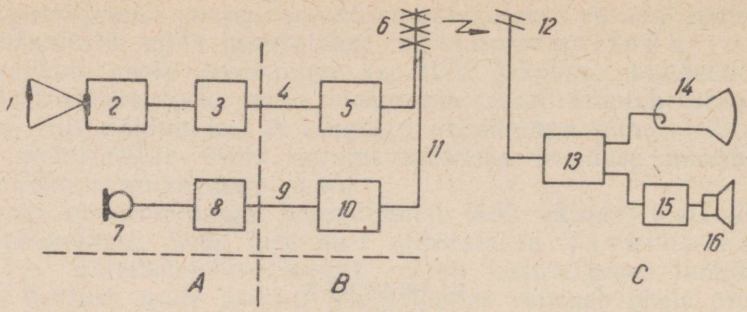
2) elektrilised ülekandeseadmed, mis kannavad televisioonisignaali vastuvõtupaika (raadiosaatja või traatsideliin);

3) vastuvõtja, mis muundab televisioonisignaali silmaga nähtavaks kujutiseks.

Joonisel 2-1 on kujutatud televisioonitrakti ja kujutise juurde kuuluva helitausta üleandmiseks vajaliku helitrakti põhimõtte lahterskeem.

Kujutise üleandmine televisioonis sarnaneb teataval määral heli üleandmisega ringhäälingus või sidekanali kaudu. Heli üleandmisel muundatakse helilained algul mikrofoni abil heli rõhu muutust jäljendavaks elektrivooluks. Televisioonis aga tuleb muundada sellekohaste tehniliste vahendite abil vastavaks elektrivooluks üleantav liikuv kujutis. Kuid liikuva kujutise üleandmine kujutab endast tunduvalt keerukamat tehnilist ülesannet kui heli üleandmine.

Heli üleandmisel on tegemist ikkagi üheainsa helilainega, ükskõik kui keerulise kujuga see ka on. Igal hetkel on seega tegemist üheainsa teatava helirõhuga või sellele vastava elektrivoolu väärtusega, mis ajas muutub. Seega võime öelda, et heli on ühedimen-



Joon. 2-1. Kujutise ja helikanali skeem:

1 — ülekantav kujutis, *2* — kujutise muundaja elektriliseks signaaliks, *3* — võimendusseadmed, *4* — ülekandeliin, *5* — kujutise saatja, *6* — dipoolantenn, *7* — mikrofon, *8* — võimenduse reguleerimise seadmed, *9* — ülekandeliin, *10* — helisaatja, *11* — toiteliinid, *12* — vastuvõtuantenn, *13* — ultralühilaine-vastuvõtja, *14* — kujutise taastamise seade, *15* — helivõimendaja, *16* — valjuhääldaja.

siooniline, s. t. igal hetkel esineb ainult üks kindel helirõhk, millele omakorda vastab ainult üks kindel voolu väärtus.

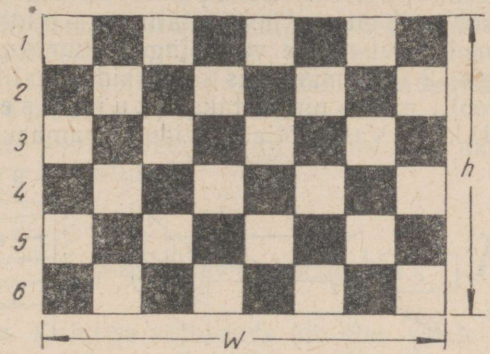
Nähtava eseme tasapinnaline kujutis aga on kahedimensiooniline, mistõttu teda pole võimalik otsekohe muundada ühedimensiooniliseks elektrisignaaliks, s. t. üksteisele järgnevate voolu väärtuste jadaks. Järelikult esineb televisioonis vajadus anda kahedimensioonilisi kujutisi sidekanali kaudu üle ühedimensiooniliste elektrisignaalidena. Selle ülesande lahendamine ongi televisioonitehnika peamisi probleeme.

Kui luubiga vaadelda trükitud must-valget fotot, siis selgub, et see koosneb üksikutest pildipunktidest. Ka selgub, et heledus iga üksiku punkti ulatusel on jääv, kuid omavahel on pildi üksikute punktide heledus erisugune, olenedes pildipinna heledusest antud kohas. Heledamas osas näivad pildipunktid heledamatena, tumedamas osas aga tumedamatena. Samuti lahutatakse ka televisioonis üleantav kujutis erisuguse heledusega p i l d i p u n k t i d e k s, mida nimetatakse ka p i l d i e l e m e n t i d e k s. Joonisel 2-2 on toodud mustadest ja valgetest ruudukujulistest elementidest koosnev pilt.

Horisontaalselt üksteise kõrval paiknevad pildipunktid moodustavad pildirea, mida nimetatakse ka lihtsalt r e a k s. Ühes pildis sisalduvad read moodustavad p i l d i, nagu raamatus moodustavad read leheküljе. (Pildi asemel on käibel ka vähem sobiv nimetus k a a d e r.) Ridadest moodustuvat geomeetrilist kujundit nimetatakse joonvõrguks ehk r a s t r i k s. Pildi laiuse ja kõrguse suhet nimetatakse pildi f o r m a a d i k s.

Jooniselt 2-2 nägime, et kogu üleantav pilt on jaotatud pildielementideks.

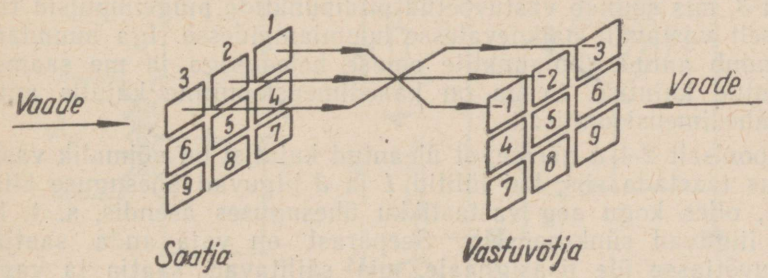
Oletame, et pildielementide arv on n. Kõigi pildielementide heleduse üleandmiseks on vaja valgusmuundajaid — fotoelemente, mille arv peab võrduma pildielementide arvuga n.



Joon. 2-2. Pildielemendid ja read.

Vastuvõtjaks kasutame samast arvust n lambist koosnevat paneeli. Üleantud kujutise saamiseks vastuvõtjas peame selle n lampi ühendama n juhtme abil n fotoelemendiga saatjas (joon. 2-3).

Sellises süsteemis antakse kõik pildipunktid saatjast üle vastuvõtjasse samaaegselt ehk rööbiti. Ülekandekanalite ehk sidekanalite arv n peab niisuguses süsteemis võrduma pildipunktide arvuga, s. t. iga fotoelement tuleb ühendada teatud elektrilambiga selliselt, et elemendi asukoht vastuvõetud pildis

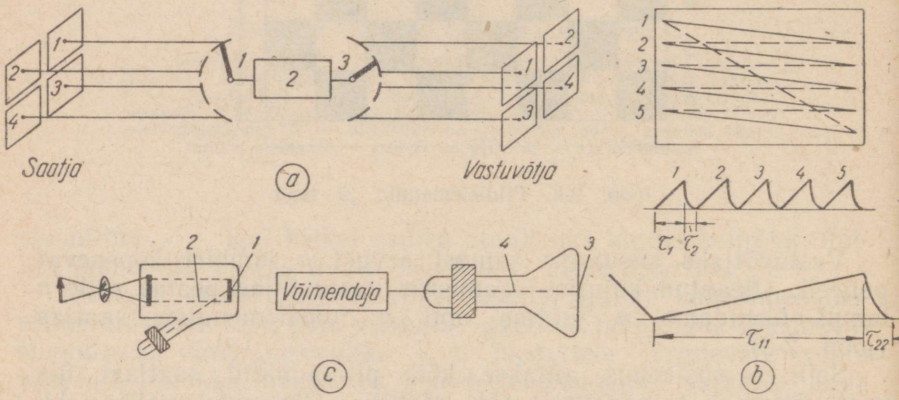


Joon. 2-3. Televisioonisignaali ülekandmise võimalus.

oleks samasugune, nagu ta on saatja ees olevas kujutises. Tegelikult aga sellist pildipunkte rööbiti üleantavat süsteemi ei kasutata, sest pole võimalik ehitada sellisel arvul sidekanaleid, mis tagaks küllalt kvaliteetse pildi vastuvõtjas. Tuleb leida vahendeid sidekanalite arvu vähendamiseks.

Kui lubada anda pilt üle mitte hetkeliselt, vaid teatava aja

jooksul, võime anda pildipunktid üle üksteise järel — järgemisi ehk järjestikku. Niisugune pildipunktide üleandmine järjestikku ehk ajas järgemisi, nn. pildi laotamine, ongi tänapäeva televisioonisüsteemide aluseks. Selle põhimõtet selgitab joon. 2-4, *a*. Eelmise näite kohaselt on saatjas asetatud iga pildipunkti kohale vastav fotoelement. Kui nende väljepinged suunata pöördlüliti *1* abil sidekanalisse *2* järgemisi, siis läbib sidekanalit antud kujutist matkiv vool, mida nimetatakse kujutise- ehk videosignaaliks. Vastuvõtjas leidub samasugune pöörd-



Joon. 2-4. Televisioonikujutise ülekandmine:
a — elektromehaaniliselt, *c* — elektrooniliselt; *b* — pildilaotusskeem.

lüliti *3*, mis suunab vastuvõetud pildipunktide pingeimpulsid ruumiliselt vastavalt paiknevatesse huumlampidesse. Iga huumlamp helendub antud pildipunktile omase heledusega ja me saamegi üleantud kujutise. Seega on kahedimensiooniline kujutis antud üle ühedimensiooniliselt.

Jooniselt 2-4, *a* näeme, et üleantud kujutist on võimalik vastuvõtjas taastada siis, kui lülitid *1* ja *3* liiguvad ühesuguse kiirusega, olles kogu aeg vastastikku ühesuguses asendis, s. t. kui nad liiguvad sünkroonselt. Seepärast on vaja anda saatjast vastuvõtjasse üle lisasignaale, mis säilitavad saatja ja vastuvõtja lülitite *1* ning *3* liikumist sünkroonsena. Selliseid lisasignaale nimetatakse sünkroniseerimissignaalideks. Need antakse üle sedasama sidekanalit mööda, mille kaudu antakse üle kujutisesignaalegi.

Seega koosneb televisioonisignaal kujutise- ja sünkroniseerimissignaalist. Kujutisesignaaliga antakse üle pildi detailid, sünkroniseerimissignaaliga aga juhitakse ehk tüüritakse pildipunktide ülekandmise järjekorda.

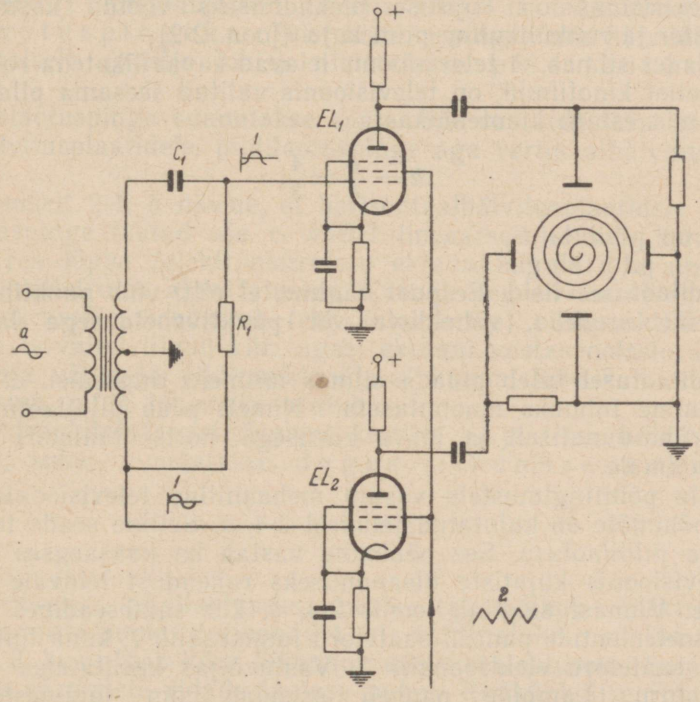
Joonisel 2-4, *b* kujutatud skeemi järgi antakse kõik read üle järjekorras: 1., 2., 3. jne. rida kuni viimaseni. Sellist pildi jaotamist tema elementideks nimetatakse arenevaks laotuseks (vt. joon. 2-2).

On võimalik anda pildiridu üle ka teistviisi, nimelt esmalt paarituarvulised (1., 3., 5., ...) ja siis paarisarvulised pildiread (2., 4., 6., ...). Sellist pildi jaotamist nimetatakse ülerealaotuseks ehk vahelduvaks laotuseks.

Peale nende esineb veel teisigi laotusviise, nagu punkti-vahelduse ga laotus jt.

2-2. Televisioonisignaal

Rastri kuju. Kujutise võib anda üle ühe- või teistsuguses geomeetrilises kujus. Vastavalt sellele võib olla mitmesugune ka pildi kuju: ringi-, ruudu- või ristkülikukujuline. Ka raster võib olla mitmesugune. Põhiliselt esineb spiraalset rastrit, enamasti ringikujulise pildi tekitamiseks, ja rida-



Joon. 2-5. Spiraalikujulise rastri generaator.

rastrit — ruudu- või ristkülikukujulise pildi tekitamiseks. Spiraalse rastri korral saab pildilaotuseks kuluvat aega täielikult ära kasutada. Sel juhul võtab laotav element (milleks enamasti on elektronkiir) kogu aeg pildi üleandmisest osa. Selleks vajalik laotusgeneraator on ehituselt lihtne ja odav.

Joonisel 2-5 on toodud spiraalset rastrit tekitava laotusgeneraatori lülitusskeem. Takisti R_1 ja kondensaatori C_1 toimel muutub pidevalt elektronlampide EL_1 ja EL_2 võrele rakendatava pinge faas. Kummagi lambi võrele antavad siinuselised pinged *1* on teineteise suhtes nihutatud 90° võrra. Samal ajal antakse varivõredele hammaspinge *2*, mille tulemusena elektronkiiretoru ekraanil tekibki spiraalne raster. Spiraali keerdude arvu määravad sisendpingete *1* ja *2* kuju ning nende harmooniline vahekord.

Niisuguse kujuga rastri puuduseks on see, et pilti laotava elemendi (elektronkiire) jääva nurkkiiruse puhul peab tema joonkiirus olema muutuv — rastri keskel peab see olema suurem kui äärel. Elektriseadmed, mis hoiaksid elektronkiire joonkiiruse jäävana, on aga väga keerukad. Selle tõttu on televisioonis spiraalsest rastrist loobutud. See leiab rakendust vaid mõnedes eriotstarbelistes seadmetes.

Televisioonis on kujutise üleandmiseks võetud kasutusele ridaraster ja ristkülikuline pildi kuju (joon. 2-2).

Pidades silmas, et televisioonis leiavad kavaallikatena rohkesti kasutamist kinofilmid, on televisioonis valitud seesama pildi formaat, mis esineb kinotehnikas:

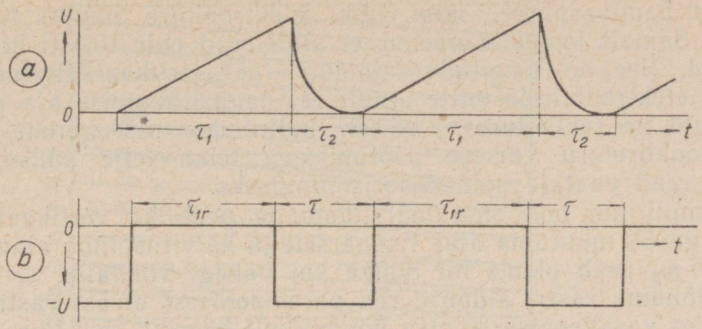
$$k = \frac{w}{h} = \frac{4}{3},$$

kus w on pildi laius,
h — pildi kõrgus.

Pildilaotuse viisid. Eespool nägime, et pilti võib punktihaaval anda üle areneva, vahelduva või punktivaheldusega laotuse teel.

Pildilaotusel tuleb pidada silmas mitmeid tingimusi, et pildi üleandmine toimuks moonutuseta. Nimelt peab pildilaotus toimuma ühesuunaliselt ja jääva kiirusega, horisontaalsihis vasakult paremale.

Neile põhitingimustele vastab mehaaniline televisiooniseade, mille põhimõte on kujutatud joonisel 2-4, *a*. Selline seade tekitab areneva pildilaotuse. See põhimõte vastab ka kaasaegses elektrontelevisioonis kujutiste üleandmiseks rakendust leidvale põhimõttele. Viimast selgitab joonis 2-4, *c*, kus saateseadmes asendab fotoelementide paneeli saatetoru fotomosaiik *1*, kuna lülitile *1* vastab saatetoru elektroonkiir *2*. Vastuvõtjas kasutatakse elektronkiiretoru. Lampide paneeli asendab siin luminestseeriv ekraan *3* ja lülitit *3* elektronkiir *4*. Mehaanilises pildi üleandmise



Joon. 2-6. Hälvitusimpulsid (*a*) ja sulgimpulsid (*b*).

seadmes toimub lülitite *1* ja *3* pöörlemine mehaaniliselt. Elektrontelevisioonis aga toimub elektronkiirte hälvitamine elektri- või magnetväljade abil. Elektrostaatilise hälvituse puhul kasutatakse elektronkiire hälvitamiseks saehambakujulist pinget, mida nimetatakse hammaspingeks. Elektronkiire võib suunata elektronkiiretoru ekraani igasse soovitud punkti, kui kasutada tema tüürimiseks kahte hammaspinget. Üks hammaspinge hälvitab elektronkiirt horisontaalselt (*x*-telje sihis) ja teda nimetatakse realaotúspingeks. Teist hammaspinget, mis hälvitab kiirt vertikaalselt (*y*-telje sihis) nimetatakse pildilaotuspingeks.

Realaotuspinge suunatakse saate- või vastuvõtutoru horisontaalhälvitusplaatidele, pildilaotuspinge aga vertikaalhälvitusplaatidele.

Jooniselt 2-4, *b* näeme, et horisontaalhälvitusplaatidele antav hammaspinge teatud aja τ_1 vältel lineaarselt tõuseb, kuni kiir jõuab rea lõppu (elektronkiiretoru ekraani äärele), ja siis langeb τ_2 vältel oma algväärtuseni. Kasulik aeg on ainult τ_1, mille vältel ekraanile moodustub (ehk antakse üle) pildipunktide rida. Aja τ_2 vältel liigub kiir tagasi ekraani vastaspoolsele äärele. Selle aja vältel ta pildipunkte üle ei kanna. Järelikult on seda kasulikum, mida lühemaks osutub τ_2.

Elektronkiire tagasiliikumise kestuse τ_2 ja tema hälvituskestuse τ_1 suhet nimetatakse tagasiliikumise suhteks:

$$P = \frac{\tau_2}{\tau_1} \qquad (2\text{-}1)$$

Täielikuks pildilaotuseks peab tagasiliikuv elektronkiir jõudma mitte punkti *1* (joon. 2-4, *b*), vaid natuke madalamale — punkti *2*, kus algab kiire liikumine uueks realaotuseks. Sama toimub ka järgmiste ridade laotuse puhul. Ristkülikulise ridarastri saamiseks antakse elektronkiiretoru vertikaalhälvitusplaatidele

samuti hammaspinge, mis viibki elektronkiire punkti *1*, *2*, *3*, *4* jne. Samalt jooniselt näeme, et pildi read pole täiesti horisontaalsed. See on tingitud asjaolust, et vertikaalhälvituspinge mõjub elektronkiirele mitte ainult rea tagasiliikumise aja τ_2 vältel, vaid ka realaotuse τ_1 vältel, kallutades rea natuke viltu. Elektronkiiretoru väikese pööramisega tema telje ümber võib seada read vaataja suhtes horisontaalseks.

Samuti kui horisontaalhälvituspinge peab ka vertikaalhälvituspinge U_k muutuma ajas lineaarselt ja hälvituspinge alanemise kestus τ_{22} peab olema nii lühike kui vähegi võimalik, s. t. kiir peab jõudma rastri alumise rea parempoolsest otsast rastri ülemise rea vasakpoolsesse otsa võimalikult kiiresti, sest kiire vertikaalse tagasiliikumise ajal ekraanil pilt puudub. Selle aja vältel läheb osa pildiridu kaduma.

Elektronkiire vool peab rea tagasiliikumise τ_2 ja pildi tagasiliikumise τ_{22} vältel võrduma nulliga, et ekraanile ei tekiks kõrvalisi, häirivaid jooni.

Elektronkiire sulgemiseks horisontaalse ja vertikaalse tagasiliikumise ajal kasutatakse rea- ja pildikustutusimpulsse. Kustutusimpulssideks on negatiivse polaarsusega pingeimpulsid, mis, suunatuna elektronkiiretoru võrele, katkestavad elektronkiire voolu.

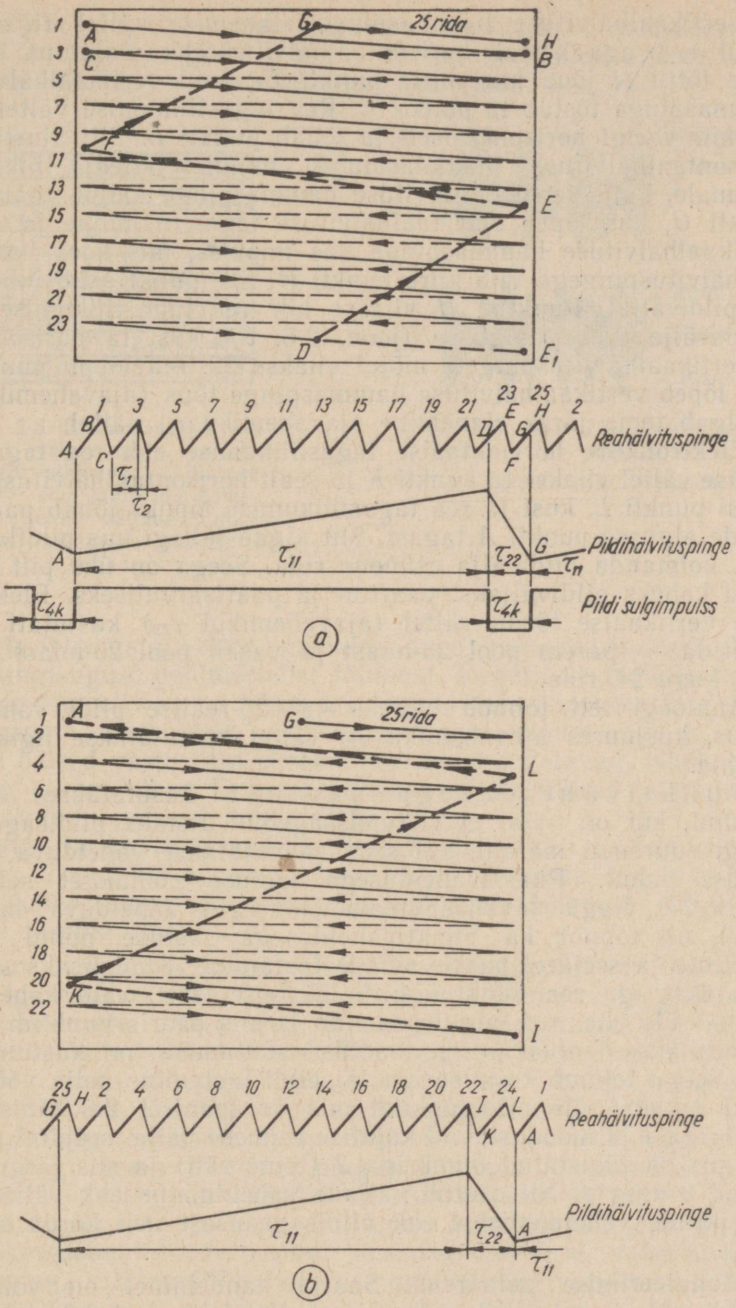
Kustutusimpulsside kuju ja kestus on näidatud joonisel 2-6, *b*.

Käesoleval ajal kasutatakse televisioonitehnikas peaaegu eranditult vahelduvat pildilaotust, mille põhimõtet selgitab joonis 2-7.

Vahelduva ehk ülerealise pildilaotuse puhul antakse esialgu üle paarituarvulised read 1., 3., 5., ... ja seejärel paarisarvulised 2., 4., 6., ... Nii saame kaks poolpilti ehk pildiväljа — üks paaritute ja teine paarisridadega ehk nn. esimene ja teine pildiväli.

Vahelduva pildilaotuse puhul on horisontaalhälvituse ehk realaotuse sagedus samasugune nagu areneva laotuse puhulgi, kuid vertikaalhälvituse sagedus on kaks korda suurem. Iga väljaga antakse üle pool kogu pildiridade arvust z/2.

Kui raster sisaldab vahelduva pildilaotuse puhul paaritu arvu ridu, siis lõpeb esimene väli rea keskel. Teine väli aga peab algama sealt, kus esimene väli lõppes. Järelikult algab ta samuti rea keskelt. Oletame, et meil on 25-realine pildiraster ($z = 25$) (joon. 2-7, *a*). Pildilaotus algab ülevalt vasakult punktis *A*, esimene rida lõpeb aga punktis *B*. Kiire tagasiliikumise vältel (ajavahemikus τ_2) viiakse kiir vasakule punkti *C*, kus algab kolmanda rea laotus jne. Vertikaalhälvituse hammaspinge ehk pildilaotuspinge surub lõpuks elektronkiire punkti *D*, mis asub 23. rea keskel. Sel hetkel algab pildilaotust esilekutsuva vertikaalhälvituse hammaspinge kiire alanemine kestusega τ_{22}.



Joon. 2-7. Pildilaotussüsteem:

a — paarituarvuliste ridadega väli, *b* — paarisarvuliste ridadega väli.

Vertikaalhälvituse hammaspinge alanemise vältel (ajavahemikul τ_{22}) aga kestab horisontaalhälvitus ehk realaotus edasi. Selle tõttu ei jõua kiir mitte punkti E_1, vaid vertikaalhälvituse hammaspinge tõstab ta punkti E. Rea tagasiliikumise vältel tõuseb kiir veelgi horisontaalselt ja jõuab punkti F. Siit alustab ta horisontaalhälvituse hammaspinge mõjul jällegi liikumist paremale, kuid vertikaalhälvituse hammaspinge mõjul viiakse ta punkti G, kus lõpeb vertikaalhälvituse tagasiliikumine ja algab vertikaalhälvituse hammaspinge uus impulss, mis koos horisontaalhälvituspingega viib kiire punkti H. See punkt asub juba teisel pildiväljal. Punktist H viiakse kiir rea tagasiliikumise ajal paarisvälja 2. rea algusse (joon. 2-5, *b*), kust ta horisontaal- ja vertikaalhälvituspingete mõjul viiakse 22. rea lõppu punkti I. Siin lõpeb vertikaalhälvituse hammaspinge tõus (ajavahemik τ_{11}) ja algab tema järsk alanemine ajavahemiku τ_{22} vältel.

Elektronkiire horisontaalse tagasiliikumise ehk rea tagasiliikumise vältel viiakse ta punkti K ja sealt horisontaalhälvituspinge mõjul punkti L, kust ta rea tagasiliikumise lõpuks jõuab paarituridade algusse punkti A tagasi. Siit algab jällegi uus pildilaotus, s. o. kolmanda pildivälja esimene rida. Seega on üks pilt lahutatud kaheks pildiväljaks: paaritu- ja paarisarvuliseks. Elektronkiire vertikaalse tõusu vältel (ajavahemikul τ_{22}) kustutati kaks pildirida — parem pool 23-ndast ja vasak pool 25-ndast reast ning kogu 24. rida.

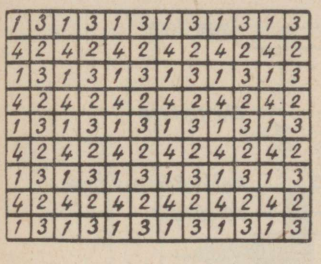
Analoogiliselt toimub näiteks ka 625-realise pildi vahelduv laotus, kusjuures ajavahemiku τ_{22} vältel kustutatakse ligikaudu 25 rida.

Punktivaheldusega laotust kasutatakse mõnel erijuhul, kui on vaja, et vilkumissagedus ületaks pildisageduse veelgi suuremal määral, kui seda saavutatakse vahelduva pildilaotuse puhul. Punktivaheldusega laotuse põhimõtet selgitab joonis 2-8. Nagu tavalise (reavaheldusega) vahelduva laotuse puhul, nii toimub ka punktivaheldusega laotuse puhul algul paaritute ja seejärel paaris ridade laotamine. Kuid lisaks sellele laotatakse iga rea punktid mitte üksteise järel, vaid kahe võttega — üle ühe, s. t. algul paaritud ja siis paaris punktid. Seda saavutatakse laotuskiire perioodilise süütamise ja kustutamise teel. Seega toimub kujutise iga täispildi laotamine nelja võttega: algul antakse üle pildipunktid, mis on joonisel 2-8 tähistatud numbriga *1* ja moodustavad kujutise esimese välja, seejärel punktid, mis on tähistatud numbriga *2* (teine väli) ja siis järgnevad väljad *3* ning *4*. Nii osutub väljade vaheldumine ehk väljasagedus piltide vaheldumisest ehk pildisagedusest neli korda suuremaks.

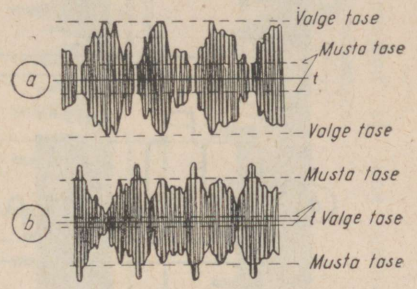
Moduleerimise polaarsus. Saatja kandelainet on võimalik moduleerida kahel viisil, nagu on näidatud joonisel 2-9.

Juhul kui üleantava kujutise heleduse suurenemine vastab

kandelaine amplituudi suurenemisele, nimetatakse moduleerimist positiivseks (joon. 2-9, *a*). Vastupidisel juhul aga on tegemist negatiivse moduleerimisega (joon. 2-9, *b*).



Joon. 2-8. Elementide ja väljade vaheldumise skeem punktivaheldusega laotuse puhul; elemendid on tähistatud nende väljade numbritega, milledesse nad kuuluvad.



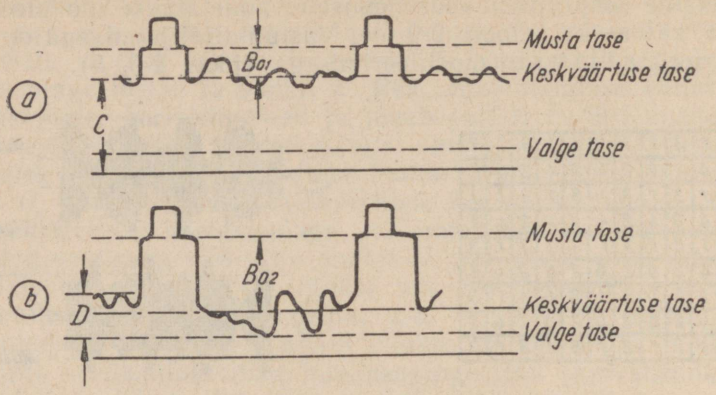
Joon. 2-9. Moduleerimise polaarsus:
a — positiivne, *b* — negatiivne.

Televisioonisignaalide moduleerimise polaarsuse valikul ei ole mingisugust põhimõttelist tähtsust. Negatiivse moduleerimise mõningaks eeliseks on võimalus tagada televisioonivastuvõtjates hõlpsamat automaatset võimenduse reguleerimist. Ka on tema puhul häired vastuvõtja ekraanil vähem märgatavad. Nõukogude Liidus ja enamikus Euroopa maades on kasutusel televisioonisignaalide negatiivne moduleerimine.

Valge ja musta tase. Kujutisesignaali pinge tase televisioonitraktis kõigub kahe piirväärtuse vahel. Kujutise suurima heleduse puhul saame valge taseme, väikseima heleduse puhul aga musta taseme (joon. 2-10).

Pildi üleandmise kestel muutub kujutisesignaali väärtus musta ja valge taseme vahe ulatusel vastavalt üleantavate pildipunktide heledusele. Seejuures sõltub kujutisesignaali keskväärtus üleantava kujutise iseloomust. Kui kujutisel on rohkem tumedaid alasid, siis läheneb see keskväärtus musta tasemele (joon. 2-10, *a*), kui ülekaalus on heledad alad, siis läheneb keskväärtus valge tasemele (joon. 2-10, *b*). Seega võib kujutisesignaali, nagu iga pulseerivat pinget, käsitada koosnevana alaliskomponendist, mille väärtus võrdub pulseeriva pinge keskväärtusega *C*, ja sellega liitunud vahelduvkomponendist *D*. Alaliskomponent määrab pildi keskmise heleduse, vahelduvkomponent aga pildipunktide heleduse omavahelise vahekorra.

Televisioonitraktis läbib kujutisesignaal kondensaatoreid ja transformaatoreid, mis lasevad läbi ainult vahelduvkomponendi.



Joon. 2-10. Kujutise keskmise heleduse ülekandmine:
a — väike keskmine heledus, *b* — suur keskmine heledus.

Kuid enne kujutisesignaali suunamist kineskoobi võrele on vaja taastada ka alaliskomponent, et tekitada vajalikku pildi keskmist heledust. Selleks kasutatakse televisioonivastuvõtjates erilülitusi, mida nimetatakse alaliskomponendi taastajaks.

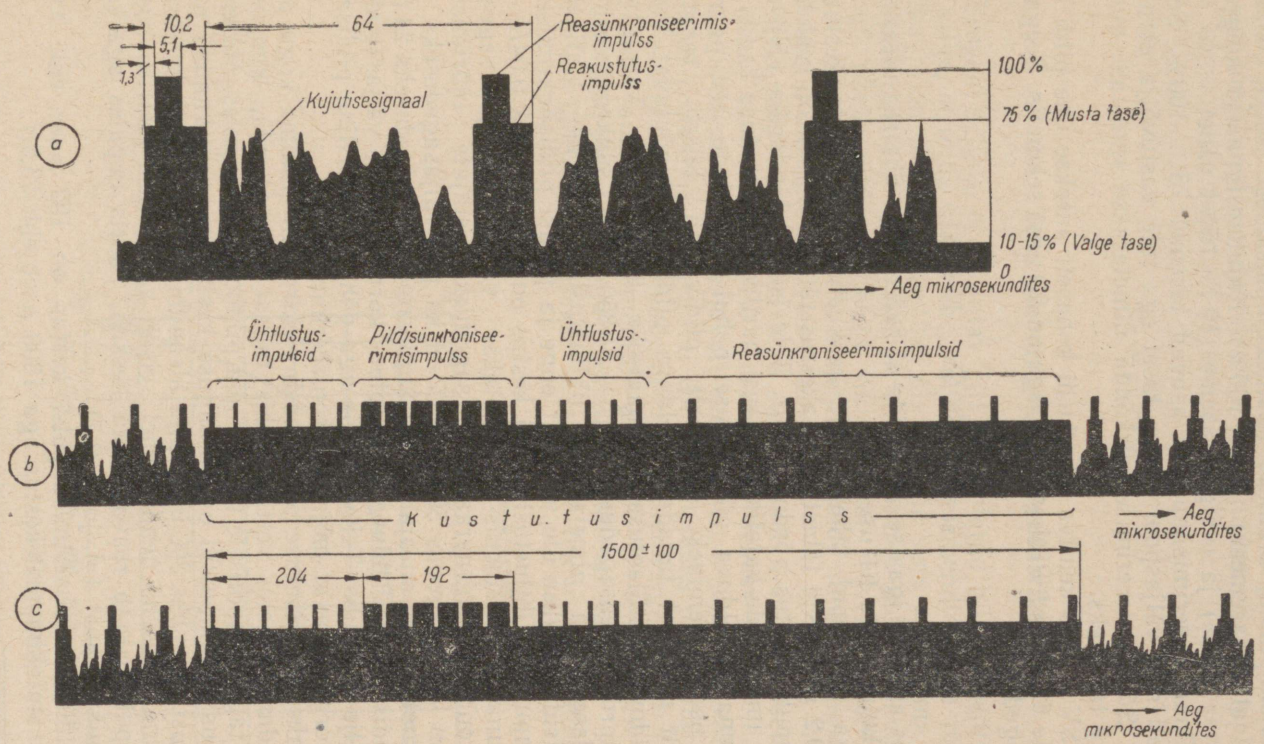
2-3. Televisioonistandard

Kujutise üleandmiseks on vaja, et televisioonisignaal vastaks teatud kindlatele nõuetele, mida nimetatakse laotusstandardiks. Standard määrab kindlaks eelkõige järgmised suurused: 1) ridade arvu ühes pildis, 2) ajaühikus üleantava piltide arvu, 3) vahelduva pildilaotuse korral ajaühikus üleantava väljade arvu, 4) pildi formaadi, 5) üleantava tegevridade arvu, 6) reakustutusimpulsside kestuse, 7) pildikustutusimpulsside kestuse, 8) pildilaotuse suuna, 9) moduleerimise polaarsuse ja 10) helitausta moduleerimise viisi.

Tänapäeval kehtivate laotusstandardite nõuded on toodud lisas 3.

Joonisel 2-11 on toodud Nõukogude Liidus kehtivale laotusstandardile vastav televisioonisignaali kuju. Selle standardi kohaselt sisaldab televisioonisignaal peale kujutisesignaali veel reasünkroniseerimis- ja reakustutusimpulsse, pildisünkroniseerimis- ja pildikustutusimpulsse ning ühtlustusimpulsse.

Nagu jooniselt nähtub, paiknevad kujutisesignaalid kustutusimpulsside vahel, sünkroniseerimisimpulsid aga kustutusimpulsidel, mis nagu täidaksid sünkroniseerimisimpulsside aluse ülesannet. Kui lugeda televisioonisignaali suurim kõrgus võrdseks 100%-ga, siis on tema mitmesuguste komponentide suhteline tase



Joon. 2-11. NSV Liidus standardiks võetud 625-realise teravusega televisioonisignaali kuju ja põhiandmed.

järgmine. Kustutusimpulsside suhteline tase on 75%. Sünkroniseerimisimpulsid, ulatudes kustutusimpulssidest välja, võtavad enda alla tasemeala 75 ... 100%. Kujutisesignaalid kõiguvad «musta» (75%) ja «valge» taseme (10 ... 15%) vahel.

Sünkroniseerimisimpulsid asuvad tasemel 75 ... 100%. Seega asuvad nad väljaspool musta taset ega tule vastuvõtja ekraanil esile. Sünkroniseerimise piirkonda nimetatakse «mustast mustemaks» tasemeks.

NSV Liidus kehtiva standardi kohaselt antakse ühe pildi kestel üle 625 rida.[1] Pildisagedus aga on 25 pilti sekundis. Seega on reasagedus

$$f_z = 625 \times 25 = 15\,625.$$

Niisiis antakse igas sekundis üle 15 625 rida ja ühe rea üleandmiseks kulub aega 64 μsec.

Iga rea lõpul lähetatavate reakustutusimpulsside kestuseks on 10,2 μsec. Kui tähistada reakestus tähega H, siis on reakustutusimpulsi kestus võrdne $0{,}18H$. Televisioonistandardis väljendatakse impulsside vajalikke kestusi harilikult reakestuse kaudu.

Kuna vahelduva pildilaotuse puhul on ridade arv paaritu, siis peab üleminek esimeselt pildiväljalt teisele toimuma poolelt realt, et tagada vahelduva pildilaotuse nõutavat kulgu. Vahelduva pildilaotuse normaalseks kulgemiseks kasutatakse kahekordse reasagedusega ($f = 31\,850$ Hz) sünkroniseerimisimpulsse, mida nimetatakse ühtlustusimpulssideks. Ühtlustusimpulsid kantakse üle vahetult enne ja pärast pildisünkroniseerimisimpulsse. Ühtlustusimpulsi kestus on 2,5 μsec ehk $0{,}04H$.

Kuna televisioonis kasutatakse valgustusvõrgu sagedust sünkroniseerimisgeneraatorite sageduskordistajate tüürimiseks, siis on võrgusagedus 50 Hz valitud ka pildiväljasageduseks.

Kinotehnikas on ajalooliselt kujunenud pildisageduseks 24 pilti sekundis, mis vahelduva pildilaotuse korral annaks väljasageduse 48 välja sekundis. Televisioonis aga põhjustaks selline pildisagedus võrgu segavat mõju sünkroniseerimisele.

Vahelduva laotuse puhul peab elektronkiir liikuma kogu pildi üleandmise kestel vertikaalsihis tagasi kaks korda, kusjuures igale tagasiliikumisele vastab oma pildikustutusimpulss. Mõlemad pildikustutusimpulsid on ühesuguse kestusega ning kumbki neist moodustab umbes 8% ühe välja üleandmisele kuuluvast kestusest. Põhiline erinevus nende vahel seisab aga selles, paaritu kustutusimpulss algab reavahemiku keskelt, paaris impulss aga selle vahemiku lõpust (vt. joon. 2-7).

Pildisünkroniseerimisimpulsi kestus on 192 μsec ehk $3{,}0H$, pildikustutusimpulsi kestus aga 1500 μsec ehk $23{,}5H$.

---

[1] On kasutusel ka teistsuguse ridade arvuga televisioonistandardid.

Kujutisesignaali ja sünkroniseerimisimpulsside amplituudide suhte P_2 leitakse jooniselt 2-11, kust selgub, et sünkroniseerimisimpulsi amplituud moodustab 25% ja kujutisesignaali amplituud 75% kogu musta tasemest ja seega

$$P_2 = \frac{75}{25} = 3. \qquad (2\text{-}2)$$

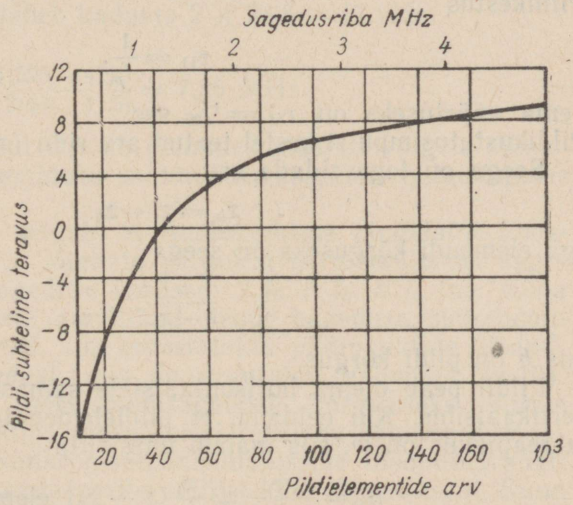
2-4. Televisioonisignaali sagedusriba

Eespool selgus, et üleantav pilt on jaotatud pildielementideks. On selge, et mida väiksemad valida pildielemendid, seda rohkem üksikasju on võimalik kujutises üle anda ja seda «teravam» kujutis meile paistab. Mida väiksem on pildipunkt, seda rohkem ridu mahub ühele pildile. Seega sõltub pildi teravus üleantavate ridade arvust. Televisioonis nimetatakse pildi nimiteravuseks ühe pildi kestel ülekantavate ridade arvu z.

Siiski pole mõtet valida liiga suurt ridade arvu. Jooniselt 2-12 on näha, et pildi suhtelise teravuse juurdekasv pildielementide arvu suurenemisel või vastavalt sagedusriba laienemisel väheneb.

Pildi jaotamine rohkem kui 600 ... 800 reaks pole otstarbekas veel seepärast, et koos ridade arvu suurenemisega tõuseb tunduvalt mitte ainult pildielementide arv, vaid võrdeliselt sellele ka sagedusriba, mis teeb kogu televisioonisüsteemi kalliks.

Sellest lähtudes jaotatakse kaasaegsete televisioonistandardite



Joon. 2-12. Pildi suhtelise teravuse sõltuvus ridade arvust.

kohaselt pilt 405...819 reaks. Televisioonis vajaliku sagedusriba laiuse määramisel tuleb arvesse võtta, et televisioonisignaal sisaldab kaht põhisagedust: reasagedust f_r ja pildisagedust f_p ning peale selle veel pildipunktide üleandmisest tekkivat sagedust $f, \ldots f_n$). Reasagedus võrdub sekundis üleantavate ridade arvuga z, pildisagedus aga sama aja vältel üleantavate piltide arvuga p. Eespool nägime, et reasagedus $f_r = zp = 15\,625$ Hz ja pildisagedus $f_p = 25$ Hz.

Pildipunktide üleandmisel tekkiv suurim sagedus f_2 leitakse järgmiselt. Eeldatakse, et üht pildipunkti võib käsitada ruuduna, mille külje pikkus on h/z, kus h on pildi kõrgus ja z ridade arv ühes pildis.

Joonisel 2-2 on kujutatud pilt, mis koosneb must-valgetest ruudukujulistest pildielementidest. Pildielementide poolt tekitatavate pingeimpulsside jada lõpus lähetatakse reasünkroniseerimisimpulss, mis on ülestatud reakustutusimpulsile. Reakustutusimpulsi kestust τ_{rk} nimetatakse reakustutusperioodiks. Reakestust

$$\tau_1 = \frac{1}{zp} \tag{2-3}$$

nimetatakse reaperioodiks. Selle väärtuseks on

$$\tau_1 = \frac{1}{625 \cdot 25} = 64 \text{ µsec.}$$

Pildiperioodi τ_{11} lõpul lähetatakse pildisünkroniseerimisimpulss, mis on ülestatud pildikustutusimpulsile. Pildikustutusimpulsi kestust τ_{11k} nimetatakse pildikustutusperioodiks. Pildikestus

$$\tau_{11} = \frac{1}{f_p}.$$

Tema väärtuseks on $\tau_{11} = {}^1/_{25}$ sec. (2-4)

Pildikustutusimpulsi kestel teatud arv ridu (z_k rida) kustutatakse.

Seega on tegevridade arv

$$z_a = z - z_k. \tag{2-5}$$

Iga elemendi kõrguseks on seega

$$\frac{h}{z - z_k}, \tag{2-6}$$

kus h on pildi kõrgus.

Pildil peab olema horisontaalsihis samasugune teravus nagu vertikaalsihis. Kui eeldada, et pildielemendid on ruudukujulised ja reapikkus on w, siis mahub ühte ritta

$$n_1 = \frac{w}{\frac{h}{z - z_k}} = \frac{w}{h}(z - z_k) \text{ elementi.} \tag{2-7}$$

Kui arvestada, et pildi formaat K väljendab pildi laiuse ja kõrguse suhet:

$$k = \frac{w}{h},$$

siis saadakse pildi elementide arvuks ühes reas:

$$n_1 = k(z - z_k). \tag{2-8}$$

Kuna kahest elemendist (mustast ja valgest) saadud pinge moodustab ühe perioodi, siis on iga rea kestel tekkivate pingeperioodide arv

$$\frac{k(z - z_k)}{2} \tag{2-9}$$

Et ühes reas sisalduvate pildielementide pingeperioodid tekitatakse rea üleandmisele kuluva ajavahemiku $\tau_1 - \tau_{2k}$ kestel, siis on pildielementide üleandmiseks vajalik suurim sagedus

$$f_2 = \frac{k(z - z_k)}{2(\tau_1 - \tau_{2k})}. \tag{2-10}$$

Asetame valemisse (2-10) arvväärtused:

$$z = 625,\ k = {}^4/_3,\ \tau_1 = {}^1/_{15\,625} = 64\ \mu\text{sec},\ \tau_{2k} = 11{,}5\ \mu\text{sec}.$$

Pildi kustutusimpulsi kestus on 1500 μsec, ühe pildivälja kestus $^1/_{50}$ sec. Ühe pildivälja kustutusimpulsi poolt kustutatud ridade arv

$$\frac{1{,}5 \cdot 10^{-3}}{6{,}4 \cdot 10^{-6}} = 23{,}5 \text{ rida}.$$

Täispildi üleandmisel läheb kaduma $2 \times 23{,}5 = 47$ rida.

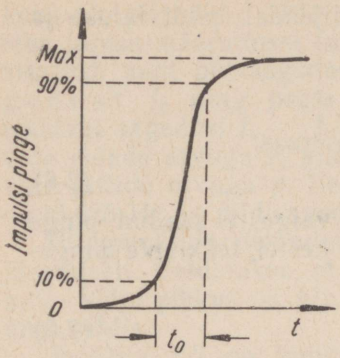
Seega

$$f_2 = \frac{4(625 - 47)}{2 \cdot 3(64 - 11{,}5)} = 7{,}35 \text{ MHz}.$$

Selle sageduse puhul toimub üleminek mustalt valgele siinuskõvera järgi. Järsu ülemineku saavutamiseks peaks pingeimpulss olema ruudukujuline.

Kuuendas peatükis selgub, et ruudukujuline pingelaine koosneb põhisagedusest f_0 ja lõpmata paljudest harmoonilistest sagedustest, mis on põhisageduse kordsed: $2\ f_0$, $3\ f_0$, $4\ f_0$ jne. Kuna kõrgemate harmooniliste amplituud nende sageduse suurenemisel väheneb väga kiiresti, siis arvestatakse pildipunktide üleandmisel ainult põhisagedust, mis on arvutatav valemiga (2-10). Seepärast loetaksegi televisioonisageduse kõrgeimaks piiriks must-valgete pildipunktide üleandmisel tekkivat põhisagedust f_0.

Ka ristkülikuliste sünkroniseerimisimpulsside moonutusvabalt ülekandeks oleks vaja sagedusriba nullist kuni lõpmatuseni. Kuna seda tegelikult pole võimalik teha, siis lubatakse impulsside ülekandmisel teatud moonutust. Piiratud sagedusriba korral pole



Joon. 2-13. Impulsi tõusukestuse selgitamiseks.

impulsi rinne enam täiesti järsk, vaid muutub laugeks (joon. 2-13). Ajavahemikku, mille jooksul impulss saavutab peaaegu täisväärtuse, nimetatakse impulsi tõusukestuseks. Nimelt loetakse tõusukestuseks ajavahemikku, mille jooksul impulsi pinge oma lõpliku taseme suhtes tõuseb tasemelt 10% tasemele 90%. Sagedusriba laiuse f_i ja impulsi tõusukestuse t_0 vahel on järgmine seos:

$$f_i = \frac{1}{2t_0}. \qquad (2\text{-}11)$$

Kui impulss on täielikult täisnurkne, siis tõusukestus $t_0 = 0$. Sellise impulsi ülekandmiseks oleks vaja ülilaia sagedusriba. Impulsi tõusukestuse nõutav väärtus on määratud kindlaks laotusstandardites.

Nõukogude Liidu standardi kohaselt on sünkroniseerimisimpulsside tõusukestuseks 0,004 H, kus H on reakestus.

Pildi elektriline ja nähtav formaat. Kui reakustutusimpulsse ei lähetataks, siis oleks rea kestus vastuvõtja ekraanil $\tau_1/(\tau - \tau_{2k})$ korda pikem, kui aga poleks pildikustutusimpulsse, siis kujuneks pildi kõrgus $z/(z - z_k)$ korda suuremaks. Seda pildi formaadi suurenemist näitab joonis 2-14, kus sisemine ristkülik $HFJC$ kujutab nähtavat pilti formaadiga k, ristkülik $ADCB$ hõlmab reakustutusimpulsside tõttu ridadest kaduma läinud osi ja ristkülik $AEFG$ — ridu, mis kustutatakse pildikustutusimpulssidega. Väline ristkülik $AEJB$ kujutab pildi elektrilist formaati k'. Seos pildi elektrilise ja tema nähtava formaadi vahel on järgmine:

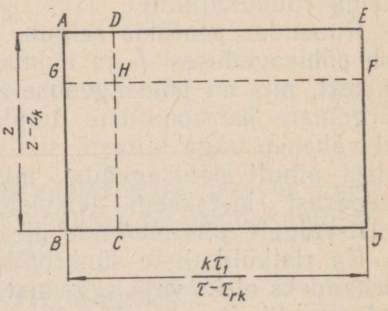
$$k' = k\frac{\tau_1}{\tau_1 - \tau_{2k}} \cdot \frac{(z - z_k)}{z} = k \cdot \frac{64}{52{,}5} \cdot \frac{578}{625} = 1{,}13k. \qquad (2\text{-}12)$$

Televisioonisignaalide võimendajate ehk nn. viideovõimendajate arvutamisel lähtutakse pildi elektrilisest formaadist.

Kui avaldada sellest seosest k ja asendada valemisse (2-10) ning võtta arvesse, et $\tau_1 = 1/zn = s/zp$, saame sagedusriba f_2 arvutamiseks valemi

$$f_2 = \frac{k'z^2p}{2s}, \qquad (2\text{-}13)$$

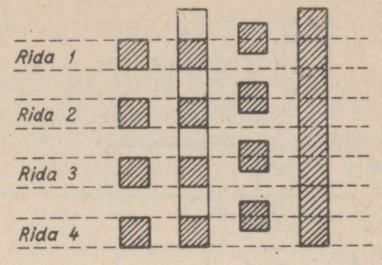
kus P on sekundis üleantavate



Joon. 2-14. Pildi nähtav ja elektriline formaat.

pildiväljade arv ehk vilkumissagedus, s — väljade arv ühes täispildis.

Ühe pildi kestel üleantavat täisridade arvu nimetatakse televisioonikujutise nimiteravuseks. Juhul kui pildielementide suurused vastavad rea laiusele ja ühtivad ridadega, taastatakse nad vastuvõtmisel täielikult. Kui aga need elemendid on realt nihutatud, hõlmates korraga kahte naaberrida (joon. 2-15), osutub pildi teravus kuni 50% väiksemaks, sest elemendid kahel naaberreal pole üksteisest eraldatavad. Seetõttu on pildi tõeline teravus väiksem kui tema nimiteravus. Tõeline teravus vertikaalsihis võib olla piires $z \ldots 0{,}5\ z$.



Joon. 2-15. Televisioonikujutise teravus vertikaalsihis.

Tõelise teravuse arvutamisel lähtutakse nendes piirides esinevast keskmisest väärtusest, s. o. 0,75. Asetanud selle väärtuse valemisse (2-13), saame:

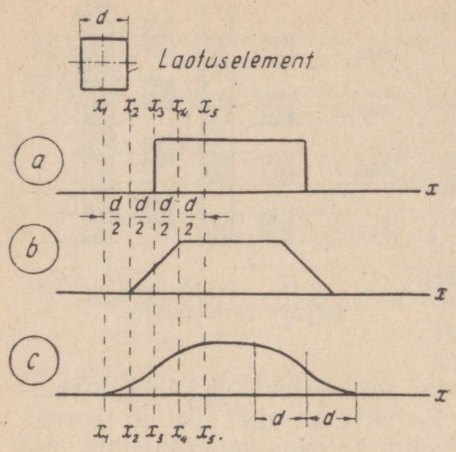
$$f_2 = \frac{0{,}75k'z^2}{2s}p. \qquad (2\text{-}14)$$

Niisiis sõltub kujutisesignaali sagedus mitte ainult ridade arvust z, vaid ka teistest teguritest, nagu laotuselementide suurusest, väljasagedusest ja pildi formaadist, mida väljendatakse ühise teguriga C_1.

Näide 2-1. Nõukogude Liidu standardi kohaselt on $p = 50$ ja $s = 2$ ning kujutise signaali üleandmiseks vajalik kõrgeim sagedus

$$f_2 = \frac{0{,}75k'z^2p}{2s} = \frac{0{,}75 \cdot 4 \cdot 1{,}13 \cdot 625^2 \cdot 50}{3 \cdot 2 \cdot 2} = 5{,}5 \cdot 10^6 \text{ MHz}.$$

Pildi teravus piki ridu. Eespool oli eeldatud, et pildi teravus on horisontaal- ja vertikaalsihis ühesugune. Selle saavutamiseks oligi pildielemendiks valitud ruut. Niisuguste pildielementide üleandmisel peaks saatetoru väljes tekkima ruudukujuline laine. Selle tingimuse täitmiseks peaks elektronkiire ristlõige olema lõpmatult väike. Tegelikult aga on pildilaotust tekitaval elektronkiirel nii saatetorus kui ka kineskoobis teatav kindel ristlõige, mida nimetatakse laotuselemendiks. Kui saatetorus laotuselemendi serv sattub üleantavale valgele pildielemendile (joon. 2-16), tekib esialgu nõrk signaal. Laotuselemendi edasiliikumisel pinge toru väljes tõuseb ja kui ta täielikult on jõudnud valgele pinnale, siis saavutab väljepinge oma suurima väärtuse. Laotuselemendi lahkumisel valgelt pinnalt ei alane pinge saatetoru väljes nullväärtuseni samuti mitte silmapilkselt, vaid teatava aja jooksul.



Joon. 2-16. Laotuselemendi mõõtmete mõju televisioonikujutise teravusele horisontaalsihis.

Seega ei tekita laotuselement toru väljes mitte ruudukujulist pingelainet (joon. 2-16, *a*), vaid laugete külgedega laine, mille heledus suureneb punktist x_2 kuni x_4 (joon. 2-16, *b*). Vastuvõtutoru ekraani heleduse muutumine algab hetkel, mil laotuselement jõuab punkti x_2. Seega hakkab ekraani heledus muutuma juba alates punktist x_1. Heledus saavutab maksimaalse väärtuse alles punktis x_5. Niisiis muutub heledus vastuvõtutoru ekraanil joonisel 2-16, *c* kujutatud kõvera järgi.

Kui heleda pildielemendi pikkus x on võrdne rea laiusega ja laotuselemendi läbimõõt on d, siis üleantava impulsi pikkus $x + 2d$. Pildi üleandmiseks maksimaalse kontrastsusega ja nii, et pildielementide servad üksteist ei kataks, tuleb valida laotuselemendi ristlõikeks $0{,}5x$. Teiste sõnadega, on vaja, et laotuselemendi mõõtmed (s. t. saate- ja vastuvõtutoru elektronkiire ristlõige) ei ületaks poolt rea laiust.

Seega näeme, et horisontaalteravus sõltub laotuselemendi ristlõikest, vertikaalteravus aga tema ristlõikest ja ka asetusest.

Televisioonisignaali sageduspiirid. Televisioonitrakti kaudu üleantav kujutis võib olla mitmesugune. Küsimuse lihtsustamiseks käsitleme kolme erijuhtu, nimelt olukordi, mil 1) kujutis on ühtlaselt hall — omades teatud keskmist heledust (joon. 2-17, *a*), 2) tema ülemine pool on valge, alumine aga must (joon. 2-17, *b*), ja 3) ta koosneb mustadest ning valgetest ruutudest (joon. 2-17, *c*)

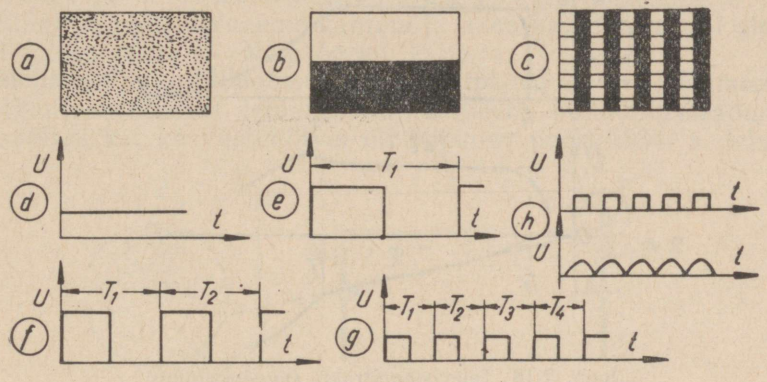
Esimesel juhul on pildipunktid ühtlaselt hallid ja nende vahel puudub kontrastsus. Seetõttu kujutisesignaal vahelduvkomponenti ei sisalda, vaid koosneb ainult pinge alaliskomponendist (eelpingest), mis tekitab vastuvõtjas üleantud kujutise keskmise heleduse. Põhimõtteliselt ei ole kogu televisioonitrakti ulatusel vaja pinge alaliskomponenti üle kanda. Pealegi tekitaks see tehnilisi raskusi. Pinge alaliskomponenti on vaja ainult saatja modulaatori väljes ja vastuvõtutoru juhtelektroodil. Tema taastamist nimetatud kohtades käsitletakse üksikasjalisemalt allpool.

Teisel juhul, mil pildi üks pool on valge ja teine must (joon. 2-17, *b*), saadakse areneva pildilaotuse korral valgest osast püsiv pingeimpulss, pildi must osa aga mingit pinget ei tekita

(joon. 2-17, *e*). Need kaks pingeimpulssi kokku moodustavad ühe perioodi T.

Kui pildisagedus oleks 25 pilti sekundis, kujuneks ühe perioodi kestuseks $T_1 = {}^1/_{25}$ sec ja kujutisesignaali sageduseks $f_1 = 25$ Hz.

Vahelduva pildilaotuse korral aga, mil iga pilt koosneb kahest väljast, moodustab kumbki pildiväli ühe perioodi kestusega vastavalt T_1 ja T_2 (joon. 2-17, *f*). Kuna vahelduva pildilaotuse korral antakse ${}^1/_{25}$ sekundi kestel üle kaks välja, siis kujuneb sel juhul perioodi kestuseks $T = {}^1/_{50}$ sec ja järelikult tekib sel juhul kujutisesignaal sagedusega $f_1 = 50$ Hz.



Joon. 2-17. Televisioonisignaali sageduspiiride selgitamiseks.

Rakendades aga punktivaheldusega pildilaotust, saadakse ühe täispildi üleandmisel neli täisperioodi, igaüks kestusega $T = {}^1/_{100}$ sec ja tekib kujutisesignaal sagedusega $f_1 = 100$ Hz.

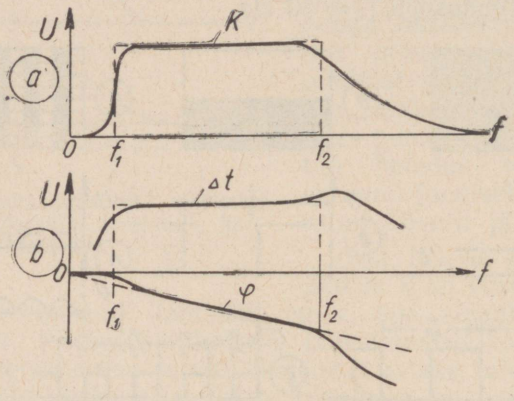
Sagedus f_1 on madalaim sagedus, mida on vaja pildi üleandmiseks. Ühtlasi aga on f_1 vastuvõetud kujutise vilkumissageduseks. Siit näeme, et ühe ja sama pildisageduse korral saadakse vahelduva pildilaotuse puhul kahekordne, punktivaheldusega pildilaotuse puhul aga neljakordne vilkumissagedus, võrreldes areneva laotuse vilkumissagedusega.

Üleantava kujutise kolmanda juhu põhjal (joon. 2-17, *c*) saab selgitada kujutisesignaali kõige suurema sageduse väärtust. Kujutis on valitud selline, et tema igale reale mahub 0,75 *kz* elementi. Selle tulemusena saadakse mõlemas sihis ühesugune teravus.

Saatetoru laotuselemendi üliväikeste mõõtmete korral omaks sellele kujutisele vastav signaal ristkülikuliste impulsside kuju. Need kujutisesignaali impulsid järgnevad üksteisele sagedusega 0,75 nkz^2/s, mis on rea poolt tekitatavate impulsside arvu 0,75 kz/s ja reasageduse (nz) korrutiseks. Tegelikult aga omab laotuselement lõplikke mõõtmeid, mistõttu saatetoru väljes tekkiv kujutisesignaal tunduvalt moonutub, lähenedes oma kujult siinuse-

lisele (joon. 2-17, *h*). Tegelikult piisab ainult mainitud signaali esimese harmoonilise ülekandmisest, mis kujunebki kõrgeimaks ülekantavaks pildisageduseks.

Valem (2-14) määras kõrgema üleantava sageduse, lähtudes vajadusest anda üle ainult pildipunktide põhisagedusi. Seega selleks, et anda üle kujutise üksik pildielement, mille pikkus on samasugune nagu joonisel 2-17, *c* toodud kujutise igal pildielemendil, peab televisioonitrakt läbi laskma sellesama kõrgeima sageduse f_2.



Joon. 2-18. Televisioonitrakti sagedustunnusjoon.

Televisioonitrakt peab laskma võimalikult ühtlaselt läbi kogu sagedusriba piires $f_1 \ldots f_2$. Selleks peaks tema sagedustunnusjoon olema ligikaudu Π-kujuline.

Tegelikul televisioonitraktil aga saab olla vaid Π-kujulisega ligilähedaselt sarnanev sagedustunnusjoon (joon. 2-18). Sagedustunnusjoone sujuv langus suuremate sageduste piirkonnas nullväärtusele ei kahjusta, vaid, vastupidi, isegi soodustab vastuvõetud signaalide põhjal loomutruu kujutise saamist ja osutub seega koguni soovitavaks.

Eeltoodut arvestades peab televisioonitrakt meil kehtiva 625-realise standardi puhul laskma ühtlaselt läbi sagedusriba $50 \ldots 5{,}5 \cdot 10^6$ Hz. Peale selle peab tema lülitus võimaldama alaliskomponendi taastamist.

Lisaks sagedustunnusjoonele mõjutab vastuvõetud kujutise kvaliteeti veel televisioonitraktis tekkiv faasimoonutus. Faasimoonutust ja selle ärastamist käsitletakse viideovõimendajate kirjelduses.

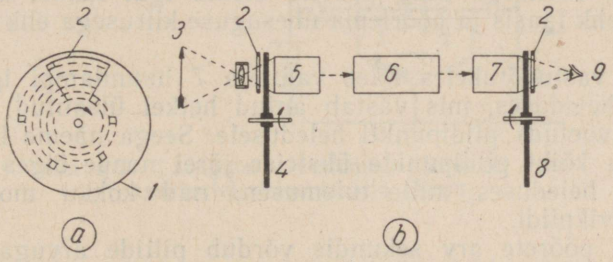
2-5. Pildilaotusseadmed

Liigitelu. Käesoleva teose raamesse ei mahu kõigi seni leiutatud pildilaotusseadmete kirjeldamine. Pealegi ei ole neist paljudel käesoleval ajal enam mingit tegelikku tähtsust. Allpool on kirjeldatud vaid mõnda üksikut pildilaotussüsteemi, millel on olnud televisiooni arengule kõige suurem mõju.

Pildilaotusseadmed jagunevad üldse mehaanilisteks ja elektronilisteks. Kujutisesignaali tekitamise ehk moduleerimise seisukohalt eristatakse viimaste hulgas omakorda amplituud- ja kiirusmoduleerimisega süsteeme.

Kõige esmalt tutvuneme vanima ja üsna kaua kasutusel olnud pildilaotusseadme — Nipkowi kettaga.

Mehaaniline pildilaotusseade — Nipkowi ketas. Esimeseks tegelikult kasutamist leidnud mehaaniliseks pildilaotusseadmeks nii saatjas kui ka vastuvõtjas oli Nipkowi poolt 1884. a. leiuta-



Joon. 2-19. Televisioonikujutise ülekandmine Nipkowi ketaste kasutamisel:

1 — Nipkowi ketas, *2* — piirav raam, *3* — ülekantav objekt, *4* — saateketas, *5* — fotoelement, *6* — sidekanal, *7* — valgusallikas, *8* — vastuvõtuketas, *9* — vaataja.

tud ja tema nime kandev ketas. See põhimõtteliselt võrdlemisi väikest ridadearvu võimaldav pildilaotusseade on äärmiselt lihtne ja seetõttu kasutati teda kuni elektroniliste pildilaotusseadmete ilmumiseni.

Nipkowi ketas *1* valmistati õhukesest terasplekist. Tema serval paikneb spiraaljoonel rida avasid (joon. 2-19). Ketta ees asetseb raam *2*, mis piirab läbi läätsesüsteemi kettale üleantavat kujutist *3*.

Avad paiknevad ketta servas selliselt, et ketta iga asendi puhul on näha ainult ühe ava kohas olev kujutise osa ehk üksainus pildipunkt. Kui ketast pöörata joonisel noolega näidatud suunas, siis liigub kettas olev äärmine ava kujutise ülemisest servast mööda ja muudab punktihaaval nähtavaks esimese pildirea. Niipea kui see ava on raamist möödunud, ilmub raami kohale vasakult järgmine ava, mis paikneb ühe ava kõrguse võrra ketta tel-

jele lähemal. Selle ava liikumisel muutub nähtavaks teine pildirida. Nii kordub see seni, kuni viimane ava teeb nähtavaks ka viimase kõige alumise pildirea. Seega võrdub pildiridade arv avade arvuga kettas.

Nii kantakse ketta ühe pöörde vältel järgemisi kõik pildiread üle teisel pool ketast asetsevale fotoelemendile *5*. Viimasele pääseb ketta iga asendi puhul just niipalju valgust, kui hele on antud hetkel ava ees olev pildipunkt. Fotoelement muundab temale igal hetkel langeva valgusvoo vastava tugevusega elektrivooluks. Sel teel muundub kujutis fotoelemendi abil ketta ühe pöörde vältel teda matkivaks elektrivooluks ehk kujutisesignaaliks.

Saadud kujutisesignaali võimendatakse ja suunatakse siis sidekanali *6* kaudu vastuvõtjas olevasse huumlampi *7*. Viimase ees pöörleb vastuvõtjas samasugune ketas. Huumlambi heledus muutub vastavalt kujutisesignaalile. Saate- ja vastuvõtuketas on omavahel sarnased ning peavad olema igal hetkel ühesuguses asendis ehk faasis ja pöörlema ühesuguse kiirusega ehk sünkroonselt.

Läbi vastuvõtuketta näeb vaatleja *7* huumlampi igal hetkel sellises heleduses, mis vastab antud hetkel üleantud (ja seega ka vastuvõetud) pildipunkti heledusele. Seega näeme läbi vastuvõtuketta kõiki pildipunkte üksteise järel nende õiges asukohas ja õiges heleduses, mille tulemusena nad kokku moodustavad kogu tervikpildi.

Ketta pöörete arv sekundis võrdub piltide arvuga sekundis ehk pildisagedusega.

Koos kujutisesignaaliga antakse üle ka sünkroniseerimissignaal, mis säilitab saate- ja vastuvõtuketaste sünkronismi.

On olnud kasutusel ka teisi mehaanilisi pildilaotusseadmeid, nagu peegelketas, peegelkruvi jm., mille põhimõte suurel määral sarnaneb eelkirjeldatu omaga.

Nipkowi ketta kasutamisel pildilaotusseadmena ilmneb rida puudusi, mis on omased ka kõigile teistele mehaanilistele pildilaotusseadmetele. Need puudused on järgmised:

1) üleantava pildi suurus on piiratud ketta mõõtmetega;

2) ridade arv on piiratud ketta läbimõõduga;

3) vastuvõtjas kujutist tekitav lamp ei ole võimeline andma pooltooni (halli värvust);

4) pildilaotuse kiirus on piiratud mehaaniliselt, olenedes mootori pöörlemiskiirusest;

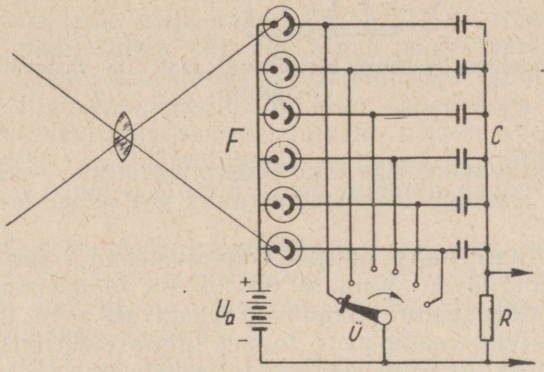
5) optilise süsteemi kasutegur on väike.

Eelmainitud puuduste tõttu mehaanilisi pildilaotusseadmeid tänapäeval enam ei kasutata. Nende asemele on tulnud elektronpildilaotusseadmed.

Elektronpildilaotusseadmed. Esimesed elektronpildilaotusseadmed võeti kasutusele 1907—1908. aastal meie kodumaal

B. Rosingi ja Ameerika Ühendriikides A. Campbell-Swintoni poolt. Neis kasutati nii saate- kui ka vastuvõtuseadmes elektronkiiretoru.

Esialgu olid elektronpildilaotusseadmed üsnagi ebatundlikud, mistõttu mehaanilised pildilaotusseadmed olid osaliselt kasutusel veel kuni 1937. aastani. Kuid pärast spetsiaalsete saatetorude leiutamist tõrjusid nad mehaanilised pildilaotusseadmed täielikult välja.

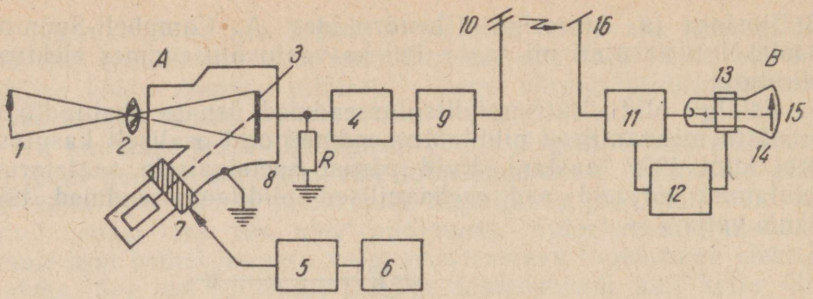


Joon. 2-20. Laengute salvestamise põhimõtet kasutavate televisioonisaatja skeem.

Farnsworthi poolt kasutuselevõetud elektronsaatetoru (vt. joon. 5-1) oli algul väga väikese tundlikkusega, sest kasutati ära ainult osa tema poolläbipaistvale fotokatoodile langevast valgusest. Palju tundlikumaks pildilaotusseadmeks osutus ikonoskoop. Siin kasutatakse ära laengute salvestamise põhimõtet, mida lihtsustatult selgitab joonis 2-20. Ikonoskoobis vastab igale pildipunktile oma fotoelement F koos kondensaatoriga C. Iga kondensaator laadub läbi fotoelemendi vastavalt antud pildipunkti heledusele. Kondensaatori lühistamine lüliti $Ü$ abil tekitab väljes pingeimpulsi, mille amplituud on võrdeline antud pildipunkti heledusega. Kui fotoelementide (pildipunktide) arv on n, siis moodustab ühe fotoelemendi lülitamine $1/n$ kogu pildi üleandmisele kuuluvast ajavahemikust, ülejäänud ajavahemikul toimub kondensaatori laadumine läbi fotoelemendi.

Seega toimub kondensaatori tühjenemine läbi takisti R n korda kiiremini kui tema laadimine ja seetõttu on iga fotoelemendi poolt tekitatud tühjenemisvool (signaalivool) vastavast fotovoolust n korda tugevam. Niisuguse süsteemi toime on samaväärne fotovoolu n korda tugevdamisega takisti vooluringis.

Elektrontelevisiooni põhimõtteskeem on kujutatud joonisel 2-21. Pildilaotusseadmeks kasutatakse siin ikonoskoopi A, kuju-



Joon. 2-21. Televisiooniülekande blokkskeem saate- ja vastuvõtu-elektronkiiretorudega.

tise tekitajaks vastuvõtjas aga elektronkiiretoru — kineskoopi *B*. Lisaks neile sisaldub televisioonitraktis veel üleande- ja abiseadmeid.

Ese *1* projitseeritakse optilise läätsesüsteemi *2* abil ikonoskoobi nn. fotomosaiigile *3*. Viimase üliväikeste fotoelementide juurde kuuluvad kondensaatorid laaduvad vastavalt neid tabanud valgusvoole. Hälvitusseadmete *7* toimel liigub elektronkiir *8* järgemööda üle mosaiigi kõigi elementide ja vabastab neile kogunenud laengud. Sellest tingitult tekitavad fotomosaiigi elementide tühjenemisvoolud takistil *R* signaalipinge, mis jäljendab elementidele langevaid valgusvooge.

Saadud kujutisesignaali võimendatakse võimendajas *4* ja siis suunatakse see ultralühilaine saatjasse *9*, mis kiirgab selle signaali antenni *10* kaudu elektromagnetilise väljana ruumi.

Vastuvõtja antenn *16* püüab kujutisesignaali kinni, misjärel seda võimendatakse võimendajas *11*. Nüüd suunatakse kujutisesignaal vastuvõtutoru tüürelektroodile, mis tüürib elektronkiire voolu. Viimase muutmine kutsub kineskoobi ekraanil esile heleduse muutused, mille tagajärjel seal tekib üleantud kujutis.

Eespool kirjeldatud pildilaotuse põhimõttest teame, et lülitid *1* ja *3* (vt. joon. 2-4, *a*) peavad liikuma sünkroonselt. Elektrontelevisioonis vastab lülitile *1* saatetoru (ikonoskoobi) elektronkiir ja lülitile *3* kineskoobi elektronkiir. Kujutise üleandmiseks on vaja, et saate- ja vastuvõtutoru elektronkiir liiguksid sünkroonselt.

Elektronkiirte sünkroniseerimiseks kasutatakse sünkroniseerimisgeneraatorit *6*, mis tüürib vastavaid hälvitusgeneraatoreid *5*. Viimaste väljepingega tüüritakse saatetoru elektronkiirt.

Sünkroniseerimisgeneraator annab sünkroniseerimissignaale otseselt saateseadmetele. Ühtlasi aga kantakse need koos kujutisesignaaliga üle vastuvõtjasse, kus nad tüürivad kineskoobi elektronkiire hälvitusgeneraatorite tööd.

Nagu juba teada, on vaja reasünkroniseerimis- ning reakustutusimpulsse ja samuti ka pildisünkroniseerimis- ning pildikustutusimpulsse. Arusaadavalt peab reasünkroniseerimis- ja reakustutusimpulsside sagedus võrduma reasagedusega 15 625 Hz.

Vahelduva pildilaotuse puhul kantakse üle 50 pildivälja sekundis, seega peab pildisünkroniseerimis- ja pildikustutusimpulsside sagedus olema 50 Hz.

Samuti nägime, et kui vahelduva pildilaotuse korral (vt. joon. 2-7) raster sisaldab paaritu arvu pildiridu, peab üks pildirida jagunema kahe välja vahel, sest paaritute ridade väli lõpeb poolel real, paarisridade väli aga algab poolelt realt. Selle tagamiseks on vaja kahekordse reasagedusega sünkroniseerimisimpulsse, s. t. sünkroniseerimisimpulsse sagedusega $2 \times 15\,625 = 31\,250$ Hz. Neid impulsse nimetatakse *ühtlustusimpulsideks*, sest neid lähetatakse enne ja pärast pildisünkroniseerimisimpulsse ning nad ühtlustavad realaotusgeneraatorite tegutsemisrütmi.

Kõigi sünkroniseerimissignaalide lähte- ehk algsageduseks on ühtlustusimpulsside sagedus, mille jagamisel sünkroniseerimisgeneraatoris kahega saadakse reasagedus ja jagamisel 625-ga saadakse pildisagedus 50 Hz.

Joonisel 2-11 oli toodud Nõukogude Liidus kasutatava televisioonisignaali kuju. Peale meil kehtiva esineb ka teistsuguseid laotusstandardeid, kuid elektronseadmete seisukohast erinevad nad siiski üksteisest vähe. Ajakohased elektrontelevisiooni seadmed peavad tekitama sellist küllalt keerulist standardset televisioonisignaali äärmise täpsusega (ajaline ebatäpsus ei tohi ületada 0,05 μsec).

Püütakse aga luua ka teistsuguseid televisioonisüsteeme, mis ei nõuaks nii keerukaid ja täpseid sünkroniseerimisseadmeid.

Järgnevalt vaatlemegi ühte neist pildilaotusviisidest, mis on juba leidnud ka mõningat tegelikku kasutamist.

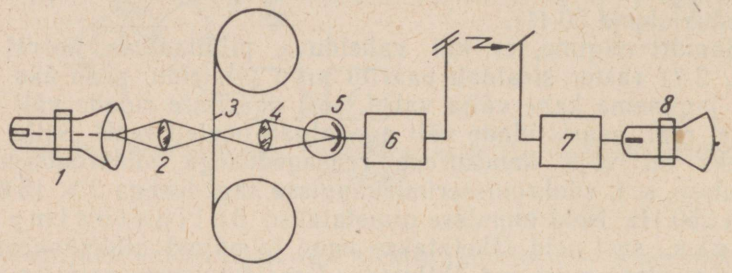
Kujutise üleandmine jooksevkiirega. Kujutise üleandmiseks jooksevkiirega kasutatakse nii saate- kui ka vastuvõtuseadmes kineskoopi (joon. 2-22).

Saatjas leiduva kineskoobi *1* ekraanile tekitatud valgustäpp teravustatakse objektiivi *2* abil filmile *3*. Film laseb valgust läbi vastavalt sellele kantud kujutise üksikute pildipunktide heledusele. Teda läbiv valgus koondatakse kondensori *4* abil ja suunatakse fotoelemendile *5*. Selle tulemusena sõltub fotoelemendi väljepinge iga antud pildipunkti puhul viimase heledusest. Fotoelemendi väljepinge kantakse pärast võimendamist saateaparatuuris *6* sidekanali kaudu vastuvõtjasse *7*. Siin muudetakse kujutisesignaal kineskoobis *8* kujutiseks tavalisel viisil. Saate- ja vastuvõtukineskoobi elektronkiir peavad liikuma sünkroonselt.

Samal põhimõttel on võimalik levitada ka elavsaateid (näiteks stuudiosaateid). Sel juhul teravustatakse saatekineskoobi

TRU Raamatukogu

ekraanil tekitatud valgus objektile, kust ta satub fotoelementi mitte objekti läbides, nagu filmi puhul, vaid objektilt peegeldumise teel. Kõrvalist valgustust sel juhul saatepaigas olla ei või, sest sel juhul poleks fotoelemendi väljepinge enam võrdeline pildipunktide heledusega.



Joon. 2-22. Jooksva kiirega televisioonisüsteem.

Kujutise kvaliteetseks üleandmiseks on vaja, et saatekineskoop rahuldaks järgmisi nõudeid.

1) ekraani heledus peab olema suur;

2) elektronkiir peab olema hästi teravustatud kogu rastri ulatuses;

3) anoodpinge peab olema stabiilne, et heledus ega rastri mõõtmed ei muutuks;

4) ekraani järelhelendus peab olema väike;

5) ekraan peab olema rastri ulatuses lame;

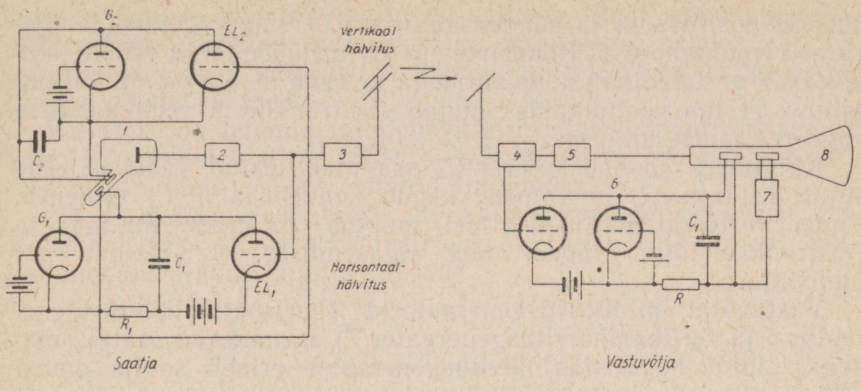
6) ekraani luminofoor peab olema võimalikult peeneteraline;

7) pildi formaat ei tohiks olla suurem kui 6 × 9 cm, et saavutada küllaldast rastri heledust.

Kirjeldatud süsteem on eriti sobiv filmisaate levitamiseks, kuna jooksevkiire puhul pole vaja filmi hüppelist liikumist (nagu kinos), vaid teda võib nihutada edasi sujuvalt.

Pildilaotus kiirusmoduleerimisega. Seni käsitletud pildilaotussüsteemides sõltus elektronkiire vool saatetorus pildipunkti heledusest. Samuti sõltus kujutise vastuvõtul pildipunkti heledus kineskoobi ekraanil kineskoobi elektronkiire voolust. Kujutise üleandmisel kiirusmoduleerimisega püsib elektronkiire vool nii saatetorus kui ka kineskoobis jäävana. Pildipunktide heleduse muutus saavutatakse elektronkiire liikumiskiiruse muutmisega ekraanil.

Pildi heledate punktide kohal liigub elektronkiir aeglaselt, tumedate kohal aga kiiresti. Seega peavad nii saate- kui ka vastuvõtutoru elektronkiir muutma oma kiirust vastavalt kujutise kontrastsusele. See nõuab saate- ja vastuvõtutoru elektronkiire hälvitusseadmete ühendamist sidekanalite kaudu.



Joon. 2-23. Kiirusmodulatsiooniga televisioonisüsteem.

Kiirusmoduleerimisel põhineva pildilaotuse paremusteks on asjaolud, et 1) puudub vajadus tekitada sünkroniseerimisimpulsse, ja 2) kummagi elektronkiire vool võib kogu pildi üleandmise vältel säilitada suurimal tugevusel, mis annab võimaluse saavutada ekraanil suure heleduse.

Selle laotusviisi puudustena aga tuleb mainida seda, et 1) pildi kontrastsuse ulatus on piiratud, sest elektronkiirele pole võimalik anda küllalt suurt liikumiskiirust ekraanil, et saada täiesti tumedaid pildipunkte, ja 2) kujutise geomeetrilised moonutused põhjustavad ka heleduse moonutusi, kutsudes esile pildipunkti ruumilise äranihkumise.

Joonisel 2-23 on kujutatud kiirusmoduleerimisel põhineva televisioonisüsteemi lihtsustatud skeem. Saatetoruna kasutatakse ikonoskoopi *1*. Viideovõimendaja *2* sisend on ühendatud ikonoskoobi signaalplaadiga, viimase välje aga saatjaga *3*. Kiirusmoduleerimine saavutatakse järgmisel teel. Võimendatud kujutisesignaal suunatakse elektronlambi EL_1 võrele sellise polaarsusega, et kujutise tumedale alale vastav signaal muudab elektronlambi EL_1 võre pinge positiivsemaks ja elektronlambi EL_1 anoodvool tugevneb. Ikonoskoobi horisontaalhälvitusplaatidega on rööbiti ühendatud kondensaator C_1. Seega on plaatide pinge ja ka elektronkiire hälbenurk võrdelised kondensaatori laenguga. Kondensaator laadub elektronlambi EL_1 anoodvoolust ja elektronkiire hälbimise kiirus, s. t. laotuselemendi kiirus on võrdeline kujutisesignaaliga, olles suur, kui signaali on tekitanud kujutise tume ala, ning väike, kui signaali on tekitanud hele ala. Tiratron G_1 on samuti ühendatud rööbiti kondensaatoriga C_1 ja kui viimase pinge tõuseb teatud väärtusele, siis tiratron süttib ning kondensaator C_1 tühjendub läbi tiratroni, viies elektronkiire selle algasendisse. Tühjendumisvool, läbides takisti R_1, muudab elektronlambi EL_2 võre

hetkeks positiivseks ja kondensaatorisse C_2 suundub teatud tugevusega vooluimpulss. Kondensaator C_2 on ühendatud rööbiti ikonoskoobi vertikaalhälvitusplaatidega ja tema mahtuvus on valitud selline, et iga vooluimpulss annab elektronkiirele vertikaalhälbe kogu rea laiuse ulatuses.

Kui laeng kondensaatoris C_2 saavutab teatud väärtuse, siis süttib tiratron G_2 ja viimase kaudu kondensaator C_2 tühjeneb. Pinge vertikaalhälvitusplaatidel muutub võrdseks nulliga ja elektronkiir liigub tagasi oma algasendisse, et alustada uut pildivälja.

Vastuvõtja pildilaotusgeneraatorid (horisontaalhälvitusgeneraator *6* ja vertikaalhälvitusgeneraator *7*) sarnanevad saatja omadega, ainult horisontaalhälvitusgeneraator erineb saatja omast selles, et kondensaator C_1 tühjendub saatjast saabuva signaaliimpulsi toimel. Samuti tekitab ka vertikaalse tagasiliikumise saatjast saabuv impulss. Kiirusmodulatsiooni vastuvõtja kõrgsagedusosa *4* ja toiteosa *5* sarnanevad hariliku vastuvõtja omadega.

Üleantav sagedusriba peab siin olema sama lai nagu areneva pildilaotuse puhul. Saadete levitamiseks filmilt on sobiv rakendada kiirusmoduleerimist koos jooksevkiire põhimõttega.

Kaks viimati kirjeldatud süsteemi on leidnud tegelikku kasutamist tööstuslikus televisioonis.

2-6. Värviline ja ruumiline televisioon

Senini peeti kujutise jaotamisel pildipunktideks silmas ainult seda, et viimased erinevad üksteisest heleduselt, mispuhul nad antakse üle hallides toonides mustast kuni valgeni. Sugugi ei arvestatud aga pildipunktide värvust.

Kolmevärvilise nägemisteooria järgi on võimalik koostada kolmest värvusest — sinisest (B), rohelisest (G) ja punasest (R) — peaaegu kõik spektrivärvused. Seepärast ongi värviliste kujutiste üleandmiseks võetud kasutusele kolm eelnimetatud põhivärvust, mis moodustavad värvitooni.

Teame, et värvuse täielikuks määramiseks on vaja peale *värvitooni* (R, G, B) teada veel värvuse *küllastusastet* ja *heledust* ehk suhtelist eredust, sest värvus võib olla tumedam või heledam.

Seepärast on värvilise kujutise ülekandmisel vaja peale värvuse üle kanda ka pildi heledus.

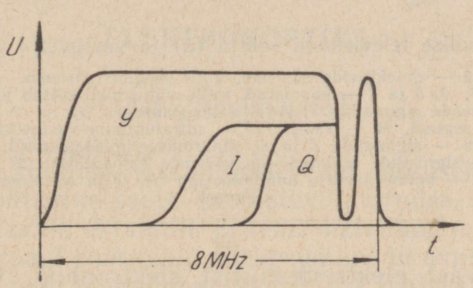
Seega oleks värvilise kujutise ülekandmiseks vaja kasutada nelja signaali: kolme värvuse ja üht heleduse signaali. Kuid nelja signaali samaaegne ülekanne vajab laiemat sagedusriba kui ainult must-valge kujutise puhul.

Kaasaja värvilise televisioonikujutise ülekandmise tingimuseks on see, et teda peab olema võimalik vastu võtta must-valget

kujutist andva televiisoriga must-valgena, kuid värviline televiisor peab võimaldama must-valge kujutisega saadet jälgida must-valgena, s. t. värvilise ja must-valge televisiooni standardid peavad olema võrdsed.

Kasutust on leidnud mitmed värvilise televisiooni süsteemid, kuid levinum neist on nn. NTSC — värvilise televisiooni süsteem [1], sest ta rahuldab eespool esitatud tingimused.

NTSC-süsteemis kantakse üle kolm signaali: heleduse ehk Y-signaal, kaks värvuse signaali ehk I-signaal ja Q-signaal, millest moodustatakse kujutise värvus.



Joon. 2-24. Värvilises televisioonis ülekantav sagedusriba.

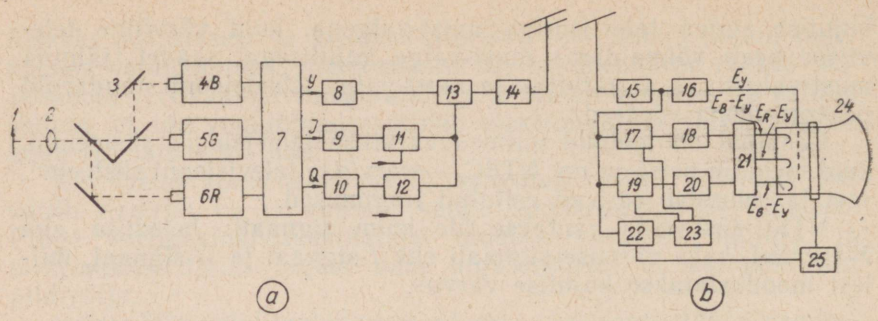
Selles süsteemis leiavad kasutamist silma tundlikud omadused värvuste suhtes ja ülekantava sagedusriba diskreetsus, mis võimaldavad värvilist ülekandesüsteemi lihtsustada.

Katseliselt on leitud, et inimsilm väikeste esemete värvust ei eralda, seepärast kantakse väikesed detailid üle must-valgetena ja suured pinnad värvilistena. Nii kantakse heleduse signaaliga üle kõik sagedused ning I- ja Q-signaaliga madalamad sagedused.

Samuti on teada, et harilik must-valge televisiooni signaali ülekandmisel pole televisioonisignaali sagedus pidev (nullist kuni 8 MHz), vaid ülekantav energia on koondatud rea- ja pildisageduse põhi- ja harmoonilistele sagedustele (diskreetsus), jättes nende vahele vaba ruumi. Seetõttu osutub võimalikuks I- ja Q-signaali energia paigutamine Y-signaali vahemikesse. Joonisel 2-24 on kujutatud Y, I ja Q sagedusribad. Samalt jooniselt näeme, et must-valge sagedusriba laiusega on võimalik värvilist kujutist üle kanda.

Joonisel 2-25, *a* on toodud värvilise NTSC-süsteemi saatja põhimõtteline lahterskeem. Kineskoobi ekraan on valmistatud kolmevärvilistest (*RGB*) luminofooritäpikestest, millele juhitakse

[1] NTSC — National Television System Committee.



Joon. 2-25. Värvilise televisiooni saatja (*a*) ja vastuvõtja (*b*) lahterskeem:

1 — ülekantav ese, *2* — objektiivide süsteem, *3* — peeglite süsteem, mis lahutab valguse värvusteks *R*, *G* ja *B*, *4*, *5* ja *6* — kaamerad, mille väljepinge sõltub vastava värvuse väärtusest, *7* ... *10* — seade signaalide *Y*, *I* ja *Q* koostamiseks, *11* ja *12* — signaalide *I* ja *Q* modulaatorid, *13* — segusti, *14* — saatja, *15* — ultralühilaine-vastuvõtja, *16* — võimendaja ja viivislüli, *17* ja *19* — signaalide *I* ja *Q* sünkroniseerimisdetektorid, *18* ja *20* — filtrid, *21* — seade heleduse signaalide eraldamiseks värvuste signaalidest, *22* — signaali eraldaja, *23* — faasimuutja, *24* — kolmevärvilise luminofooriga (*R*, *G* ja *B*) kineskoop, *25* — hälvitusseadmed.

kolmest vastavast elektronkahurist elektronkiir. Värvilise luminofooritäpikese heledus oleneb vastava elektronkahuri kiire tugevusest, elektronkahuri kiire tugevus aga vastava kaamera väljepingest. Seega on võimalik värvilist kujutist moonutamatult üle kanda.

Stereoskoopilise ehk ruumilise televisiooni kujutise ülekandmine on seni televisioonitehnikas veel vähe rakendamist leidnud, kuid televisiooni kasutamine tööstuses ja teaduses nõuab, et ekraanile ilmuv pilt annaks ka ruumilise kujutise. Seetõttu leiab tööstuslikus televisioonis järjest rohkem kasutamist värviline ruumiline televisioon.

Looduses näeme esemeid kahe silmaga. Selle tulemusena saame igast esemest kujutised kahe erisuguse nurga all, mis liitudes loovadki esemest ruumilise tervikkujutise.

Stereoskoopilises televisioonis kantakse objekt üle kahe kaameraga (nagu kahe silmaga vaadates). Vastuvõtjas on vaja samuti kahte kineskoopi, mis projitseerivad kujutise üksteisest nihutatuna, mille tõttu saame esemest kauguse või ruumilise mulje.

III PEATÜKK

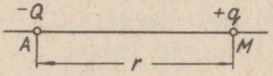
ELEKTRONOPTIKA

3-1. Põhimõisted

Loomutruu kujutise ülekandmisel on oluliseks küsimuseks elektronkiire juhtimine saate- ja vastuvõtutorudes, s. o. kiire teravustamine vastavale ekraanile ja tema hälvitamine selliselt, et ta kataks selle ekraani rida-realt. Elektronkiire teravustamine ja hälvitamine omab televisioonitehnikas põhilist tähtsust. Elektronkiire juhtimine toimub elektri- ja magnetvälja abil, seepärast käsitlemegi käesolevas peatükis elektroni liikumist elektri- ja magnetväljas.

Kahe erineva potentsiaaliga laetud keha vahelises ruumis tekib eriolukord, mis avaldub selles, et seal asuvale elektrilaengule mõjub jõud. Seda eriolukorda nimetatakse *elektrivälja*ks.

Elektrivälja tugevus mingis punktis võrdub sellesse punkti asetatud positiivsele ühiklaengule mõjuva jõuga düünides. Elektrivälja tugevus on vektorsuurus, sest jõud omab nii suurust kui ka suunda.



Joon. 3-1. Elektrilaengute vaheline jõud.

Olgu punktis A (joon. 3-1) laeng $+Q$ LÜ (laenguühikut) ja mingis teises punktis M kaugusel r cm laeng $+q$ LÜ, siis väljendab nende laengute vahelist jõudu F valem

$$F = \frac{Qq}{r^2} \text{ dyn} \qquad (3\text{-}1)$$

ja elektrivälja tugevus E punktis M

$$E = \frac{F}{q} = \frac{Q}{r^2} \frac{\text{dyn}}{\text{LÜ}}. \qquad (3\text{-}2)$$

Kui laengu q väärtuseks on 1 LÜ, siis elektrivälja tugevus

$$E = \frac{F}{1} = F,$$

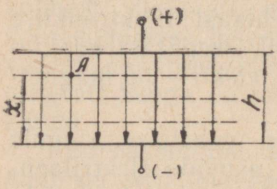
s. o. elektrivälja tugevus võrdub jõuga, mis mõjub ühe laengu-ühikuga võrdsele laengule ehk nn. ühiklaengule.

Elektrivälja kujutatakse piltlikult jõujoontega, mis asetsevad väljas laengule mõjuva jõu sihis.

Kahe paralleelse laetud plaadi vahel asub ühtlane elektriväli E. Seal asuvale positiivsele laengule q mõjub jõud F, mis on suunatud positiivselt plaadilt negatiivsele:

$$F = qE. \qquad (3\text{-}3)$$

Siin on väljajooned sirged ja suunatud positiivselt plaadilt negatiivsele (joon. 3-2).



Joon. 3-2. Ühtlane potentsiaaliväli kahe juhtiva laetud plaadi vahel.

Teadust, mis käsitleb valguskiirte omadusi, nimetatakse optikaks. Elektronoptikaks nimetatakse teadust, mis uurib elektroni käitumist elektri- või magnetväljas.

Elektronoptikas iseloomustatakse elektrivälja tema üksikute punktide potentsiaali kaudu. Kahe punkti vaheline potentsiaal võrdub tööga, mis on vajalik ühiklaengu viimiseks ühest punktist teise.

Potentsiaal on skalaarne suurus, sest tal puudub suund. Näiteks ühiklaengu viimiseks negatiivselt plaadilt positiivsele plaadile (joon. 3-2) tehakse tööd, mis teatavasti võrdub jõu (käesoleval juhul E) ja teepikkuse, s. o. plaatidevahelise kauguse h korrutisega:

$$U = Eh. \qquad (3\text{-}4)$$

U on järelikult plaatidevaheline potentsiaal ehk positiivse plaadi pinge negatiivse plaadi suhtes.

Seosest (3-4) leiame elektrivälja tugevuse plaatide vahel:

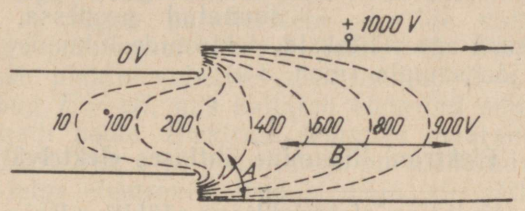
$$E = \frac{U}{h}. \qquad (3\text{-}4a)$$

Kui näiteks plaatidevaheline pinge on 1000 V ja nende vahekaugus 5 cm, siis elektrivälja tugevus

$$E = \frac{1000}{5} = 200 \frac{\text{V}}{\text{cm}}.$$

Kui valime kahe pingestatud plaadi vahel punkti A, mille kaugus negatiivsest plaadist on x cm, siis valemi (3-4) kohaselt on selle punkti potentsiaal Ex. Kõik teised punktid, mis asuvad plaatide vahel negatiivsest plaadist kaugusel x, omavad sama potentsiaali Ex ja moodustavad kujuteldava tasapinna. Sellist tasapinda, mille kõigil punktidel on ühesugune potentsiaal, nimetatakse ekvipotentsiaalipinnaks. Ekvipotentsiaalipinnad vastavad joonisel 3-2 kujutatud kriipsjoontele.

Kui elektrilaeng liigub piki ekvipotentsiaalipinda, siis ta tööd ei tee. Piki seda pinda elektriväli ei mõju ja elektrivälja tugevuse vektor on ekvipotentsiaalipinnaga risti.



Joon. 3-3. Elektriväli kahe erineva läbimõõduga juhtiva silindri vahel.

Elektronoptika käsitab elektrivälja sageli ekvipotentsiaalipindade kogumikuna. Need pinnad on ühtlase välja puhul harilikult paralleelsed tasapinnad. Kuid sageli kujutavad ekvipotentsiaalipinnad kõverpindu. Nii kujutab joonis 3-3 kahe koaksiaalse erineva läbimõõduga sidendi vahelist elektrivälja.

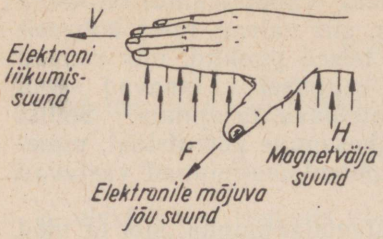
Jooniselt 3-3 näeme, et piirkonnas B, kus ekvipotentsiaalipindade-vaheline kaugus on suurem, on väljatugevus väiksem kui punktis A, kus ekvipotentsiaalipinnad asuvad tihedamalt.

Magnetväljaks nimetatakse piirkonda, kus avalduvad magnetilised jõud. Magnetvälja tugevust tähistatakse tähega H ja tema mõõtühikuks on örsted (Oe). Magnetväljatugevus H on üks örsted (Oe), kui magnetväli mõjub ühikpoolusele[1] jõuga üks düün. Magnetvälja tugevus on vektorsuurus, sest teda iseloomustab peale väärtuse ka suund.

Kui vooluga juhe või liikuv laeng asetseb magnetväljas, siis mõjub temale jõud, mis on risti magnetväljaga. Liikuvale laengule mõjuv jõud F on võrdeline väljatugevusega, laenguga, selle liikumiskiirusega ja samuti ka liikumissihi ning magnetvälja vahelise nurga Θ siinusega:

$$F = \frac{1}{10} Hev \sin \Theta, \qquad (3\text{-}5)$$

[1] Ühikpooluseks nimetatakse poolust, mis teist temaga võrdse tugevusega poolust mõjutab 1 cm kaugusel vaakuumis 1-düünise jõuga.



Joon. 3-4. Elektroni liikumissuuna määramine.

kus H on magnetvälja tugevus örstedites,

e — laeng kulonites,

v — laengu liikumiskiirus cm/sec.

Laengule mõjuv jõud E on alati risti tasapinnaga, mis läbib magnetvälja ja elektroni liikumissihti. Kui parem käsi asetada nii, et magnetvälja jooned oleksid suunatud peopessa, käe väljasirutatud sõrmed aga näitaksid elektronide liikumise suunda, siis osutab pöial jõu suunda (joon. 3-4).

3-2. Elektroni liikumine ühtlases elektriväljas

Elektroni algsiht on elektriväljaga rööbiti. Kui elektron asub ühtlases elektriväljas tugevusega E, siis mõjub talle jõud $F = -Ee$ elektriväljale vastassuunas, s. o. positiivse potentsiaali suunas. Selle jõu mõjul liikudes saab elektron massiga m kiirenduse (vastavalt Newtoni seadusele $F = ma$)

$$a = \frac{F}{m} = -\frac{Ee}{m}. \tag{3-6}$$

Kui elektroni algkiirus võrdus nulliga ja ühtlane elektriväli tugevusega E mõjus aja t kestel, siis selle aja t lõpuks saavutab elektron kiiruse

$$v = at.$$

Kui avaldada sellest seosest aeg t ja asendada kiirendus a avaldisega (3-6), saame:

$$t = \frac{v}{a} = \frac{mv}{Ee}. \tag{3-7}$$

Füüsikast on teada, et aja t jooksul läbib keha ühtlase kiirendusega a teepikkuse

$$s = \frac{1}{2}at^2. \tag{3-8}$$

Asetades a ja t väärtused valemitest (3-6) ja (3-7) valemisse (3-8), saame pärast teisendusi:

$$Ese = \frac{1}{2}mv^2.$$

Valemi (3-4) põhjal on Es võrdne potentsiaalivahega U, mida läbis elektron. Seega on elektroni kineetiline energia võrdeline tema poolt läbitud potentsiaalivahega U:

$$\frac{1}{2}mv^2 = eU. \tag{3-9}$$

Sellest valemist 3-9 on määratav elektroni kiirus v pärast potentsiaalivahe U läbimist:

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}. \tag{3-10}$$

Kuna elektroni mass $m = 9\,107 \cdot 10^{-28}$ grammi ja laeng $e = 4 \cdot 7\,710^{-10}$ absoluutset elektrostaatilist ühikut, siis

$$v = 5{,}93 \cdot 10^7 \sqrt{U} \text{ cm/sec}. \tag{3-11}$$

Elektroni algsiht on elektriväljaga risti. Oletame, et elektron algkiirusega v_0 liigub paralleelsete plaatide vahele sihis x. Plaadid omagu potentsiaalivahet U (joon. 3-5). Jõudnud plaatide vahele, hakkab plaatidevahelises elektriväljas $E = U/s$ mõjuma elektronile jõud $F = eE$, mis kallutab elektroni sihist x kõrvale positiivse plaadi poole. Elektroni lennutee määramiseks paigutame koordinaatteljed x ja y nii, nagu on näidatud joonisel 3-5. Kuna piki x-telge elektronile jõud ei mõju, siis jätkab ta selles sihis liikumist ühtlase kiirusega ja jõuab aja t pärast kaugusele

$$x = v_0 t. \tag{3-12}$$

Elektroni kaldumine positiivse plaadi poole sama aja t jooksul on leitav valemite (3-6), (3-7) ja (3-8) abil:

$$y = \frac{eE}{2m}t^2. \tag{3-13}$$

Väljendanud valemis (3-13) aja t seosest (3-12) leitud avaldisega, saame:

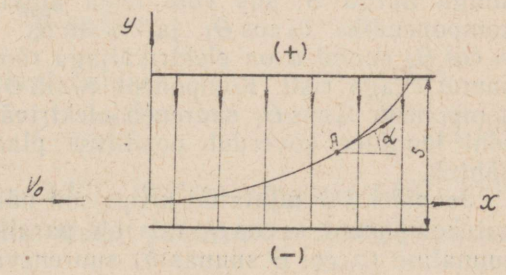
$$y = \frac{eEx^2}{2mv_0^2}. \tag{3-14}$$

Valemi (3-10) põhjal

$$v_0^2 = \frac{2eU_0}{m},$$

s. o. elektron läbis enne plaatide vahele jõudmist potentsiaalivahe U_0. Asetanud valemisse (3-14) v_0 avaldise, saame:

$$y = \frac{E}{4U_0}x^2. \tag{3-15}$$



Joon. 3-5. Elektroni liikumine ühtlases elektriväljas, kui elektroni algsiht on elektriväljaga risti.

Tähistanud $E/4U_0 = k$, omandab elektroni liikumise võrrand (3-15) kuju:

$$y = kx^2. \qquad (3\text{-}15a)$$

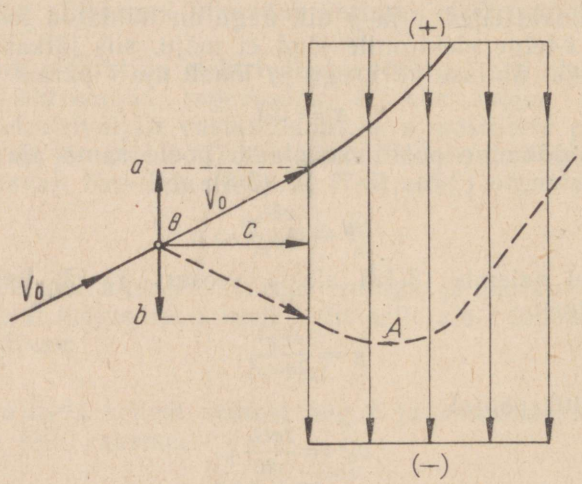
Võrrandist (3-15a) selgub, et elektroni liikumistee on paraboolikujuline.

Elektroni siht tema paraboolse tee mingis punktis A kaugusel x moodustab esialgse sihiga nurga α (joon. 3-5), kusjuures

$$tg\,\alpha = \frac{dy}{dx} = \frac{Ex}{2U_0} \qquad (3\text{-}16)$$

kus dy/dx on parabooli tõus kaugusel x.

Elektroni algsiht moodustab elektriväljaga nurga Θ. Kui elektron siseneb elektrivälja sihis, mis moodustab elektrivälja



Joon. 3-6. Elektroni liikumine ühtlases elektriväljas, kui elektroni algkiirus moodustab elektriväljaga nurga Θ.

sihiga nurga Θ, siis võib tema algkiiruse v_0 lahutada kaheks komponendiks $v_0 \cos \Theta_1$ ja $v_0 \sin \Theta_1$ (joon. 3-6). Komponendi $v_0 \cos \Theta_1$ suund a on elektriväljaga rööbiti, komponendi $v_0 \sin \Theta_1$ suund c aga risti. Komponent $v_0 \sin \Theta_1$ jääb konstantseks, kuna komponent $v_0 \cos \Theta_1$ suureneb elektrivälja toimel, mistõttu elektroni lennutee kõverdub positiivse plaadi poole, nagu jooniselt nähtub.

Joonisel 3-6 kujutatud kriipsjoon näitab elektroni liikumisteed, kui komponent $v_0 \cos \Theta$, mis oli paralleelne väljaga, on vastassuunaline ($v_0 \cos \Theta$ suunas b) suureneva positiivse potentsiaaliga.

See komponent väheneb kuni punktini A, kus ta muutub võrdseks nulliga, muutub siis vastupidiseks ja elektron hakkab lähenema positiivsele plaadile.

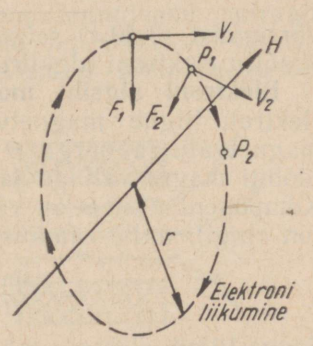
3-3. Elektroni liikumine ühtlases magnetväljas

Elektroni algsiht on magnetväljaga rööbiti. Kui elektron liigub magnetvälja kiirusega v_0 ja rööbiti magnetvälja jõujoontega, s. o. kui $\Theta = 0°$, siis jõud

$$F = \frac{1}{10} Hev \sin \Theta = 0. \qquad (3\text{-}17)$$

Seega magnetväli antud juhul elektronile mingit mõju ei avalda ja elektron ei muuda oma liikumissihti ega kiirust.

Elektroni algsiht on magnetväljaga risti. Valemist (3-17) selgub, et elektronile mõjuv jõud on maksimaalne, kui $\Theta = 90°$, s. t. kui elektron liigub risti magnetvälja jõujoontega. Joonisel (3-7) kujutab nool v_1 elektroni esialgset liikumissihti ja H magnetvälja sihti. Magnetvälja ja elektroni vastastikusel toimel tekib jõud sihis F_1, mille mõjul elektron kallutatakse punkti P_1. Selles punktis on elektroni kiirus v_2 ja magnetvälja toimel tekib jõud F_2, mille mõjul elektron kallutatakse punkti P_2. Nii hakkab elektron tema ja magnetvälja vahel mõjuva jõu toimel liikuma mööda ringjoont tasapinnas, mis on risti väljajoontega, kiirusega v_0, millega ta sinna sattus. Magnetväli muudab ainult elektroni liikumissihti, mitte aga tema kiirust.



Joon. 3-7. Elektroni algsiht on magnetväljaga risti.

Elektroni tiirlemisringjoone raadius r kujuneb siinjuures alati selliseks, et tekkiv tsentrifugaaljõud $mv^2/2$ võrdub magnetväljast tekkiva jõuga (valem 3-17). Järelikult:

$$\frac{mv^2}{r} = Hev,$$

millest elektroni tiirlemisringi raadius

$$r = \frac{mv}{He}. \qquad (3\text{-}18)$$

Kuna elektroni mass $m = 9{,}107 \cdot 10^{-28}$ g, laeng $e = 1{,}602 \cdot 10^{-19}$ absoluutset elektromagnetilist ühikut ja kiirus $v = 5{,}93\sqrt{U}$ cm/sec, siis

$$r = 3{,}37 \frac{U}{H} \text{ cm.} \tag{3-19}$$

Valemist (3-19) näeme, et raadius r on seda suurem, mida kõrgem on pinge U või mida väiksem on magnetvälja tugevus H. Kui elektron liigub ringil kiirusega v_0, siis tema tiirlemisperioodi kestus

$$T = \frac{2\pi r}{v_0}. \tag{3-20}$$

Asendanud sellesse raadiuse r avaldise (3-18), saame:

$$T = \frac{2\pi m}{He}. \tag{3-21}$$

Asetanud omakorda sellesse valemisse m ja e arvväärtused, saame:

$$T = \frac{0{,}355 \cdot 10^{-8}}{H} \text{ sec.} \tag{3-20a}$$

Võrrandist (3-20 *a*) selgub, et elektroni tiirlemisperioodi kestus T ei sõltu elektroni algkiirusest v_0.

Elektroni algsiht moodustab magnetväljaga nurga Θ. Kui elektron liigub magnetvälja niisuguses sihis, mis moodustab magnetväljaga nurga Θ (joon. 3-8), siis komponent $v \cos \Theta$ on rööbiti magnetväljaga ja selles sihis magnetväli mõju ei avalda. Komponent $v \sin \Theta$ on väljaga risti ning tema mõjul liigub elektron ringil, mille raadius valemi (3-18) põhjal

$$r = \frac{v \sin \Theta}{H} \frac{m}{e} = 3{,}37 \frac{\sqrt{v \sin \Theta}}{H} \text{ cm.} \tag{3-19a}$$

Seega liigub elektron piki magnetvälja kiirusega $v \cos \Theta$ ja samaaegselt peab joonistama ringjoont raadiusega r. Sellise kahe liikumise tulemusena liigub elektron s p i r a a l s e l t, nagu on näidatud joonisel 3-8. Spiraali «keerud» on nihutatud teatud sammu s võrra. Kui elektroni tiirlemisperiood on T, siis samm

$$s = Tv \cos \Theta. \tag{3-22}$$

Valemi (3-21 ja 3-22) põhjal võime kirjutada:

$$s = \frac{2\pi m v \cos \Theta}{He}. \tag{3-23}$$

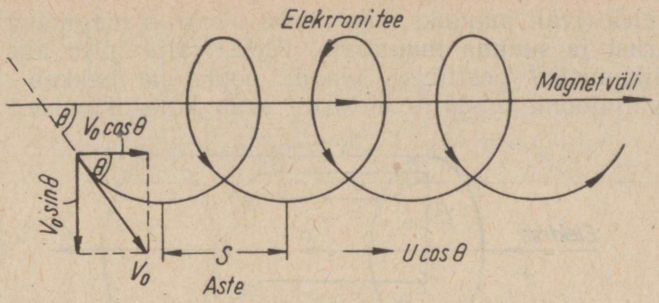
Valemi (3-11) põhjal spiraali samm

$$s = \frac{21{,}2 \sqrt{U \cos \Theta}}{H} \text{ cm,} \tag{3-23a}$$

kus U on elektroni algkiirusele v vastav pinge V,

H — magnetvälja tugevus Oe.

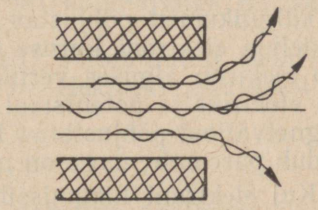
Kui nurk Θ on väike, siis $\cos \Theta \approx 1$ ja valem saab järgmise kuju:



Joon. 3-8. Elektroni liikumise algsiht moodustab magnetväljaga nurga Θ.

$$s = \frac{21{,}2\sqrt{U}}{H}. \qquad (3\text{-}23b)$$

Valemist (3-19a) on näha, et elektroni lennujoone spiraali raadius on seda väiksem, mida väiksem on elektroni kiiruse komponendi $v \sin \Theta$ ja magnetvälja tugevuse H suhe. Seega on



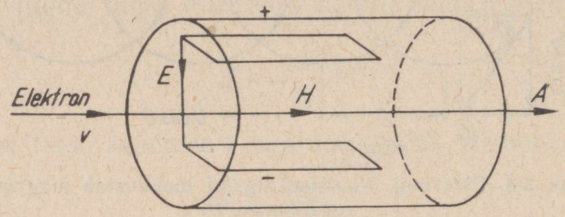
Joon. 3-9. Aeglaste elektronide lennujooned piki magnetvälja jõujooni.

elektroni lennujoon lähemal sellele väljajoonele, mida mööda ta oma liikumist alustas. Väljajoonte kõverdumisel jääb elektroni algkiirus v_0 muutmata ja elektron järgib väljajoonte kõiki kõverdumisi, s. t. elektroni spiraalse lennujoone telg ühtib ühega väljajoontest (joon. 3-9). Järelikult etendavad väljajooned aeglaste elektronide suhtes suunavate kanalite osa, mida mööda need elektronid võivad liikuda.

3-4. Elektri- ja magnetvälja üheaegne toime elektronile

Magnet- ja elektrivälja üheaegne toime elektronile esineb televisiooni saatetorus — ortikonis. Ortikonis on magnetväli rööbiti toru teljega ja elektriväli sellega risti, nagu on näidatud joonisel 3-10. Elektron siseneb väljadesse toru teljega rööbiti.

Kui elektriväli puuduks, siis läbiks elektron magnetvälja ilma oma kiirust ja suunda muutmata. Elektrivälja tõttu aga kaldub tema liikumistee positiivse plaadi poole ja hakkab lõikama magnetväljajooni, mistõttu elektron saab külgliikumise.



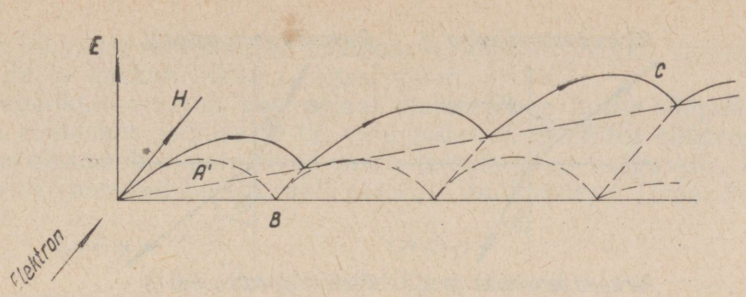
Joon. 3-10. Elektroni liikumine elektri- ja magnetväljas.

Selguse mõttes oletame, et elektroni liikumise kiirus piki toru telge A on null. Selle liikumise võtame arvesse pärast külgliikumise selgitamist.

Kui elektron siseneb välja, siis mõjub temale vertikaalne kiirendus, mida tekitab elektriväli.

Esialgu on sellest põhjustatud kiirus väike ja ühtlasi on väike ka külgliikumist põhjustav jõud, mis sõltub magnetväljast, olles võrdeline elektroni kiiruse vertikaalkomponendiga. Seepärast liigub elektron alguses vertikaalselt ülespoole, suunas, kus suureneb elektrivälja potentsiaal. Kui vertikaalkiirus suureneb, siis ka magnetväljast põhjustatud külgliikumisjõud suureneb, ja elektron kaldub paremale, nagu on näidatud joonisel 3-11 (liikumistee A').

Kui elektroni liikumissiht muutub, siis muudab oma sihti ka hälvitusjõud, mis oleneb magnetvälja sihist, sest hälvitusjõud on alati risti väljaga ja elektroni liikumissihiga. Selline elektroni liikumine on samasugune joonisel 3-7 näidatud liikumisega. Siin püüab elektron samuti liikuda ringjooneliselt, kuid selle tulemusena elektroni liikumissiht muutub vertikaalsest ülespoole suunduvast sihist horisontaalseks ja siis vertikaalselt allapoole suunatuks. Samal ajal kaldub magnetvälja sihist sõltuv paremale suunatud jõud allapoole ja siis lõpuks vasakule. Elektriväli vähendab allapoole suunatud elektroni kiiruse nullini, sest ta pidevalt pidurdab — mõjub elektronile kogu aeg vertikaalselt suunatud pidurdava jõuna. Kui elektron liigub allapoole, siis magnetiline hälvitusjõud ja seetõttu ka elektroni külgliikumise kiirus väheneb. Elektroni kiirus muutub nulliks, kui ta jõuab joonele, millel ta elektri- ja magnetvälja sisenes (punkt B joonisel 3-11). Elektroni kiirus võrdub nulliga ainult hetkeks, sest elektronvälja vertikaalse kiirendava jõu mõjul liigub elektron uuesti ülespoole; seega algab elektronil uus liikumistsükkel. Elektri- ja magnetvälja toimel liikuva elektroni liikumisteed nimetatakse tsükloidiks. Elekt-



Joon: 3-11. Elektroni liikumine teineteisega risti olevas elektri- ja magnetväljas.

roni samaaegse liikumise tõttu piki toru telge kujuneb elektroni tegelik liikumistee selliseks, nagu kujutab kõver *c* joonisel 3-11.

Aeg, mille jooksul elektron teeb ühe tsükli, ei sõltu elektrivälja tugevusest ja on pöördvõrdeline magnetvälja tugevusega *H*. Tsükloidi amplituud on võrdeline elektrivälja tugevusega *E* ja pöördvõrdeline magnetvälja tugevusega *H*.

Kui elektrivälja suund muuta vastupidiseks, siis elektron liigub allapoole ja külghälvitusjõud, mis oleneb magnetväljast, on nüüd suunatud vasakule, s. t. elektroni külghälvitus on vastupidine joonisel 3-11 näidatud suunaga.

Elektroni hälvitussuund joonisel 3-11 sõltub ainult elektri- ja magnetvälja suundadest, kuid ei sõltu elektroni esialgsest liikumissihist.

3-5. Elektron- ja valguskiire vaheline analoogia

Liikugu elektron ühtlaselt potentsiaalipiirkonnast U_1 ühtlase kiirusega v_1, mis on võrdeline $\sqrt{U_1}$, teise konstantsesse potentsiaalipiirkonda U_2 (joon. 3-12). Juhul kui $U_2 > U_1$, siis elektroni kiirus suureneb väärtuseni v_2, kusjuures:

$$\frac{v_2}{v_1} = \sqrt{\frac{U_2}{U_1}}. \qquad (3\text{-}24)$$

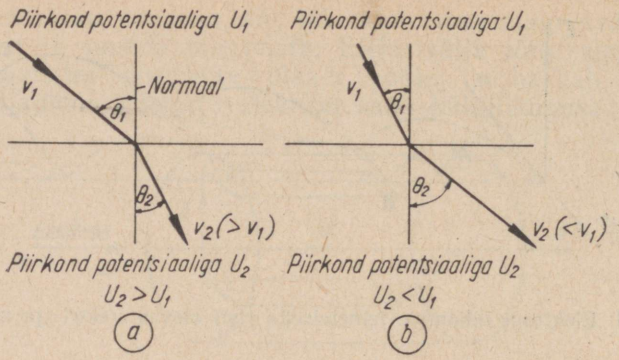
Kuna elektroni kiiruse horisontaalkomponent $v \sin \Theta$ ei muutu, siis

$$v_1 \sin \Theta_1 = v_2 \sin \Theta_2, \qquad (3\text{-}25)$$

ehk valemi (3-24) põhjal

$$\sqrt{U_1} \sin \Theta_1 = \sqrt{U_2} \sin \Theta_2 \qquad (3\text{-}25a)$$

ja elektroni liikumistee läheneb piirkondade eraldustasapinna normaalile (joon. 3-12, *a*).



Joon. 3-12. Elektroni liikumine madalama potentsiaaliga piirkonnast kõrgema potentsiaaliga piirkonda (*a*) ja kõrgema potentsiaaliga piirkonnast madalama potentsiaaliga piirkonda (*b*).

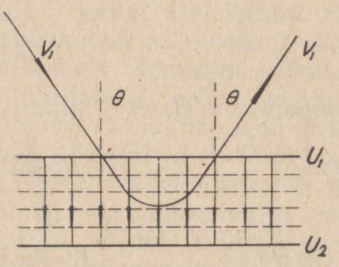
Juhul kui $U_2 < U_1$, siis elektroni liikumistee kaugeneb normaalist (joon. 3-12, *b*).

Optikast on teada, et valguskiire siirdumisel keskkonnast murdumisnäitajaga n keskkonda murdumisnäitajaga n_2 kehtib seos:

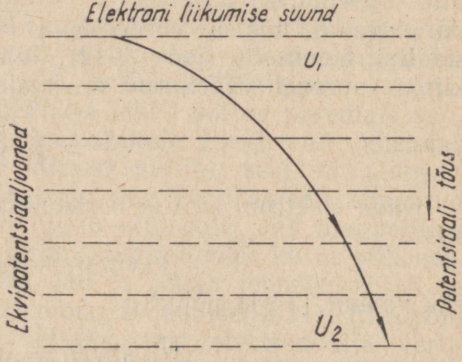
$$n_1 \sin \Theta_1 = n_2 \sin \Theta_2.$$

Võrreldes viimast valemit valemitega (3-25) ja (3-25, *a*), näeme, et elektronoptikas vastab murdumisnäitajale n ruutjuur potentsiaalist $\sqrt{U}$.

Kui elektron läbib järjest suuremaid potentsiaalivahesid, siis



Joon. 3-13. Elektroni liikumine aeglustavas elektriväljas, kus $U_2 < U_1$.



Joon. 3-14. Elektroni liikumine muutuvas elektriväljas, kus $U_2 > U_1$.

tema liikumise vertikaalne komponent muutub lõpuks vastupidiseks ja ta hakkab liikuma tagasi (joon. 3-13).

Tegelikult muutub potentsiaal elektriväljas mitte hüppeliselt, nagu eeldasime joonisel 3-12, vaid pidevalt, mistõttu elektronide tee ja elektronkiir painduvad mitte järsult nagu valguskiir, vaid sujuvalt vastavalt potentsiaali pidevale muutumisele (joon. 3-14).

3-6. Elektrostaatilised läätsed

Elektronläätsed jagunevad neid tekitavate väljade järgi elektrostaatilisteks ja elektromagnetilisteks. Elektrostaatilise läätse moodustavad erisuguste potentsiaalidega tasapinnad, mille vahel tekivad erisuguse tiheduse ja kujuga ekvipotentsiaalipinnad, mis joonise 3-14 kohaselt hälvitavad elektroni sihti.

Avaga lääts. Lihtsam elektronlääts on kujutatud joonisel 3-15, *d*. Siin asub plaatide *1* ja *2* vahel plaat *3*, milles on ümmargune ava. Plaat *3* on plaatidega *1* ja *2* rööbiti. Avaga plaati võib ühendada ükskõik kumma elektrivälja tekitava plaadiga või anda talle mingi vahepealne potentsiaal.

Kui plaat *3* puudub, siis jagunevad plaatide *1* ja *2* vahelise elektrivälja ekvipotentsiaalipinnad ühtlaselt (joon. 3-15, *a*).

Kui plaadil *3* ei ole ava ja ta on paigutatud isoleeritult plaatide *1* ning *2* vahele (joon. 3-15, *b*), siis ta elektrivälja ei mõjuta, kuid saab potentsiaali, mis sõltub tema asukohast plaatide *1* ja *2* vahel.

Kui näiteks plaat *3* on asetatud võrdsele kaugusele plaatidest *1* ja *2*, siis võrdub tema potentsiaal plaatide *1* ja *2* potentsiaalide aritmeetilise keskmisega.

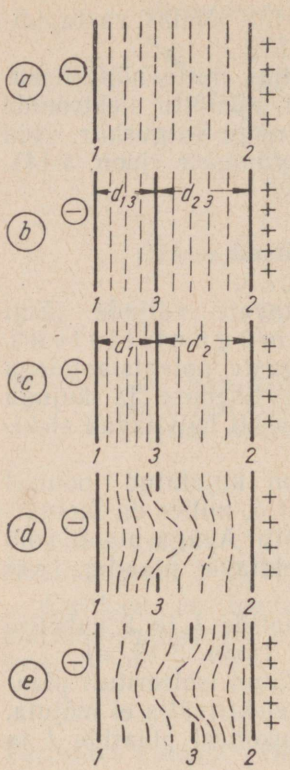
Kui ühendada plaat *3* mingi pingeallikaga, mis tekitab temal kõrgema potentsiaali kui see, mille ta antud asukohas omandaks, siis jagab ta plaatide *1* ja *2* vahel oleva välja kaheks erisuguse väljatugevusega osaks (joon. 3-15, *c*). Kui plaadile *3* anda kõrgem potentsiaal kui see, mille ta saaks isoleeritult, siis on plaatide *1* ja *3* vahel elektriväli tugevam kui plaatide *3* ja *2* vahel. Väljatugevus plaatide *1* ja *3* vahel

$$E_{13} = \frac{U_1 - U_3}{d_{13}} \qquad (3\text{-}26)$$

ja piirkonnas *3—2*

$$E_{32} = \frac{U_3 - U_2}{d_{23}},$$

kus U_1 on plaadi *1* potentsiaal,
U_2 — plaadi *2* potentsiaal,
U_3 — plaadi *3* potentsiaal,



Joon. 3-15. Elektriväli kahe plaadi *1* ja *2* vahel:

a — vaheplaat puudub, *b* — vaheplaat *3* ei oma potentsiaali, *c* — vaheplaadile on antud kõrgem potentsiaal, kui ta selles punktis omandaks, *d* — vaheplaat on avaga ja omab negatiivse pinge, *e* — vaheplaat on avaga, kuid on positiivselt laetud.

d_{13} — plaatide *1* ja *3* vahekaugus,
d_{23} — plaatide *3* ja *2* vahekaugus.

Kui plaadis *3* on ava ja väljatugevus vahemikus d_{13} erineb väljatugevusest vahemikus d_{23}, siis ulatuvad ekvipotentsiaalipinnad avast läbi, nii nagu on kujutatud joonisel 3-15, *d*, sest ava teljel püüab väli jaguneda ühtlaselt.

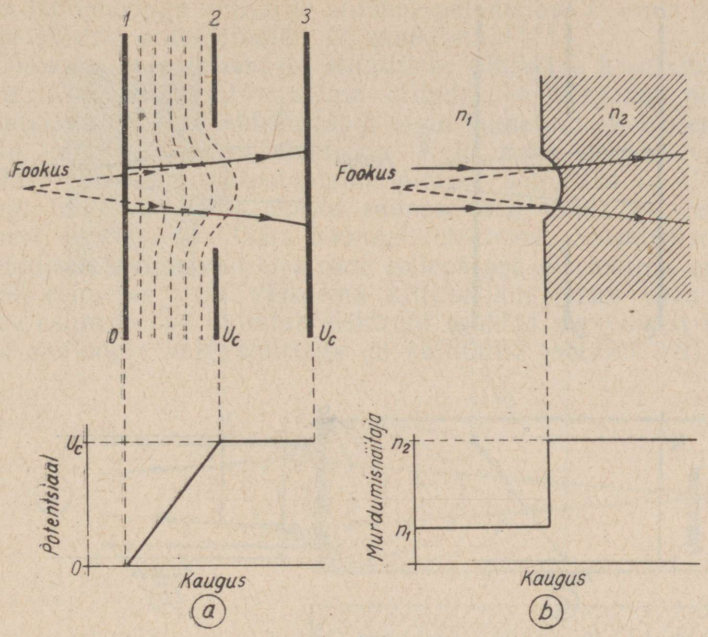
Joonisel 3-15, *e* on kujutatud olukord, mil potentsiaal plaadil *3* on negatiivsem kui ühtlases väljas sellessamas kohas. Siin on ekvipotentsiaalipinnad paindunud vastupidiseks joonisel 3-15, *d* kujutatutega.

Deformeeritud väli augu servades painutabki elektronide teed nagu lääts valguskiirt.

Hajutav avaga lääts. Joonisel 3-16 on kujutatud hajutav avaga lääts. Teda võib käsitada joonisel 3-15, *d* kujutatud läätsena, millel $U_2 = U_3$. Elektron siseneb läätse vasakult ja saab tõusva positiivse potentsiaali poolt kiirenduse. Läbides ekvipotentsiaalipindu, kaldub elektron nende normaali *a* poole (joon. 3-17). Seega hajutatakse elektronid kõverate ekvipotentsiaalipindade piirkonnas ava teljest eemale. Ruumis, mis asub pindade *3* ja *2* vahel (vt. joon. 3-16, *a*) liiguvad elektronid sirgjooneliselt. Kui elektronide teed mõtteliselt pikendada läbi ava plaadi *1* poole, lõikuvad nad elektronläätse fookuses.

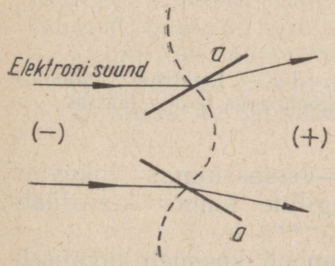
Kirjeldatud elektronlääts sarnaneb optikas kasutatava nõguslääts, mis hajutab paralleelselt langevaid valguskiiri. Hajutavat elektronläätse ei saa siiski täpselt samastada kaksiknõgusa klaaslääts, sest viimasel on üks ja seesama alg- ning lõppkeskkond. Elektronläätsel aga on lõpp-piirkonnaks pinge U_2, mis on plaadi *1* pinge suhtes positiivne. Joonisel 3-16, *b* on kujutatud optiline süsteem, kus valgust murdev keskkond sisaldab ühe nõguslääts, mis vastab joonisel 3-16, *a* kujutatud elektronläätsele.

Kui joonisel 3-16, *a* muuta elektroni suund vastupidiseks, siis kohtub ta pidurdava väljaga. Plaadile *1* jõudmiseks peab tal

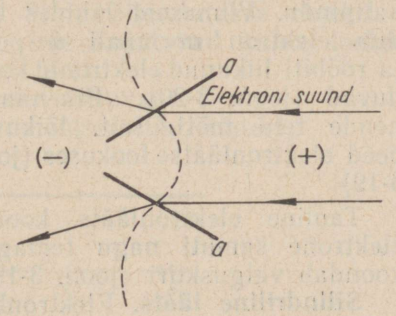


Joon. 3-16. Hajutava avaga elektronlääts (*a*) ja tema optiline ekvivalent (*b*).

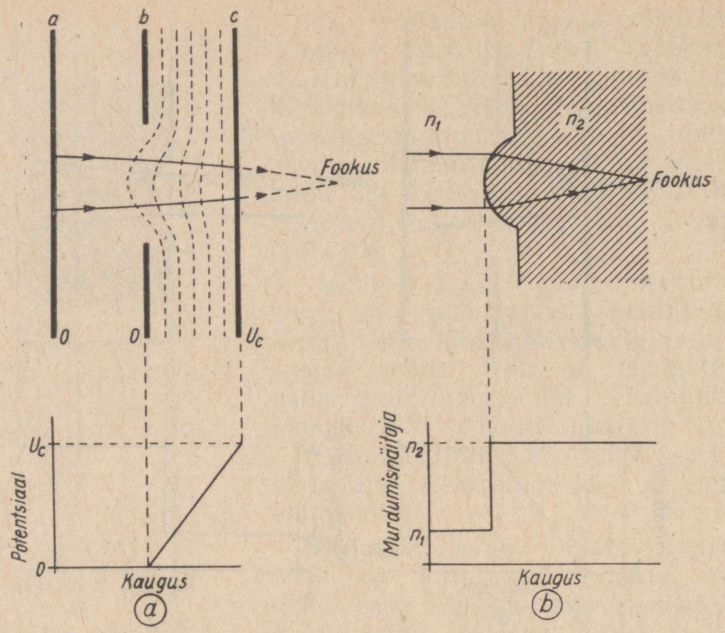
olema küllalt suur algkiirus, et ületada välja pidurdavat mõju. Enne ava kohtab elektron kumerat ekvipotentsiaalipinda. Seda läbides kaldub ta normaalist *a* eemale, sest ta suundub madalama positiivse potentsiaali poole (joon. 3-18). Seega osutub hajutav avaga lääts hajutavaks mõlemast suunast langevale



Joon. 3-17. Elektronkiire hälbimine joonisel 3-16, *a* kujutatud läätses.



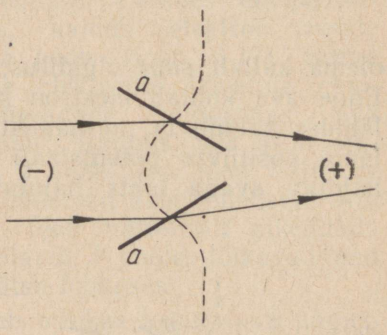
Joon. 3-18. Elektronkiire hälbimine joonisel 3-16, *a* kujutatud läätses, kui elektron siseneb vastassuunast.



Joon. 3-19. Koondav avaga elektronlääts (*a*) ja tema optiline ekvivalent (*b*).

elektronkiirele. Samuti osutub ka nõguslääts hajutavaks mõlemast suunast langevale valgusele.

Koondav avaga lääts. Koondav avaga lääts on kujutatud joonisel 3-19. Siin sarnaneb elektriväli joonisel 3-15, *e* kujutatuga ja omab kumeraid ekvipotentsiaalipindu. Viimaseid läbides kaldub elektron normaali *a* poole ja rööbiti liikunud elektronid koonduvad (joon. 3-20). Pikendades nende teid mõtteliselt, lõikuvad need elektronläätse fookuses (joon. 3-19).



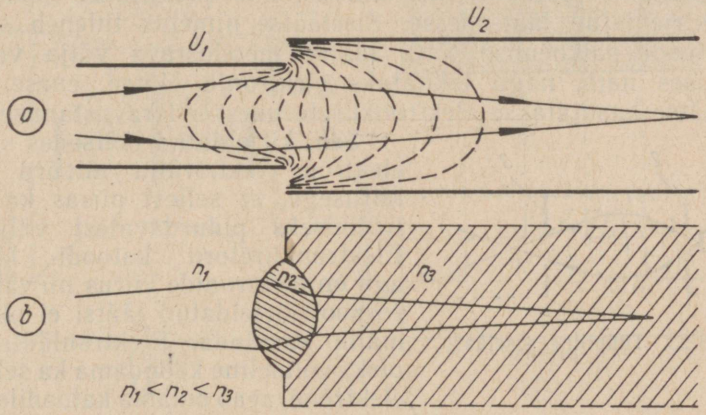
Joon. 3-20. Elektroni liikumine koondavas avaga läätses.

Taoline elektronlääts koondab ka vastassuunas liikuvaid elektrone samuti nagu temaga analoogiline kumer klaaslääts koondab valguskiiri (joon. 3-19, *b*).

Silindriline lääts. Elektronkiiretoru anood koosneb tavaliselt kahest koaksiaalsest silindrist, mis on teineteise suhtes nihutatud (joon. 3-21). Nende ülesandeks on elektronkiire teravustamine toru ekraanile. Mõlemad silindrid pingestatakse, kusjuures väik-

sema läbimõõduga silindrile antakse potentsiaal U_1, mis on jämedama silindri potentsiaalist U_2 madalam.

Oletame, et väiksemasse silindrisse juhitakse hajutatud elektronid. Need liiguvad suurema silindri — kõrgema positiivse potentsiaali poole. Elektron läbib algul kumeraid ekvipotentsiaalipindu, mis koondavad elektrone. Kuid kahe silindri vahelises ruumis muutuvad ekvipotentsiaalipinnad nõgusaks ja elektronid jällegi hajuvad. Kuna läätse esimese osa toime on teise osa toimest suurem, siis lääts koondab elektrone. Silindrilised läätsed üldiselt koondavad elektrone sellepärast, et elektron omandab läätse esimeses osas väiksema kiiruse kui teises osas. Seega läätse esimene osa kallutab elektroni rohkem algsuunast kõrvale. Selle analoogia valguskiirtega on kujutatud joonisel 3-21, *b*.

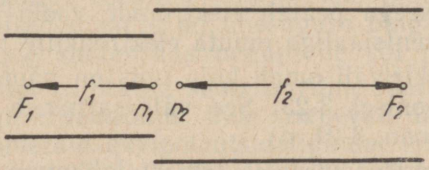


Joon. 3-21. Silindriline lääts (*a*) ja tema optiline ekvivalent (*b*).

Sellise läätse arvutamine on keerukas, sest tema pikkus on fookuskaugusega võrreldes suur. Siin väljendatakse objekti ja kujutise asukohti kahe punktiga, mis kujutavad kahte fookuskaugust, nagu on näidatud joonisel 3-22.

Silindrilise läätse fookuskaugused sõltuvad:

1) silindrite potentsiaalist ja potentsiaalide suhtest,
2) silindrite läbimõõdust,



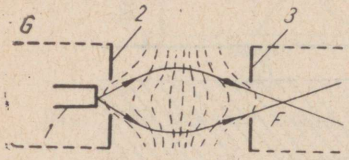
Joon. 3-22. Silindrilise läätse fookused.

3) silindrite vahekaugusest.

Kui mõlema silindri potentsiaali tõsta, nii et potentsiaalide suhe jääb endiseks, siis muutub elektriväli tugevamaks ja lääts rohkem koondavaks. Teiste sõnadega, fookuskaugus väheneb potentsiaali tõusuga. Esimese ja teise fookuskauguse suhe sõltub esimese ja teise silindri potentsiaalide suhtest. Kui mõlema silindri potentsiaal kahekordistada, siis mõlemad fookuskaugused küll vähenevad, kuid nende suhe jääb endiseks.

Fookuskaugus suureneb ja lääts muutub nõrgemaks siis, kui suureneb teise ja esimese silindri läbimõõtude suhe. Lääts aga nõrgeneb, kui suurendada silindritevahelist kaugust.

Siselääts. Siseläätse kasutatakse katoodist vabanevate elektronide koondamiseks elektronkiireks, mis suunatakse edasi eespool kirjeldatud läätsedesse. Siseläätse nimetus tuleneb sellest, et katoodi paiknemise tõttu läätse moodustava välja vahetus läheduses näib, nagu tekitataks elektronid läätse enese sees. Siseläätse kasutatakse elektronkiiretorudes eelteravustamiseks.



Joon. 3-23. Tüüpiline siselääts.

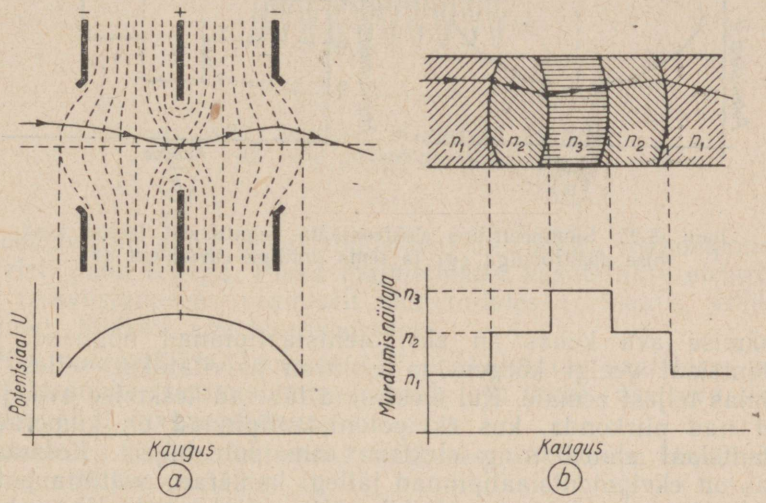
Seni kirjeldatud läätsedes sisenes elektron elektrivälja niivõrd suure kiirusega, et sellest piisas ka tema läbimiseks pidurdavatest väljadest. Elektronkiiretoru katoodi lähedal aga on elektronide kiirus nii väike, et eespool kirjeldatud läätsi ei ole võimalik kasutada. Elektronlääts, mis oleks võimeline koondama ka selliseid elektrone, peab omama katoodile väga lähedal asuva tugeva elektrivälja. Siselääts sisaldab harilikult kahte silindrilist avadega plaati (joon. 3-23). Katoodi *1* ees asetsevat plaati *2* nimetatakse tüür- ehk juhtvõreks, plaati *3* aga anoodiks. Juhtvõrele *2* antakse pinge, mis on võrdne katoodi pingega või pisut negatiivsem, anoodile aga kõrge positiivne pinge. Väli juhtvõre ja anoodi vahel on palju tugevam kui juhtvõre ja katoodi vahel ning ekvipotentsiaalipinnad painduvad läbi juhtvõres *2* oleva ava, ulatudes kuni katoodini. Teiste sõnadega, anoodi külgetõmbevõime ei ole lõplikult hävitatud juhtvõre eemaletõuke tõttu, olgugi et anood asub kaugemal. Võre negatiivse pinge suurendamisega on võimalik, et ta neutraliseerib anoodi külgetõmbe mõju ja seega peatab elektronide voolu anoodile. Seega võib juhtvõre potentsiaaliga muuta elektronkiire tihedust.

Siseläätse elektriväli omab kuju, mis on näidatud ekvipotentsiaalijoontena joonisel 3-23. See väli sarnaneb kahe silindriga läätse väljaga (joon. 3-21, *a*).

Siselääts on eriti jõuline ja temast lahkuvad elektronid teravustatakse väikesel kaugusel.

Punktist F liiguvad elektronid edasi hajuva kiirena ja elektronkiiretoru nn. elektronkahuri teised läätsed peavad nad nüüd teravustama ekraanile. Tavaliselt kasutatakse selleks eespoolkirjeldatud silindrilist läätse.

Sümmeetrilised läätsed. Seni kirjeldatud elektronläätsedes oli läätse lõpposas kõrgem pinge kui tema alguses, mille poolest need läätsed erinevad valguslääts edest. On võimalik ehitada elektronläätsi, milles pinged mõlemas läätse otsas on omavahel võrdsed. Selliseid läätsi nimetatakse sümmeetrilisteks ja üks

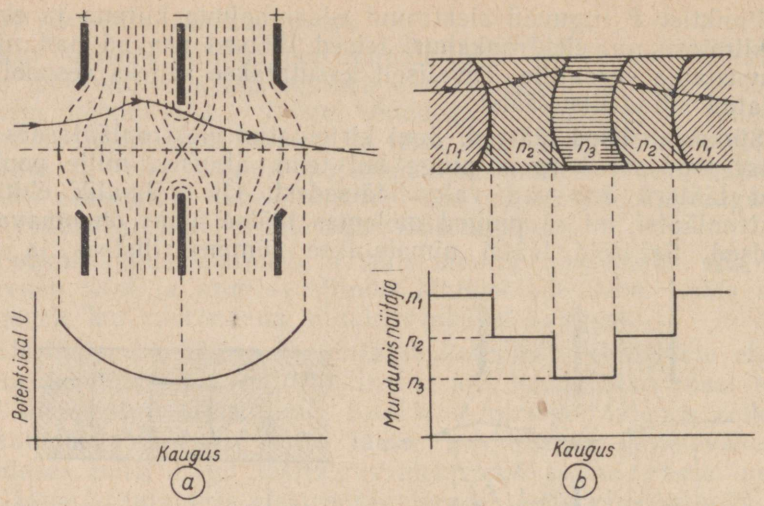


Joon. 3-24. Sümmeetriline elektronlääts positiivselt laetud keskmise elektroodiga (*a*) ja tema optiline ekvivalent (*b*).

neist on kujutatud joonisel 3-24. Seda läätse nimetatakse ka ainupingeläätseks, sest tema keskmise elektroodi (või kaks välimist elektroodi) võib ühendada elektronkahuri katoodiga ja seega on temas vaja ainult ühtainsat positiivset pinget. Ainupingeläätsede fookuskaugused on mõlemal pool läätse ühesugused. Fookuskaugus on väga lühike ega muutu elektroodide pinge muutmisega kuigi märgatavalt.

Lääts omab kolme rööbitist plaati. Neis igaühes on ümmargune ava. Välimised plaadid on ühesuguse pinge all, keskmisele aga antakse nende suhtes kas negatiivne või positiivne pinge.

Joonisel 3-24 on kujutatud sümmeetriline lääts positiivse sisemise elektroodiga. Elektronid, mis sisenevad läätse selle telje sihis, läbivad kumeraid ekvipotentsiaalipindu, mille ulatusel esinev kõrgem potentsiaal kallutab elektroni teljele lähemale. Esimese ava juures on väli võrdne positiivse pinge väljaga. Läätse



Joon. 3-25. Sümmeetriline elektronlääts negatiivselt laetud keskmise elektroodiga (*a*) ja tema optiline ekvivalent (*b*).

keskmise ava kohas on ekvipotentsiaalipinnad nõgusad, kuid potentsiaal veelgi kõrgem ja elektron hälvitatakse selles piirkonnas teljest eemale. Kui elektronid läbivad keskmise ava, jõuavad nad piirkonda, kus ekvipotentsiaalipinnad on kumerad ja potentsiaal alaneb ning elektron eemaldub teljest. Kolmandas avas on ekvipotentsiaalipinnad jällegi kumerad, mistõttu potentsiaal alaneb ja elektron pöördub välja mõjul teljele lähemale.

Joonis 3-25 kujutab sümmeetrilist läätse, mille keskmine elektrood on äärmiste suhtes negatiivne.

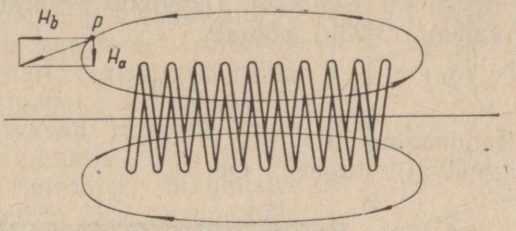
3-7. Elektromagnetilised läätsed

Elektronkiirt on võimalik teravustada ka elektromagneti abil, mida toidetakse alalisvooluga, või püsivmagnetiga, kuid analoogia optiliste ja elektromagnetiliste läätsede vahel pole nii märgatav kui elektrostaatiliste ja optiliste läätsede vahel.

Kasutatakse kahte tüüpi elektromagnetilisi ehk magnetläätsi. Esimene tüüp on pika magnetpooliga, millest harilikult juhitakse läbi alalisvool. Teist tüüpi läätses kasutatakse lühikest magnetpooli, millest samuti juhitakse läbi alalisvool, või ka püsivmagneteid. Teravustusprotsess on mõlemat tüüpi läätsedes täiesti erisugune.

Pikkades teravustuspoolides asuvad kujutis ning objekt ühe ja sama väljatugevusega piirkonnas (mida võib võrrelda mur-

dumisnäitajaga) ja teravustamine toimub magnetvälja pikikomponendiga. Teist tüüpi läätsede puhul asuvad ese ja kujutis mõlemad väljaspool välja ning teravustamine toimub magnetvälja ristkomponendiga. Joonisel 3-26 on kujutatud solenoidi magnetväli ja selle ristkomponent H_a ning pikikomponent H_b punktis P.



Joon. 3-26. Solenoidi magnetväli ja selle rist- ning pikikomponendid.

Jooniselt on näha, et pikikomponent on rööbiti, ristkomponent aga risti pooli teljega. Pikka magnetläätse kasutatakse elektronkiire teravustamiseks peamiselt saatetorudes (ortikonis, vidikonis jne.), lühikest aga kineskoopides.

Pikk magnetlääts. Joonisel 3-27 on kujutatud saatetoru, milles elektronkiire teravustamine toimub toru ümber asetseva teravustuspooli *1* magnetväljaga.

Saatetoru sisaldab katoodi *2*, mille ees asub varem kirjeldatud elektrostaatiline siselääts.

Elektronid väljuvad siseläätsest ja sisenevad magnetvälja, kusjuures nende siht moodustab piki toru telge suunatud magnetväljaga väikese nurga Θ. Juhtu, mil elektron siseneb magnetvälja nurga Θ all, on selgitatud juba eespool. Nimelt on sel juhul kiiruse komponent $v \cos \Theta$ rööbiti väljaga ja magnetväli teda ei mõjuta. Elektron liiguks ühtlaselt piki toru telge. Komponent $v \sin \Theta$ on väljaga risti, tekitades ringliikumise raadiusega $mv \sin \Theta/eH$ ja perioodiga $2\pi m/eH$. Kui kiiruse pikikomponent võrdub nulliga, siis joonestab elektron ringjooni, mis asuvad pooli teljega risti. Kui aga kiiruse pikikomponent omab mingit väärtust, siis kujuneb elektroni teekonnaks spiraal, mille läbimõõt on võrdeline väärtusega $v \sin \Theta$. Spiraali telg on rööbiti toru teljega.

Kui Θ on väike, siis on kõigi elektronide spiraalse tiirlemise periood ühesugune ja elektronid, mis sisenesid magnetvälja telje ühest ja samast punktist, kohtuvad mõnes teises telje punktis, olles liikunud täisringi ümber toru telje. Seetõttu kujunevad elektronkiires piki toru telge üksteisest teatud kaugusel olevad koondumiskohad ehk sõlmed, nagu on kujutatud joonisel 3-27.

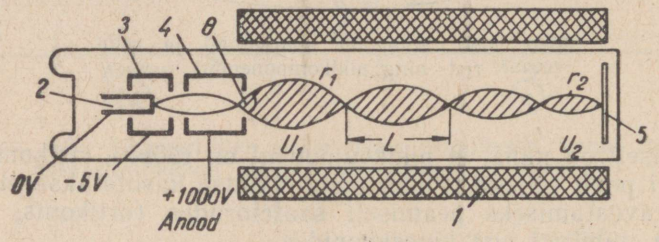
Sõlmede vahekaugused L on võrdelised piki toru telge suunatud kiiruse pikikomponendiga $v \cos \Theta$ ja perioodi kestusega $2\pi m/He$:

$$L = \frac{2\pi m v \cos \Theta}{He}.$$

Kui Θ on väike, siis $\cos \Theta$ võrdub ühega ja sõlmede vahekaugused on ligikaudu $2\pi mv/He$. Tegelikult arvutatakse sõlmede vahekaugusi valemi (3-23b) põhjal:

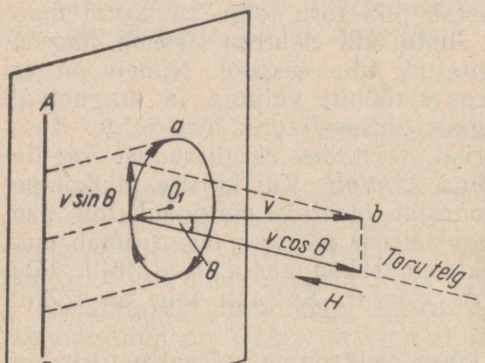
$$L = \frac{21{,}2\sqrt{U}}{H} \text{ cm}, \qquad (3\text{-}27)$$

kus U on kiirenduspinge V,
H — magnetvälja tugevus Oe.



Joon. 3-27. Pikk magnetlääts:
1 — teravustuspool, *2* — katood, *3* — võre, *4* — anood, *5* — märklaud.

Kui jälgida elektroni liikumist tasapinnal, mis asub risti toru teljega (vaadatuna katoodi poolt märklaua suunas), siis näeme, et elektronid tiirlevad ringjoonel. See ringjoon läbib punkti, kus elektron ilmus magnetvälja. Ringi asukoht toru telje suhtes oleneb elektroni liikumissuunast tema saabumisel magnetvälja. Kui liikumine on suunatud toru telje suhtes nurga Θ võrra ülespoole (joon. 3-28), siis on kiiruse ristkomponent suunatud vertikaalselt üles ja ringjoon keskmega O_1 kujutab elektroni liikumise projektsiooni tasapinnale, mis asub risti toru teljega.

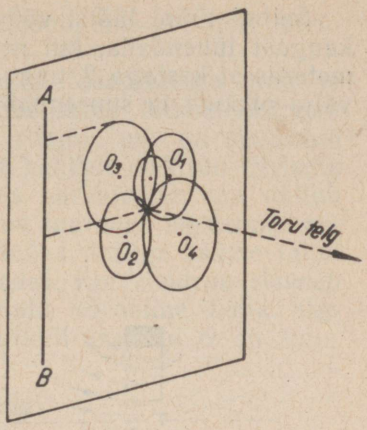


Joon. 3-28. Homogeenses magnetväljas liikuva elektroni lennujoone projektsioon toru teljega risti olevale tasapinnale.

Kui elektron siseneb

magnetvälja suunatuna allapoole, siis asub tiirlemise ringi kese O_2 teisel pool toru telge samal horisontaaljoonel (joon. 3-29). Tekkinud ringjoon jälLegi lõikab toru telge. Siit järeldame, et elektron võib sisseneda magnetvälja mis tahes nurga all Θ, tiireldes seejuures (sõltuvalt sisenemisnurgast) erisuguse läbimõõduga ringjoonel, kuid kõik need ringjooned lõikavad magneti telge ühes ja samas punktis.

Elektroni spiraalse liikumistee võib projitseerida ka tasapinnale (A, B), mis asetseb piki magneti telge, vaadeldes elektroni spiraalset liikumist toru kõrvalt. Elektroni liikumine sellel tasapinnal kujutab siinusjoont (joon. 3-30), mille amplituud on võrdeline $v \sin \Theta$ ja iga tsükli pikkus telje sihis on võrdne väärtusega $v \cos \Theta$.



Joon. 3-29. Tüüpilised elektronide lennujoonte projektsioonid pikas magnetläätses kineskoobi läätse teljega risti olevale tasapinnale.

Seni vaatlesime juhtu, mil elektronid sisenesid magnetvälja ühest ja samast punktist. Kuid tegelikult sisenevad nad sinna teatavalt pinnalt.

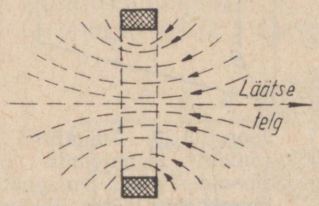


Joon. 3-30. Tüüpilised elektronide lennujoonte projektsioonid pikas magnetläätses läätse telje tasapinnale.

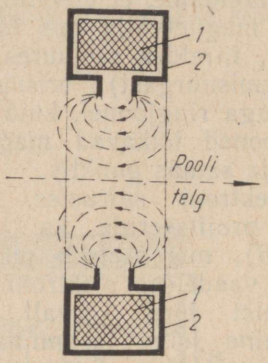
Iga elektron jõuab pärast sipraalikujulist teekonda teatud sõlme, kusjuures erisugustest punktidest lahkunud elektronid moodustavad ka sõlmi erisugustes punktides. Seega juhul, kui elektronid sisenevad magnetvälja teatavalt väikeselt pinnalt, kujutab ka nende sõlm püsttasapinnas samasugust pinda.

Lühike magnetlääts. Magnetväli, mis tekitatakse lühikese magnetpooliga, mida läbib alalisvool, omab niisugust kuju, nagu on näidatud joonisel 3-31. Näeme, et magnetväli on enam-vähem ühtlane ainult pooli sees, väljaspool pooli aga hajub ta kiiresti, omades märgatavat ristkomponenti, mis tekitabki tugeva teravustuse. Läätse keskmes võrdub välja ristkomponent nulliga.

Sellist tüüpi läätsi võib muuta tugevamaks, s. t. nende fookuskaugust lühendada, kui neid moodustav pool *1* ümbritseda pehmeterasest kestaga *2*, nagu on näidatud joonisel 3-32. Kest piirab välja pikkust ja suurendab tema ristkomponenti.



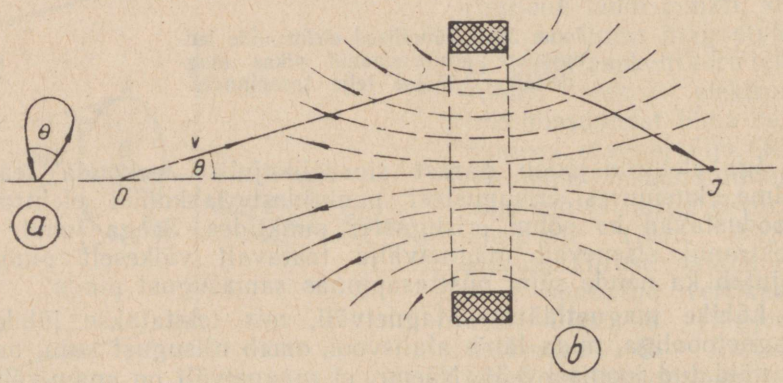
Joon. 3-31. Varjeta lühikese pooli magnetväli.



Joon. 3-32. Varjega lühikese pooli magnetväli.

Vaatleme lühikese läätse toimet kolmes osas: läätse esimeses osas, kus välja ristkomponent on tugev; tema keskosas, kus välja ristkomponent puudub, ja läätse välisavas, kus välja ristkomponent on jällegi tugev.

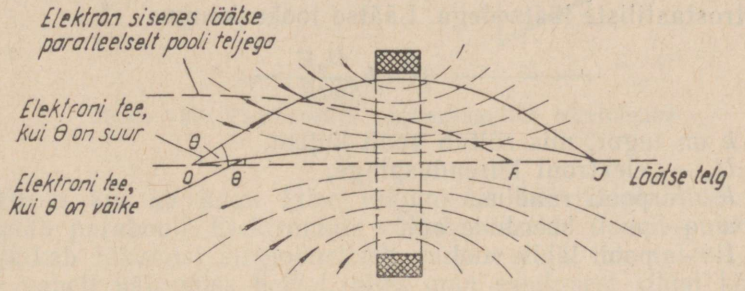
Oletame, et elektron siseneb läätse punktist O kiirusega v ja läätse telje suhtes nurga all Θ (joon. 3-33). Magnetvälja



Joon. 3-33. Elektroni lennujoone projektsioon lühikeses magnetläätses tasapinnale, mis on risti läätse teljega (*a*), ja tasapinnale, mis asub piki telge (*b*).

sisenemisel hakkab elektronile mõjuma jõud, mis on risti kiirusega v ja väljaga H.

Joonisel 3-33, *b* on see jõud joonise tasapinnaga risti ja hälvitab ka elektroni samas sihis. Seejuures lõikab elektron magnetvälja pikikomponenti ja tekitab ristjõu, mis on suunatud läätse telje sihis. Nende jõudude mõjul hakkab elektron tiirlema ümber läätse telje, omandades seejuures nurkkiiruse, mis sõltub magnetvälja ristkomponendist. Nurkkiirus suureneb elektroni kauguse suurenemisega läätse teljest, võrdudes nulliga läätse teljel ja omades suurimat väärtust pooli lähedal. Kui elektron siseneb läätse, siis on tema nurkkiirus ligikaudu võrdeline tema alghälbega teljest ja ta saavutab suure nurkkiiruse, kui Θ on suur.



Joon. 3-34. Kahe ühest punktist väljunud elektroni lennujoon lühikeses magnetläätses.

Kui elektron läheneb pooli keskosale, siis ka välja ristkomponent väheneb, selle pikikomponent aga suureneb. Elektroni nurkkiiruse ja välja pikikomponendi koostoimel suureneb jõud, mis on suunatud läätse telje poole. See vähendab kiiruse ristkomponendi $v \sin \Theta$ võrdseks nulliga ja seejärel vastusuunaliseks ning sunnib elektroni liikuma pooli keskkohas selle telje sihis. Seejuures on elektroni hälve võrdeline tema nurkkiirusega ja on suurem elektronidel, mis liiguvad suurema kaldnurga Θ all.

Kui elektron siseneb läätse kolmandasse piirkonda (joonisel 3-33, *b* pooli parempoolsesse ossa), kus on jällegi ülekaalus välja ristkomponent, siis elektroni kiiruse ristkomponent oluliselt mõjutatud ei ole, sest ta on väljaga rööbiti. Elektroni kiiruse pikikomponenti aga mõjutab välja ristkomponent, mis paneb elektroni tiirlema nagu läätse esimeses osaski. Kuid nüüd on elektroni tiirlemine vastupidine eelmisega, sest ka pooli magnetvälja ristkomponent on vastupidine. Elektronid lahkuvad läätsest, omades kiiruse ristkomponenti, mis on suunatud läätse telje sihis. Kui magnetvälja kuju ja tugevus on sobivalt valitud, siis kõik elektronid, mis sisenevad läätse punktist *O*, jõuavad punkti *J*. Kahe elektroni lennujoon on näitena kujutatud joonisel 3-34.

Ideaalses läätses on magnetväli pooli tasapinnas sümmeetriline ja elektroni hälve pooli parempoolses osas võrdne, kuid vastupidine hälbega, mille elektron omandas pooli vasakpoolses osas. Tegelikult võib lühikeses magnetläätses siiski tekkida kujutise väike pöördumine, tingituna magnetvälja väikesest ebasümmeetriast.

Joonisel 3-33, *a* on näidatud elektroni tee projektsioon tasapinnale, mis asub läätse teljega risti. On näha, kuidas pöörlemisraadius suureneb, kuni saavutab suurima väärtuse elektroni jõudmisel pooli keskmesse, ja kuidas ta siis väheneb, kui elektron lahkub poolist.

Lühikese magnetläätse fookuskaugus. Lühikesed magnetläätsed on koondavad läätsed ja neid võib võrrelda sümmeetriliste elektrostaatiliste läätsedega. Läätse fookuskaugus

$$f = k\frac{U_a R}{(wI)^2},$$

kus k on tegur, mis sõltub pooli kujust,
U_a — elektroni kiirenduspinge,
R — pooli raadius,
w — pooli keerdude arv,
I — pooli läbiv vool.

Fookuskaugus on pöördvõrdeline pooli läbiva voolu ruuduga. Voolu suuna poolis võime muuta vastupidiseks, ilma et fookuskauguse väärtus või märk muutuks.

Ka elektronläätsedes esineb aberratsioon, nagu see on omane optilistele läätsedele. Kuid elektronläätsedes ei esine väljade ebaõiget kumerust ja astigmatismi nii tugevalt, et need muutuksid segavaks. Peamise aberratsioonina, mis vajab korrigeerimist, on sfääriline aberratsioon ning värvuse aberratsioon ja moonutused.

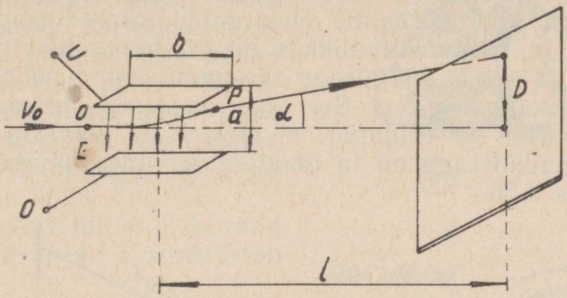
3-8. Elektronkiire hälvitamine

Eespool kirjeldasime meetodeid elektronkiire teravustamiseks kujutise tasapinnale ja nägime, et seda on võimalik teha nii elektrostaatiliste kui ka elektromagnetiliste läätsede abil.

Et elektronkiirega katta rida-realt kogu kujutise tasapind või ekraan, on vaja teda soovitud viisil hälvitada selle tasapinna ulatusel. Kuna elektronide liikumissihile avaldavad mõju nii elektri- kui ka magnetväli, siis võib hälvitamine toimuda kas elektrostaatilisel või elektromagnetilisel teel. Televisiooni algaegadel rakendati televisioonivastuvõtjates elektrostaatilist hälvitust, kuid käesoleval ajal on see leidnud laialdasemat rakendust peamiselt elektronostsillograafides. Kaasaegseis televisioonikaa-

merates ja -vastuvõtjates aga leiab rakendust elektromagnetiline hälvitus.

Elektrostaatiline hälvitus. Elektrostaatilise hälvituse põhimõtet selgitab joonis 3-35. Elektronkiir suundub kahe rööbitise, elektrit juhtivast ainest plaadi vahele tekitatud ühtlasse elektrivälja. Välja siseneva elektronkiire telg on välja sihiga risti. Nii üksiku



Joon. 3-35. Elektronkiire elektrostaatiline hälvitamine.

elektroni kui ka kogu kiire liikumistee hälvitusplaatide vahel kujutab parabooli. Elektronkiir väljub plaatide vahelt punktis P ja jätkab liikumist sirgjooneliselt samas sihis, mis tal oli plaatide vahelt väljumise hetkel, olles oma esialgsest sihist kõrvale kaldunud nurga α võrra.

Valemi (3-16) põhjal

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{El}{2U_a} = \frac{Ub}{2aU_a}, \tag{3-28}$$

kus U on plaatidevaheline hälvituspinge,
E — elektrivälja tugevus plaatide vahel,
l — plaatide keskme kaugus ekraanist,
b — plaatide pikkus,
a — plaatide vahekaugus,
U_a — elektroni algkiirusele v_0 vastav kiirenduspinge.

Joonise 3-35 põhjal

$$\operatorname{tg}\alpha \approx \frac{D}{l}, \tag{3-29}$$

kus D on kiire hälve ekraanil,
l — plaatide keskme kaugus ekraanist.

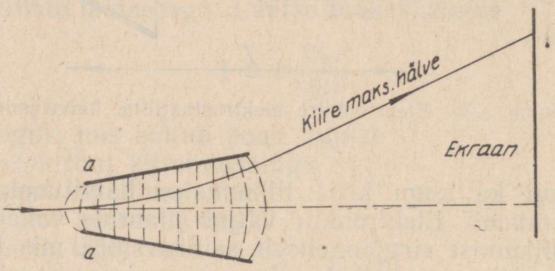
Valemite (3-28) ja (3-29) põhjal kiire hälve ekraanil

$$D = \frac{Ulb}{2aU_a}, \tag{3-30}$$

millest suhe

$$\frac{D}{U} = \frac{lb}{2a} \cdot \frac{1}{U_a} \quad \frac{\text{mm}}{\text{V}}. \qquad (3\text{-}31)$$

Suhet D/U nimetatakse h ä l v i t u s t u n d l i k k u s e k s. Hälvitustundlikkus on kiire hälve ekraanil (tavaliselt millimeetrites) juhul, kui hälvitusplaatide-vaheline pinge on üks volt. Konkreetsel elektronkiiretorul on a ja b kindlad väärtused, mistõttu hälvitustundlikkus on pöördvõrdeline elektronide kiirenduspingega U_a. Seos näitab, et hälvitustundlikkus on võrdeline hälvitusplaatide pikkusega b ja nende kaugusega ekraanist l ning pöördvõrdeline plaatide vahekaugusega a. See seos on siiski ligikaudne, sest tema tuletamisel oli eeldatud, et elektriväli plaatide vahel on ühtlane. Tegelikult aga on ta plaatide servades hajutatud, nagu näitab joonis 3-36.



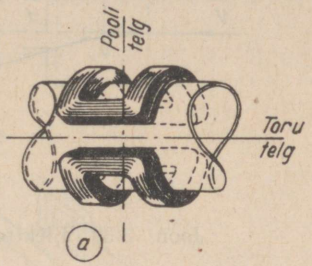
Joon. 3-36. Tüüpiline plaatide asetus elektrostaatilise hälvituse puhul.

Antud kiirenduspinge U_a puhul hälvitustundlikkus suureneb plaatide ja ekraani vahelise kauguse l suurenemisel (joon. 3-35), kuid kiire pikkus on siiski piiratud, sest väga pikka kiirt on raske ekraanile teravustada. Hälvitustundlikkust võib suurendada plaadi pikkuse b suurendamise või plaatide vahekauguse a vähendamise teel. Kuid ka plaadi pikkuse b suurendamisel ja plaatide vahekauguse a vähendamisel on piir, sest hälvitamisel põrkaks elektronkiir vastu plaate. Seega määrab elektronkiire nõutav hälvitusnurk α kindlaks suhte a/b minimaalse väärtuse. Teataval määral saab tundlikkust suurendada plaatide asetamisega kaldu, nagu on näidatud joonisel 3-36.

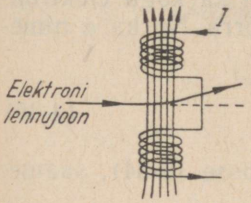
Enamik elektronkiiretorusid omab kaht hälvitusplaatide paari, mis asetsevad omavahel risti. Üks hälvitusplaatide paar asub ekraanile lähemal kui teine. Valemi (3-29) kohaselt on ekraanile lähemal asetsevate plaatide hälvitustundlikkus väiksem kui kaugemal plaadipaaril. Tegelikult võib plaadipaaride tundlikkus erineda teineteisest isegi kuni kaks korda.

Elektromagnetiline hälvitus. Elektronkiirt on võimalik hälvitada ka pooli magnetvälja abil (joon. 3-37). Pool asetatakse väljapoole toru kaela, nagu on näidatud joonisel 3-38, *a*, nii et

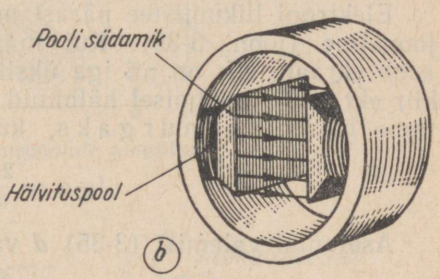
pooli telg moodustab toru teljega täisnurga. Ka hälvituse suund moodustab toru ja pooli teljega täisnurga. Tugeva ja ühtlase magnetvälja tekitamiseks toru kaela teljel koostatakse pool kahest osast, mis on omavahel ühendatud järještikku ja paigutatud kummalegi poole toru kaela. Poolid keritakse nelinurksed ja painutatakse ümber toru kaela, mis annab võimaluse tekitada toru teljel tugevama magnetvälja. Kasutatakse ka terassüdamikuga hälvituspoole (joon. 3-38, *b*).



Elektronkiir, milles elektronid liiguvad kiirusega v, moodustab



Joon. 3-37. Elektronkiire magnetiline hälvitamine.



Joon. 3-38. Hälvituspoolide asetus (*a*) ja terassüdamikuga hälvituspool (*b*).

voolu ev. Kui see vool lõikab magnetvälja tugevusega H, nii et nende sihid on omavahel risti, siis mõjub elektronkiirele hälvitav jõud Hev. Newtoni seaduse põhjal tekitab see jõud kiirenduse

$$a = \frac{Hev}{m}, \tag{3-32}$$

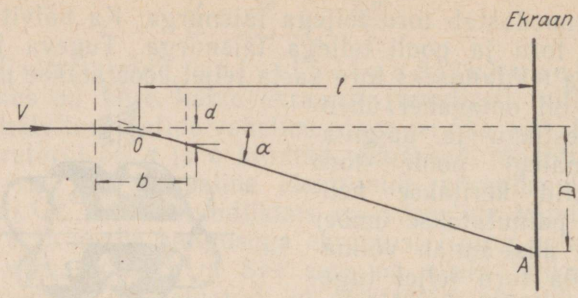
kus m on elektroni mass.

Kui magnetväli mõjub vahemaa b ulatusel (joon. 3-39), siis mõjutab ta elektroni ajavahemiku $t = b/v$ vältel, põhjustades elektroni hälbimist oma algsihist kõrvale kauguse d võrra. Hälve

$$d = \frac{1}{2} at^2. \tag{3-33}$$

Asetanud valemisse (3-33) a ja t väärtused, saame:

$$d = \frac{Heb^2}{2mv}. \tag{3-34}$$



Joon. 3-39. Elektroni liikumine magnetväljas.

Elektroni liikumistee pärast magnetväljast lahkumist on sirgjooneline (joon. 3-39). Kui magnetvälja keskmest kaugusel l asub ekraan, siis on nii iga üksik elektron kui ka kogu elektronkiir ekraanile jõudmisel hälbinud ulatuse D võrra. Nurka α nimetame hälvitusnurgaks, kusjuures

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{2d}{b} = \frac{D}{l}. \qquad (3\text{-}35)$$

Asetanud valemist (3-35) d väärtuse võrdusse (3-34), saame:

$$D = \frac{Hlbe}{mv}. \qquad (3\text{-}36)$$

Asetanud võrdusse (3-36) valemi (3-10), saame:

$$\frac{D}{H} = bl\sqrt{\frac{e}{2mU_a}}. \qquad (3\text{-}37)$$

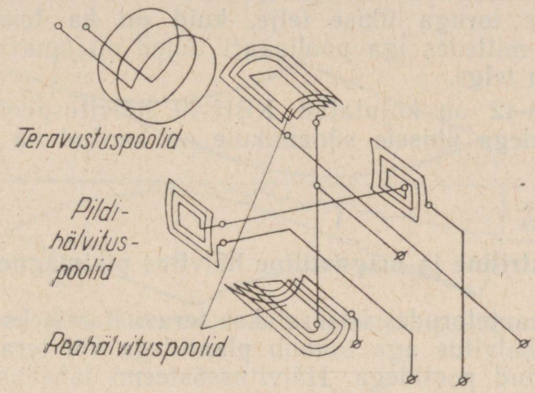
Suhet D/H nimetatakse magnetiliseks hälvitustundlikkuseks elektromagnetilise hälvituse puhul ja väljendatakse millimeetrites örstedile.

Seosest (3-37) on näha, et elektromagnetilise hälvituse puhul on hälvitustundlikkus pöördvõrdeline ruutjuurega kiirenduspingest U_a. Elektrostaatilisel hälvitusel aga on hälvitustundlikkus (vt. valem 3-31) pöördvõrdeline kiirenduspingega. Sellest tingituna on elektronkiiretorudes elektromagnetiline hälvitus elektrostaatilisest eelistatavam.

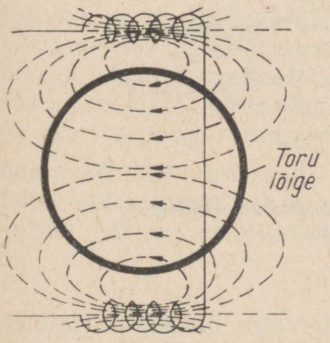
Elektromagnetilise hälvitusega on võimalik saada elektronkiire hälvitusnurk α kuni 110°, elektrostaatilise hälvituse puhul aga ainult 30 . . . 35°.

Magnetiliste hälvitussüsteemide eeliseks, võrreldes elektrostaatiliste süsteemidega, on veel ka see, et ühesuguste mõõtmete puhul võimaldavad need torud kasutada palju suurema hajumisnurgaga elektronide vihke, mis võimaldab tähni samasuguste mõõtmete puhul saada tugevaid kiire voole. See seletub sellega,

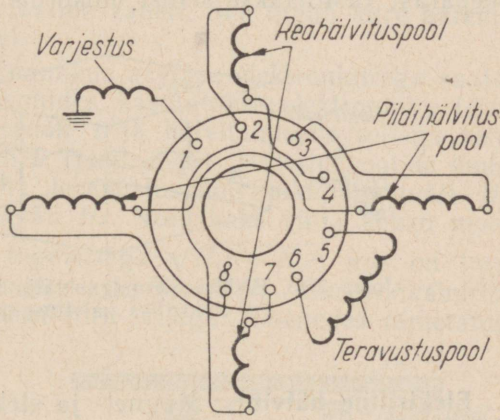
et esiteks, homogeense hälvitava välja piirkond saadakse siin hälvitussüsteemi mõõtmete suurendamise arvel tunduvalt suurem, ja teiseks, hälvitamise käigus ei muutu elektronide kiirus, mis vähendab hälvitussüsteemi hajutavat toimet suurema ristlõikega vihkudele.



Joon. 3-40. Hälvituspoolide paigutus.



Joon. 3-41. Erikujuliste hälvituspoolide skeem.



Joon. 3-42. Hälvituspoolide skeem.

Mõõtetehnikas kasutatakse siiski elektrostaatilist hälvitust, sest elektrostaatilise hälvitusega elektronkiire hälvituseks ei kulutata peaaegu mingit energiat, sest kasutatakse ainult staatilist elektrilaengut.

Kahes sihis (horisontaalses ja vertikaalses sihis) toimuva elektromagnetilise hälvituse saavutamiseks kasutatakse kahte

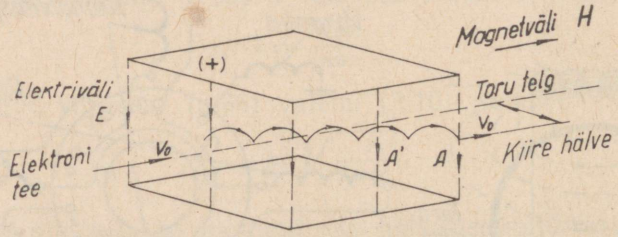
magnetpoolide paari (joon. 3-40). Elektromagnetilised hälvituspoolid on tavaliselt lühikesed, võrreldes elektrostaatilise hälvitussüsteemiga. Pooli välisvarjestus kaitseb pooli väliste segavate mõjude eest ja suurendab hälvitusvälja.

Seni kirjeldatud elektromagnetilistes hälvitussüsteemides omab iga poolipaar toruga ühise telje, kuid on ka teisi süsteeme (joon. 3-41), milledes iga poolipaari teljed on omavahel rööbiti ega lõiku toru telge.

Joonisel 3-42 on kujutatud KBH-49 hälvituspoolide skeem. Hälvituspoolidega ühisele südamikule on keritud ka teravustuspool.

3-9. Elektriline ja magnetiline hälvitus pikimagnetväljas

Mõnedes saatetorudes kasutatakse teravustamiseks pikki teravustuspoole, hälvitus aga toimub plaatidega või teravustuspooli sisse paigutatud poolidega. Hälvitussüsteemi läheduses mõjutavad elektronkiirt pikimagnetväli ja sellega risti olev elektri- või magnetväli. Elektrostaatiline ja elektromagnetiline hälvitus erineb siin varem kirjeldatust pikimagnetvälja olemasolu tõttu. Seepärast käsitletakse sellist olukorda lähemalt.

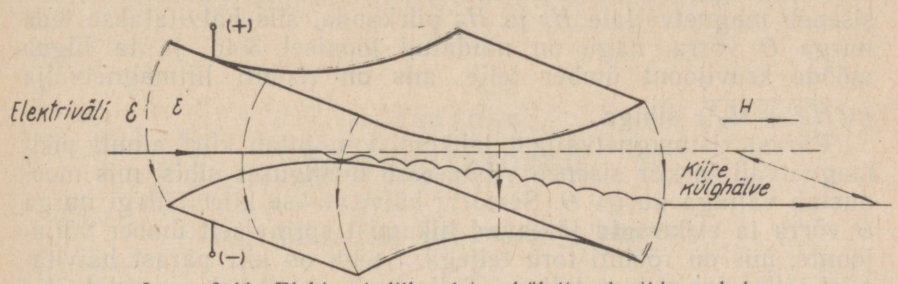


Joon. 3-43. Elektri- ja magnetvälja koostoime elektronile elektrilise hälvituse puhul.

Elektriline hälvitus. Magnet- ja elektrivälja üheaegset toimet elektronile oli käsitletud juba eespool. Elektrilise hälvituse puhul pikimagnetväljas on magnetväli rööbiti toru teljega, elektriväli aga sellega risti (joon. 3-43). Elektronkiir, mis suundub toru telje sihis elektri- ja magnetvälja, saavutab tsükloidse külgliikumise, joonistades rea tsükloide elektriväljaga rööbitises tasapinnas. Kui muuta väljade suunad vastupidiseks, muutub ka elektronkiire hälve. Hälvitus on konstantse magnetvälja puhul võrdeline elektrivälja tugevusega.

Kiire poolt joonistatava tsükloidi alumistes punktides on elektronide kiirus püst- ja külgsihis võrdne nulliga. Magnetvälja

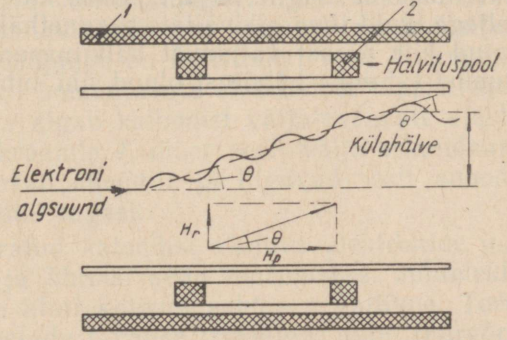
tugevusega reguleeritakse tsükloidide arvu, nii et elektronkiir lahkub plaatide vahelt pärast täisarvu tsükloidi joonistamist punktist A ning jätkab teed märklaua poole juba ainult põhikiirusega v_0. Selline hälvitus tagab, et elektronkiir langeb märklauale ristsihis, sõltumata külghälbest.



Joon. 3-44. Elektroni liikumistee hälvitusplaatide vahel.

Tegelikult kujundatakse saatetoru hälvitusplaadid painutatuina (joon. 3-44), mille tulemusena elektriväli piki toru telge on ebaühtlane ja kiire poolt joonistatavate tsükloidide amplituud kahaneb enne kiire väljumist plaatide vahelt. See tagab kiire parema teravustuse hälvituse vältel.

Magnetiline hälvitus. Enamikus aeglase elektronkiirega saatetorudes, nagu näiteks ortikonides, kasutatakse elektronkiire teravustamiseks pikka magnetpooli *1* ja hälvitamiseks sellega risti olevat lühikest magnetpooli *2* (joon. 3-45). Hälvituspoolide ümbruses mõjutab elektronkiirt teravustuspooli pikimagnetväli H_p ja hälvituspooli ristmagnetväli H_r. Need kaks välja kokku moodustavad liitmagnetvälja tugevusega $\sqrt{H_r^2 + H_p^2}$, mis on toru telje suhtes nurga all Θ, kusjuures $\operatorname{tg} \Theta = H_r/H_p$. Elektronkahurist väljuv kiir on esialgu rööbiti toru teljega. Sisenedes nimetatud



Joon. 3-45. Teravustus- ja hälvituspoolide koostoime magnetilise hälvituse puhul.

magnetvälja, moodustab ta selle väljajoontega nurga Θ. Eespool oli vaadeldud juhtu, mil elektron sisenes magnetvälja teatud nurga all (vt. joon. 3-8). Seal oli näidatud, et ta liigub niisugusel juhul kruvijoont mööda, mille telg on rööbiti magnetväljaga.

Samasugune olukord tekib ka antud juhul. Kui elektronkiir siseneb magnetväljale H_r ja H_p piirkonda, siis hälvitatakse teda nurga Θ võrra, nagu on näidatud joonisel 3-45, ja ta liigub mööda kruvijoont ümber telje, mis on rööbiti liitmagnetvälja ($\sqrt{H_r^2 + H_p^2}$) sihiga.

Pärast ristmagnetväljast lahkumist mõjutab kiirt ainult pikimagnetväli ja kiir siseneb viimasesse niisuguses sihis, mis moodustab väljaga nurga Θ. Seetõttu hälvitatakse kiirt jällegi nurga Θ võrra ja elektronid jätkavad liikumist spiraalselt ümber väljajoonte, mis on rööbiti toru teljega. Seega on kiir pärast hälvitamist jälle rööbiti toru teljega. Sellest näeme, et kahe magnetvälja koostoimel nihkub kiir külgepidi ristmagnetvälja poole, kuid tema siht jääb seejuures ikkagi rööbiti toru teljega. Sellise hälvitussüsteemi peamiseks paremuseks on see, et selle puhul lähenevad elektronid märklauale alati sellega ristisihis. Seda aga on aeglase elektronkiirega saatetorudes just vaja.

Sellise hälvitussüsteemi märkimisväärseks paremuseks on veel asjaolu, et kui elektronide liikumise suund muutub vastupidiseks, siis muutub vastupidiseks ka kiire hälvituse suund. Kui näiteks kiir liigub saatetoru märklaua poole ja on hälvitatud ülespoole, siis tema tagasiteel, mil ta liigub katoodi poole, on ta hälvitatud allapoole. Seega liigub kiir tagasi tuldud teed mööda. Selles suhtes erineb elektromagnetiline hälvitus elektrostaatilisest, mille korral tagasipöörduv kiir on hälvitatud samas suunas kui langevgi kiir.

Sellist liiki magnethälvitus erineb eespool kirjeldatud pikiväljata magnethälvitusest selle poolest, et kiirt hälvitatakse ristmagnetvälja sihis, mitte aga sellega risti. Pärast väljumist hälvituspooli magnetväljast jätkab kiir siin liikumist rööbiti toru teljega, kuid ilma pikiväljata magnethälvituse puhul jätkab hälvitatud kiir pärast väljumist hälvituspooli magnetväljast oma liikumist tal enne hälvitust olnud sihi suhtes teatava nurga all.

IV PEATÜKK

VASTUVÕTUTORUD

4-1. Töötamise põhimõte ja ehitus

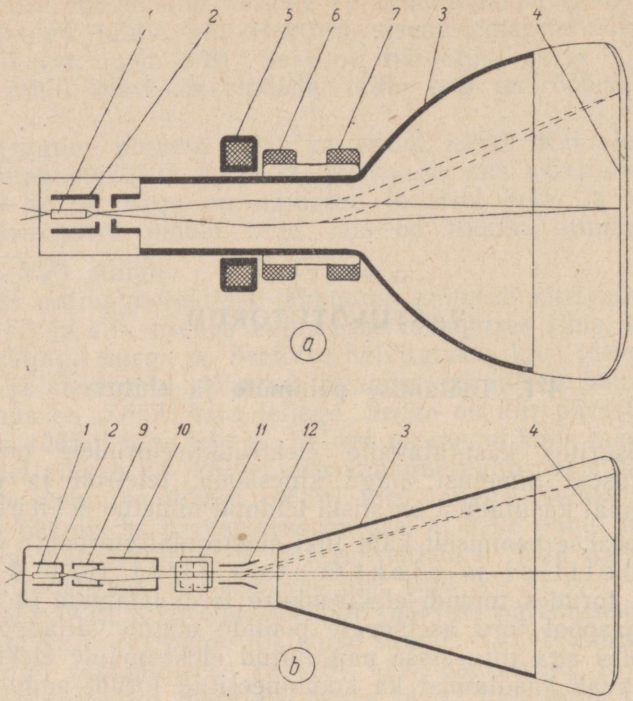
Televiisorites kasutatavaile elektronkiiretorudele on antud mitmesuguseid nimetusi, nagu kineskoop, teletron ja visitron. Laialdasemat kasutamist on siiski leidnud nimetus kineskoop.

Kasutatakse peamiselt kaht liiki elektronkiiretorusid: elektromagnetilisi ja elektrostaatilisi (joon. 4-1). Esimest liiki torudes toimub elektronkiire teravustamine ja hälvitamine väljaspool toru asetsevate poolide magnetväljadega, teist liiki torudes aga toru sisse paigutatud elektroodide elektriväljadega. Leiavad kasutamist ka kombineeritud torud, nagu näiteks torud elektrostaatilise teravustamise ja elektromagnetilise hälvitamisega ning torud elektromagnetilise hälvitamisega vertikaalsihis ja elektrostaatilise hälvitamisega horisontaalsihis.

Iga elektronkiiretoru sisaldab elektronkahurit, teravustussüsteemi, hälvitussüsteemi ja elektronidega pommitatavat märklauda. Vastuvõtutorudes on märklauaks luminestseeriv ekraan.

Elektromagnetiline toru (joon. 4-1, *a*) on ehituselt lihtsam. Tema elektronkahur koosneb kaudselt kõetavast katoodist *1*, katoodi ümbritsevast silindrikujulisest juhtelektroodist *2* ja anoodist *3*. Anoodiks on tavaliselt toru kesta sisepinda kattev juhtiva materjali kiht. Anoodpinge on mitu tuhat volti. Enamikul juhtudel määrab ta ekraani pommitavate elektronide lõppkiiruse. Elektrone juhtiv voolurada algab katoodist väljalendavate elektronidega, mis langevad ekraanile *4*, lüües sealt välja sekundaarelektrone. Viimased langevad anoodile ja liiguvad sealt anoodpinge allika kaudu katoodile tagasi.

Juhtelektrood on määratud katoodist väljuva elektronide joa esialgseks koondamiseks ja ühtlasi selle tüürimiseks. Juhtelektroodi potentsiaal hoitakse alati katoodi suhtes negatiivne. Toru elektronkahurit võib samastada tavalise trioodiga, mille tüürvõre on asendatud katoodi ümbritseva, väikest väljeava omava silind-



Joon. 4-1. Vastuvõtu-elektronkiiretorud:
a — elektromagnetiline, *b* — elektrostaatiline.

riga. Seetõttu nimetatakse niisugust elektronkahurit sageli trioodsüsteemiks.

Elektromagnetilise toru teravustussüsteem sisaldab teravustuspooli *5*, mis tekitab toru telje suhtes sümmeetrilise magnetvälja. See väli kõverdab kõigi toru teljest eemalelennanud elektronide lennujooned ja koondab elektronid ühte punkti. Reguleerides teravustuspooli voolu, taotletakse olukorda, mille puhul kõigi elektronide koondumispunkt asuks ekraani pinnal. Teravustatud elektronide juga nimetatakse elektronkiireks.

Hälvituspoolide *6* ja *7* abil tekitatakse väljad, mis on toru teljega risti. Nende abil sunnitakse elektronkiirt hälbima toru teljest nurga võrra, mis on võrdeline poolisid läbiva vooluga.

Elektrostaatilises torus (joon. 4-1, *b*) on kõik elektroodid paigutatud klaaskesta sisse.

Elektronkahur (joon. 4-2, *a*) koosneb kütteniidist *1a*, katoodist *1* ning juhtelektroodist *2*. Kütteniit on valmistatud eriliiki traadist ja paikneb torukujulises katoodis. Teda köetakse tava-

liselt pingega 6,3 V. Katood on tehtud niklisulamist ja tema esiots on kaetud baarium- või strontsiumoksüüdi kihiga. Katoodi kuumenemisel hakkab oksüüdikiht emiteerima elektrone. Emissioonivool sõltub katoodi materjalist ja temperatuurist.

Juhtelektrood on silindriline ja ümbritseb täielikult katoodi. Sageli nimetatakse teda esimeseks võreks. Juhtelektroodi ekraanipoolses otsas asetseb avaga ketas, mille avast sõltub juhtelektroodist läbipääsevate elektronide arv. Juhtelektroodile rakendatud negatiivne pinge mõjub elektronidele selliselt, nagu muutuks ava väiksemaks. Seega saab juhtelektroodi negatiivse pinge muutmisega muuta elektronkiire voolu tugevust. Tavaliselt on juhtelektroodile katoodi suhtes antav pinge —25 ... —80 V, sõltuvalt kineskoobi tüübist. Katoodist väljunud ja ekraanile lendavad elektronid peavad moodustama äärmiselt peenikese ja suurt energiat omava kiire. Selleks vajalik kiirendus antakse elektronidele elektrostaatilises elektronkiiretorus mitme anoodi abil, millel on katoodi suhtes positiivne pinge.

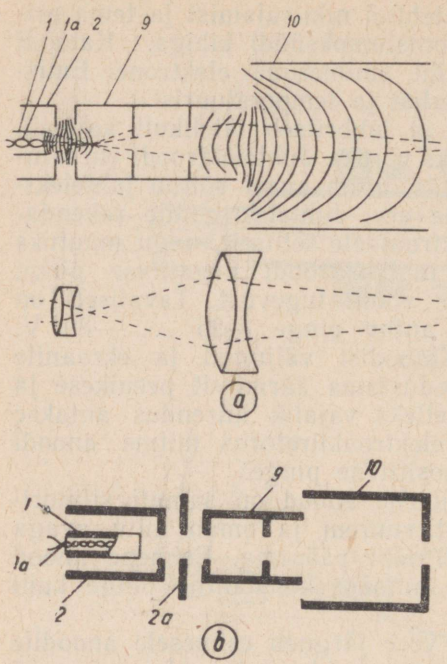
Kiirenduselektrood *9* ehk esimene anood on samuti silindriline, kuid juhtelektroodist pisut suurem ja omab mitu avaga ketast, millest elektronkiir peab läbi pääsema. Esimene anood sarnaneb varivõrega ja temale antakse konstantne pinge kuni 300 V (joon. 4-2, *a*).

Teine anood *10* ehk kolmas võre järgneb esimesele anoodile ja sarnaneb oma ehituselt esimesega, kuid omab veelgi suuremat läbimõõtu. Sageli sisaldub elektronkiiretorus ka kolmas anood, mis on elektriliselt ühendatud elektronkiiretoru kesta sisepinda katva juhtiva kihiga *3* (vt. joon. 4-1, *b*). Teise anoodiga on ühendatud kõrgepinge allika positiivne poolus, katoodiga aga on ühendatud sama pingeallika negatiivne poolus. Seega sarnaneb elektronide voolurada elektromagnetilises torus esineva voolurajaga. Elektronide poolt kiires tekitatava voolu tugevus sõltub, nagu igas trioodsüsteemiski, katoodi materjalist ja temperatuurist ning võre- ja anoodpingest. Ekraanile tekkiva tähni heledus sõltub kiire voolust, mida tavaliselt muudetakse juhtvõrele antava pingega. Märklauale suunatud elektronkiire teravus sõltub anoodidevahelisest pingest.

Teravustussüsteemist väljunud elektronid omavad lõplikku kiirust, sest antud juhul on teravustussüsteem ühtlasi ka kiirendussüsteemiks.

Viimase anoodi vahetus läheduses paiknevad kaks paari hälvitusplaate: plaadipaar horisontaalseks hälvitamiseks *11* ja plaadipaar vertikaalseks hälvitamiseks *12*. Hälvitusplaatide keskmine potentsiaal peab võrduma teise anoodi potentsiaaliga. Hälvituspinge toimel tekib plaatide vahele elektrostaatiline väli, mis sunnib elektronkiirt kalduma kõrgema potentsiaaliga plaadi suunas.

Eespool kirjeldatud trioodelektronkahuri korral võib juhtelekt-



Joon. 4-2. Elektrostaatilise toru triood-süsteemiline (*a*) ja tetroodsüsteemiline (*b*) elektronkahur.

roodi potentsiaal avaldada mõju kiire teravustamisele. Selle ebasoovitava nähtuse vältimiseks kasutatakse mõnikord tetroodelektronkahurit (joon. 4-2, *b*), kus juhtelektroodi ava taga paikneb täiendav varjestuselektrood 2*a*. Omades katoodi suhtes võrdlemisi madalat positiivset pinget, väldib viimane juhtelektroodi potentsiaali mõju välja kujule selle ruumi ulatuses, kus toimub esialgne teravustamine, ja säilitab seega kestvalt soodsamad teravustamistingimused. Üheaegselt sellega vähendab varjestuselektrood anoodpinge mõju toru elektronkiire voolule.

Kineskoobi tüürelektroodile rakendatava moduleerimispinge ulatus leitakse toru moduleerimistunnusjoonest, mis kujutab elektronkiire voolu sõltuvust pingest tüürelektroodil. Selline tunnusjoon kineskoobi 40ЛК1Б kohta on toodud joonisel 4-3.

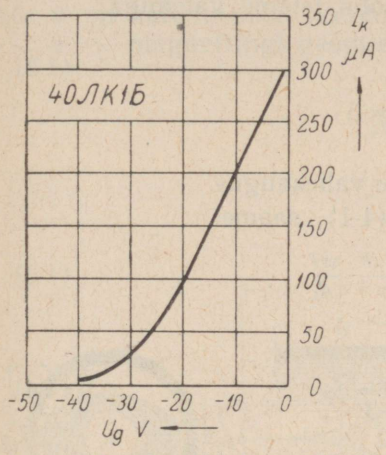
Kuna ekraani heledus on võrdeline elektronkiire vooluga, siis iseloomustavad selle tunnusjoone ordinaadid teatud mõõtkavas ka kiire poolt tekitatavat heledust.

Kineskoobi ekraan võib olla ümmargune või ristkülikuline. Ristkülikulise ekraaniga (joon. 4-4) toru omab ümmarguse ees järgmisi eeliseid: 1) tema kaal on väiksem, 2) ta nõuab vähem ruumi, 3) ta ei piira kujutise nurki, 4) teda on parem monteerida ja 5) õhurõhk tema otsapinnale on väiksem. Näiteks kineskoobi 53ЛК2Б esiklaasi pindala on 1630 cm^2. Kuna õhurõhk on umbes 1 kg/cm^2, siis mõjub kogu ekraanile rõhk ligikaudu 1630 kg.

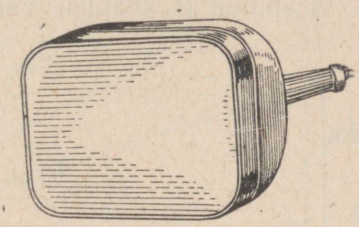
Siit selgub, et toru talub küllaltki suurt mehaanilist koormust. Kui tema kesta tekib põrutuse tagajärjel väike mõra, siis kest otsekohe puruneb ja suure jõuga laiali paiskuvad killud võivad kahjustada seadmeid või inimesi. Samuti võib toru puruneda ka kõrgepinge tagajärjel tekkivast läbilöögist. Sellest tingituna kaitstakse televiisorite ekraanid kaitseklaasiga.

Toodetakse ka kombineeritud — klaasist ning metallist —

kestaga torusid. Metall suurendab toru vastupidavust, vähendab selle kaalu ja hinda ning varjestab teda välise elektrostaatilise välja mõju eest.



Joon. 4-3. Vastuvõtutoru 40ЛК1Б moduleerimise tunnusjoon.



Joon. 4-4. Ristkülikulise ekraaniga vastuvõtutoru.

4-2. Hälvituspoolide arvutus ja konstruktsioon

Elektronkiire elektrostaatilist teravustamist ja hälvitamist elektronkiiretorudes on käsitletud III peatükis.

Samas peatükis on käsitletud ka elektromagnetilist teravustamist ja hälvitamist. Siin toome mõned praktilised valemid elektromagnetilise teravustamise ja hälvitamise jaoks vajalike poolide arvutamiseks.

Elektromagnetilist hälvitustundlikkust väljendatakse valemiga (3-37)

$$\frac{D}{H} = bl\sqrt{\frac{e}{2mU_a}}.$$

Asetanud sellesse valemisse vaakuumi magnetilise läbitavuse $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (Vs/Am) ja suhte e/m arvväärtuse, saadakse, et kiire hälve ekraanil

$$D = 4\pi \cdot 0{,}0297 \frac{blH}{\sqrt{U_a}} \text{ m.} \qquad (4\text{-}1)$$

Selles valemis tuleb magnetvälja H väljendada amprites meetrile, mõõtmeid b ja l meetrites ning pinget U_a voltides.

Teatud kindlal elektronkiiretorul on b ja l konstantse väärtusega. Järelikult sõltub hälve magnetilisel hälvitusel jääva kiiren-duspinge U_a puhul ainult magnetvälja tugevusest H.

Magnetvälja tugevuse hälvituspoolis leiame valemiga

$$H = \frac{wI}{d}, \tag{4-2}$$

kus w on hälvituspooli keerdude arv,
I — hälvituspooli läbiv vool,
d — hälvituspooli poolte telgede vahekaugus.

Asetanud H avaldise valemisse (4-1), saame:

$$D = \frac{4\pi \cdot 0{,}0297\, lb}{\sqrt{U_a}} \cdot \frac{wI}{d} \tag{4-3}$$

ehk

$$D = 0{,}373\, \frac{bl}{d} \cdot \frac{wI}{\sqrt{U_a}} \tag{4-4}$$

ja

$$wI = \frac{Dd\sqrt{U_a}}{0{,}373\, lb} \text{ Ak.} \tag{4-5}$$

Elektromagnetilise ja elektrostaatilise hälvituse valemite (4-4) ja (3-30) järgi

$$D_m = 0{,}373\, \frac{blwI}{d\sqrt{U_a}} = K_1 \cdot \frac{I}{\sqrt{U_a}} \tag{4-6}$$

ja

$$D_e = \frac{blU}{2aU_a} = K_2 \frac{U}{U_a} \tag{4-7}$$

Valemitest selgub, et elektrostaatilisel hälvitusel on hälve D_e võrdeline hälvituspingega U ning pöördvõrdeline kiirenduspingega U_a, elektromagnetilisel hälvitusel aga on hälve D_m võrdeline hälvitusvooluga I ning pöördvõrdeline ruutjuurega kiirenduspingest $\sqrt{U_a}$.

Seega on kõrgete kiirenduspingete U_a puhul otstarbekam kasutada elektromagnetilist hälvitust.

Kineskoobile hälvituspoolide arvutamiseks on veel vaja teada (joon. 4-5): kiire suurimat hälbenurka β, kiirenduspinget U_a, kineskoobi kaela läbimõõtu D_n ja poolisid ümbritseva varje läbimõõtu D_a. Nende andmete põhjal võime leida hälvituspoolide vajaliku võimsuse ja induktiivsuse. Hälvituspoolid tekitavad kineskoobi kaelas magnetvoo

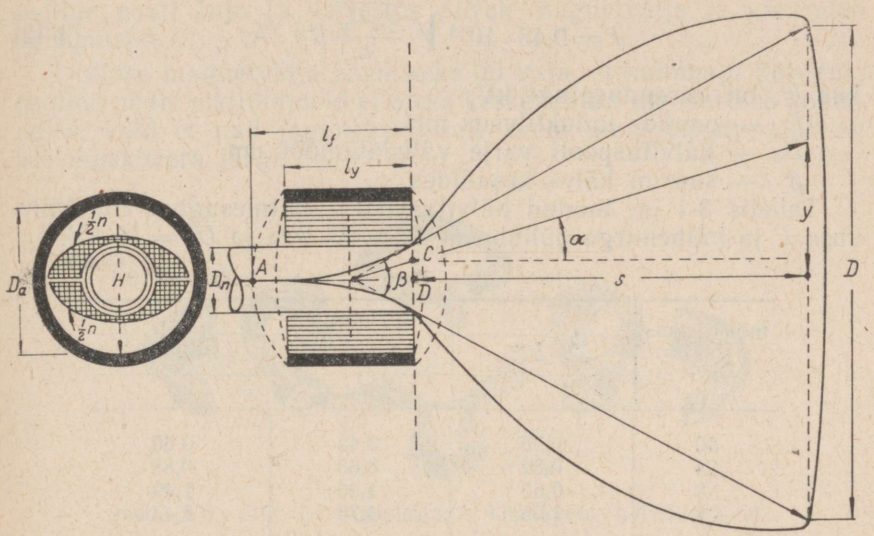
$$\Phi = \mu_0 H D_n l_f.$$

Eeldades, et $HD_a = wI$, saadakse hälvituspooli induktiivsuseks:

$$L = \frac{w\Phi}{I} = 1{,}26\, w^2 l_f \frac{D_n}{D_a} 10^{-9} \text{ H}, \qquad (4\text{-}8)$$

kus w on hälvituspooli keerdude arv
l_f — magnetringi geomeetriline pikkus:

$$l_f = \frac{0{,}5\, D_n}{\operatorname{tg} \beta/4}.$$



Joon. 4-5. Elektromagnetilise elektronkiiretoru hälvituspoolide arvutuse selgitamiseks.

Hälbenurga β saamiseks vajalik võimsus P arvutatakse valemiga

$$P = 29 \cdot 10^{-6} f\, U_a D_a \left(\frac{\beta}{100}\right)^3 \text{VA}, \qquad (4\text{-}9)$$

kus U_a on kiirenduspinge kV,
D_a — hälvituspooli läbimõõt cm,
f — reasagedus Hz.

Horisontaalhälvituspoolide näivvõimsuse P_h suhe kiirenduspingesse U_a reasageduse $f = 15{,}75$ kHz puhul

$$\frac{P_h}{U_a} = 0{,}46 D_a \left(\frac{\beta_h}{100}\right)^3 \frac{\text{VA}}{\text{kV}}; \qquad (4\text{-}10)$$

Sama suure vertikaalhälbe β_v saamiseks kulutatakse vähem energiat, sest vertikaalhälvituse sagedus f_v on väiksem.

Vertikaal- ja horisontaalhälvituse võimsuste suhe:

$$\frac{P_v}{P_h} = k_3 = \frac{1}{2} \cdot 4 \frac{f_v}{f_h} = \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot \frac{50}{15750} = 0{,}0064. \qquad (4\text{-}11)$$

Seega, kui asetada saadud tegur k_3 eelmisse valemisse, saamegi vertikaalhälvituseks vajaliku võimsuse. Sõltuvalt hälbenurgast β on see tavaliselt 50 ... 350 mW.

Hälvituspoole läbiva voolu I arvutamiseks kasutame valemit

$$I = 0{,}48 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{U_a D_a}{L}} \beta^{3/2} \text{ A}, \qquad (4\text{-}12)$$

kus U_a on kiirenduspinge kV,
L — poolide induktiivsus mH,
D_a — hälvituspooli varje välisläbimõõt cm,
β — suurim hälve kraadides.

Tabelis 3-1 on toodud hälvitusvool I mitmesuguse induktiivsuse L ja hälbenurga puhul, kui $D_a = 75$ mm ja $U_a = 16$ kV.

Tabel 3-1

Induktiivsus L mH	Hälve		
	$\beta = 52°$	$\beta = 72°$	$\beta = 90°$
	Vool A		
50	0,26	0,43	0.60
24	0,39	0,63	0,88
8	0,65	1,06	1,49
8	1,06	1,74	2,43

Horisontaalhälvituspoolide induktiivsuse arvutamisel tuleb võtta arvesse ka elektronkiire tagasiliikumise ehk tagasikäigu kestust T_r ja pooli sildavat mahtuvust C_p. Rööbitine mahtuvus C_p koosneb pooli keerdudevahelisest mahtuvusest, horisontaal- ja vertikaalhälvituspoolide vahelisest mahtuvusest ning samuti ka osast hälvitustransformaatori mahtuvusest.

Seepärast annab eespool leiduv valem (4-8) hälvituspooli induktiivsuse hindamiseks ainult ligikaudse väärtuse. Horisontaalhälvituspooli induktiivsuse suurima väärtuse määrab rea tagasikäigu kestus T_r, mis on 16% reakestusest ja tavaliselt alla 10 µsec. Seega

$$T_r = \pi \sqrt{LC_p} \leqslant 10 \text{ µsec}. \qquad (4\text{-}13)$$

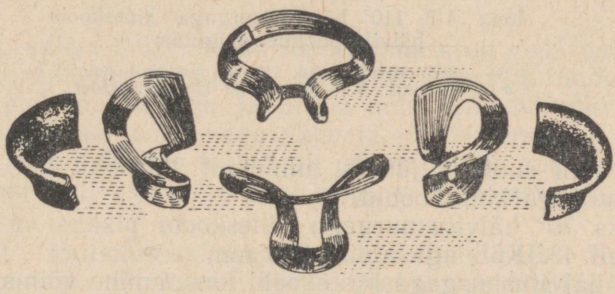
Tavaliselt $C_p \approx 330$ pF. Selle põhjal on induktiivsuse L suurimaks väärtuseks 30 mH.

Hälvituspinge järsk lakkamine elektronkiire tagasikäigu alghetkel tekitab hälvituspoolis sumbuva võnkumise, mis võib muu-

tuda pooli isolatsioonile ohtlikuks juhul, kui ei rakendata vajalikke summutusabinõusid. Viimaseid käsitleme lähemalt VI peatükis.

Ühtlase magnetvälja puhul on energia, mis tuleb anda hälvituspoolidele teatud magnetvälja tugevuse saavutamiseks, võrdeline selle välja poolt hõlmatava ruumalaga. Seepärast kujundatakse hälvituspoolid toru kaela ümbritsevate silindritena ja ümbritsetakse nad varjestava teraskestaga, mis suleb nende poolt tekitatud magnetvälja võimalikult väikesesse ruumalasse. Selline pooli kuju ja varjestus piirab magnetvälja ja vähendab välispuistet.

Ühtlase magnetvälja saamiseks on vaja, et kummagi hälvituspoolide paari pikijuhtmeid ei oleks keskendatud üksikutesse kohtadesse, vaid et nad jaguneksid toru kaela ümbermõõdu ulatusel koosinuskõvera järgi.



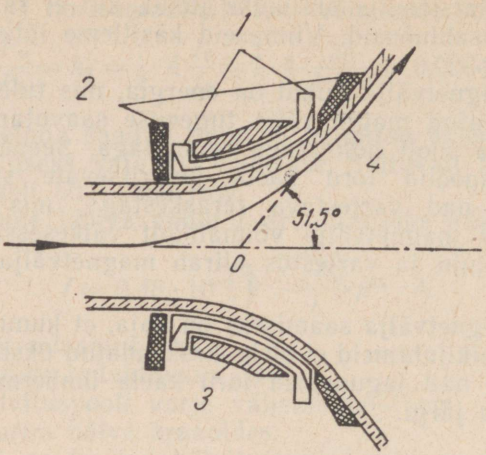
Joon. 4-6. 110° hälvitusnurgaga kineskoobi hälvituspoolid.

Koosinuskõverale vastava jagunemise all mõistetakse sellist pooli kujundust, mille puhul mähise ümbermõõdu iga kraadi kohta tulev keerdude arv on võrdeline nurga koosinusega.

Sellise pooli valmistamine ei tekita raskusi. Ta koostatakse kahest poolest, millest kumbki keritakse šabloonil valmis lamedana ja painutatakse siis nõutud kujusse. Tema üks serv painutatakse toru telje suhtes 90° võrra ülespoole. Poolid asetatakse toru kaelale üksteise suhtes täisnurga all. Et saada head varjestust, kasutatakse varjena suure läbitavusega terast.

Reahälvituspoolid valmistatakse tavaliselt väikese keerdude arvuga ja arvutatakse tugevale hälvitusvoolule. See väldib isolatsiooni-läbilöögi ohtu reahälvituse tagasikäigu kestel tekkiva kõrgepinge tõttu. Samuti peab reahälvituspoolidel olema väike sisemahtuvus ja hea isolatsioon.

Viimasel ajal on Nõukogude Liidu tööstuse poolt toodetud kineskoope (34ЛК6Б ja 53ЛК5Б), milles elektronkiire hälvitusnurk on 110°. Sellised suure hälvitusnurgaga kineskoobid on



Joon. 4-7. 110° hälvitusnurgaga kineskoobi hälvituspoolide paigutus:

1 — piklihälvituspoolid, *2* — reahälvituspoolid, *3* — südamik, *4* — hälvitatud kiire trajektoor.

sama ekraani suuruse juures tunduvalt lühemad kui väiksema hälvitusnurgaga kineskoobid.

Näiteks 70° hälvitusnurgaga kineskoobi pikkus on 505 mm, kineskoobil 43ЛК6Б aga ainult 330 mm.

Suure hälvitusnurgaga kineskoobi kasutamine võimaldab televiisori mõõtmeid tunduvalt vähendada.

Elektronkiire suur hälvitusnurk saavutatakse erilise kujuga hälvituspoolide (joon. 4-6) ja nende paigutusega (joon. 4-7).

4-3. Elektronkiiretoru ekraan

Elektronkiiretoru tähtsamaks osaks on luminestseeriva ainega kaetud ekraan, mis elektronidega pommitamisel helendab. Ekraani katmiseks tarvitatavaid luminofoore on kirjeldatud esimeses peatükis.

Kujutise headuse üheks näitajaks on tema kontrastsus. Elektronkiiretoru ekraanil on alatiselt teatud väike heledus B_0. Kui tähistada ekraani pommitamisel elektronidega tekkiv suurim heledus tähisega B_m, siis väljendab ekraani kontrastsust suhe $\ln B_m/B_0$. Ekraani kontrastsus on tavaliselt piirides 15 ... 20. Võrdluseks olgu märgitud, et päikesepaistel esineb kontrastsust 100 ja rohkemgi, tavalisel kunstlikul valgustusel ruumides 20 ... 50, kino ekraanil 50 ... 100 ja heal ülesvõttel 15 ... 40. Seega on televiisori ekraanil saadava televisioonikujutise kontrastsus umbes samasugune nagu heal ülesvõttel.

4-4. Ioonipüüdjad

Elektronkiiretoru töötamisel leidub seal ka ioone, harilikult hapniku ja kloori ioone. Nende tekkimise kohta on mitmeid arvamusi. Nii oletatakse, et nad 1) eralduvad vahetult katoodist, 2) eralduvad võrest ja katoodist negatiivsete ioonide sekundaaremissiooni tagajärjel ning 3) tekivad gaasi ioniseerumisest, mida pidevalt eritab katood.

Negatiivsed ioonid, samuti nagu elektronidki, saavad kiirenduspinge U_a mõjul kiirenduse ekraani suunas.

Teatavasti hälvitab magnetväli laetud osakest, mille laeng on e ja mass m, ulatuse

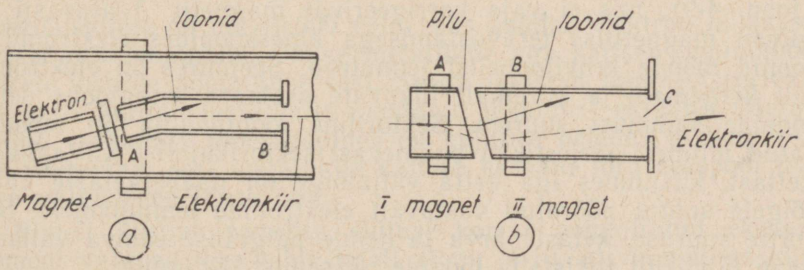
$$D = Hlb\sqrt{\frac{e}{2mU_a}}$$

võrra (vt. valem 3-37). Kuna ioonide mass on elektronide omast ca 2000 korda suurem ja nende puhul on suhe e/m tunduvalt väiksem kui elektroni laengu ja massi suhe, siis hälvitavad hälvituspoolide väljad ioone väga vähe ja ioonid lendavad ekraanile selle keskkohas. Selline ioonidega pommitamine tekitab luminestseerival ekraanil väikese pruuni ringi, mida nimetatakse i o o n t ä h n i k s.

Ekraani kaitsmiseks negatiivsete ioonide eest kasutatakse kahte moodust: 1) ioonid kõrvaldatakse elektronkiirest ioonipüüdja abil, 2) elektronkiiretoru ekraan kaetakse seestpoolt väga õhukese metallikihiga.

Ioonipüüdja põhimõte seisab selles, et elektronkiirest eraldatakse sobivalt paigutatud magnetvälja abil elektronid ja suunatakse nad ekraanile. Kuna aga magnetväli ioonidele mõju ei avalda, siis jatkavad nad oma teekonda sirgjooneliselt, kuni nad satuvad anoodi või mõne muu neid koguva elektroodi pinnale.

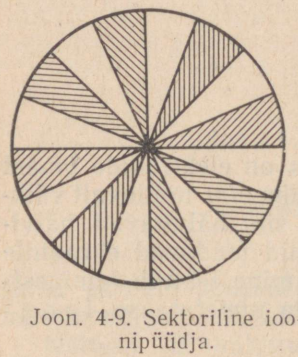
Ioonipüüdjaga varustatud elektronkahur võib olla kas kallutatud (joon. 4-8, *a*) või sirge (joon. 4-8, *b*).



Joon. 4-8. Ioonipüüdjad painutatud (*a*) ja sirge (*b*) elektronkahuriga.

Kineskoobis, mis sisaldab kallutatud elektronkahurit, on ioonipüüdjaks üksainus magnet. Sirge elektronkahuriga kineskoobis on vaja kaht välismagnetit, et kõrvaldada ioonid ekraanilt.

Kallutatud elektronkahuris (joon. 4-8, *a*) on katood, kiirenduselektrood ja anoodi tagumine osa *A* kallutatud teatud nurga võrra kineskoobi kaela telje suhtes. Ioonid lendavad anoodile teatud nurga all kineskoobi kaela telje suhtes ja jätkavad oma teed kuni anoodini. Välismagnet hälvitab elektronid toru teljele. Läbinud anoodi esiosas *B* oleva ava, jätkavad need oma liikumist, kuna hälvitusmagnetid suunavad nad nõutud kohale ekraanil.



Joon. 4-9. Sektoriline ioonipüüdja.

Sirgel elektronkahuril (joon. 4-8, *b*) on võre ja teravustuselektroodi vahel pilu. On teravustuselektroodil kõrgem positiivne pinge kui võrel, siis tekib võre ja teravustuselektroodi vahelises pilus tugev elektriväli. Selle välja jõujooned, mis on piluga risti, suunavad ioonid ülespoole. Kineskoobi kaelale on asetatud kaks magnetit *A* ja *B*. Esimene neist (magnet *A*) on tugevam kui teine ja paikneb pilust tagapool. See magnet on paigutatud nii, et tema mõjul pöörduvad elektronid allapoole, magneti *B* mõjul aga pöörduvad elektronid ülespoole. Elektroni liikumisel suunab esimene magnetväli teda allapoole, võre ja kiirenduselektroodi vahelises pilus aga liigub ta elektrivälja toimel rööbiti kineskoobi teljega, kuni teine magnet suunab ta ülespoole, nii et ta lõpuks väljub kiirenduselektroodis leiduvast avast *C*. Nüüd suundub ta hälvitusplaatide vahelt läbi ja langeb siis ekraanile. Ioonid aga suunab pilus esinev elektriväli nii, et nad kogunevad kõik anoodile. Ioonipüüdjates on kas elektromagnetid või püsivmagnetid. Elektromagnetid on tavaliselt ühendatud järjestikku teravustuspooliga.

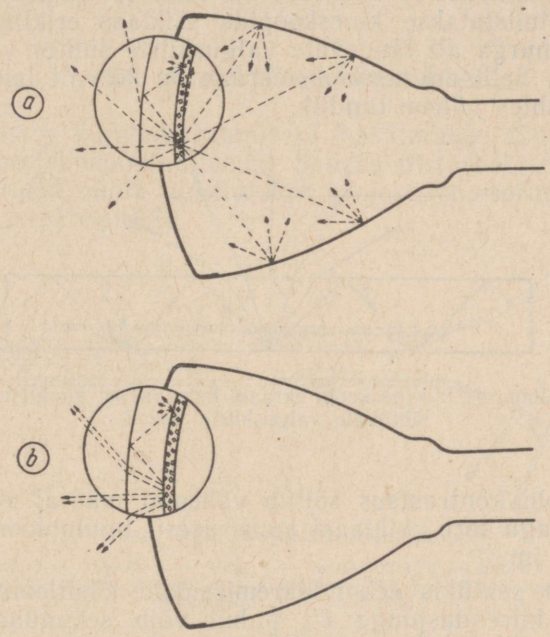
Peale eelkirjeldatute kasutatakse ka sektorilist ioonipüüdjat (joon. 4-9), mis ei vaja korrigeerivat magnetit. Teatavasti liiguvad magnetilise teravustamisega kineskoopides elektronid ja ioonid mööda kruvijoonelist lennuteed. Seejuures on elektronide kui kergemate ja kiiremalt liikuvate osakeste lennujoone samm ioonide sammust suurem. Sektoriline ioonipüüdja on moodustatud mitmest järjestikku paiknevast sektorikujulise väljalõikega kettast, kusjuures iga ketta väljalõige on naaberketaste väljalõigete suhtes pööratud vastavalt elektronide lennujoonele. Sektorite suuruse, ketaste arvu ja nende paigutuse sobiva valikuga saab täielikult takistada ioonide pääsemist ekraanile.

Sektorilise ioonipüüdjaga kineskoop (18ЛК4Б) töötab aga

ainult teravustava magnetvälja õige polaarsuse korral. Vastupidise polaarsuse puhul on elektronide lennujoone keerlemise suund vastupidine ja ekraanil tekkiv kujutis jääb ähmaseks.

4-5. Metallitatud ekraan

Metallitatud ekraanide korral peab kineskoobi kiirenduspinge olema üle 10 000 voldi. Need ekraanid koosnevad tavalisest luminofoorikihist, millele on veel kantud õhuke alumiiniumikile. Kui



Joon. 4-10. Kineskoobi ekraanid:
a — metallitamata, *b* — metallitatud.

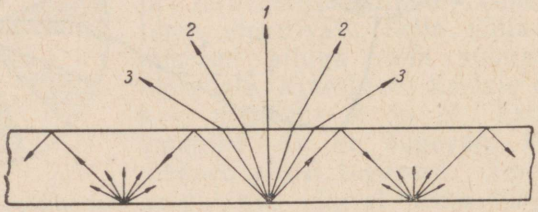
kiirenduspinge on üle 10 000 voldi, siis suudab elektron hõlpsasti läbida alumiiniumkile. Õhuke metallikile aga kaitseb luminofoori raskete ioonide pommituse eest. Seega takistab luminestseerivale ekraanile kantud metallikile ioontähni tekkimist ekraanil. Metallitatud ekraaniga kineskoopides on kujutise heledus ja kontrastsus suuremad, sest metallikile kaitseb ekraani toru seespool tekkiva valguspeegelduse eest.

Nimelt kiirgab tavalise ehituse korral pommitatud ekraani element valguse igas sihis laiali (joon. 4-10, *a*), kusjuures kiirgus tagasisuunas osutub ekraani mittetäieliku läbipaistvuse tõttu

mõnevõrra suuremaks kui pärisuunas. Tagasisuunatud valguskiired satuvad toru seintele ja nendelt peegeldunutena panevad kogu ekraani pinna helendama ning vähendavad seega kujutise kontrastsust. Osa ekraanil tekkinud valgusest läbib toru esiklaasi, tekitades kujutise, osa aga peegeldub esiklaasi sisepinnalt, tekitades helendava tähni ümber sisepeegelduse tõttu kiirtepärja ehk oreooli (joon. 4-11). Viimase olemasolu vähendab kujutise detailide kontrastsust.

Kui luminofoori tagapind on metallitatud, siis peegelduvad tagasisuunatud valguskiired pärisuunas (joon. 4-10, *b*), mille tulemusena kontrastsus suureneb 2,5 kuni 10 korda.

Tihti valmistatakse kineskoopide esiklaas eriklaasist, millel on väikese nurga all langevate valguskiirte suhtes väiksem peegeldustegur. Sellise kineskoobi ekraan on kõrvalt langevate valguskiirte suhtes vähem tundlik.



Joon. 4-11. Kineskoobi ekraani helendavast punktist lähtuvate valguskiirte suund.

Kineskoobi kontrastsus sõltub vähemal määral veel mitmest asjaolust, nagu toru esiklaasi kumerusest, luminofoori metallitamise viisist jm.

Esimeses peatükis sekundaaremissiooni käsitlemisel nägime, et teatava kiirenduspinge U_a puhul võib sekundaaremissiooni tegur σ olla ühest suurem (joon. 1-17). Samuti on selgunud, et isoleeritud ekraan võib elektronidega pommitamisel säilitada anoodi (kollektori) pingete lähedase potentsiaali vaid siis, kui tema sekundaaremissiooni tegur on anoodi teatava kiirenduspinge puhul suurem kui üks. Elektronkiiretorudes on kiirenduspingel üle 500 ... 800 voldi ekraani sekundaaremissiooni tegur tavaliselt väiksem kui üks. Selgub, et kiirenduspinge U_a edasine tõstmine ekraani potentsiaali enam ei tõsta ja seetõttu ei ole võimalik ka ekraani heledust suurendada üle selle väärtuse, mis vastab juhule, mil ekraani materjali $\sigma = 1$.

Kui ekraanil tekivad laengud, siis võib nende ümberpaikne-mise tõttu tekkida vool, mis häirib kujutise vastuvõttu. Metallitatud ekraani metallikile aga ühendab elektriliselt ekraani anoodiga, mistõttu laengud on hõlpsasti ärajuhitavad, kusjuures min-

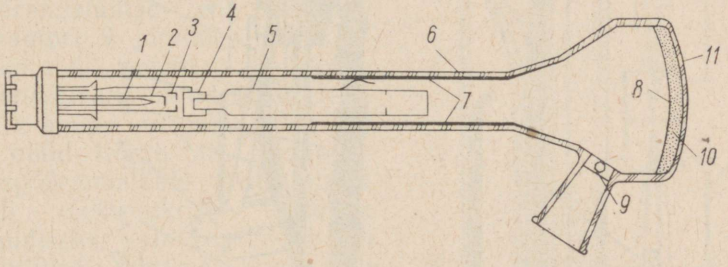
gisugune laengute tekkimine ekraanil enesel ei ole võimalik ja elektronkahurist saabuvad elektronid pommitavad ekraani täie kiirusega.

Elektronkiire teravus oleneb muidugi teravustussüsteemist, kuid peale selle veel ka kiire hälbenurgast ja toru kumerusest. Maksimaalne teravus saavutatakse ainult ekraani keskkohas, selle servades aga on teravus väiksem. Eriti ilmneb see nähtus kineskoopide juures, milles elektronkiire hälbenurk ulatub kuni 110°.

Seepärast kasutatakse suure kujutise saamiseks projektsiooni- ja lamekineskoope.

4-6. Projektsioonikineskoobid

Eriti suure kujutise saamiseks kasutatakse tänapäeval televisioonis projektsioonisüsteeme. Selleks otstarbeks valmistatakse eri liiki torusid, mida nimetatakse projektsioonitorudeks ehk projektsioonikineskoopideks.



Joon. 4-12. Projektsioonikineskoop:

1 — küte, *2* — katood, *3* — võre, *4* — ioonipüüdja, *5* — anood, *6* — juhtiv väliskate, *7* — juhtiv sisekate, *8* — alumiiniumikiht, *9* — anoodi kontakt, *10* — luminofoor, *11* — toru põhi.

Projektsioonitorud võivad omada väiksemat ekraani kui vahetult vaadeldavad, sest suur kujutis saadakse projitseerimise teel optilise süsteemi abil. Kuid toru ekraan peab sel juhul olema tunduvalt heledam, sest projitseerimisel läheb osa valgusest optilises süsteemis kaotsi, projitseeritava kujutise valgustustugevuse aga peab tekitama vaid ülejäänud valgus. Seetõttu jääb suur projitseeritud kujutis tuhmiks. Suure heleduse saamiseks rakendatakse projektsioonikineskoopides kõrget kiirenduspinget — 20 ... 80 kV.

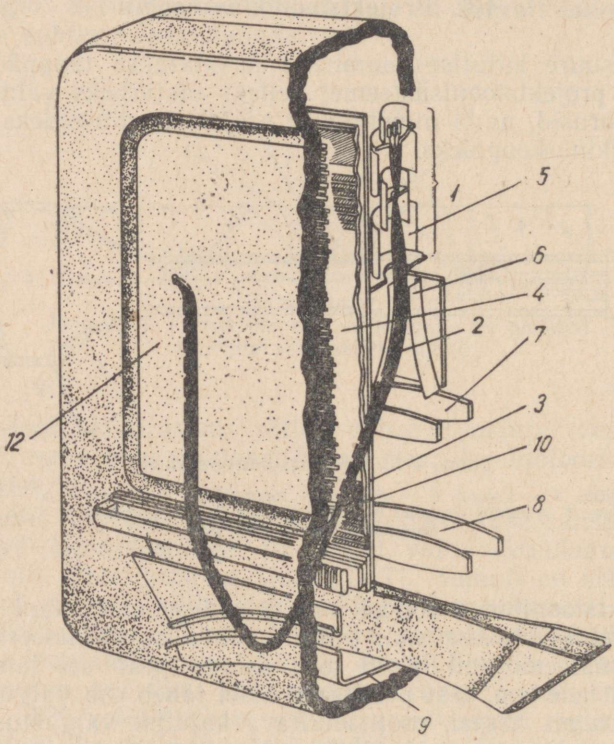
Projektsioonikineskoobi esiklaas peab olema tasane ja optiliselt ühtlane, et projitseeritud kujutises ei tekiks ebaõigeid kontrastsuse vahekordi ega moonutusi. Neis leiavad kasutamist metallitatud ekraanid ja elektromagnetiline hälvitus, sest elektrostaa-

tiline hälvitus nõuaks kõrge kiirenduspinge tõttu väga kõrget hälvituspinget. Pealegi saadakse elektromagnetilise hälvitusega teravam elektronkiir, mis projektsioonitorudes on eriti vajalik.

Joonisel 4-12 on kujutatud projektsioonitoru 6ЛК1Б.

4-7. Lamekineskoobid

Tavaline kineskoop muudab televiisori mahukaks, sest toru ekraani suurendamisega suureneb ka tema pikkus. Kuid viimasel ajal on loodud kineskoope, mille pikkus ehk nn. paksus ei ületa



Joon. 4-13. Lamekineskoobi lõige.

kümmet sentimeetrit. Seejuures aga omab kineskoop siiski küllalt suurt ekraani. Selliseid vastuvõtutorusid nimetatakse lame-kineskoopideks. Niisuguse kineskoobiga varustatud televiisori võib paigutada seinale nagu kinoekraani.

Ameerika Ühendriikides loodud lamekineskoop kujutab endast

elektronkiiretoru, mille paksus on 6,25 sentimeetrit ja ekraani mõõtmed 45,5 × 34 cm. Tema lõige ja elektronkiire kulg on kujutatud joonisel 4-13 ja 4-14.

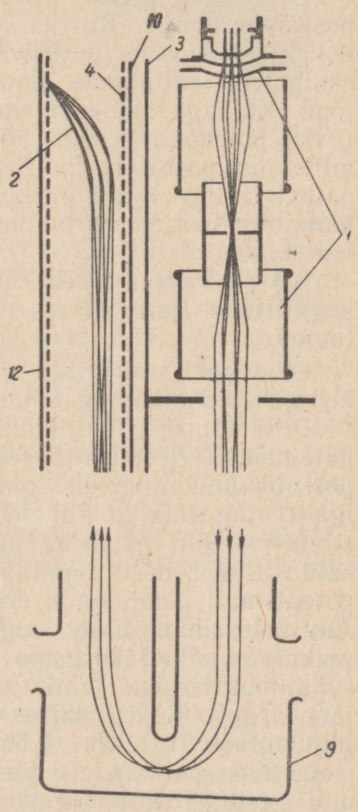
Nimetatud elektronkiiretoru erineb tunduvalt seni kasutatavatest kineskoopidest. Tema elektronkahur *1* paikneb rööbiti toru ekraaniga ja elektronkiir *2* suundub ülevalt alla.

Jooniselt 4-13 näeme, et selline lamekineskoop on jagatud magnetilise varjega *3* kaheks osaks. Varje taga paikneb elektronkahur ja hälvitussüsteem. Ekraani ja varje vahel asetseb vertikaalhälvituse ala *4*, mis on lamekineskoobi üks iseloomulikumaid osi, ja värvilisel kineskoobil ka moondekate.

Elektronkahur on paigutatud lamekineskoobi ülemisse keskossa. Temast väljunud elektronkiir suundub otse allapoole. Seejuures läheb ta läbi teravustussüsteemi *5* ja reahälvitusplaatide *6* vahelt ning seejärel hälvituse korrigeerimiseks veel kahe korrigeerimisplaatide paari *7* ja *8* vahelt. Hälvitus toimub lamekineskoobis elektrostaatiliselt.

Edasi suundub elektronkiir ümberpööramisläätse ehk magnetkollimaatori *9* pinnale, mis kannab katoodi potentsiaali. Selle elektronläätsega muudetakse elektronkiire suund vastupidiseks, nii et ta nüüd liigub alt ülespoole. Ümberpööramisläätse mitte ainult pöörab elektronkiire teekonna vastupidiseks, vaid suurendab ka reahälvituse ulatust kuni neli korda. Nii saavutatakse elektronkiirele suur hälbenurk: 110° kuni 120°, mida pole võimalik saavutada tavalise elektrostaatiliselt hälvitava kineskoobiga, vaid mis on omane ainult parimatele elektromagnetilise hälvitusega kineskoopidele.

Tavalises kineskoobis pole elektronkiir teatavasti kogu reahälvituse ulatuses ekraanile teravustatud, vaid nurkades on teravustus väiksem kui ekraani keskkohas. Lamekineskoobis aga kompenseerib ümberpööramisläätse ka selle puuduse, nii et siin on kiir ekraanil terav kogu rea ulatuses.



Joon. 4-14. Elektronkiire kulgemine lamekineskoobis.

Nüüd vaatame, mis sunnib elektronkiirt lõpetama liikumise üles ja painutab ta ekraanile ning sunnib teda iga pildi lõpul liikuma tagasi pildi esimese rea algusesse.

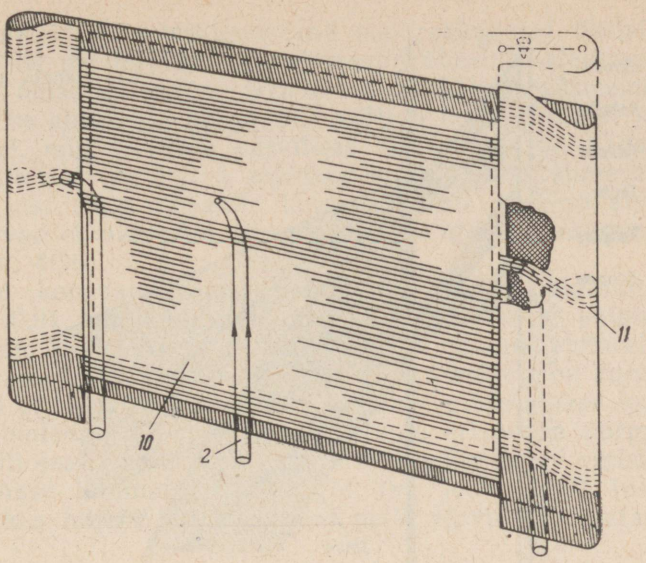
Selleks vertikaalhälvituse vahendiks on isoleermaterjalist leht *10*, millele on ridadena trükitud horisontaalsed juhtivast materjalist ribad (joon. 4-14). See juhtivate ribadega isoleerleht on asetatud magnetilise varje *3* ette, sellest 0,32 mm kaugusele. Lehe otsad on painutatud silmusetaoliselt kõveraks (joon. 4-15), nii et elektronkiir, jõudes rea lõppu, langeb juhtivale ribale *11*. Jooniselt 4-15 näeme, et silmusekujuliste osade ulatuses on juhtivad ribad pööratud veidi ülespoole. Juhtivate ribade arv ei ole oluline. Enamasti on neid kuni 120. Mõnda tüüpi lamekineskoopides aga on ainult seitse juhtivat riba. Kuid sel juhul toidetakse ribasid väljaspool toru asuvast seitsmest elektrontorust.

Luminestseerivale ekraanile *12* (joon. 4-13) antakse kõrge positiivne pinge. Kui ka kõigil horisontaalsetel juhtivatel ribadel on ühesugune positiivne potentsiaal, siis liigub elektronkiir ekvipotentsiaalipinnas ilma, et temale mõjuks mingi hälvitav jõud. Kui aga mõned ülemised juhtivad ribad omandavad negatiivse potentsiaali, siis pöördub elektron järsku ekraani poole, millel on positiivne potentsiaal. Seega moodustavad negatiivse potentsiaaliga ribad piirkonna, kus elektrone järsult suunatakse kõrvale. Positiivsete ja negatiivsete ribade vaheala nimetatakse siirdealaks.

Iga pildi lõpul tuleb kõik juhtivad ribad laadida jälle kõrgele negatiivsele potentsiaalile, mis viib kiire uuesti pildi algusesse tagasi.

Omavahel isoleeritud vertikaalhälvituse ribade laadimine ja laengust vabastamine toimub elektronkiire enesega.

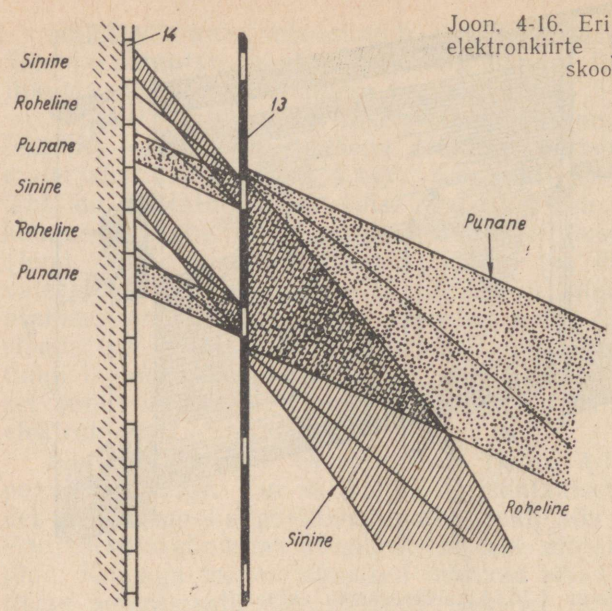
Pildilaotuse algul kannavad kõik juhtivad ribad positiivset potentsiaali. Seetõttu tõuseb elektronkiir üles. Üleval asub katoodi potentsiaali kandev elektrood, mis painutab kiire ekraanile. Pärast iga reatagasikäiku kiir hetkeks peatub isoleerlehe vasakpoolses silmuses. Siin tabab ta juhtivate ribade otsi, mis on ülespoole kaldu ja laeb need negatiivselt. Mõned selle tagajärjel negatiivse potentsiaali omandanud ülemised ribad tõukavad kiire allapoole. Juhtivate ribade otste loogelise kuju tõttu omandavad kõrgemal paiknevad ribad kõrgema negatiivse potentsiaali. Selle tulemusena muutub iga juhtiv riba negatiivseks mitte korraga, vaid järk-järgult. Elektronkiire voolu muutmisega on võimalik saada pildilaotuse kestuseks 1/50 sec. Iga pildilaotuse lõpul jääb kiir isoleerlehe parempoolsesse silmusesse seniks, kuni ta on liikunud vertikaalsihis tagasi pildi algpunkti. Sellel ülesliikumisel tabab elektronkiir juhtivaid ribasid läbi võrgu, millel on kõrge positiivne potentsiaal. Elektronkiire toimel eraldub juhtivatest ribadest vabu elektrone, mis lendavad kõrget positiivset potent-



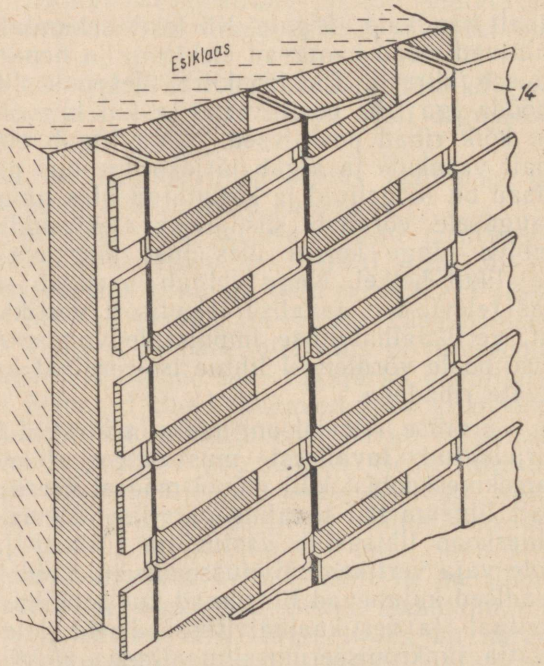
Joon. 4-15. Lamekineskoobi ekraan.

siaali kandvale võrgule. Nii tekib sekundaaremissioon, mille tõttu juhtivad ribad kaotavad elektrone ja nende positiivne potentsiaal tõuseb kiiresti. Elektronkiire ülespoole liikudes muutub kordamööda iga riba positiivseks ja kui kiir on jõudnud täiesti üles, on kõik ribad positiivsed. Nüüd liigub elektronkiir järsku paremalt vasakule ja algab järjekordne uus pildilaotus. Kuna ribade otsad on loogelised ja kallutatud üles ning asetatud otstarbekale kaugusele võrgust, siis jõuab elektronkiir võrgule rakendatud sobiva pinge korral üles just järgneva pildilaotuse alguseks vajalikul hetkel. Nagu selgub, asendab lamekineskoopi sisaldavas televiisoris tavalise televiisori vertikaalhälvituse generaatorit, vertikaalhälvituse impulsside võimendajat ja vertikaalhälvituse poole võrdlemisi lihtne isoleerplaat koos sellele kantud juhtivate ribadega.

Värvilise televisiooni jaoks määratud lamekineskoop on eelkirjeldatud tavalisest must-valges televisioonis kasutatavast lamekineskoobist küll mõnel määral keerukam, kuid siiski tunduvalt lihtsam kui tavaline värvilise televisiooni kineskoop. Lamekineskoop lihtsustab vastuvõtja lülitust ja ehitust. Vastuvõtjas pole vaja vertikaalhälvitusseadiseid, kuid ka horisontaalhälvitusseadised kujunevad lihtsamad kui hariliku kineskoobi puhul. Horisontaal- ja vertikaalhälvitusseadiseid pole vaja sünkroniseerida saatja sünkroniseerimissignaalidega, mistõttu televisioonisignaal võib olla lihtsama kujuga.



Joon. 4-16. Eri värvusi edasiandvate elektronkiirte jagunemine lamekineskoobi ekraanil.



Joon. 4-17. Lamekineskoobi moondekate.

Värvilises lamekineskoobis asetsevad elektronkahurid üksteisele nii lähedal, et nende kiired moodustavad üheainsa elektronkiire, mis läbib ühise kiirendus-, teravustus- ja hälvitussüsteemi. Kineskoobi sellise ehitusega on saadud vältida korrigeerimis- ja kontrollseadiseid, mis harilikus värvilises kineskoobis on hädavajalikud. Kolme värvuse kiired eraldatakse üksteisest viimases painutuskohas just enne ekraanile langemist, kus nad on küll koos, kuid tabavad ekraani läbi moondekatte *13* igaüks isesuguse nurga all (joon. 4-16).

Moondekatte koondamisvõime tõttu võib selle paigutada ekraanist vaid 0,01 mm kaugusele. Sellise moondekatte paigutuse tõttu kujuneb kineskoobi kolmevärviline ekraan ehituselt märksa lihtsamaks ja ka odavamaks. Osa moondekattest on kujutatud joonisel 4-17. Esiklaasi sisepinna katmisel pihustatakse iga värvusega luminofoor läbi moondekatte pilude erisuguse nurga all ekraanile. Nii saadakse ekraanil üksteisega vahelduvad sinise, rohelise ja punase luminofoori ribad *14* (vt. joon. 4-16) just neis kohtades, kus hiljem tabab ekraani neile värvustele vastav elektronkiir.

V PEATÜKK

SAATETORUD

5-1. Töötamise põhimõte

Televisiooni saatetoruks nimetatakse elektronseadist, mis muundab esemelt temale langeva valguse vastava väärtusega elektrivooluks. Tänapäeva saatetorud toimivad kas v ä l i s- või s i s e f o t o e f e k t i põhimõttel.

Vanimaks ja lihtsaimaks saatetoru eelkäijaks oli eespool televisiooni põhimõtte selgitamisel kirjeldatud fotoelementide kogum.

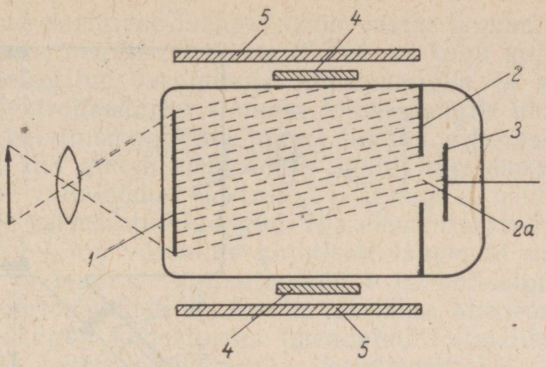
Saatetoruna kasutatakse ka elektronkiiretoru — kineskoopi. Nii oli teises peatükis kirjeldatud kujutise üleandmise süsteemi jooksevkiirega, kus esineski saatetoruna kineskoop ja fotoelement.

Eelmainitutest tunduvalt erineva saatetoru valmistas 1930. a. Farnsworth. See saatetoru ehk nn. kujutise d i s s e k t o r on skemaatiliselt kujutatud joonisel 5-1. Tema põhiosaks on klaaskest, mille ühe otsa sisepind on kaetud poolläbipaistvat fotokatoodi moodustava kihiga *1*. Fotokatoodi vastas asub anood *2*, milles on pildipunkti-suurune ava. Selle taga paikneb kollektor *3* elektronkordistajaga.

Klaaskesta ümber on asetatud hälvitusmähis *4* ja teravustusmähis *5*.

Nagu joonisel 5-1 on näidatud, asub kollektor *3* otse ava kohas. Ta kogub ainult neid elektrone, mis pääsevad läbi ava. Erinevalt seni kirjeldatud elektronkiiretorudest kujutise dissektoril elektronkahur puudub.

Dissektoris projitseeritakse üleantav kujutis poolläbipaistvale fotokatoodile *1*. Viimaselt emiteeritavate elektronide hulk on võrdeline temale langeva valgusvooga. Anoodpinge mõjul lendavad emiteeritud elektronid kõigilt katoodipunktidelt paralleelselt anoodile. Teatud teravustuspinge puhul langeb osa elektrone ka kollektorile. Seetõttu tekib elektronvool, mis on võrdeline esemelt langeva valgusega. Hiljem ehitatud dissektorid varustati elektronkordistajaga, mis kollektorivoolu võimendas. Anoodis oleva



Joon. 5-1. Farnsworthi saatetoru ehituse skeem.

ava kaudu saavad kollektorile langeda ainult need elektronid, mis väljuvad üheleainsale pildipunktile vastavast katoodi punktist.

Hälvitusvahenditega suunatakse katoodilt lahkuvaid elektrone selliselt, et kollektorile satuvad elektronid järjekorras kõigilt fotokatoodi elementidelt.

Farnsworth'i dissektori suureks puuduseks on asjaolu, et kogu fotoelektronide voost kasutatakse ära ainult tühine osa.

Elektronkordistajate kasutuselevõtmisega on küll võimalik saadud signaali võimendada, kuid ühtlasi võimendatakse ka saatetorus esinevaid võõrpingeid ehk nn. omakahinat. Sellest tingitult ei anna dissektor pildi üleandmisel soovitud tulemusi.

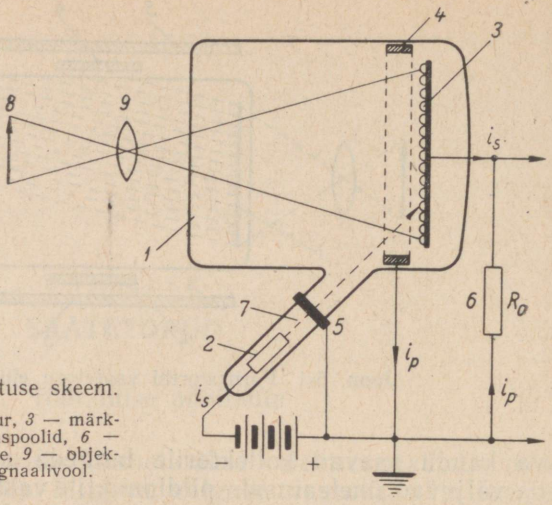
Saatetorude tundlikkuse suurendamiseks hakati rakendama laengute salvestamise põhimõtet, mida on lähemalt selgitatud ikonoskoobi kirjelduses.

5-2. Ikonoskoop

Tööpõhimõte. Tõeline pööre televisioonitehnikas algas pärast 1931. aastat, mil võeti kasutusele ikonoskoop, mis põhiliselt on loodud tuntud nõukogude teadlase S. Katajevi ja Ameerika Ühendriikides töötanud poola teadlase V. Zworykini tööde alusel.

Ikonoskoobi põhimõtet selgitab joonis 5-2. Ta koosneb õhutühjast klaaskestast *l*, mille sisse on mahutatud elektronkahur *2*, märklaud *3* ja kollektor ehk anood *4*. Toru kaela ümber on asetatud teravustus- ja hälvituspoolid *5*. Pildisignaal saadakse koormustakistilt R_0.

Ikonoskoobi tähtsaimaks elektroodiks on märklaud. Selle kujutisepoolsel küljel on mosaiigikujuline fotokatood — nn. fotomosaiik, mis paikneb vilgukivist aluskihil. Aluskiht omakorda

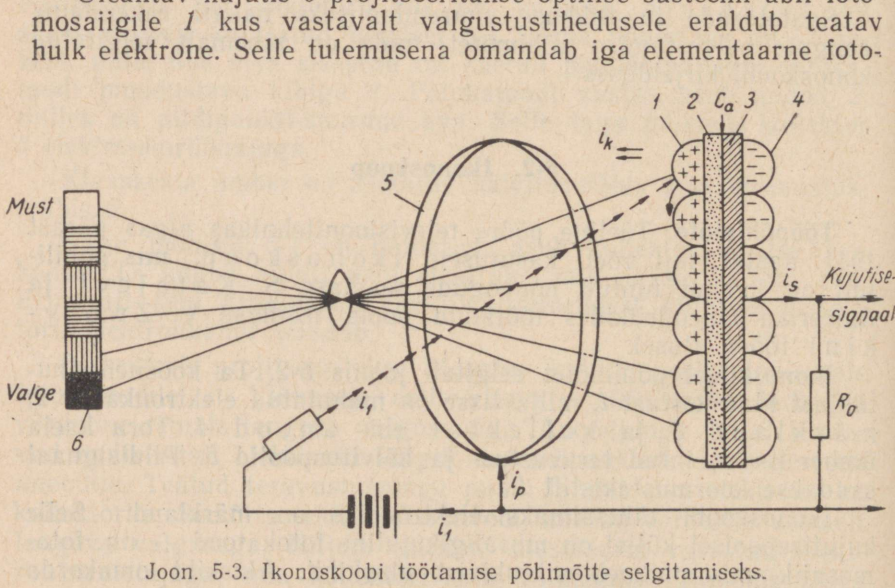


Joon. 5-2. Ikonoskoobi ehituse skeem.

1 — klaaskolb, *2* — elektronkahur, *3* — märklaud, *4* — anood, *5* — hälvituspoolid, *6* — takisti, *7* — elektronkiir, *8* — ese, *9* — objektiiv, i_p — anoodvool, i_p — signaalivool.

on kinnitatud metallikilele, nn. signaalplaadile. Viimane on ühendatud koormustakistiga R_0. Fotomosaiik (joon. 5-3) kujutab endast omavahel isoleeritud elementaarsete fotoelementide kogumit. Signaalplaadist *3* eraldab neid vilgukivist leheke *2*. Seega moodustab iga fotoelement signaalplaadi suhtes elementaarse kondensaatori mahtuvusega C_a.

Üleantav kujutis *6* projitseeritakse optilise süsteemi abil fotomosaiigile *1* kus vastavalt valgustustihedusele eraldub teatav hulk elektrone. Selle tulemusena omandab iga elementaarne foto-



Joon. 5-3. Ikonoskoobi töötamise põhimõtte selgitamiseks.

element teatud positiivse laengu, tema vastas signaalplaadil aga tekib sama suur negatiivne laeng *4*. Nii on kogu kujutis kantud üksteisest isoleeritud laengutena fotomosaiigile ja seal salvestatud. Kui elektronkahurist suunata fotomosaiigile elektronkiir i_1 ja lasta tal hälvitusmagnetite toimel liikuda rida-realt üle kogu fotomosaiigi, siis annab elektronkiir igale fotoelemendile sellelt valguse mõjul väljalöödud elektronid jälle tagasi, neutraliseerides fotomosaiigile salvestatud laengud. Iga elementaarse fotoelemendi tühjenemisvool i_p on võrdeline kujutiselt langenud valgusvooga, mille mõjul ta laadus. Signaalplaadi *3* ja kollektori *5* vahele ühendatud koormustakisti R_0 kaudu juhitakse elektronkiire poolt vabastatud laengud kollektoriga ühendatud toiteallikasse. Koormustakistil R_0 tekkiv pingelang — kujutisesignaal — juhitakse lairibavõimendajasse.

Kujutise dissektori ja ikonoskoobi võrdlus. Oletame, et järjestikku toimiva saatetoru — dissektori anoodis oleva pildipunktisuuruse ava pindala on a. Läbipaistev fotokatood kõrgusega h ja laiusega b sisaldaks siis

$$n = \frac{bh}{a} \tag{5-1}$$

pildipunkti. Ühe pildipunkti pindala aga oleks

$$a = \frac{bh}{n}. \tag{5-2}$$

Kui fotokatoodi tundlikkus on s μA/lm, siis tekitab saatetoru valgustustiheduse korral E lm/cm² väljevoolu

$$i = saE. \tag{5-3}$$

Asetanud valemisse 5-3 a väärtuse võrdusest (5-2), saame:

$$i = \frac{sbhE}{n}. \tag{5-4}$$

Viimane võrrand kehtib kõigi järjestikku toimivate saatetorude kohta. Pildipunktide arv n määrab pildi heleduse, sest väljevool on võrdeline valgustustihedusega E ja pöördvõrdeline pildipunktide arvuga n. Seega selgub, et pildi küllaldase teravuse puhul, mil n on suur, peab olema suur ka valgustustihedus E, et saada väljevoolu, mis tunduvalt ületaks müratasemet.

Ikonoskoobis esineva laengute salvestamise puhul, mil valgus langeb fotomosaiigile, lahkuvad elementaarsetest fotoelementidest fotoelektronid ja iga fotoelement omandab laengu q. Elektronkiir tühjendab iga kondensaatorit moodustava elementaarse fotoelemendi vaid üks kord pildiperioodi τ jooksul.

Olgu elementaarse fotoelemendi pindala samuti a, tema tund-

likkus s ja valgustustihedus E. Siis on tema poolt tekitatav fotoemissioonivool

$$i_p = saE. \tag{5-5}$$

Laeng, mis salvestub elementaarse fotoelemendi mahtuvusse kahe täispildi vahel, on

$$q = i_p(\tau - \tau_0) = saE(\tau - \tau_0), \tag{5-6}$$

kus τ_0 on ajavahemik, mille vältel elektronkiir tühjendab elementaarmahtuvuse. Kui fotomosaiik sisaldab n sellist elementaarset fotoelementi, siis

$$\tau_0 = \frac{\tau}{n}. \tag{5-7}$$

Fotoelemendi vool

$$i_0 = \frac{q}{\tau_0}. \tag{5-8}$$

Asetades võrdusesse (5-8) q väärtuse valemist (5-6) ja τ_0 väärtuse valemist (5-7), saame signaalvoolu arvutamiseks avaldise:

$$i_0 = saE\left(1 - \frac{\tau_0}{\tau}\right)n; \tag{5-9}$$

Kuna $1 - \frac{\tau_0}{\tau} \approx 1$, siis

$$i_0 = saEn. \tag{5-9a}$$

Asetades valemisse (5-9a) valemi (5-2), saame:

$$i_0 \approx sbhE. \tag{5-9b}$$

Valemite (5-9b) ja (5-4) võrdlemisel selgub, et laengute salvestuse põhimõttel toimuv saatetoru on järjestikku toimuvast saatetorust — dissektorist — n korda tundlikum.

Tegelikult siiski ikonoskoobi ja dissektori vahel nii suurt tundlikkuse vahet ei esine, kui seda valemite (5-4) ja (5-9b) põhjal võiks arvata. Nimelt seetõttu, et iga elementaarne mahtuvus tühjeneb osaliselt naaberelementide emissioonivoolu tõttu, mistõttu fotoemissioon ei saavuta oma maksimaalset väärtust mosaiigil olevate potentsiaalide tõttu. Sellest järeldame, et laengute salvestamise põhimõtet ei saa täielikult ära kasutada, mistõttu signaalivool muutub nn. salvestusteguri η võrra väiksemaks. Kasutades valemit (5-9a), saame:

$$i_0 = \eta saEn. \tag{5-9c}$$

Asetades valemi (5-3) valemisse (5-9c), saame, et

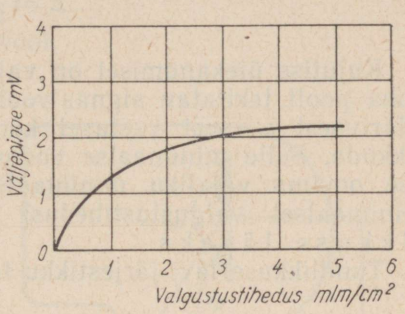
$$i_0 = \eta ni, \tag{5-9d}$$

millest salvestustegur

$$\eta = \frac{i_0}{ni}. \qquad (5\text{-}10)$$

Arvatakse, et elementaarmahtuvuste maksimaalsest voolust i_0 on tegelikult võimalik saada ainult 5...8%. Kuid ka sellise väikese kasuteguri puhul on ikonoskoobi tundlikkus ikkagi umbes 5000 korda suurem kui järjestikku toimival saatetorul.

Avaldisest (5-9b) selgub, et ikonoskoobi väljevool on seda tugevam, mida suurem on tema mosaiigi pindala. Tavaliselt on ikonoskoobi mosaiik 9 × 12 cm ja tundlikkus seejuures $s_a = \approx 15$ µA/lm.



Joon. 5-4. Ikonoskoobi valgustundlikkuse kõver.

Katsed näitavad, et ikonoskoobi väljepinge e_0 kõrgeneb mitte võrdeliselt valgustustihedusega E, vaid selle logaritmiga (joon. 5-4):

$$e_0 = k \lg E. \qquad (5\text{-}11)$$

Saatetorude valgustundlikkus. Televisiooni teel kujutise üleandmisel peegeldub valgus esemelt ja teravustatakse läätsedesüsteemi abil saatetoru valgustundlikule pinnale. Viimasest eralduvate elektronide hulk on võrdeline selle pinna valgustustihedusega E.

Saatetorude kasutamisel on vaja kindlaks määrata eseme vähim valgustustihedus E_{min} (luksides), mille korral on veel võimalik kujutist üle anda.

See valgustustihedus sõltub paljudest teguritest, muude hulgas ka kasutatava läätsedesüsteemi omadustest.

Kirjanduses leidub mitmeid teoreetilisi tuletusi saatetorude tundlikkuse arvutamise kohta [1]. Käesolevas teoses on toodud ainult mõned kirjanduses rohkem levinud valemid lõppkujul.

Seos eseme valgustustiheduse E' ja saatetoru valgustundliku pinna valgustustiheduse E vahel on järgmine:

$$E = \frac{\pi E' \tau}{4f^2} \cos^4 \varphi, \qquad (5\text{-}12)$$

kus τ — läätse läbipaistvus, mis iseloomustab valguskadu läätses; tema väärtus on tavaliselt piires 0,4...0,75,

---

[1] Näiteks N. Ignatjev. Televisioon. Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn, 1956, lk. 90...93.

φ — valgustundlikule pinnale langeva kiire ja pinnanormaali vaheline nurk,

f — läätse fookuskauguse ja läbimõõdu suhe.

Kujutise äärtel on valgustustihedus väiksem kui tema keskkohas. Seda erinevust väljendabki tegur $\cos^4 \varphi$. Valemi (5-12) lihtsustamiseks sageli oletatakse, et kujutis on kogu pinna ulatusel ühtlaselt valgustatud ($\cos^4 \varphi \approx 1$). Kui võtta τ väärtuseks keskmiselt 0,64, saadakse fotokatoodi valgustustiheduseks:

$$E = \frac{E'}{2f^2} \text{ lx}. \tag{5-13}$$

Kujutise ülekandmisel on vajalik, et kujutise kõige heledama koha poolt tekitatav signaalvool ei oleks nõrgem mingist piirväärtusest i_s, sest vastasel korral võivad võõrpinged kujutise rikkuda. Selle minimaalse voolu i_s tekitamiseks peab ülekantav ese omama vajaliku minimaalse valgustustiheduse E_{min}. Seda minimaalset valgustustihedust nimetatakse saatetoru tundlikkuse läveks.

Tundlikkuse lävi järjestikku toimuvatel saatetorudel

$$E_{min} = \frac{4 \cdot 10^4 n i_s}{\varphi_0 \gamma \varrho \left(\frac{d}{r}\right)^2 S_k}. \tag{5-14}$$

Laengute salvestamisega saatetorude tundlikkuse lävi arvutatakse järgmise valemiga:

$$E_{min} = \frac{4 \cdot 10^4 n i_s}{\eta \varphi_0 \gamma \varrho \left(\frac{d}{r}\right)^2 S_k}. \tag{5-15}$$

Neis valemeis:

η — salvestuse kasutegur,

φ_0 — fotokatoodi tundlikkus A/lm,

γ — peegeldustegur,

ϱ — mosaiigile langev valgusvoog lm,

$\frac{d}{r}$ — objektiivi suhteline ava,

d — objektiivi ava läbimõõt cm,

r — kaugus objektiivi ja fotokatoodi vahel cm,

n — pildielementide arv,

i_s — signaalivool A.

S_k — fotokatoodile projitseeritava kujutise pindala cm².

Ikonoskoobi sekundaaremissioon. Ikonoskoobis võib tähele panna kolme erisugust elektronide emissiooni: 1) elektronkahuri katoodis tekkiv termoemissioon, 2) mosaiigil tekkiv fotoemissioon ja 3) mosaiigil tekkiv sekundaaremissioon.

Eespool nägime, et sekundaaremissioon tekib siis, kui pommitavad primaarelektronid omavad küllalt suurt kiirust selleks, et vabastada sekundaarelektrone.

Elektronkiire elektronidel ongi selleks küllalt suur kiirus, et vastu märklauda põrkudes lüüa sealt välja sekundaarelektrone. Sekundaaremissiooni tegur on esimeses peatükis toodud valemi (1-16) põhjal

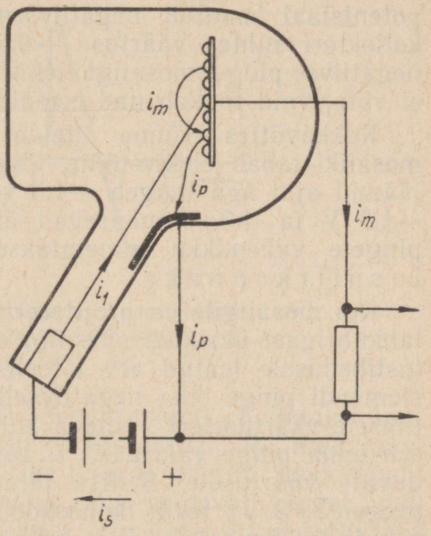
$$\sigma = \frac{i_2}{i_1}, \qquad (5\text{-}16)$$

kus i_2 — sekundaaremissiooni vool,

i_1 — elektronkiire vool.

Tegelikult lendab vaid osa sekundaarelektronidest kollektorile, kuna teine osa pöördub tagasi mosaiigile (joon. 5-5). Seetõttu koosneb sekundaaremissiooni vool i_2 kahest komponendist: kollektorile lendavate elektronide voolust i_p ja märklauale tagasi pöörduvate elektronide voolust i_m:

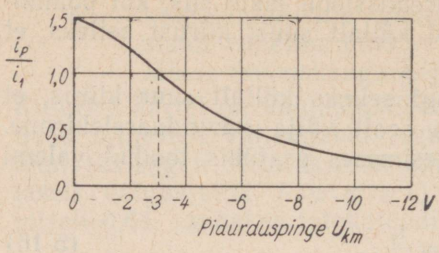
$$i_2 = i_p + i_m. \qquad (5\text{-}17)$$



Joon. 5-5. Ikonoskoobi sekundaaremissiooni selgitamiseks.

Katsed näitavad, et kollektorivool i_p sõltub kollektori ja märklaua vahelisest pingest U_{km} (joon. 5-6). Kui anda kollektorile märklaua suhtes mõnevoldine negatiivne pinge (näiteks —3 V), siis on kiire vool i_1 ja kollektorivool i_p omavahel võrdsed ning suhe $i_p/i_1 = 1$. Sel juhul märklaua vool $i_m = 0$ ja märklaud omandab elektronkiire potentsiaali (sest ta on üheks osaks elektronkiire vooluringis). Ikonoskoobis on mosaiik signaalplaadist vilgukivilehega isoleeritud, mistõttu tegelikult i_m on alati võrdne nulliga ja selleks, et oleks rahuldatud tingimus $i_p = i_1$ muutub märklaud kollektori suhtes 3 V võrra positiivsemaks.

Kui märklaua pinge mingil põhjusel muutub, siis muutub ka kollektorivool i_p, mille tagajärjel kollektori ja märklaua vaheline pinge omandab jällegi väärtuse —3 V. Üldiselt iga isoleeritud märklaud, mille sekundaaremissiooni tegur $\sigma > 1$, omandab elektronkiirega pommitamisel kollektorist mõne voldi võrra positiiv-



Joon. 5-6. Pidurduspinge kõver.

sema potentsiaali. Seda mõnevoldist pinget nimetatakse tasakaalustuspingeks.

Kuna iga elementaarne fotoelement märklaual on teistest elementidest ja ka signaalplaadist isoleeritud, siis omandab ta elektronkiirega kommuteerimise hetkel kollektori suhtes positiivse pinge +3 V.

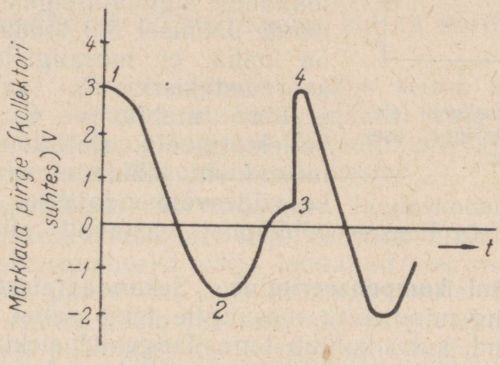
Kuid pildiväljaperioodi kestel langeb tühjendatud fotoelemendile teistest elementidest väljalöödud sekundaarelektrone ja tema potentsiaal muutub negatiivsemaks, kuni ta lõpuks omandab kollektori suhtes väärtuse —0,5 ... —1,5 V. Saavutanud sellise negatiivse pinge, mosaiigi element sekundaarelektrone enam vastu ei võta, vaid tõukab nad eemale.

Kokkuvõttes võime ütelda, et hetkel, mil valgustamata mosaiiki tabab elektronkiir, tõuseb tema pinge +3 voldile, ülejäänud ajal aga langeb —1,5 voldile. Need kaks pinge väärtust —1,5 V ja +3 V määravad ära mosaiigi pingereljeefi. Nende pingete vahemikku nimetatakse mosaiigi potentsiaali talitluspiirkonnaks.

Kui mosaiigile on projitseeritud esemelt üleantav kujutis, siis lahkub igast üksikust mosaiigi elemendist vastavalt selle valgustustiheduse teatud arv fotoelektrone ja seega tõuseb mosaiigi elemendi pinge oma negatiivselt väärtuselt —1,5 V teatud positiivsele väärtusele U. Niipea kui elementi tabab elektronkiir, tõuseb tema pinge väärtuselt U tasakaalustuspingega (+3 V) võrduvale väärtusele. Sellise järsu pingehüppe tõttu (pingelt U pingele +3 V) tekib ikonoskoobi välisringis vool, mis läbib elemendi ja signaalplaadi vahelise mahtuvuse ning välistakisti R_0. Välistakistil R tekib teatud pingelang, mis moodustabki kujutise- ehk viideosignaali. Seega tekib elektronkiire liikudes mööda valgustamata mosaiiki välisringis pinge kõikumine piires —1,5 kuni +3 V. Kui aga elektronkiir liigub valgustatud mosaiigil, siis tekib pinge kõikumine väärtuste U ja +3 V vahel, kusjuures väärtuse U määrab fotoemissioon. Väljepinge suurus kujutise puhul on $+3 - U$. Mosaiigi suure valgustustiheduse puhul, mil $U = +3$ V, võrdub väljepinge nulliga. Nõrga valgustuse puhul, mil emiteeritakse fotoelektrone $U \approx -1{,}5$ V, saavutab väljepinge oma suurima väärtuse. Graafiliselt kujutab ikonoskoobi mosaiigielemendi potentsiaali muutumist joonis 5-7. Siin väljendab punkt *1* elemendi tasakaalustuspinget +3 V, mis tekib elektronkiire sattumisel elemendile. Punkt *2* aga vastab olukorrale, mil elemendi pinge on alanenud sekundaaremissiooni mõjul väärtusele

—1,5 V. Elemendi valgustamisel tõuseb tema pinge fotoemissiooni tõttu väärtusele, mida väljendab punkt *3*.

Hetkel, mil elektronkiir tabab elementi, tõuseb selle pinge (punkt *3*) uuesti tasakaalustuspingeni +3 V (punkt *4*). Sellest tingitud vooluimpulss läbib välistakisti R_0, tekitades kujutisesignaali. Mida heledam on pildipunkt, seda rohkem fotoelektrone temale vastavalt mosaiigielemendilt eraldub ja seda kõrgemale viimase pinge tõuseb (seda suurem on punktidele *2* ja *3* vastavate väärtuste vahemik). Ühtlasi aga saame sel juhul elektronkiire liikudes madalama pinge (punktidele *3* ja *4* vastavate väär-



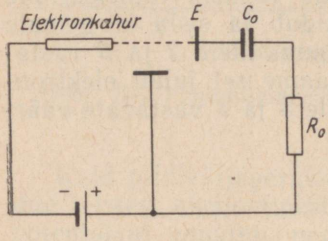
Joon. 5-7. Mosaiigi elemendi potentsiaali muutumine laotamise perioodi kestel.

tuste erinevus osutub väiksemaks). Seega saame pildipunkti suurema heleduse puhul ikonoskoobi välistakistil R_0 madalama pinge. Väga tumedate pildipunktide korral osutub ikonoskoobi välispinge negatiivseks. Kujutisesignaalis esinevat pinget, mis vastab täiesti mustale pildipunktile, nimetatakse negatiivseks musta tasemeks. Enne elektronkiire ülelibisemist omab mosaiigi iga fotoelement potentsiaali, mis sõltub talle vastava pildipunkti heledusest. Seega omab mosaiik potentsiaalireljeefi, mis on ligikaudu võrdeline pildipunktide valgustustihedusega.

Ikonoskoobis signaali kasutegur η on väike — ligikaudu 8%. See on tingitud asjaoludest, et iga fotoelemendi pingest teatav osa (ligikaudu 1/4 signaalipingest) tasakaalustub sekundaarelektronide mõjul ja teatav osa (ligikaudu 1/3) elektrivälja toime tõttu, sest potentsiaalireljeefi olemasolu tõstab mosaiigi pinget kollektori suhtes ja tekitab mosaiigist lahkuvaid sekundaarelektrone pidurdava välja.

Pärast elektronkiire ülelibisemist omavad kõik mosaiigielemendid kollektori suhtes ühesuguse pinge, s. o. +3 V. Sekundaarelektronide tõttu peaksid mosaiigi kõik valgustamata kohad

saavutama pildivälja lõpuks kollektori suhtes pinge —1,5 V. Kuna aga sekundaarelektronide tagasilangemise kohad on juhuslikud, siis saavutab osa valgustamata kohti pinge kõigest —0,5 V või mingi pinge väärtuste —0,5 V ja —1,5 V vahel, mistõttu kujutisesignaal ei oma alati ühesugust kindlat musta taset.



Joon. 5-8. Ikonoskoobi elementaarse vooluringi aseskeem.

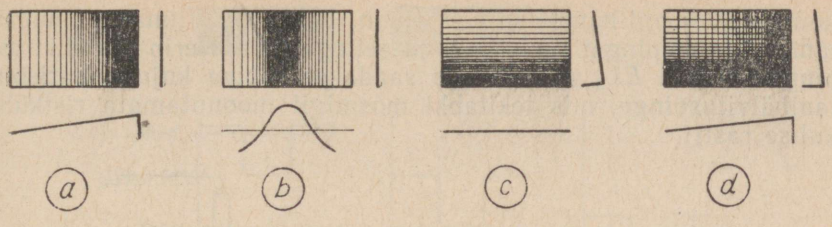
Lisaks sellele võib üleantaval kujutisel olla kord heledam, kord tumedam tagapõhi. Seega omandab mosaiik temale eseme projitseerimisel teatava üldise heleduse, mis tõstab tema potentsiaalireljeefi kõrgemale, tekitades signaalipingele alaliskomponendi. Joonisel 5-8 toodud aseskeemist on näha, et mosaiigielemendi E ja koormustakisti R_0 vahel sisaldub eraldav mahtuvus C_0, mille tõttu kollektorivoolu alaliskomponent koormustakistit läbida ei saa ega kandu ka viideovõimendajasse. See omakorda nihkumist vastavalt pildi keskmisele põhjustab musta taseme heledusele.

Musta tähni kompenseerimine. Sekundaarelektronide juhusliku tagasilangemise tõttu mosaiigile tekib sellel peaaegu alati teatav piirkond, kuhu kuhjub tagasilangenud elektrone rohkemal määral. Selle nähte tõttu tekib parasiitsignaal, mille tagajärjel ilmub vastuvõtjas kineskoobi ekraanil lisaks saadavale kujutisele tume laik, mida nimetatakse mustaks tähniks.

Musta tähni kõrvaldamiseks tuleks kaotada mosaiigi sekundaaremissioon. Siis aga lakkaks ikonoskoop tegutsemast, sest ta just sekundaaremissiooni ärakasutamisel põhinebki. Järelikult tuleks võtta kasutusele mingil teisel põhimõttel tegutsev saatetoru, näiteks ortikon. Kuna aga ikonoskoobil on rida eeliseid teistsugusel põhimõttel tegutsevate saatetorude ees, siis kasutatakse ikkagi ka ikonoskoopi, kuid rakendatakse musta tähni kaotamiseks erilist kompenseerimislülitust.

Musta tähni kompenseerimiseks kasutatav kompenseerimislülitus sisaldab nn. kompenseerimisgeneraatorit, mis tekitab mustale tähnile vastupidise polaarsusega televisioonisignaali. Kui see signaal segustada ülekantava televisioonisignaaliga, õnnestub hävitada viimases musta tähni komponent peaaegu täielikult. Musta tähni kompenseerimist-varjundust nimetatakse ingliskeelse nimetuse järgi ka šeedinguks.

Musta tähni kõrvaldamiseks on vaja teada tema kuju. Joonisel 5-9 on antud mõned sagedamini esinevad musta tähni kujud. Kuju *a* kompenseerimiseks kasutatakse horisontaalset hammaspinget, kuju *b* puhul horisontaalset paraboolikujulist pinget ja kuju *c* korral vertikaalset hammaspinget. Kuju *d* omav must tähn



Joon. 5-9. Musta tähni kujud ja selle kompenseerimiseks vajalikud hammaspinged.

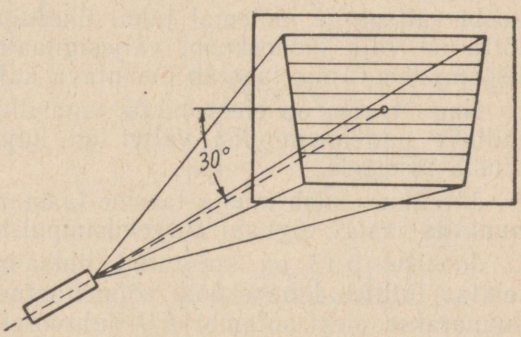
aga kompenseeritakse nii vertikaalse kui ka horisontaalse hammaspingega.

Musta tähni kompenseerimise raskus seisab selles, et tema kuju ja suurus sõltuvad tunduval määral valguse ja varjude jagunemisest üleantaval kujutisel. Seetõttu on vaja pidevat varjunduse reguleerimist kogu ülekande kestel.

Rastri trapetsilisuse kõrvaldamine. Ikonoskoobi mosaiigi pinnanormaali ja elektronkahuri telje vaheline nurk on umbes 30°. Seega on elektronkahurist välja lennanud elektronide tee rastri ülemisele reale pikem kui selle alumisele reale. Kui kiire horisontaalhälvitusnurk püsib jäävana, siis valguvad rastri ülemised read alumistest pikemaks. See kutsub esile rastri trapetsikujulise moonutuse (joon. 5-10).

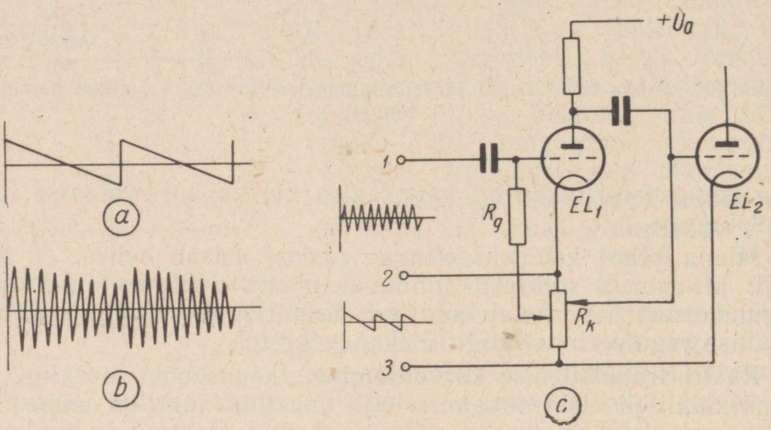
Ikonoskoobi rastri kuju korrigeerimiseks kasutatakse sellekohast pildivälja sagedusega hammaspinget (joon. 5-11, *a*), millega moduleeritakse horisontaalhälvitussignaali (joon. 5-11, *b*), mis suunatakse horisontaalhälvituse generaatorisse (joon. 5-11, *c*).

Horisontaalhälvituspinge nõutav kuju (joon. 5-11, *a*) saavutatakse reahälvituspinge andmisega esimese lambi võrele (klemmid *1* ja *2*), kusjuures katoodile (klemmid *2* ja *3*) rakendatakse



Joon. 5-10. Rastri trapetsikujulise moonutuse tekkimine.

kompensatsiooni-hammaspinge (joon. 5-11, *a*). Viimane muudab lambi EL_1 eelpinget takistil R_k ja sellega moduleerib reahälvituspinget. Lambi EL_2 anoodringis saadakse sobiva kujuga horisontaalhälvituspinge, mis tekitabki mosaiigil moonutamata ristkülikulise rastri.



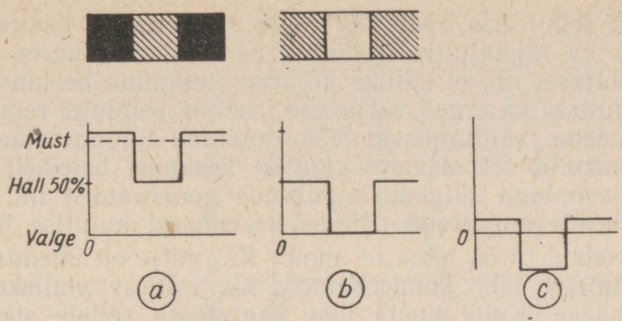
Joon. 5-11. Pinge kujud trapetsikujuliste moonutuste kõrvaldamiseks:
a — hammaspinge, *b* — hammaspingega moduleeritud horisontaalhälvitussignaal, *c* — moonutuse kõrvaldamise skeem.

Alaliskomponendi taastamine. Eespool nägime, et ikonoskoobi väljes ei esine kindlat musta taset, sest mosaiigi potentsiaali alaliskomponent sinna ei pääse. Näiteks ese, mis kujutab mustal taustal esinevaid (50-protsendiliselt) halle triipe, põhjustab mosaiigil potentsiaalireljeefi, nagu on kujutatud joonisel 5-12, *a*. Ese aga, mis kujutab hallil põhjal esinevaid valgeid triipe, põhjustab mosaiigil potentsiaalireljeefi, nagu on kujutatud joonisel 5-12, *b*. Kuna aga alaliskomponent väljesse ei pääse, on ikonoskoobi väljepinge mõlemal juhul ühesugune (joon. 5-12, *c*). Seetõttu on vaja ikonoskoobi väljesignaalile lisandada teatud alaliskomponent, mis taastab üleantava kujutise musta taseme.

Nagu teada, on elektronkiir tagasiliikumise vältel kustutatud, milleks sulgemisimpulsi vältel on kujutisesignaali tase viidud musta tasemele.

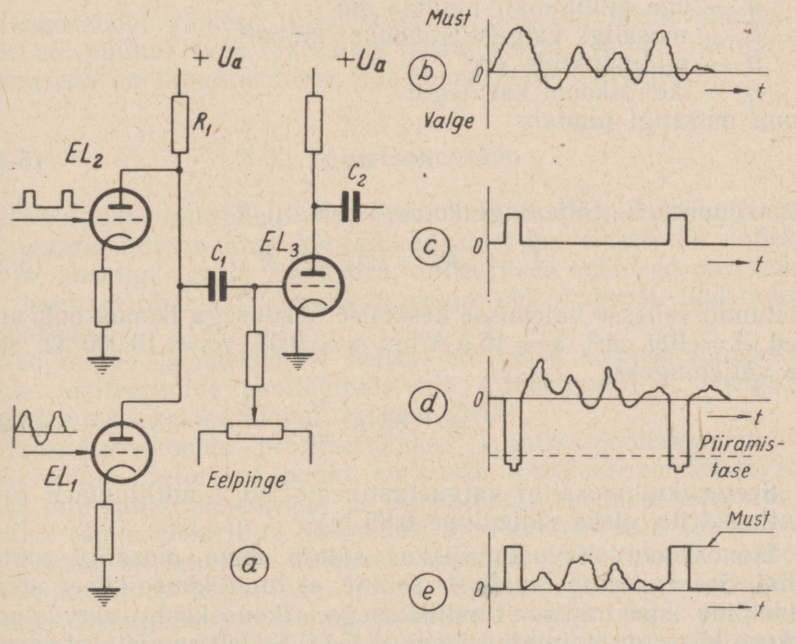
Järelikult tuleb musta taseme taastamiseks viia mustale pildipunktile vastav signaal sulgemisimpulsside tasemele.

Joonisel 5-13 on kujutatud lihtsaim kindlat (jäävat) taset tekitav lülitus. Ikonoskoobi võimendatud positiivne mustasignaal suunatakse elektronlambi EL_1 juhtvõrele, kus ta võimendatakse. Koormustakistil R_1 tekib vastupidise polaarsusega signaal (joon. 5-13, *b*). Samal ajal suunatakse lambi EL_2 võrele posi-



Joon. 5-12. Alaliskomponendi mõju pildi kontrastsusele.

tiivsed sulgemisimpulsid (joon. 5-13, *c*). Takisti R_1 on mõlemale lambile ühiseks koormustakistuseks, millel saadakse ühine väljepinge (joon. 5-13, *d*). Saadud signaal on negatiivse polaarsusega. Lambi EL_3 eelpinge reguleerimisega piiratakse sulgemisimpulssi. Piiratud tase ongi kujutisesignaali musta tasemeks. Järelikult sõltub signaali musta tase (joon. 5-13, *e*) elektronlambi EL_3 eelpingest. Saadud musta taset nimetatakse p õ h i t a s e m e k s.



Joon. 5-13. Alaliskomponenti taastav lülitus.

Põhitaset reguleerib operaator kogu saate kestel käsitsi. Ühtlasi jälgib ta ka algkujutise keskmist heledust. Seejuures reguleeritakse põhitaset nii, et säiliks kujutise keskmine heledus, siis säilivad kujutises ka õiged varjundid. Selline eelpinge reguleerimine musta taseme säilitamiseks võib toimuda ka automaatselt. Sel juhul kontrollib fotoelement kujutise keskmist heledust ja tüürib oma väljevooluga sulgemisimpulsside generaatorit nii, et sulgemisimpulsside amplituud sõltuks keskmisest kujutise heledusest.

Jooniselt 5-13 on näha, et lambi EL_3 välje on ühendatud järgneva astmega läbi kondensaatori C_2, millest alaliskomponenti läbi ei pääse. Kuid musta tase vaatamata sellele siiski säilib, sest ta on kindlaks määratud sulgemisimpulsside ristkülikulise osaga ja on hiljem alati automaatselt taastatav erilise nn. alaliskomponendi taastamislülitusega.

Ikonoskoobi tunnusjoon. Ikonoskoobi tegelik väljepinge on madalam kui seda teoreetiline arvutus annab. Nagu eespool nägime, on ikonoskoobi kasutegur ainult 5% lähedal. Ikonoskoobi väljepinge võib arvutada järgmiselt. Tema signaalivool valemi (5-9c) põhjal, arvestades ka kasutegurit η, on

$$i_0 = saEn\,\eta\ \text{A}, \tag{5-18}$$

kus s on mosaiigi tundlikkus μA/lm,
a — ühe pildipunkti pindala cm,
E — mosaiigi valgustustihedus, lm/cm^2,
n — pildipunktide arv,
η — ikonoskoobi kasutegur.
Kuna mosaiigi pindala

$$A = an, \tag{5-19}$$

siis ikonoskoobi väljepinge koormustakistil R_0

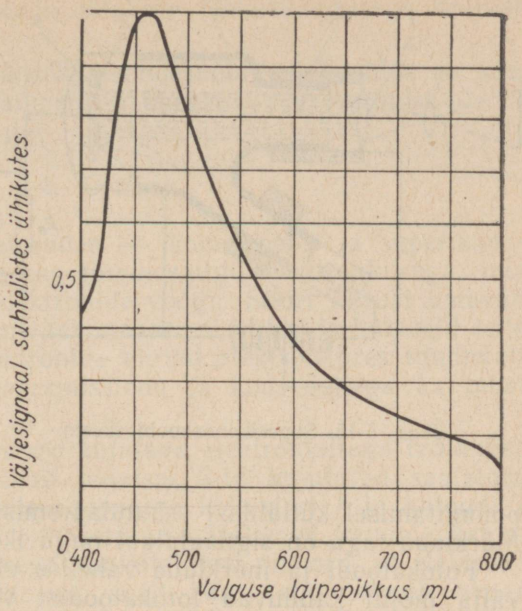
$$U = i_0R_0 = sAE\eta R_0\ \text{V}. \tag{5-20}$$

Asetanud sellesse valemisse keskmise headusega ikonoskoobi andmed $A = 100$ cm^2, $s = 15\,\mu$A/lm, $\eta = 0{,}05$, $R_0 = 10\,000\ \Omega$, saame väljepingeks:

$$U = 0{,}85\ E\ \frac{\text{V}}{\text{lm}}. \tag{5-21}$$

Seega, kui mosaiigi valgustustihedus on 1 milliluumen ruutsentimeetrile, oleks väljepinge 0,85 mV.

Ikonoskoobi värvustundlikkus sõltub tema mosaiigi materjalist. See valitakse tavaliselt selline, et tundlikkuse kõver ühtiks inimsilma spektraalse tundlikkusega. Ikonoskoobi värvustundlikkuse kõver on kujutatud joonisel 5-14. Sellelt on näha, et ikonoskoop on kõige tundlikum valgusele lainepikkusega 455 $m\mu$.



Joon. 5-14. Ikonoskoobi spektraalse tundlikkuse kõver.

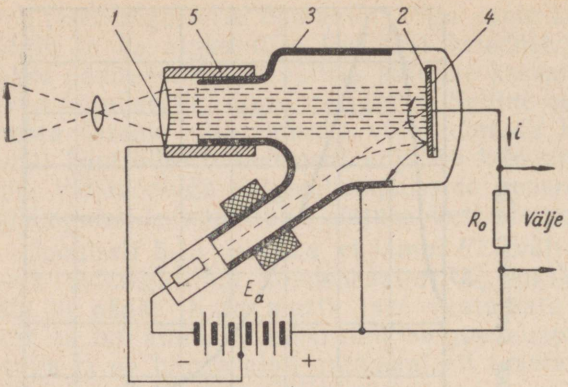
Ikonoskoobi väikese tundlikkuse ja mitmete teiste puuduste tõttu on püütud luua paremaid saatetorusid. Nende otsingute tulemusena on ilmunud terve rida ikonoskoobi teisendeid.

5-3. Superikonoskoop

Ikonoskoobi tundlikkus suureneb, kui kasutada täielikult ära sekundaaremissioon ning kõrvaldada pidurdav elektriväli kollektori ja mosaiigi vahelt. Saatetoru, milles need eeldused on täidetud, kannab nimetust superikonoskoop ehk kujutist ülekandev ikonoskoop.

See erineb ikonoskoobist selles, et temas toimub fotoelektronide emiteerimine poolläbipaistvalt fotokatoodilt *1*, laengute salvestamine aga märklaual *2* (joon. 5-15).

Superikonoskoobis projitseeritakse kujutis poolläbipaistvale fotokatoodile. Selle iga punkt emiteerib fotoelektrone vastavalt antud pildipunkti heledusele ja fotokatoodil saadakse üleantava kujutise täpne elektriline peegeldus. Et fotoelektronid fotokatoodile tagasi ei langeks, antakse viimasele kollektori *3* suhtes mõnesajavoldine negatiivne pinge. Kollektorile ja märklauale antakse ühesugune potentsiaal. Seetõttu lendavad kõik poolläbipaistvalt fotokatoodilt lahkunud elektronid märklauale. Viimane kujutab endast isoleeritud pinda, mis on kaetud elektronidega



Joon. 5-15. Superikonoskoobi skeem.

pommitamisel küllaldast sekundaaremissiooni andva materjaliga. Märklaua taga on signaalplaat nagu ikonoskoobiski.

Fotokatoodi ja märklaua vahelise elektrivälja ja pikimagnetvälja mõjul kanduvad fotokatoodist välja lennanud elektronid märklauale. Oma suure kiiruse tõttu põhjustavad nad märklaual sekundaaremissiooni ja seal tekib üleantava kujutise täpne elektriline peegeldus potentsiaalireljeefina. Kuna märklaud on signaalplaadist hästi isoleeritud, siis säilib märklaua potentsiaalreljeef kuni tema laotamiseni elektronkiirega. Märklaua elementaarmahtuvused tühjenduvad hetkel, mil neid tabab elektronkiir ja superikonoskoobi välisvooluringi läbiv vool i matkib märklauale kujutise elektrilise peegeldusena salvestatud potentsiaalireljeefi. Vool i tekitabki koormustakistil R_0 väljesignaali. Kuna kollektori ja märklaua vahel puudub elektrone pidurdav elektriväli, siis ei esine superikonoskoobis elektronide ülejääki, mis pöörduks märklauale tagasi ja tekitaks musta tähni.

Elektronide väga suure kiiruse korral tekitab siiski ka superikonoskoop musta tähni, kuid palju nõrgema kui ikonoskoop.

Superikonoskoop on ikonoskoobist 6 . . . 10 korda tundlikum ja nimelt all-loetletud põhjustel.

1. Poolläbipaistev fotokatood on palju tundlikum kui ikonoskoobi mosaiik. Tema tundlikkus $s = 20 \ldots 50$ μA/lm.

2. Superikonoskoobi fotokatoodi pinna lähedal esineb tugev elektriväli, mis takistab fotoemissiooni küllastuse tekkimist, vastandina ikonoskoobile, kus vaid 20 . . . 30% fotoelektronidest lahkus fotomosaiigilt, kuna ülejäänud pöördusid sinna tagasi.

3. Superikonoskoobi märklaual on suur sekundaaremissioonitegur ($\sigma = 3 \ldots 11$) ja seetõttu on märklauale salvestatud laengud σ korda suuremad kui laengud, mis lahkusid fotokatoodilt. Pealegi asub siin fotokatood toru esiotsas optilise süsteemi lähe-

dal, mis võimaldab kasutada lühikese fookuskaugusega optilist süsteemi.

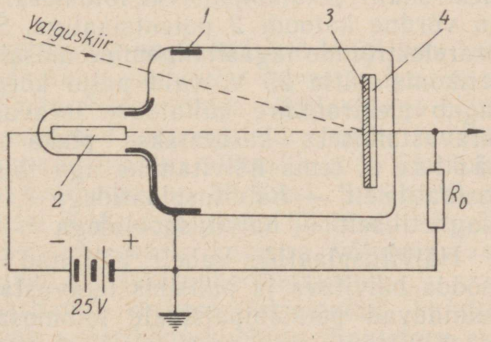
Superikonoskoobi puuduseks ikonoskoobiga võrreldes on see, et ta vajab rohkem lisaseadmeid ja täpsemat reguleerimist.

5-4. Ortikon

Seni kirjeldatud saatetorudes — ikonoskoobis ja superikonoskoobis — toimus pildilaotus fotomosaiigil elektronkiirega, mis kujutas suure kiirusega elektronide voogu. Suurt kiirust omavad elektronid põhjustasid suure sekundaaremissiooni ja kutsusid esile musta tähni. Kui aga elektronide kiirust elektronkiires tunduvalt vähendada, kaob sekundaaremissioon ja koos sellega ka must tähn.

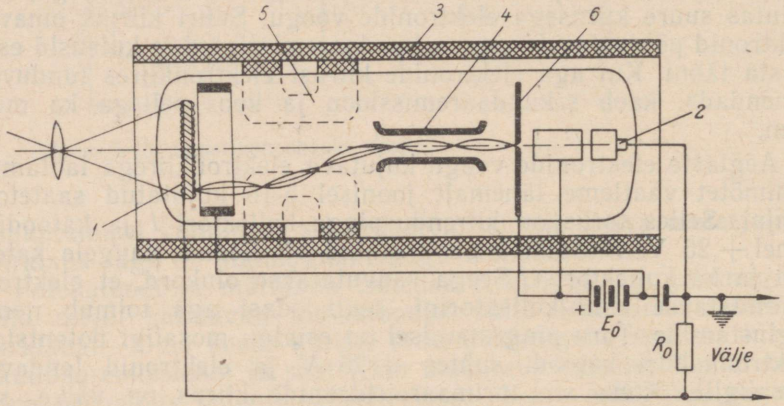
Aeglaste elektronide voogu kujutava elektronkiirega laotamise põhimõtet vaatleme lähemalt joonisel 5-16 kujutatud saatetoru põhjal. Selles torus on kiirenduspinge kollektori *1* ja katoodi *2* vahel + 25 V. Mosaiik *3* on asetatud võrdlemisi kaugele katoodist ja ka kollektorist. Seega saavutatakse olukord, et elektrone kiirendatakse kuni kollektorini, sealt edasi aga toimub nende aeglustamine. Toru pingestamisel on esialgu mosaiigi potentsiaal elektronkahuri katoodi suhtes + 25 V ja elektronid lendavad mosaiigile. Kuna siin primaarelektronide kiirus on väike, siis sekundaaremissiooni ei teki, primaarelektronid kogunevad mosaiigile ning mosaiik muutub katoodi suhtes aeglaselt negatiivsemaks. Kui mosaiigi ja katoodi potentsiaal muutuvad omavahel võrdseks, siis tõukab mosaiik primaarelektronid tagasi ja nad liiguvad kollektorile.

Kui mosaiigile teravustatakse kujutis, siis tekib selle heledusest sõltuv fotoemissioon. Kuna mosaiik on kollektori suhtes nega-



Joon. 5-16. Ortikoni töötamise põhimõtet selgitav skeem.

tiivne, siis tõukuvad kõik fotoelektronid mosaiigilt kollektorile, mille tulemusena saadakse fotoemissiooni küllastus. Sellest tingitult ei tekita sekundaaremissioon mosaiigil musta tähni. Kujutis salvestub laengutena mosaiigi *3* ja signaalplaadi *4* vahel esinevatesse elementaarmahtuvustesse. Kui mosaiigi mõni koht on tema keskmisest potentsiaalist positiivsem, siis omandab ta elektronkiirega tabamisel nii palju elektrone, et tema potentsiaal langeb tagasi keskväärtusele. Signaalplaadilt *4* vabanev laeng läbib takisti R_0, millel tekibki väljepinge.



Joon. 5-17. Ortikoni skeem.

Praktikas sellist saatetoru ei kasutata, sest tema madala kiirenduspinge tõttu on elektronkiirt halb teravustada ja väljesignaal on nõrk. Kuid aeglaselt liikuvate elektronidega elektronkiirt kasutatakse saatetorus, mida nimetatakse ortikoniks.

Ortikonis (joon. 5-17) libiseb aeglastest elektronidest koosnev elektronkiir poolläbipaistval fotomosaiigil *1*. Mosaiigi potentsiaal on võrdne katoodi *2* potentsiaaliga. Sellega on välditud sekundaarelektronide tagasilangemine mosaiigile. Kiirenduspinge E_0 on ortikonis mitte 25 V, vaid palju kõrgem — 200...300 V. See tagab elektronkiire küllaldase teravuse mosaiigil. Elektronkiire teravustamiseks kasutatakse pikka elektromagnetilist läätse *3*, tema hälvitamine aga toimub horisontaalsihis elektrostaatiliselt — hälvitusplaatidega *4*, ning vertikaalsihis elektromagnetiliselt — hälvituspoolidega *5*.

Hälvitusplaatide vahelt väljunud elektronid liiguvad edasi mööda hälvitava ja pikisihis teravustava magnetvälja jooni ning suunduvad poolläbipaistvale fotomosaiigile risti selle pinnaga.

Kujutis projitseeritakse siin poolläbipaistva mosaiigi signaalplaadipoolsele küljele.

Mosaiigi ja kollektori vahel on teravustav elektriväli, mille toimel kõik mosaiigist väljuvad elektronid lendavad kollektorile *6*. Seega on musta tähni tekkimise võimalus välditud.

Kujutisesignaal saadakse koormustakistilt R_0.

Elektronid liiguvad ortikonis nagu pikas elektromagnetilises läätses. Nad lendavad välja elektronkahurist, liiguvad pidurdavas elektriväljas kuni mosaiigini, peatuvad, pöörduvad siis tagasi ja jõuavad lõpuks kollektorile. Tagasipöördunud ehk sekundaarne elektronkiir on ära andnud nii palju elektrone, kui neid kulus mosaiigi üksikute punktide neutraliseerimiseks.

Ortikonis parasiitsignaali ei teki, sest sekundaarelektronid lendavad rõhuvas enamuses kollektorile, mis kannab kõrgemat potentsiaali kui mosaiik.

Ortikon annab kujutise korralikult üle ainult siis, kui elektronkiire poolt mosaiigile juurdeantavate elektronide arv võrdub esemelt langeva valguse mõjul mosaiigist eralduvate elektronide arvuga. Kui aga esemelt langeva valguse mõjul eraldub mosaiigist elektrone rohkem kui elektronkiir neid juurde annab, siis muutub mosaiik positiivseks. Järgnevate pildiväljade kestel võib mosaiik muutuda kujutise suure heleduse tõttu veelgi positiivsemaks. Selle tulemusena võib mosaiigi positiivne pinge ületada kollektori pinge, mille tagajärjel elektronid enam kollektorile tagasi ei pöördugi, vaid neutraliseeruvad ning ortikoni väljepinge muutub võrdseks nulliga.

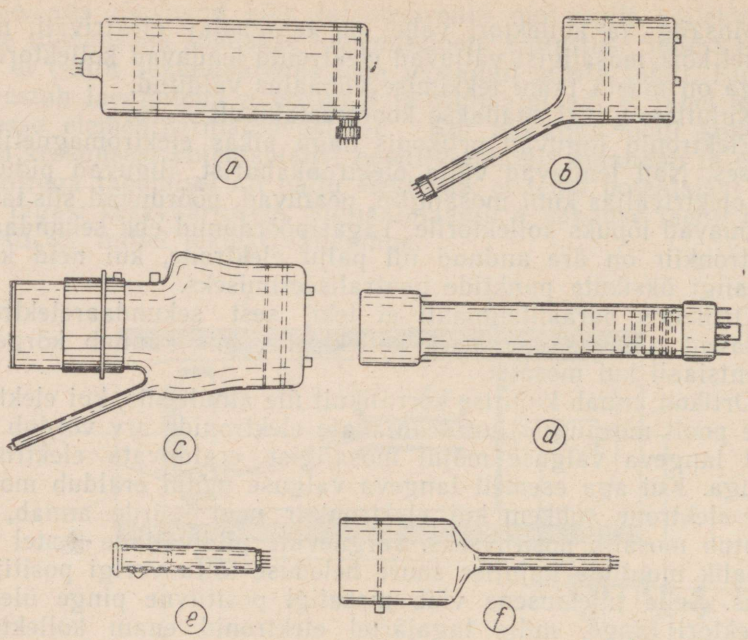
Sellise puuduse kõrvaldamiseks peaks elektronkiire voolu tugevdama, kuid sellele panevad piiri elektronkiire teravustamise võimalused.

Ortikoni tänapäeval siiski enam ei kasutata, vaid tema asemele on tulnud kasutusele superortikon ehk kujutist ülekandev ortikon.

5-5. Superortikon

Superortikoni tüüpi saatetorudes on ühendatud kõigi seni tuntud saatetorude paremused, nagu laengute salvestamine, poolläbipaistev fotokatood, aeglaste elektronidega pildilaotus ja elektronkordistaja. Sel teel on suudetud luua saatetoru, mille tundlikkus on väga suur. Nii on superortikoniga võimalik anda üle kujutisi esemetest, mille valgustustihedus on 50 luksi. Superortikoni välisvaade on toodud joonisel 5-18, *d* ja skeem joonisel 5-19. Ta koosneb õigupoolest kolmest eri osast: kujutise võimendajast, märklauast ning pildilaotajast ja elektronkordistajast.

Kujutise võimendaja sarnaneb eespool kirjeldatud kujutist ülekandva ikonoskoobiga ehk superikonoskoobiga. Saatetoru esiotsa on asetatud poolläbipaistev fotokatood *1*, millele rakendatakse märklaua *2* suhtes negatiivne pinge —200 . . . —600 volti.



Joon. 5-18. Saatetorud.

a — dissektor, *b* — ikonoskoop, *t* — superikonoskoop, *d* — superortikon, *e* — vidikon, *f* — monoskoop.

Elektrivälja soodustaval mõjutusel tekib igast mosaiigi punktist küllastatud fotoemissioon. Emissioon on võrdeline fotokatoodi valgustustihedusega. Fotoelektronid, mida emiteeritakse sõltuvalt kujutise heledusest, teravustatakse piki toru telge suunatud magnetvälja poolt märklauale. Kujutise poolt tekitatud elektronidel on küllalt suur kiirus, nii et nad on võimelised kutsuma esile sekundaaremissiooni märklauast. Sekundaarelektronid suunduvad tihedale võrele *3*, mis asub märklauast 0,02 . . . 0,05 mm kaugusel ja omab positiivset pinget 1 . . . 3 V. Normaalse talitluspinge puhul on märklaua sekundaaremissiooni tegur σ suurem kui üks. Seega vabastab iga mosaiigile langev elektron sellest omakorda σ elektroni.

Teatavasti salvestub kujutis märklaual laengutena kahe teineteisele järgneva pildilaotuse vaheajal — ajavahemiku τ jooksul. Fotoemissiooni vool ühelt pildipunktilt on valemi (5-5) põhjal:

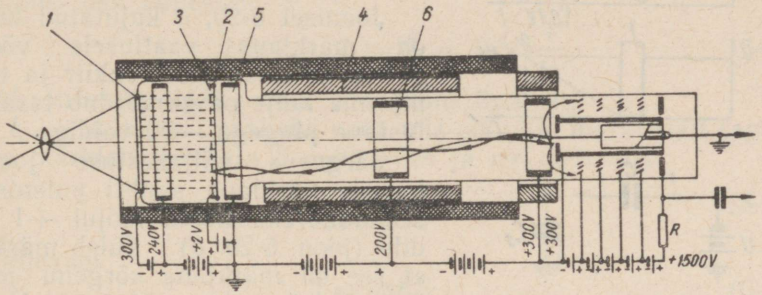
$$i = saE.$$

Märklauast tekkiv emissioon on teguri σ korda suurem ja ühele pildipunktile salvestub seal ajavahemikul τ laeng:

$$q = \sigma s a E \tau. \qquad (5\text{-}22)$$

Poolläbipaistva fotokatoodi suurema tundlikkuse ja märklaua suure sekundaaremissiooni teguri σ tõttu on salvestavad laengud superortikonis viis korda suuremad kui ikonoskoobis.

Kuigi mosaiigi sekundaarelektrone koguv võre asub mosaiigi ja poolläbipaistva fotokatoodi vahel, ei tohi ta siiski heita mosaiigile mingit varju. Ta peab koosnema väga peenekoelisest ja võimalikult suurte silmadega võrgust. Tavaliselt on tal 400 ... 1600 silma ruutmillimeetri kohta, mis moodustavad 50 ... 75% kogu tema pinnast. Selle tulemusena ei heidagi võre mosaiigile mingit elektronide varju ega vähenda saatetoru eraldusteravust.



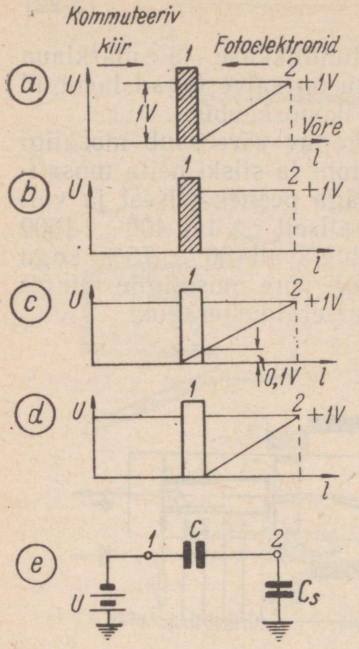
Joon. 5-19. Superortikoni skeem.

Jooniselt 5-19 on näha, et superortikoni elektronkahur ja vertikaalhälvituse süsteem sarnanevad ortikoni omadega, kuid temas puuduvad horisontaalhälvituse plaadid. Horisontaalhälvitus toimub temas elektromagnetiliselt kahe pooli *4* abil. Seega toimub hälvitus mõlemas sihis elektromagnetiliselt ja hälvitusmagnetväljad on risti piki telge suuduva teravustusmagnetväljaga.

Laotuskiir läbib enne märklauale jõudmist rõngakujulise elektroodi *5*, millele on antud katoodi potentsiaal. Nagu juba ortikoni seletusest selgus, on see pinge aeglaste elektronidega toimuva pildilaotuse korral märklauale keskmiseks pingeks.

Enne kui selgitada elektrilisi protsesse, mis toimuvad pildilaotusel märklaua tagaküljel, tutvume lähemalt märklaua ehitusega.

Superortikoni mosaiigiline märklaud *2* erineb tunduvalt eespool kirjeldatud saatetorude märklauast. Siin on märklauaks õhuke klaaskile paksusega umbes 0,05 mm, mis on valmistatud klaasist, mille pinnajuhtivus on väike, läbijuhtivus aga suur. Märklauale salvestatud laengud seetõttu mööda tema pinda ei levi, vaid kogunevad sinna «saarekestena» ja hiljem neutraliseeruvad märklaua esi- ja tagapinna vahelise tunduvalt suurema



Joon. 5-20. Märklaua ja võrgu vaheline pinge superortikonis.

juhtivuse tõttu, sest märklauda pommitatakse elektronidega mõlemalt poolt.

Märklaua mõlemal küljel esineb üheaegselt kolm nähtust. Kirjeldame neid nähtusi eraldi. Võtame vaatluse alla ühe pildipunkti suuruse osa märklauast (joon. 5-20) koos selle ees asuva võrega. Superortikoni märklaud on maandatud, mistõttu tema potentsiaal võrdub nulliga, võrele aga on antud positiivne pinge +1 V.

Joonisel 5-20, *a* kujutatud hetkel on märklaua vaatlusele võetud punkti tabanud elektronkiir ja tema mõlema külje pinge võrdub tasakaalustava pingega — 0 voldiga.

Järgneva väljakestuse jooksul tõuseb märklaua punkti potentsiaal sekundaaremissiooni mõjul +1 voldile (joon. 5-20, *b*). Tuleb märkida, et see on märklaua kõrgeim pinge ja võrdub võre pingega. Vastasel korral ei lendaks elektronid enam võrele, vaid jääksid märklauale. Kuna märklaua esi- ja tagakülg on ühendatud pindadevahelise mahtuvusega *C*, siis omandavad märklaua mõlemad küljed ühe ja sama pinge +1 volti. Seda selgitab mosaiigi punkti aseskeem joonisel 5-20, *e*. Siin on vooluallikas *U* ühendatud isoleeritud kondensaatori *C* ühe plaadi ja maa vahele. Teine kondensaator C_s, mis kujutab märklaua pinna mahtuvust võre suhtes, on ühendatud kondensaatori *C* teise plaadi (punkt *2*) ja maa vahele. Kondensaatorid on ühendatud järjestikku ja kujutavad pingejagajat. Pinge punkti *2* ja maa vahel on seega:

$$U_1 = U\frac{C}{C+C_s}. \qquad (5\text{-}23)$$

Kuna $C_s \leqslant C$, siis U_1 ja U on peaaegu võrdsed, s. t. märklaua mõlemal küljel (joon. 5-20, *b*) on vaadeldavas kohas ühesugune pinge.

Joonisel 5-20, *c* on kujutatud hetk, mil märklaua punkti tagakülge tabas väikese kiirusega elektronide kiir. Seejuures lahkus teatud hulk elektrone elektronkiirest ja märklaua pinge langes püsivale väärtusele 0 V. See pinge alanemine moodustabki kahe pinna vahelisse mahtuvusse salvestatud pildipunkti signaali.

Märklaua antud punkti esipinnale jääb küll veel väike positiivne pinge, kuid pildivälja laotuse jooksul alaneb see märklaua juhtivuse tõttu nullile, nagu on näha joonisel 5-20, *d*.

Tegelikult toimuvad kirjeldatud protsessid üheaegselt. Fotokatoodi valgustamisel omandavad märklaua punktid vastavalt valgustustihedusele potentsiaali 0 ... 1 V. Laotav elektronkiir kaotab endast nii palju elektrone, kui palju kulub märklaua punktide neutraliseerimiseks.

Tagasiliikuva elektronkiire laeng moodustab saatetoru väljevoolu.

Väljevool on arvutatav järgnevalt. Tähistagu τ_0 ajavahemikku, mis kulub elektronkiirel ühe pildipunkti laotamiseks. Siis laadimis- ehk väljevool

$$I = I_b - I_c = \frac{q}{\tau_0} = \sigma s a E \frac{\tau}{\tau_0}, \qquad (5\text{-}24)$$

kus I_b on elektronkiire vool enne punktilaotust,

I_c — kollektori vool ehk vool, mis pöördub märklaualt tagasi.

Kuna märklaua pindala $S = bh = an$ ja $\tau/\tau_0 \approx n$, siis

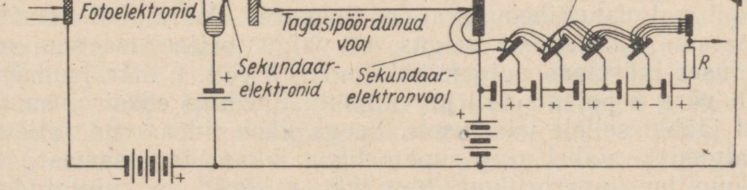
$$S = a\frac{\tau}{\tau_0} \qquad (5\text{-}25)$$

ja väljevool

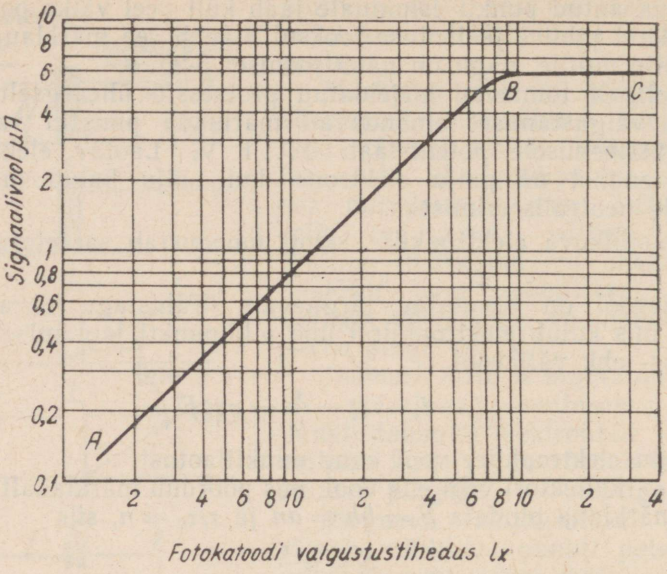
$$I = \sigma s E S. \qquad (5\text{-}26)$$

Elektronide liikumist superortikonis selgitab joonis 5-21. Jooniselt on näha, et katoodist *1* väljuv elektronkiir läbib ava kollektoris *2* ja suundub märklauale *3*.

Elektronidel laotuskiires on väike kiirus ja, jõudnud märklauale, nad hetkeks peaaegu peatuvad. Kui märklaua punkt oli esemelt langeva valguse mõjul laetud positiivselt, siis elektronkiir neutraliseerib selle punkti ja tagasipöörduv kiir omab pildipunkti signaali võrra vähem elektrone kui märklauale langev kiir. Seega, nagu eespool nägime, muutub tagasipöörduva kiire vool kujutisesignaali rütmis. Tagasipöörduvas elektronkiires saavad



Joon. 5-21. Elektronide liikumise skeem superortikonis.



Joon. 5-22. Superortikoni valgustundlikkuse kõver.

elektronid kollektori poolt kiirenduse, mis kollektorile lähenedes kasvab, sest kollektor omab potentsiaali kuni +300 V. Elektronkiir, langedes suure kiirusega kollektorile, lööb sealt välja sekundaarelektrone, mis lendavad elektronkordistaja *4* esimesele elektroodile.

Superortikonides kasutatavate elektronkordistajate võimendus $m \approx 1000$.

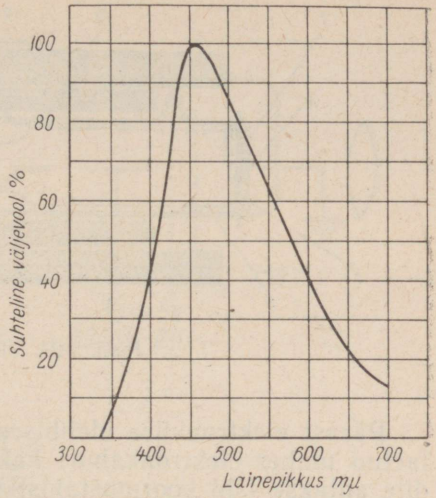
Lähtudes valemist (5-26) on superortikoni väljevool pärast elektronkordistajat:

$$I_v = mI = m\sigma sES. \qquad (5\text{-}27)$$

Elektronkordistaja sisaldab kõige rohkem viis astet, sest suurema võimenduse korral tekiks müra, mis muudab üleantava kujutise häguseks. Suure tundlikkuse tõttu kasutatakse superortikoni harilikult välisülekannete jaoks määratud kaamerates.

Väljevoolu valemist (5-27) selgub, et väljevoolu seos fotokatoodi valgustustihedusega on lineaarne. Märklaual toimuvate protsesside vaatlemisel selgus, et valgustustiheduse suurenemisel tõuseb märklaua potentsiaal kuni +1 V, s. t. märklaud *3* saavutab võre *5* potentsiaali ja valgustustiheduse edasisel suurenemisel jääbki sellele väärtusele. Seega kaob lineaarsus väljevoolu ja valgustuse vahel ning superortikon lakkab tegutsemast.

Tüüpiline superortikoni tundlikkuse kõver on kujutatud joonisel 5-22. Piirkonnas *AB* on väljevool võrdeline valgustustihe-



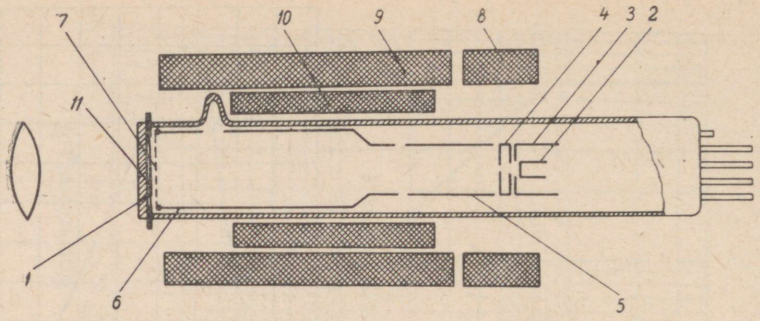
Joon. 5-23. Superortikoni spektraalse tundlikkuse kõver.

dusega, vastavalt valemile (5-27). Punktis *B* on valgustustihedus küllalt suur, nii et kogu märklaud laetakse pingele, mis võrdub võre pingega. Selles punktis kogu märklaud küllastub ja jääb küllastatuks kuni punktini *C*. Märklaua esiküljel tekib sekundaaremissioon, mille toimel eralduvad elektronid langevad märklauale tagasi, tekitades musta tähni. Tugeva liigvalgustuse puhul muutub kogu kujutis laialivalguvaks laiguks.

Superortikoni spektraalse tundlikkuse kõver on toodud joonisel 5-23. Nagu selgub, on ka superortikoni spektraalne tundlikkus umbes samasugune nagu inimsilmal.

5-6. Vidikon

Seni kirjeldatud saatetorud tegutsevad fotoemissiooni põhimõttel. Kuid on võimalik valmistada ka saatetorusid, mis põhinevad fotojuhtivusel. Neis torudes suunatakse valgus esemelt fotojuhtivale plaadile, millel sisefotoefekti mõjul tekib vastav kujutisesignaal. Üheks sisefotoefektil põhinevaks saatetoruks on nn. v i d i k o n. See on võrdlemisi lihtsa ehitusega (joon. 5-24), sisaldades toru esiotsas paiknevat signaalplaati *1*, elektronkahurit *2* ja viit võret 3 . . . 7. Toru ümber asuvad tasanduspool *8*, teravustuspool *9* ja hälvituspoolid *10*. Signaalplaadiks *11* on poolläbipaistev, väga õhuke metallikile, mille tagakülg on kaetud õhukese fotojuhtiva kihiga. Signaalplaat koos fotojuhtiva kihiga moodustab märklaua. Viimase takistus on pimedas suur (10^{12} Ω cm), valgustamisel aga väheneb. Mööda fotojuhtivat kihti liigub elektronkiir.



Joon. 5-24. Vidikoni skeem.

Pärast elektronkiire ülelibisemist on kogu märklaud ühtlaselt laetud umbes elektronkahuri katoodi potentsiaalile. Signaalplaadile antakse läbi koormustakisti R_0 (joon. 5-25) positiivne pinge +20 V. Kuna valgustatud kohtades märklaua takistus väheneb, siis suundub sealt rohkem elektrone signaalplaadile ja märklaual kujuneb potentsiaalireljeef. Elektronkiire järjekordsel liikumisel üle märklaua potentsiaalireljeef neutraliseeritakse ja märklaua pinna ning signaalplaadi vaheliste elementaarmahtuvuste tõttu läbib koormustakistit R_0 kujutisesignaali moodustav vool. Signaalivool tekitab takistil R_0 pingelangu, mille vahelduvkomponent suunatakse läbi eralduskondensaatori C viideovõimendajasse.

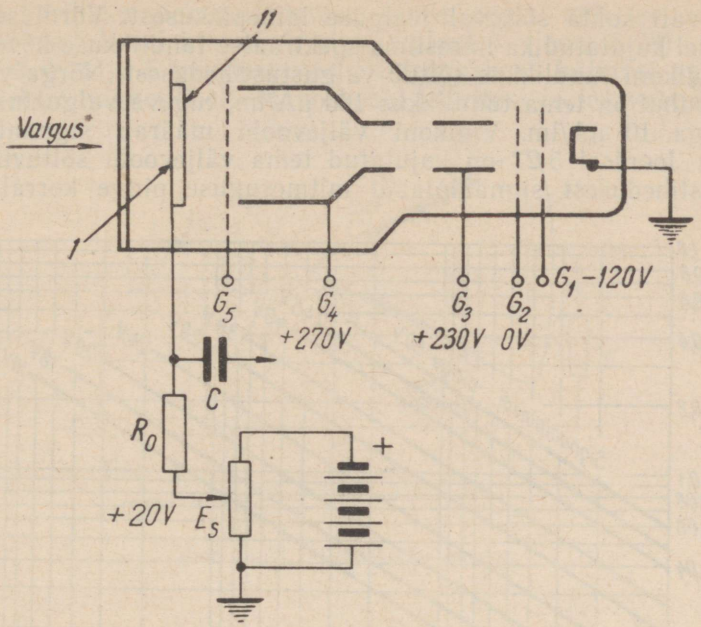
Vidikoni fotojuhtiv kiht tehakse väga õhuke, nii et mõlemapoolne laengute laialivalgumine oleks takistatud.

Nagu eespool märkisime, omab fotojuhtiv materjal teatavat inertsi, mistõttu pildi salvestamiseks fotojuhtivale pinnale kulub teatav aeg. Sellest inertsist tingitud ajavahemik sõltub signaalplaadile rakendatavast pingest, valgustustihedusest ja signaalivoolust. On võimalik inertsi niivõrd vähendada, et teda tegelikult üldse pole märgata.

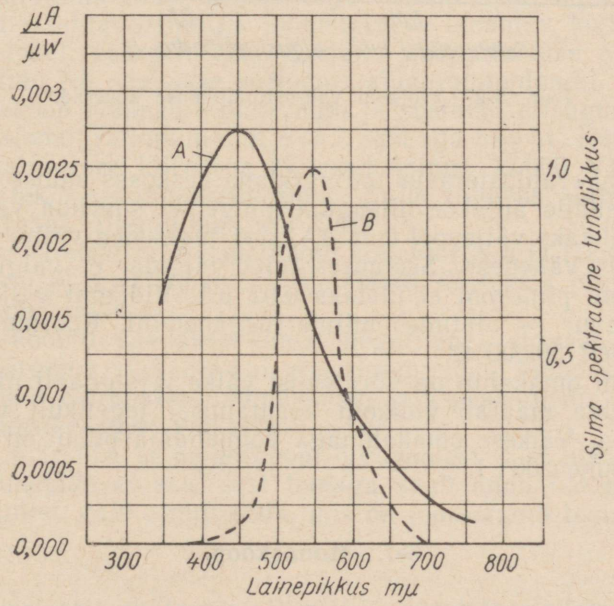
Kuna vidikonis toimub pildilaotus aeglaste elektronidega ja tema fotojuhtiv materjal on halb sekundaarelektronide emiteerija, siis temas sekundaaremissiooni ei teki, mistõttu ta ei põhjusta ka musta tähni.

Üleantav kujutis teravustatakse optilise süsteemi abil vidikoni fotojuhtivale plaadile, mille mõõtmed on tavaliselt 12×8 mm, sest suurema pindala korral esineks kujutise nurkades moonutus. Järelikult on vidikoni mõõtmed väga väikesed: läbimõõt umbes 25 mm ja pikkus 150 mm.

Vidikoni fotojuhtiv kiht on tundlik nähtava valguse piirkonnas, kuid osaliselt ka ultravioletses lainealas. Seda on näha jooniselt 5-26, kus kõver A kujutab vidikoni väljevoolu valgusenergia



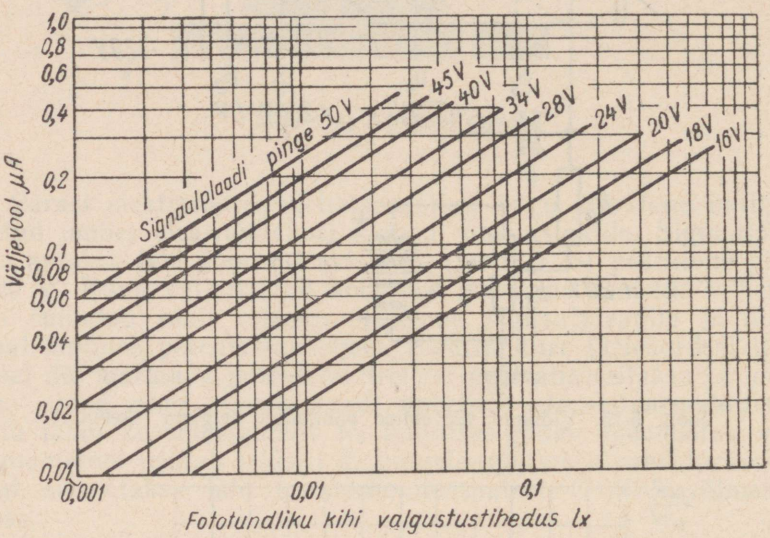
Joon. 5-25. Vidikoni töötamise põhimõtet selgitav skeem.



Joon. 5-26. Vidikoni spektraalse tundlikkuse kõver.

mikrovati kohta sõltuvalt valguse lainepikkusest. Võrdluseks on joonisel kujutatud ka inimsilma spektraalse tundlikkuse kõver (*B*).

Vidikoni tundlikkus sõltub valgustustihedusest. Nõrga valgustuse puhul on tema tundlikkus 100 μA/lm, tugeva valgustuse korral aga 10 μA/lm. Vidikoni väljevoolu määrab signaalplaadi pinge. Joonisel 5-27 on kujutatud tema väljevoolu sõltuvus valgustustihedusest signaalplaadi mitmesuguse pinge korral.



Joon. 5-27. Vidikoni valgustundlikkuse kõverad.

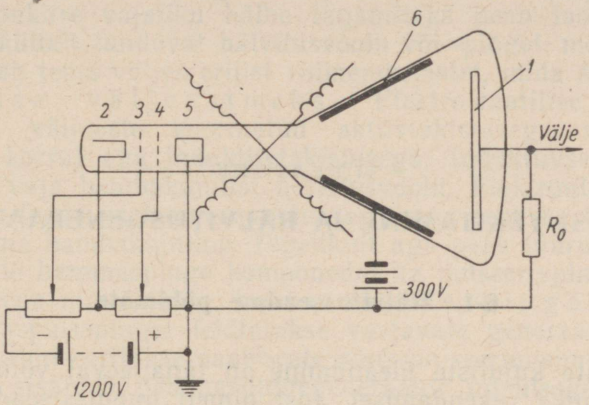
Vidikoni eraldusteravus on märklaua keskosas umbes 700 rida. Signaalplaadile antakse niisugune pinge, et suurima valgustuse puhul ei ületaks väljevool 0,35 μA, sest tugevama väljevoolu korral teravus väheneks. Seejuures tuleb jälgida, et valgustamata vidikoni nn. pimevool ei ületaks 0,02 μA. Vidikoni väljetakistus on väga suur — ulatudes mitme megaoomini. Koormustakistus on tavaliselt 50 000 Ω.

Vidikoni omakahin on võrdlemisi väike ja signaali ning omakahina suhte määrab vidikoni kasutamisel tegelikult viideoeelvõimendaja. Väikese omakahinaga võimendaja puhul on signaali ja müra suhe 300 : 1.

5-7. Monoskoop

Lihtsaimaks saatetoruks, kui mitte arvestada fotoelementi, mis moodustab iga saatetoru põhiosa, on monoskoop. Ta kujutab

endast harilikku elektronkiiretoru (kineskoopi), millesse on paigutatud veel lisaelektroodina signaalplaat *1* (joon. 5-28). Elektroodid *2*, *3*, *4* ja *5* moodustavad elektronkahuri, hälvitus aga toimub elektromagnetiliselt. Monoskoobi hälvitus- ja teravustussead-



Joon. 5-28. Monoskoobi skeem.

med ei tarvitse tekitada väga peenikest elektronkiirt. Teravustus toimub enamasti elektrostaatiliselt. Signaalplaadiks on oksüdeeritud alumiiniumleheke mõõtmetega 6×8 cm, millele erilise süsinikku sisaldava tindiga joonistatakse üleantav kujutis, nagu häälestustabel, vahepilt vms. Seejärel kuumutatakse plaati kuni tint söestub. Nii saadakse söejoonis alumiiniumplaadil.

Monoskoop põhineb alumiiniumi ja süsiniku erisugusel sekundaaremissioonil (alumiiniumil $\sigma = 7$, söel aga $\sigma = 3$). Kui elektronkiir langeb suure kiirusega (kiirenduspinge 12 000 V) signaalplaadile, tekib sekundaaremissioon, mille tugevus sõltub sellest, kas kiir tabab alumiiniumi või sütt.

Sekundaarelektronid suunduvad kollektorile *6* ja tekitavad toru väljetakistil R_0 elektronvoo. Väljetakistil R_0 tekkiv pinge suunatakse võimendajasse.

Monoskoobilt saadakse «must negatiivne» signaal, sest süsi tekitab nõrgema signaali kui alumiiniumplaat. Monoskoobi teravus sõltub elektronkiire läbimõõdust, mis peab olema üleantava kujutise üksikosadest väiksem.

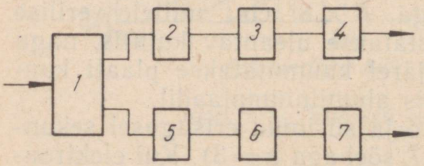
Tuleb märkida, et monoskoopi õigupoolest täiel määral saatetoruks nimetada ei saa, sest temaga saab anda üle mitte mistahes kujutist, vaid ainult seda, mis on joonistatud tema signaalplaadile.

VI PEATÜKK

IMPULSI TEKITAMINE JA HÄLVITUSGENERAATORID

6-1. Hälvitusseadme põhimõte

Liikuvate kujutiste üleandmine on tänapäeval võimalik vaid impulsstehnika rakendamisel. Just nimelt impulss-seadmete abil laotatakse üleantav kujutis väljadeks ja ridadeks, mis kantakse üle vastuvõtjasse. Siin korraldatakse vastuvõetud read ja väljad sellekohaste rea- ja pildiimpulssidega taas kujutiseks kineskoobi ekraanil.



Joon. 6-1. Hälvitusseadme lahterskeem.

1 — rea- ja pildi sünkroniseerimisimpulsside eraldaja, *2* — rea impulssgeneraator, *3* — rea tüürpinge kujundusaste, *4* — reahälvituse väljeaste, *5* — pildi impulssgeneraator, *6* — pildi tüürpinge kujundusaste, *7* — pildihälvituse väljeaste.

Televisioonisignaali koostisse kuuluvatel impulssidel peab olema vajalik kuju ja täpsus. Impulsside kuju, kestuse või sageduse moonutused televisioonitraktis põhjustavad ka üleantavas kujutises moonutusi või rikuvad selle täiesti.

Joonisel 6-1 on toodud vastuvõtja hälvitusseadmete lahterskeem, kus on näidatud, millistest impulssgeneraatoritest ja -astmetest need seadmed koosnevad.

Hälvitusseadmete ülesandeks on tagada elektronkiire ühtlase kiirusega edasi-tagasi liikumine saabuvate sünkroniseerimisimpulsside taktis. Elektrostaatilise hälvituse korral peab laotussüsteem tekitama saehambakujulist hälvituspinget, magnetilise hälvituse korral aga saehambakujulist hälvitusvoolu.

Pildilaotuse rea või pildivälja tagasiliikumise algus peab ühtima sünkroniseerimisimpulsi ilmumise hetkega, mis nõuab ajalist kooskõlastust sünkroniseerimisimpulsside ja saehambakujulise hälvitusvoolu või -pinge vahel.

Tagasiliikumise kestus pildilaotusel ei tohi ületada vastava

kustutusimpulsi kestust. Kehtiva televisioonistandardi kohaselt, mis näeb ette kujutise laotamist 625 reaks, ei tohi tagasiliikumise kestus realaotusel ületada 8...9 μsec (ehk umbes 14% laotusperioodist), pildilaotusel aga 1600 μsec (ehk 8% laotusperioodist).

Elektronkiire vajaliku hälbe tagamiseks peab laotussüsteem tekitama küllalt tunduvat hälvitusvoolu või -pinget, mis real juhtudel nõuab tema väljes erilist võimendusastet, mida nimetatakse hälvituse väljeastmeks. Elektrostaatilise hälvituse puhul on väljeaste koormatud aktiivtakistusega, magnetilise hälvituse korral aga induktiivtakistusega. Induktiivse koormuse puhul on vaja hambakujulist hälvitusvoolu. Elektronlambi omadustest on teada, et hammasvoolu saamiseks peab ka lambi tüürpinge olema hambakujuline. Tegelikult aga peab tüürpinge sisaldama peale hammaspinge komponendi ka pulseerivpinge komponenti ja teda nimetatakse hammaspulsspingeks.

Hammaspulsspinget tekitatakse vastavate generaatorite abil, mida sünkroniseeritakse saabuvate sünkroniseerimisimpulssidega. Harilikult sisaldab hammaspingegeneraator impulssgeneraatorit, tüürpinge kujundusastet ja väljeastet. Reahammaspinge generaatorile lisanduvad veel summutuslamp ja kõrgepingeseade. Impulsse tekitatakse harilikult blokeeriva generaatoriga. Viimase väljepinge suunatakse tühjendusvooluringiga lampi, mis kujundab väljeastme tüürpinge.

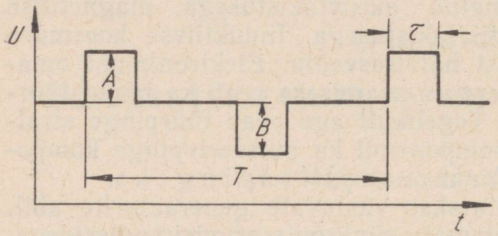
Sageli kasutatakse lülitusi, kus impulssgeneraatoriks ja väljeastme tüürpinge kujundajaks on üks ja seesama element. Sellist seadet nimetatakse tühjendusvooluringiga blokeerivaks generaatoriks. Hälvitusseadme väljeastme lülitus sõltub tema kasutamise otstarbest. Magnetilise hälvituse puhul tekib järskude voolu või pinge muutuste tõttu omavõnkelisi väga kõrgeid pingeimpulsse, mis võivad muutuda ohtlikuks hälvituspoolide isolatsioonile. Et vältida niisuguste omavõngete tekkimist, kasutatakse summutustakistit või summutuslampe.

Kineskoobile kõrge pinge tekitamiseks kasutatakse reahälvitusgeneraatoris tekkivaid järske pingeimpulsse.

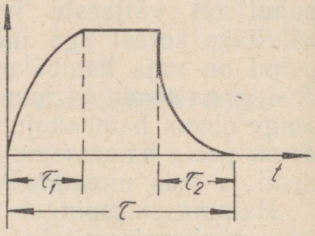
6-2. Impulsi tunnused

Impulsi kuju võib olla mitmesugune. Kõige sagedamini kasutatakse ristkülikulisi, kolmnurkseid ehk hambakujulisi ja paraboolikujulisi impulsse. Ka impulsi kestus võib olla väga mitmesugune, sõltuvalt impulsi kasutusotstarbest. Ta ulatub mõnest mikrosekundist kuni mõne minutini. Impulsi kestuseks τ (joon. 6-2) nimetatakse ajavahemikku, mille vältel pinge või vool erineb oma algväärtusest. Selle erinemise ulatust (voltides või amprites) väljendab impulsi amplituud. Impulsi polaarsus võib olla kas positiivne või negatiivne. Näiteks ristkülikulise impulsi polaarsust nimetatakse positiivseks (A), kui tema amplituud ula-

tub nulltasemeks võetud algväärtusest ülespoole, ja negatiivseks (B), kui ta ulatub nimetatud tasemest allapoole. Impulssi moodustava suuruse (pinge või voolu) tõusu nimetatakse impulsi r i n d e k s ja langu tema s a b a k s. Nende väljakujunemiseks kuluvat ajavahemikku nimetatakse vastavalt impulsi tõusukestuseks ehk rinde pikkuseks ja langukestuseks ehk saba pikkuseks. Impulsi perioodiks T nimetatakse kahe sama polaarsusega impulsi vahet.



Joon. 6-2. Impulsi iseloomustussuurused: τ — impulsi kestus, A — positiivne impulss, B — negatiivne impulss, T — impulsside kordusperiood.



Joon. 6-3. Impulsi tõusukestus τ_1 ja langukestus τ_2.

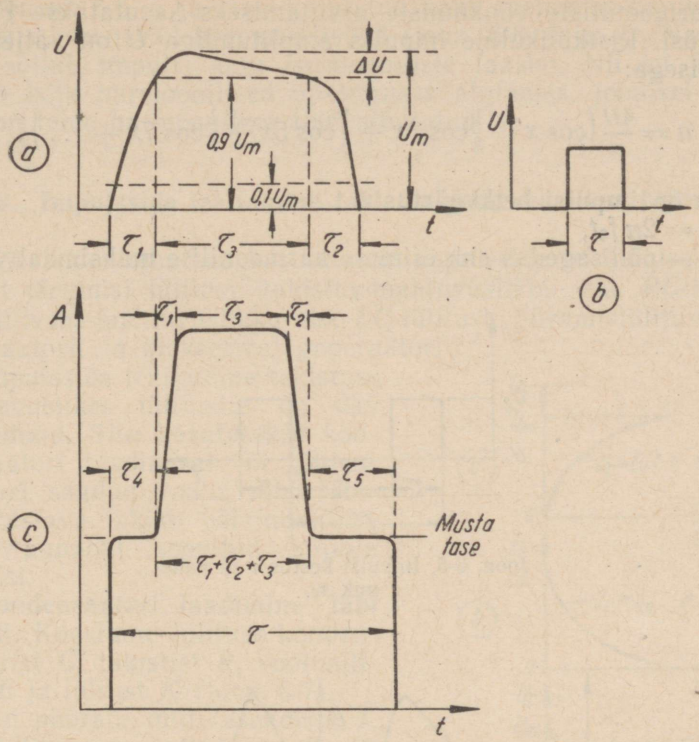
Joonisel 6-3 on impulsi tõusukestus tähistatud τ_1 ja langukestus τ_2, kogu impulsi kestus aga τ. Keerukama kujuga impulsi iseloomustamiseks tuleb kasutada veel mõningaid täiendavaid tunnuseid (joon. 6-4). Seda osa impulsist, mille ulatusel teda moodustav suurus omab ligikaudu amplituudiga võrdset väärtust, nimetatakse impulsi harjaks. Joonisel 6-4, *a* väljendab ΔU pingeimpulsi harja alanemist. Kui joonisel 6-4, *a* kujutatud impulsil $\tau_1 = \tau_2 = 0$ ja samuti $\Delta U = 0$, siis kujuneks ideaalne ristkülikuline impulss (joon. 6-4, *b*).

Tegelikkuses aga on ristkülikulised impulsid sageli moonutatud. Impulssi loetakse veel ristkülikuliseks, kui tema tõusukestus on $\tau_1 = 0{,}1 \ldots 0{,}2$ ja langukestus $\tau_2 = 0{,}2 \ldots 0{,}3$ kogu impulsi kestusest ning harja kõrgus ΔU ei ületa 0,1 tema amplituudist.

Joonisel 6-4, *c* on kujutatud liitimpulss, mis on tekkinud sünkroniseerimisimpulsi ülestamisel reakustutusimpulsile. Väga oluline on sünkroniseerimisimpulsi õige asetus kustutusimpulsil. Selle asetuse määravad kindlaks kustutusimpulsi esihari kestusega τ_4 ja tagahari kestusega τ_5.

Tavaliselt on impulsi kestus τ lühike, võrreldes i m p u l s i v a h e m i k u g a τ_0 (joon. 6-5). Impulsstehnikas nimetatakse ajavahemikku impulsi algusest kuni järgmise impulsi alguseni i m p u l s i p e r i o o d i k s T. Impulsi perioodi T ja impulsi kestuse τ suhet nimetatakse h a r v e n d u s e k s:

$$q = \frac{T}{\tau}, \qquad (6\text{-}1)$$



Joon. 6-4. Impulsside dimensioonid.

tema pöördväärtust aga täiteteguriks:

$$p = \frac{1}{q} = \frac{\tau}{T}. \tag{6-2}$$

Impulsi tõusu kiiruseks S_t on tema amplituudi A_m ja tõusukestuse suhe:

$$S_t = \frac{A_m}{\tau_1}. \tag{6-3}$$

Analoogiliselt on impulsi langukiirus

$$S_l = \frac{A_m}{\tau_2}. \tag{6-4}$$

Ideaalne ristkülikuline impulss on lahutatav siinuseliseks põhivõnkumiseks ja lõpmata paljudeks harmoonilisteks võnkumisteks.

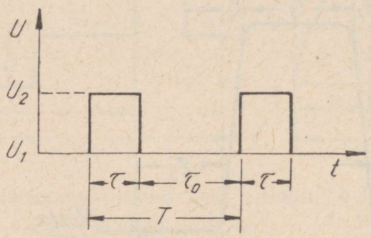
Harmooniliste võnkumiste arvutamiseks kasutatakse Fourier' analüüsi. Ristkülikuline impulss amplituudiga U on väljendatav avaldisega:

$$u = \frac{4U}{\pi}\left(\cos x + \frac{1}{3}\cos 3x + \frac{1}{5}\cos 5x + \frac{1}{7}\cos 7x + \ldots\right), \quad (6\text{-}5)$$

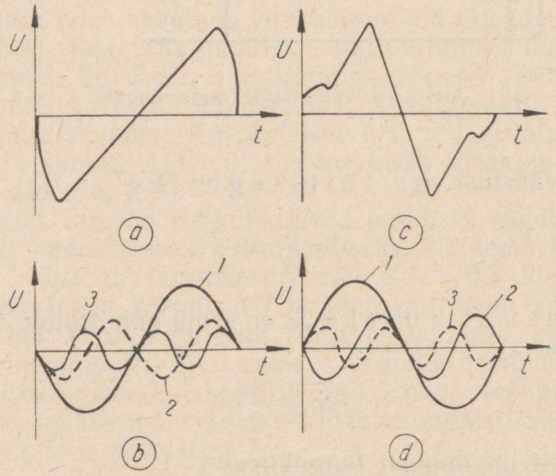
kus u on impulsi hetkväärtus,

$x = 2\pi f_0 t$,

U — põhisagedus ehk esimese harmoonilise maksimaalväärtus.



Joon. 6-5. Impulsi kestus τ ja vahemik τ_0.



Joon. 6-6. Impulsi harmoonilised sagedused.

Saehamba-kujulise impulsi pinge hetkväärtuse avaldiseks on:

$$u = \frac{4U}{\pi}\left(\sin x + \frac{1}{2}\sin 2x + \frac{1}{3}\sin 3x + \frac{1}{4}\sin 4x + \ldots\right) \quad (6\text{-}6)$$

Joonisel 6-6, *a* ja *c* on kujutatud kaks saehamba-kujulist pinget, mis koosnevad harmoonilistest (joon. 6-6, *b* ja *d*). Nagu selgub, sõltub impulsi kuju harmooniliste faasist. Nii on joonisel 6-6, *b* kõik harmoonilised ühesuguses algfaasis, joonisel 6-6, *d* aga on teine harmooniline 180° nihutatud.

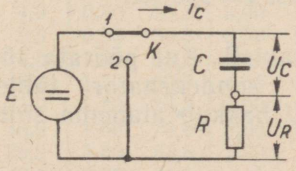
6-3. Impulsside tekitamine takistus-mahtuvuslikus lülituses

Televisioonitehnikas kasutatakse impulsside tekitamiseks peamiselt järgmisi lülitusi: takistus-mahtuvuslikku ehk *RC*-lülitust, induktiivsus-mahtuvuslikku ehk *LC*-lülitust, piiramislülitust, multivibraatorit ja blokeerivat generaatorit.

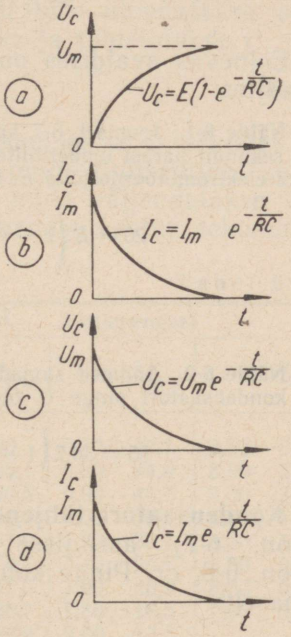
Impulsside tekitamine takistus-mahtuvuslikes lülitustes on üks lihtsamaid. Siin kasutatakse kondensaatori laadimisel või tühjendamisel saadud voolu, mis, läbides vastava takisti või induktiivsuse, annabki soovitud kujuga impulsi.

Kondensaatori laadimine läbi takisti. Koostame lülituse kondensaatorist *C*, takistist *R*, voolualikast *E* ja lülitist *K* (joon. 6-7).

Kui pöörata lüliti asendisse *1*, siis lülitamise hetkel $t = 0$ on pinge kondensaatoril $U_C = 0$.



Joon. 6-7. Kondensaatori laadimine ja tühjenemine läbi takisti.



Joon. 6-8. Pinge ja voolu muutumine *RC*-lülis.

Pinge U_C hakkab kasvama sõltuvuse kohaselt:

$$U_C = E\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \qquad (6\text{-}7)$$

Pinge kasvu väljendav kõver on toodud joonisel 6-8, *a*. Pinge sellist tõusu nimetatakse eksponentsiaalseks.

Analoogiline on ka valem voolu muutuse kohta: kondensaatori laadimisel läbi takisti

$$i_C = Ie^{-\frac{t}{RC}}. \qquad (6\text{-}8)$$

Voolu ajaline muutumine on kujutatud graafiliselt joonisel 6-8, *b*.

Hetkel, mil laadimiskestus t võrdub väärtusega RC, on pinge kondensaatoril

$$U_C = E\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) = E\left(1 - e^{-\frac{RC}{RC}}\right) = E\left(1 - \frac{1}{e}\right) =$$

$$= E\left(1 - \frac{1}{2{,}718}\right) = 0{,}632E. \qquad (6\text{-}8a)$$

Eelnevas avaldises on R ja C põhiühikutes, s. o. oomides ja faradites.

Näide 6-1. Joonisel 6-7 kujutatud lülituses pööratakse lüliti asendisse *1*; 1,25 sekundit pärast ümberlülitamist on kondensaatoril pinge 20 V. Leida pingeallika elektromotoorne jõud E, kui $RC = 2{,}5$. Laadimisel kasutame valemit (6-7):

$$20 = E\left(1 - e^{-\frac{1{,}25}{2{,}5}}\right) = E\left(1 - \frac{1}{e^{\frac{1}{2}}}\right) = 0{,}395E,$$

$$E = \frac{20}{0{,}395} = 50{,}7 \text{ V}.$$

Näide 6-2. Andmed samad mis näites 6-1. Leida ajavahemik t, mille jooksul kondensaatori pinge U tõuseb 35 voldile. Kasutame sama valemit (6-7):

$$35 = 50{,}7\left(1 - e^{-\frac{t}{2{,}5}}\right), \quad \text{millest } t = 2{,}93 \text{ sec}.$$

Kondensaatori tühjenemine läbi takisti. Kui pöörata lüliti K (joon. 6-7) asendisse *2*, hakkab kondensaator tühjenema (joon. 6-8, *c*). Pinge kondensaatori U hakkab alanema sõltuvuse kohaselt:

$$U_C = U_{C\,max}\, e^{-\frac{t}{RC}}. \qquad (6\text{-}9)$$

Võrrandist näeme, et kondensaator tühjendub läbi takisti eksponentsiaalselt, kusjuures tema klemmipinge sõltub väärtusest RC. Kui kondensaator on tühjenenud ajavahemiku $t = RC$, siis on pinge tema klemmidel:

$$U_C = U_{C\,max} e^{-\frac{t}{RC}} = U_C e^{-\frac{RC}{RC}} = \frac{U_C}{e} = 0{,}37\, U_{C\,max}, \qquad (6\text{-}10)$$

kus $U_{C\,max}$ on maksimaalne pinge kondensaatoril, olles võrdne vooluallika elektromotoorse jõuga E.

Kondensaatori tühjendumisvool nõrgeneb samuti eksponentsiaalselt, nagu näitab valem

$$i_C = \frac{U_{C\,max}}{R} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}, \qquad (6\text{-}11)$$

kusjuures tühjenemisvool on laadimisvooluga vastassuunaline.

Voolu ajaline muutumine kondensaatori tühjenemisel on näidatud joonisel 6-8, *d*.

Kui kujutada kondensaatori laadimis- ja tühjendamiskõvera (kõverad joon. 6-8, *a* ja *c*) teineteise kõrvale, siis saame kõvera, mis oli kujutatud joonisel 6-3. Sellest osa τ_1 vastab kõverale joonisel 6-8, *a* ja osa τ_2 kõverale 6-8, *c*.

Ajakonstant. Kuna kondensaatori laadimis- ja tühjendumiskestus sõltub korrutise *RC* väärtusest, siis nimetatakse seda korrutist antud vooluringi ajakonstandiks ja tähistatakse τ:

$$RC = \tau \text{ sec}. \qquad (6\text{-}12)$$

Selles avaldises tuleb *R* väljendada oomides ja *C* faradites.

Tabelis 6-1 on antud kondensaatori pinge protsentides sõltuvalt laadimis- ja tühjendumiskestusest, mida väljendatakse suhtena t/τ, kust *t* on laadimise või tühjenemise kestus sekundites.

Tabel 6-1

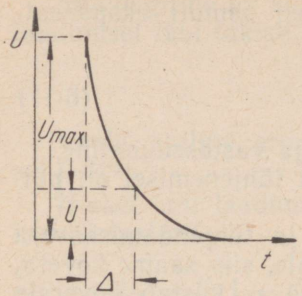
Laadimisel						Tühjenemisel					
t/τ	$U_{C\%}$	t/τ	$U_{C\%}$	t/τ	$U_{C\%}$	t/τ	$U_{C\%}$	t/τ	$U_{C\%}$	t/τ	$U_{C\%}$
0,00	0,00	0,70	50,3	2,50	91,8	0,00	100	0,70	49,7	2,50	8,2
0,05	4,9	0,80	55,1	3,00	95,0	0,05	95,1	0,80	44,9	3,00	5,0
0,10	9,5	0,90	59,3	3,50	97,0	0,10	90,5	0,90	40,7	3,50	3,0
0,15	14,0	1,00	63,2	4,00	98,2	0,15	86,0	1,00	36,8	4,00	1,8
0,20	18,1	1,20	69,9	4,50	98,9	0,20	81,9	1,20	30,1	4,50	1,1
0,30	25,9	1,40	75,3	5,00	99.3	0,30	74,1	1,40	24,7	5,00	0,7
0,40	33,0	1,60	79,8	6,00	99,8	0,40	67,0	1,60	20,2	6,00	0,2
0,50	39,3	1.80	83,5	7,00	99,9	0,50	60,7	1,80	16,5	7,00	0,1
0,60	45,1	2,00	86,5			0,60	54,9	2,00	13,5		

Tabelist on näha, et näiteks laadimise korral aja kestel, mis arvuliselt võrdub kahe ajakonstandiga ($t/\tau = 2{,}00$) ulatub kondensaatori pinge juba 86,5% oma lõppväärtusest.

Impulsikestuse arvutamine. Sageli tekib vajadus leida eksponentsiaalsest impulsist ristkülikuline osa (joon. 6-9). Seejuures tähistagu Δ impulsi kestust ja *U* impulsi pinget hetkväärtust.

Lähtume tuntud võrrandist

$$U_C = U_{C\,max} e^{-\frac{t}{RC}}. \qquad (6\text{-}13)$$



Joon. 6-9. Ristkülikulise impulsi kestuse arvutamise selgitamine.

Kuna ajavahemiku $t = \Delta$ möödudes saavutab pinge hetkväärtuse u, siis

$$u = U_{C\,max} e^{-\frac{\Delta}{\tau}}. \qquad (6\text{-}14)$$

Logaritminud võrrandi (6-14), saame:

$$\frac{\Delta}{\tau} = \ln \frac{U_{C\,max}}{u}, \qquad (6\text{-}15)$$

millest

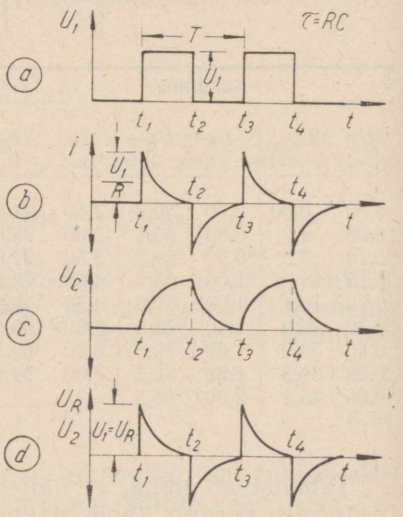
$$\Delta = \tau \ln \frac{U_{C\,max}}{u}. \qquad (6\text{-}16)$$

Kui näiteks $u/U_{C\,max} = 0{,}01 \ldots 0{,}05$, siis $U_{C\,max}/u = 100 \ldots 20$ ja

$$\Delta = (3 \ldots 4{,}6)\tau.$$

Võrrandist (6-14) selgub, et impulsi kestuse Δ määrab vooluringi ajakonstant τ ja pinge maksimaalväärtus $U_{C\,max}$.

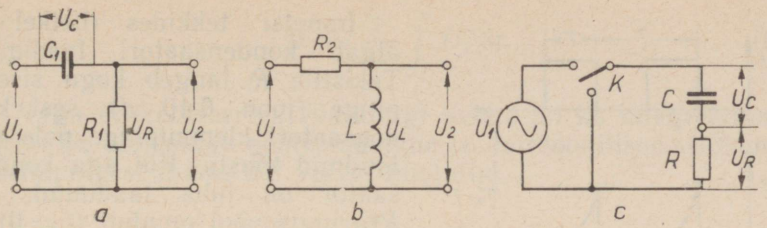
Diferentseeriv vooluring. Eespool käsitlesime kondensaatori C laadimist ja tühjendamist läbi takisti R. Laadimispinge sisse- ja väljalülitamine toimus selles RC-ringis lüliti K abil. Joonisel 6-10 on kujutatud lüliti K korduval ümberlülitamisel tekkivate suuruste ajaline kulg, kui hetkel t_1 lüliti K suletakse ja hetkel t_2 avatakse. Seejuures antakse lülitiga RC-ringi ristkülikulisi impulsse (joon. 6-10, *a*). Kondensaatoril C aga saadakse saehambakujulisi pingeimpulsse, mis on kujutatud joonisel 6-10, *c*.



Joon. 6-10. Ristkülikulise impulsi diferentseerimine.

Joonisel 6-11, *a* on kujutatud RC-lüli, mida kasutatakse impulsside muundamiseks. Sisendisse suunatakse ristkülikulised pingeimpulsid U_1, takistilt R aga saadakse teistsuguse kujuga väljepinge U_2. Sellist vooluringi nimetatakse diferentseerivaks vooluringiks.

Ta kujutab takistus-mahtuvuslikku kõrgsagedusfiltrit. Diferentseerivaks vooluringiks nimetatakse teda sellepärast, et tema välje-



Joon. 6-11. Diferentseerivad vooluringid.

pinge vastab sisendpinge tuletisele:

$$U_2 = \frac{dU_1}{dt}.$$

Diferentseeriva vooluringi võib koostada ka takistusest R ja induktiivsusest L. Viimasel juhul võetakse väljepinge induktiivsust L omavalt poolilt (joon. 6-11, *b*).

Diferentseeriva RC-ringi väljepinge U_2 võrdub igal hetkel sisendpinge U_1 ja kondensaatoril tekkiva pinge U_C vahega:

$$U_2 = U_1 - U_C. \tag{6-17}$$

Diferentseeriva vooluringi väljepinget saab avaldada üldisemalt:

$$U_2 = RC\frac{dU_1}{dt}. \tag{6-18}$$

Võrrandist (6-18) selgub, et väljepinge sõltub ajakonstandist $\tau = RC$ ja sisendpinge U_1 muutuse kiirusest.

Sisendpingeks on ristkülikulised impulsid, mis koosnevad põhisagedusest ja reast harmoonilistest. Diferentseeriva lüli väljepinges sisalduvad harmoonilised võnked on nihutatud sisendpingest faasis 90°. Seetõttu erineb RC-lüli väljepinge oma kujult sisendpingest.

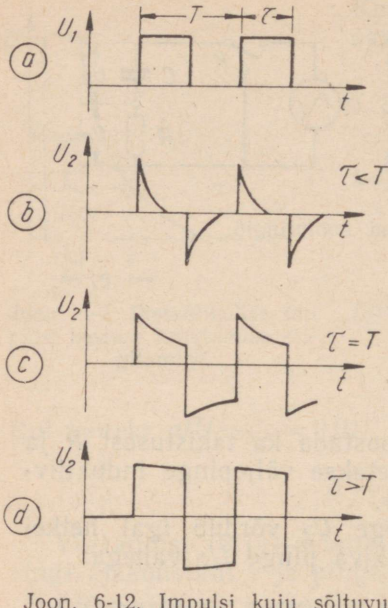
Kui diferentseeriva vooluringi sisendpingeks on ristkülikulised pingeimpulsid U_1, siis jaguneb sisendpinge mahtuvusele ja takistusele järgmiselt:

$$U_1 = U_C + U_R. \tag{6-19}$$

Takistil tekkiv pinge omakorda aga on väljepingeks:

$$U_R = U_2. \tag{6-20}$$

Joonisel 6-10 oli antud ristkülikulise sisendpinge puhul takistil R ja kondensaatoril C tekkivate pingete kuju.



Joon. 6-12. Impulsi kuju sõltuvus T ja τ vahekorrast.

Impulsi tekkides (hetkel t_1) algab kondensaatori laadimine. Takistile R langeb kogu sisendpinge (joon. 6-10, *d*), sest kondensaatori klemmipinge pole veel jõudnud tõusta. Kui aga kondensaator on juba laadunud, siis RC-ringis vool puudub ($i = 0$) ja pinge takistil võrdub nulliga. Sisendimpulsi lõppedes (hetkel t_2) algab kondensaatori tühjenemine läbi takisti R. Selgub, et kondensaatori tühjenemisel on vool RC-ringis vastupidine laadimisvooluga. Seetõttu tekib takistil R negatiivne pingeimpulss.

Väljepinge kuju sõltub diferentseeriva vooluringi ajakonstandi $\tau = RC$ ja sisendpinge perioodi T vahekorrast (joon. 6-12). Kui sisendpingeks on ristkülikulised impulsid ja ajakonstant on sisendimpulsside perioodist T tunduvalt väiksem ($\tau = RC < T$), siis saame väljes teravikulised pingeimpulsid, mille polaarsus vaheldub positiivseks ja negatiivseks (kõver *b*).

Juhul kui ajakonstant ligikaudu võrdub sisendimpulsside perioodiga $T (\tau = RC \approx T)$, siis väljepinge U_2 sisendimpulsi vältel natuke alaneb või jääb sisendimpulsiga peaaegu võrdseks (joon. 6-12, *c*).

Kui aga ajakonstant osutub sisendimpulsi perioodist T tunduvalt suuremaks ($\tau = RC > T$), siis alaneb väljepinge impulss ajas peaaegu lineaarselt (joon. 6-12, *d*).

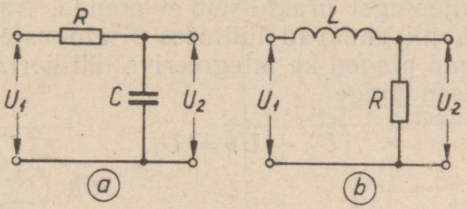
Sellest järeldub, et mida väiksem on diferentseeriva vooluringi ajakonstant, seda teravamaid väljeimpulsse temast saadakse.

Integreeriv vooluring. Kui joonisel 6-7 kujutatud vooluringist võtta väljepinget kondensaatorilt C, kujuneb vooluring, mida nimetatakse integreerivaks. Integreeriv vooluring kujutab takistus-mahtuvuslikku madalsagedusfiltrit. Kahe lihtsa integreeriva vooluringi skeem on kujutatud joonisel 6-13.

Matemaatiliselt on võimalik tõestada, et integreeriva vooluringi väljepinge sõltub ajakonstandi pöördväärtusest $1/RC$ ja sisendpinge integraalist:

$$U_2 \approx \frac{1}{RC} \int U_1 \, dt. \qquad (6\text{-}21)$$

Nagu diferentseeriva vooluringi puhul, nii ka integreeriva lüli korral on väljepinge põhivõnkumine ja harmoonilised võnkumised sisendpingest faasis 90° võrra nihutatud.



Joon. 6-13. Integreerivad vooluringid.

Kui integreeriva lüli sisendisse suunata ristkülikulisi pingeimpulsse (joon. 6-14, *a*), siis hetkel t_1 võrdub pinge kondensaatoril nulliga. Sel hetkel hakkab kondensaator C laaduma ja tema pinge tõuseb eksponentsiaalselt võrrandi (6-7) järgi:

$$U_C = U_2 = U_1\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right).$$

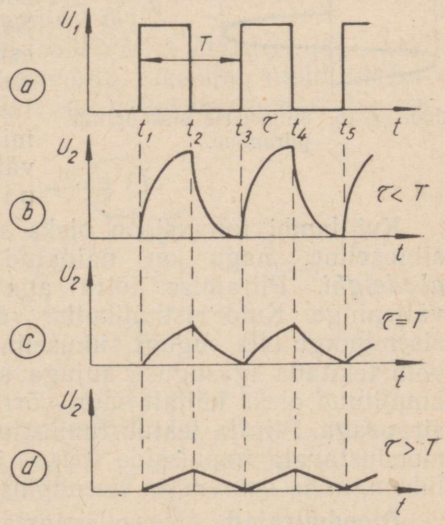
Siin RC on integreeriva lüli ajakonstant.

Kondensaator laadub ajavahemikul t_1 kuni t_2 ja tühjendub ajavahemikul t_2 kuni t_3. Tühjendamine kulgeb sõltuvuse kohaselt:

$$U_C = U_2 = U_1 e^{-\frac{t}{RC}} \qquad (6\text{-}22)$$

Võrranditest (6-7) ja (6-22) selgub, et integreeriva vooluringi väljepinge muutub eksponentaalselt ja tema kuju sõltub ajakonstandi τ väärtusest.

Integreeriva lüli väljepinge kõverad ajakonstandi mitmesuguse väärtuse korral on kujutatud joonisel 6-14. Mida väiksem on ajakonstant τ võrreldes sisendpinge perioodiga T, seda rohkem sarnaneb väljepinge kuju sisendpinge omaga, ja



Joon. 6-14. Ristkülikulise impulsi integreerimine.

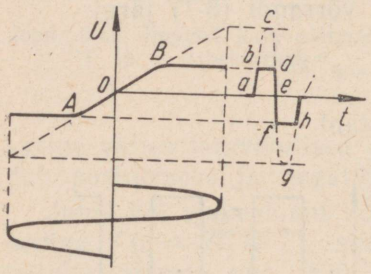
vastupidi — mida suurem on ajakonstant, võrreldes sisendpinge perioodiga, seda enam läheneb väljepinge kuju kolmnurgale (joon. 6-4, *d*). Veel võib märkida, et ajakonstandi suurenedes väljepinge alaneb.

Juhul kui integreerivasse lülisse suubuvad mitmesuguse kestusega impulsse, siis tekitavad väljes küllaldase väljepinge väärtused ainult need impulsid, millede $T > \tau$. Samal ajal aga impulsid, mille $T \leqslant \tau$, väljepinget praktiliselt ei arenda. Nagu diferentseeriva lüli korral, nii annavad lülituses sisalduvatele elementidele (R ja C) tekkivad pinged ka integreeriva lüli korral kogusummas ristkülikulise sisendpinge

$$U_C + U_R = U_1. \qquad (6\text{-}23)$$

6-4. Impulsside tekitamine piiramismeetodil

Kõige lihtsam on tekitada ristkülikulisi impulsse ebalineaarset tunnusjoont omavas elektronlambis, kui suunata selle sisendile suure amplituudiga siinuseline pinge (joon. 6-15).



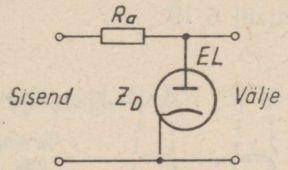
Joon. 6-15. Siinuselise sisendpinge piiramine.

Tunnusjoone lineaarse osa *AB* ulatusel on väljepinge võrdeline sisendpingega. Kui sisendpinge amplituud ulatub üle selle lineaarse osa *AB*, siis väljepinge enam ei tõuse. Kõrge sisendpinge puhul saame ristkülikulise väljepinge. Seadet, mis omab joonisel 6-15 esitatud kujuga tunnusjoont, nimetatakse piirajaks. Elektronlambi tunnusjoone seda osa, mille ulatusel sisendpinge tõustes väljepinge ei tõuse, nimetatakse piiramislävеks.

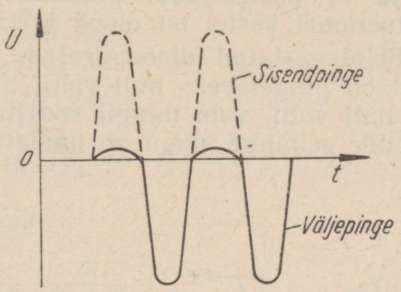
Kui lambi tunnusjoon oleks sirge, siis oleks ka väljepinge siinuseline, nagu on näidatud joonisel 6-15 kriipsjoonega *abcdefghi*. Piiramise tõttu aga tekib peaaegu ristkülikuline väljepinge. Kuid ristkülikulise väljepinge saamiseks ei tarvitse sisendpinge olla sugugi siinuseline, vaid ristkülikulise väljepinge võib tekitada igasuguse kujuga sisendpinge tingimusel, et tema amplituud oleks küllalt suur, võrreldes piiraja lambi tunnusjoone sirgosaga. Piiraja teatud tunnusjoone puhul on seega väljepinget moodustavate impulsside tõusu- ja langukestus (τ_1 ja τ_2) seda lühem, mida suurem on sisendpinge amplituud.

Dioodpiirajad. Ühe piiramislävega amplituudpiirajana kasutatakse dioodi *EL* koos takistiga R_a (joon. 6-16). Viimase takistus valitakse suur, võrreldes dioodi sisetakistusega avasuunas, kuid

väike, võrreldes selle näivtakistusega tõkkesuunas. Avasuunas on dioodi takistus harilikult 1000 Ω. Tema näivtakistus tõkkesuunas on mahtuvuslik ja seega sageduse tõusmisel väheneb. Tavalises talitluspiirkonnas ulatub dioodi näivtakistus Z_D megaoomidesse ja takistus R_a valitakse enamasti 45—50 kΩ.



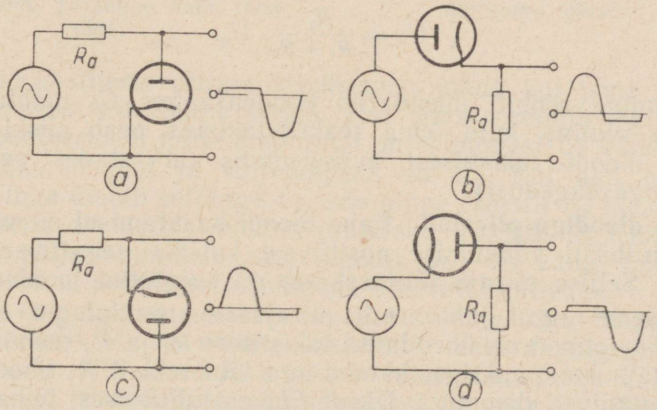
Joon. 6-16. Positiivse impulsi dioodpiiraja.



Joon. 6-17. Sisendpinge ja piiratud väljepinge kuju.

Kui dioodi sisendile suunata siinuseline pinge, siis on ta sisendpinge positiivse poolperioodi vältel juhtiv. Sisendpinge jaguneb takisti R_a ja dioodi vahel võrdeliselt esimese takistuse ja viimase näivtakistusega. Piiraja väljepinge saadakse dioodil tekkiva pingelanguna. Hea juhtivuse tõttu tekib dioodil väga väike pingelang ja seetõttu on väljepinge dioodi avaseisundis väga väike, nagu on näidatud joonisel 6-17.

Sisendpinge negatiivse poolperioodi vältel diood ei juhi, sest tema näivtakistus on väga suur. Seetõttu rakendub nüüd sisendpinge peamiselt dioodile ja ainult väga väike osa temast langeb

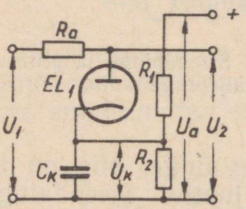


Joon. 6-18. Dioodpiirajad.

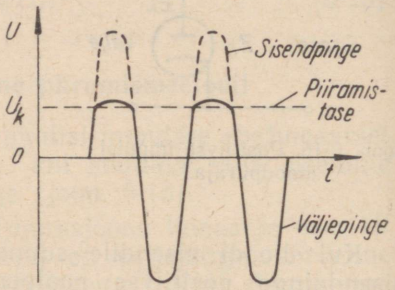
takistile R_a. Joonisel 6-16 kujutatud dioodpiiraja piirab sisendpinge positiivset poolperioodi. Väljel saame sisendpinge negatiivse poolperioodi amplituudist pisut madalama pinge.

Joonisel 6-18 on antud nelja dioodpiiraja lülitusskeemid. Neis dioodpiirajates toimub kas positiivse (*a* ja *d*) või negatiivse (*b* ja *c*) poolperioodi piiramine, sõltuvalt sellest, missuguse poolperioodi kestel on diood juhtiv.

Eelpingestatud dioodpiirajad. Joonisel 6-18 kujutatud piirajatel on pingeläveks null volti. Et piiramine toimuks mitte pingel null volti, vaid mingil soovitud pinge väärtusel, tuleb anda dioodile eelpinge, nagu on näidatud joonisel 6-19.



Joon. 6-19. Eelpingestatud dioodpiiraja.



Joon. 6-20. Joonisel 6-19 kujutatud lülitusega piiratud laine.

Negatiivse eelpinge korral ei juhi diood enne, kui sisendpinge U_1 on ületanud negatiivse eelpinge väärtuse U_k. Sel juhul omab väljepinge joonisel 6-20 näidatud kuju. Pinge piirav väärtus U_k on ligikaudu arvutatav valemiga

$$U_k = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_a. \qquad (6\text{-}24)$$

Katoodiga rööbiti ühendatud kondensaatori C_k mahtuvus ei ole väga oluline, kuid tema reaktiivtakistus peab siiski olema väiksem dioodi takistusest avaseisundis (arvestades seejuures sisendpinge sagedust).

Kahe dioodiga piirajad. Kahe dioodi kasutamisel on võimalik piirata niihästi võnkumise positiivset kui ka negatiivset poolperioodi. Sellise piiraja lülitusskeem on kujutatud joonisel 6-21.

Käsitleme algul juhtu, mil piirajasse sisendpinget ei satu. Dioodi EL_2 anood on ühendatud takistitest R_3 ja R_4 moodustatud pingejagaja keskpunktiga, katood aga läbi takisti R_2 anoodpinge allika negatiivse klemmiga. Diood EL_2 on juhtiv, sest tema anood saab katoodi suhtes positiivse pinge. Seetõttu on selle dioodi

takistus palju väiksem takistustest R_1 ja R_2. Võime öelda, et püsiv eelpinge U_k, mis tekib takistil R_2, kandub välisringi, ja on arvutatav valemiga.

$$U_k = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_0, \tag{6-25}$$

kus U_0 on positiivne pinge takistil R_2.

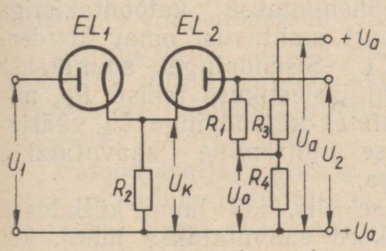
Kui takistuste R_1 ja R_2 summa on suur, võrreldes takistusega R_4, siis on U_0 arvutatav valemiga

$$U_0 = \frac{R_4}{R_3 + R_4} U_a. \tag{6-26}$$

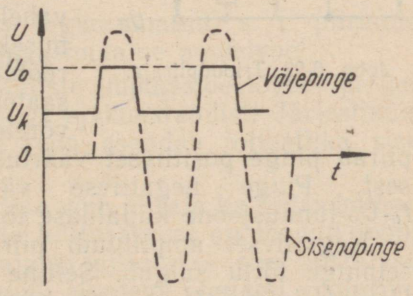
Avaldistest (6-25) ja (6-26) saame:

$$U_k = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} U_a. \tag{6-27}$$

Pinge U_k on dioodi EL_1 eelpingeks.



Joon. 6-21. Positiivse ja negatiivse poolperioodi piiramine kahe dioodiga.



Joon. 6-22. Joonisel 6-21 kujutatud lülitusega piiratud laine.

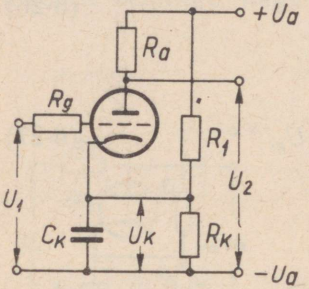
Nüüd käsitleme piiraja tegutsemist juhul, kui tema sisendile on suunatud siinuseline pinge. Kui tema sisendile satub positiivne poolperiood, mille amplituud on eelpingest U_k väiksem, siis diood EL_1 ei juhi ja väljepingeks on U_k. Kui aga positiivne sisendpinge ületab eelpinge U_k, siis pinge takistil R_2 tõuseb, mille tulemusena diood EL_1 muutub juhtivaks. Takistil R_2 tekkiv pinge kandub väljeklemmidele, sest dioodil EL_2 on väike takistus ja teda hoitakse positiivse eelpingega püsivalt juhtivana.

Kui sisendpinge positiivne väärtus tõsta kõrgemaks, nii et pinge takistil R_2 on võrdne takistil R tekkiva pingega U_0 või ületab selle, siis diood EL_2 lakkab juhtimast. Seega väljepinget ei teki, kui sisendpinge amplituud on pingest U_k väiksem või pingest U_0 suurem. Juhul kui siinuselise sisendpinge amplituud

on väga kõrge, võrreldes piiramispingega U_0, saame väljel peaaegu ristkülikulise pinge, nagu on näidatud joonisel 6-22.

Impulsside täitetegurit on siin võimalik teatud piires muuta siinuselise sisendpingega liituva eelpinge muutmisega. Siinuselise sisendpinge ja piiramisläve suhet (piiramistegurit) on võimalik reguleerida R_1 ja R_2 abil. Nullväärtuse suhtes reguleeritakse pinget takistuste R_3 ja R_4 muutmisega.

Ristkülikuliste impulsside tekitamine piiramisvõimendajaga. Piiramismeetodil on kõige lihtsam tekitada ristkülikulisi impulsse, kui kasutada lisaks piirajale veel võimendusastet.



Joon. 6-23. Trioodpiiraja.

Sisendpinge positiivse tipu piiramiseks kasutatakse järjestikust võretakistust. Juhtvõre ja katood toimivad sel juhul dioodi elektroodidena.

Trioodiga piiramisvõimendaja lülitusskeem on toodud joonisel 6-23. Piiraja lambi anoodringi on ühendatud takisti R_a, tema eelpinge aga võetakse pingejagajalt R_k-R_1, mis on ühendatud anoodpinge allika klemmide vahele. Katoodpinge kõikumise vältimiseks ühendatakse katoodtakistiga rööbiti suurt mahtuvust omav kondensaator C_k. Sisendpinge suunatakse võrele läbi järjestikuse takisti R_g, mis piirab pinge positiivset väärtust, alates katoodpinge U_k väärtusest. Pinge negatiivse väärtuse piiramine saavutatakse I_a-U_g-tunnusjoone küllaldase tõusuga.

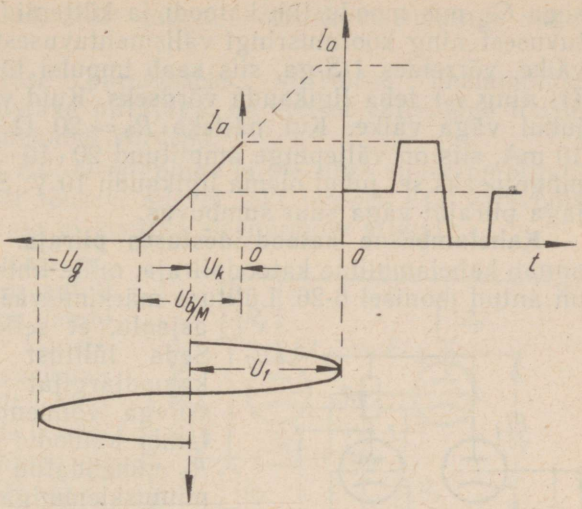
Negatiivset amplituudi piiratakse siis, kui lamp küllaldase eelpinge tõttu sulgub. Selline olukord saavutatakse juhul, kui $U_g = U_a/\mu$, kus U_a on anoodpinge ja μ — võimendustegur.

Järelikult saab sulgemiseelpinget muuta anoodpinge U_a või võimendusteguri μ muutmisega, s. o. teise lambitüübi valikuga. Sisendpinge piiratava väärtuse võib arvutada valemiga

$$U_{sp} = \frac{U_a}{\mu} - U_k, \qquad (6\text{-}28)$$

kus U_k on lambi katoodpinge.

Trioodiga piiramisvõimendaja piiramistunnusjoon on kujutatud joonisel 6-24. Siin on väljeimpulss peaaegu ristkülikuline. Ristkülikulise impulsi tekitamiseks on vaja, et sisendpinge negatiivne ja positiivne piiramisläbi oleksid omavahel võrdsed. Teiste sõnadega, lamp peab olema eelpingestatud selliselt, et siinuselise sisendpinge baseeruks joonisel 6-24 kujutatud tunnusjoone sirgosa keskpunktile, milline tingimus on ka A-klassi võimendaja tegutsemise eeltingimuseks. Seega on võimalik takisti R_1 ära jätta ja valida R_k samuti nagu automaatse eelpinge tekitamise korral.

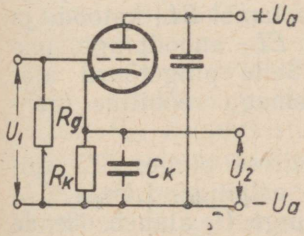


Joon. 6-24. Trioodpiiraja sisend- ja väljeimpulss.

Võimendaja on piiramisseisundis liigkoormatud, s. t. piiramisseisundis võimenduslampi läbib maksimaalne anoodvool.

Piiraja väljel saadud ristkülikuliste impulsside tõusu- ja langukestus sõltub võre- ja anoodringi ajakonstandist. Järjestikune võretakisti mõnikord puudub ja teda asendab toiteallika sisetakistus.

Katoodjärgijaga piiraja. Impulsse võib piirata ka lihtsa katoodjärgijat kujutava lülitusega, mille lülitusskeem on toodud joonisel 6-25. Nagu piiramisvõimendajaski piiratakse siin positiivset amplituudi siseneva signaali vooluringi ühendatud takistil võrevoolu mõjul tekkiva pingelanguga, negatiivset amplituudi aga tavalisel anoodvoolu piiramise meetodil. Liiga kõrge võreeelpinge vältimiseks (mis võib eriti esineda suure sisendpinge korral) valitakse katoodtakisti R_k väike, enamasti võrdsena $1/S$, näiteks lambi korral, mille $S = 5$ mA/V on $R_k = 1/5 \cdot 10^{-3} = 200$ oomi. Selline väike katoodtakistus tagab ühtlasi väikest impulsi tõusu- ja langukestust.

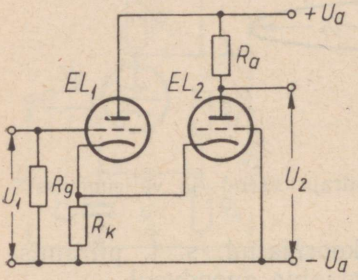


Joon. 6-25. Katoodväljega piiraja.

Sellise piiraja puuduseks on see, et temast saadavate impulsside tõusukestus τ_1 osutub langukestusest τ_2 lühemaks, s. t. $\tau_2 > \tau_1$. Tõusu- ja langukestus sõltuvad katoodringi ajakonstandist, mille määravad katoodringi takistus R_k koos mahtuvu-

sega C_k, mis moodustub katoodi ja kütteniidi vahelisest sisemahtuvusest ning koormusringi välismahtuvusest. Kui aga valida R_k väike, võrreldes $1/S$-ga, siis saab impulsi tõusu- ja langukestuse (τ_1 ning τ_2) teha ligikaudu võrdseks. Kuid väljeamplituud on sel juhul väga väike. Kui näiteks $R_k = 20\ \Omega$ ja lambi anoodvool 10 mA, siis on väljepinge amplituud $20 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 0{,}2$ V. Sisendpinge peaks sel juhul olema ligikaudu 10 V. Seega on katoodjärgijaga piirajal väga suur sumbuvus.

Kahelambiline katoodsidestuses piiraja. Paremaid tulemusi annab kahelambiline katoodpiiraja, mille lihtsustatud lülitusskeem on antud joonisel 6-26. Lülituse märkimisväärseks paremuseks on asjaolu, et selles ei teki võrevoolu. Seda lülitust võib käsitada kui katoodjärgijat koos maandatud võrega võimendusastmega. Mõlema lambi katoodid on läbi ühise takisti R_k ühendatud anoodpinge allika miinusklemmiga. Tavaliselt valitakse R_k väärtuseks 10 kΩ.



Joon. 6-26. Kahelambiline katoodsidestuses piiraja.

Sisendpinge puudumisel läbib mõlemat lampi anoodvool, mis suundub läbi ühise takisti R_k, tekitades mõlemale lambile ühesuguse eelpinge. Kuna lambi EL_2 anoodpinge on takistis R_a tekkiva pingelangu tõttu madalam kui lambi EL_1, siis on ka lambi EL_2 anoodvool nõrgem kui lambil EL_1. Kui suunata lambi EL_1 võrele madal sisendpinge, toimivad mõlemad lambid A-klassi võimendajana ja anoodvoolu vahelduvkomponent on kummalgi lambil vastupidine. Et seda lülitust kasutada piirajana, on vaja kõrget sisendpinget. Kui lambi EL_1 võrele suunata positiivne sisendpinge, siis ilmub sama pinge ka lambi EL_1 katoodil ja lamp EL_2 sulgub, mille tulemusena lambi EL_2 anoodpinge, mis on ühtlasi ka väljepingeks U_2, tõuseb. Selle pingetõusu ajakonstandi määrab anoodtakistus R_a ja temaga rööbitine mahtuvus.

Suunanud aga lambi EL_1 võrele negatiivse pinge, EL_1 sulgub ja lambi EL_2 võrelt kaob negatiivne eelpinge. Lambi EL_2 anoodringis tekib vool, mille mõjul anoodpinge U_2 alaneb. Nende muutuste ajakonstant on samasugune nagu eelmisel olukorralgi.

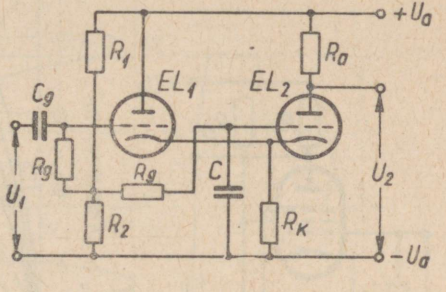
Kui kõrge positiivse sisendpinge juhtida EL_1 võrele, siis lamp EL_2 sulgub ja tema anoodpinge omab anoodvooluallika pinge väärtuse. Kõrge negatiivse sisendpinge vältel on aga lamp EL_1 suletud, kuid lambis EL_2 tekib anoodvool. EL_2 anoodvoolu suuruse määrab nüüd katoodtakistus R_k. Lambi EL_2 anoodpinge on nüüd ka püsiv, kuid on anoodi toitepingest takistil R_a tekkiva pingelangu võrra madalam. Seega tekivad lambi EL_2 anoodringis

ristkülikulised impulsid, mille sagedus võrdub sisendpinge sagedusega.

Kirjeldatud lülituse paremuseks, võrreldes ühelambilise katoodjärgijat moodustava piirajaga, on see, et väljepinge tõusu- ja langukestus on omavahel võrdsed.

Pealegi kui lambi EL_1 sisendpinge ei ole liiga suure amplituudiga või liiga kiiresti tõusev, siis ei teki lambis EL_1 võrevoolu ja kahelambiline piiraja ei koorma sisendpinge allikat.

Kahelambilise piiraja tegelik lülitusskeem on antud joonisel 6-27. Mõlema lambi eelpinge võetakse takistitest R_1 ja R_2 koosnevalt ühiselt pingejagajalt ning suunatakse võredele läbi takistite R_g. Anoodpinge on 250 V. Kuna $R_1 = 200$ kΩ ja $R_2 = 47$ kΩ, siis on võrepinge ligikaudu 50 V. Staatilises talitlusseisundis tarbib kumbki lamp anoodvoolu ligikaudu 2,5 mA ning ühist katoodtakistit R_k läbib seega vool 5 mA. Kui $R_k = 10$ kΩ, siis tekib takistil R_k pingelang 50 V, mis on ühiseks katoodi potentsiaaliks. Talitlusolukorras on üks lamp alati suletud, teine aga juhtiv ja tema anoodvool on 5 mA.



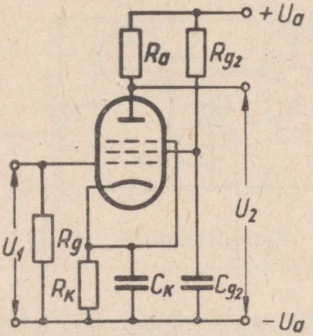
Joon. 6-27. Katoodsidestuses piiraja.

Pentoodiga piiramisvõimendaja. Sageli kasutatakse pentoodiga piiramisvõimendajat. Pentoodil on siin rida paremusi, võrreldes trioodiga. Näiteks on pentoodil madala varivõrepinge korral väga lühike võrekäik. Üks lihtsamaid pentoodi sisaldavaid piiramisvõimendaja lülitusi on antud joonisel 6-28. Takisti R_{g2} valitakse selline, et saadakse sobiv varivõrepinge. Kondensaatori C_{g2} reaktiivtakistus peab talitlussagedusel olema küllalt väike, võrreldes rööbiti olevate varivõre sisetakistuse R_{ig2} ja takisti R_{g2} kogutakistusega. On olemas veel teisi ja paremaidki pentoodi sisaldavaid piiramisvõimendaja lülitusi.

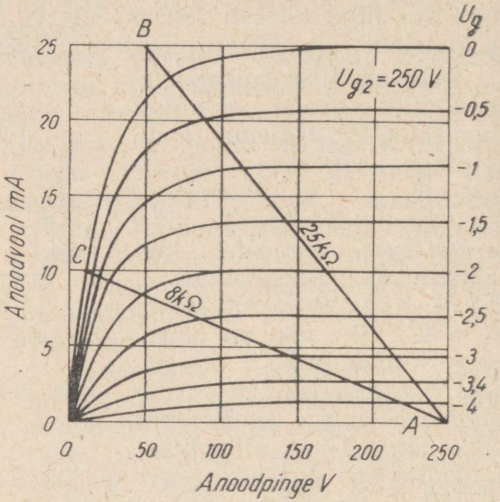
Anoodvoolu küllastuse tõttu (joon. 6-29), saab suure anoodkoormuse R_a korral positiivset amplituudi piirata ilma võretakistita. Selleks vajalik anoodkoormustakisti R_a peab olema tunduvalt suurem kui A-klassi võimendajas. Suure R_a tõttu on anoodpinge sisendpinge puudumisel väga madal — ainult 20 või 30 V. Kui sisendile suunata positiivne pingeimpulss, siis alaneb anoodpinge nullini, milles avaldubki piiramine. Negatiivse sisendpinge puhul lamp sulgub ja anoodpinge tõuseb toitepinge väärtusele. Kuna võrdlemisi väike negatiivne tüürvõrepinge muutus katkestab anoodvoolu lambis, siis toimib selline lülitus piirajana, mis

annab kõrget väljepinget. Viimane võib küündida kuni toitepinge väärtuseni.

Sellise piiraja talitlust selgitavad joonised 6-29 ja 6-30. Varivõrepinge valitakse 250 V. Joonisel 6-29 on kujutatud koormussirge takistusel $R_a = 8$ kΩ, mis sobib A-klassi võimendajale, ja koormussirge takistusel $R_a = 25$ kΩ, mis põhjustab piiramist.



Joon. 6-28. Pentoodiga piiramisvõimendaja.

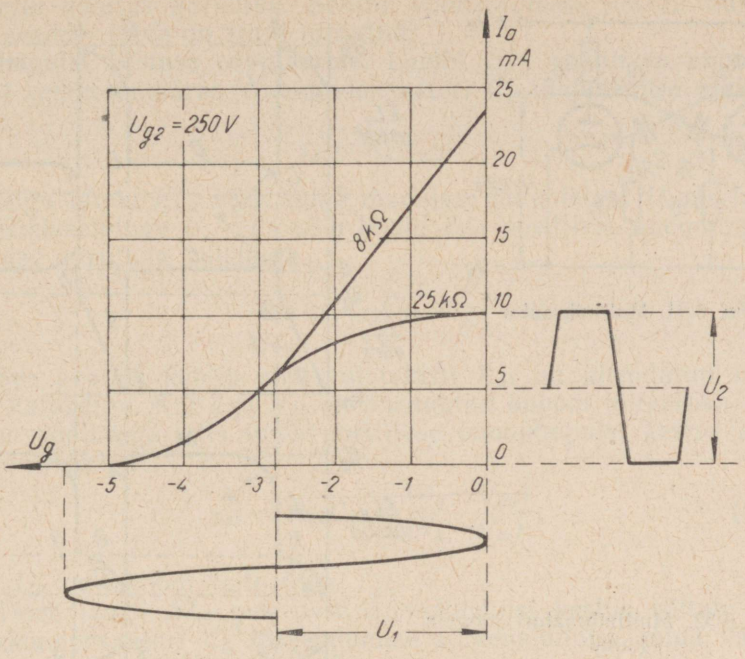


Joon. 6-29. Pentoodpiiraja I_aU_a-tunnusjoon.

nagu on näidatud joonisel 6-30. Piiramisläved on siin —1 ja —5 V. Selline võrepinge muutus 4 V võrra kutsub esile anoodpinge muutuse 20 voldilt kuni 250 voldile. Seega tekib ligikaudu 60-kordne võimendus. Pentoodi kasutamise puhul, kui sisendpinge väärtus on näiteks 50 V, saame piiratud väljepinge, mille amplituud on 230 V.

Eespool kirjeldatud lülitused sobivad piiramisvõimendajatele, mille sisendpinge on siinuseline. Tegelikult aga võib esineda erikujulisi sisendpingeid. Nii võidakse piiramisvõimendajasse suunata multivibraatori väljepinge, mis on ligikaudu ristkülikuline. Seda tehakse kahel põhjusel.

1. Kui multivibraatori väljepinge on küllalt kõrge, lühendatakse piiramisvõimendaja abil impulsi tõusukestust τ_1. See on otstarbekas siis, kui piiramisvõimendaja annab lühema impulsi tõusukestuse kui multivibraator. Kui multivibraatori väljepinge amplituud oli 50 V, siis, nagu eespool nägime, on järgneva võimendaja sisendil piiramistase 5 V ja piiramisvõimendaja väljepinge säilib jäävana, kuigi tema sisendpinge muutuks 5 voldilt kuni 50 voldile.



Joon. 6-30. Pentoodpiiraja I_aU_g-tunnusjoon.

Sisendpinge puhul 50 V moodustaks impulsi tõusukestus piiramisvõimendajas 1/10 tõusukestusest multivibraatoris.

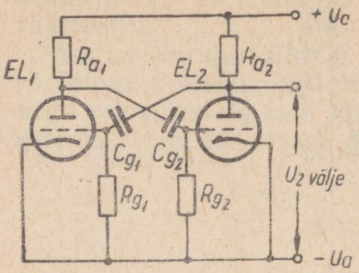
2. Multivibraatorist saadava ristkülikulise väljepinge hari on harilikult kõrgemate harmooniliste tõttu moonutatud ja kui viimased ületavad piiramisläve, siis piiramisvõimendaja neid läbi ei lase ning tema väljel saadakse laitmatud ristkülikulised impulsid.

6-5. Multivibraator

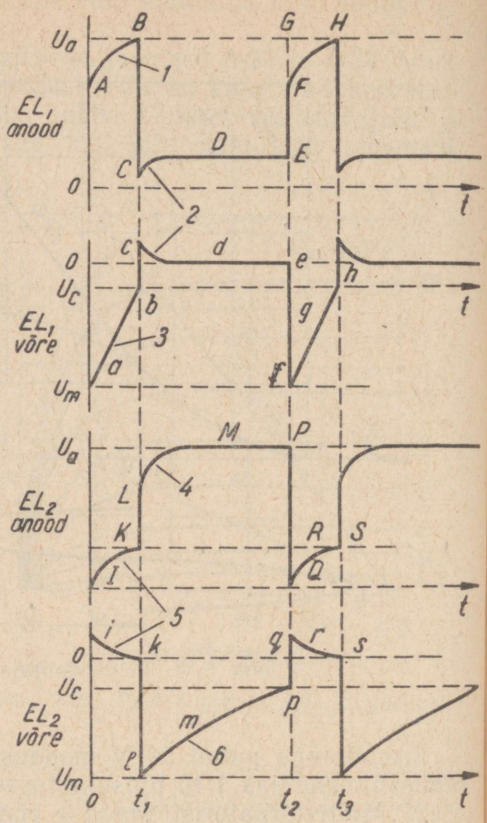
Põhimõte. Ristkülikulise pinge saamiseks kasutatakse sageli multivibraatorit. See kujutab endast tavaliselt kaheastmelist takistussidestuses võimendajat, mille välje on ühendatud kokku sisendiga. On olemas mitmesuguse lülitusega multivibraatoreid. Allpool kirjeldatakse ainult anoodsidestuses multivibraatorit.

Joonisel 6-31 on kujutatud kahe trioodiga multivibraatori lülitusskeem.

Selline multivibraator tekitab ristkülikulisi impulsse, mille sagedus sõltub multivibraatori üksikosade arvväärtustest. Lampide võredel ja anoodidel esinevate pingete kuju on toodud joonisel 6-32.



Joon. 6-31. Multivibraator.



Joon. 6-32. Multivibraatori pingete kujud:

1 — C_{g_2} laadimise ajakonstant, *2* — C_{g_1} laadimise ajakonstant, *3* — C_{g_1} tühjenemise ajakonstant, *4* — C_{g_1} laadimise ajakonstant, *5* — C_{g_2} laadimise ajakonstant, *6* — C_{g_2} tühjenemise ajakonstant.

Multivibraatori üksikosad on valitud sellised, et juhul, kui lamp EL_1 on suletud (punkt *A* joonisel 6-32), siis tema kõrge anoodpotentsiaali tõttu lamp EL_2 juhib (punkt *I*). Lamp EL_1 on aga suletud seetõttu, et tema võre on negatiivne (punkt *a*). Kuid tema võrepinge tõuseb aeglaselt kuni punktini *b*. Niipea kui lambi EL_1 võrepinge saavutab väärtuse U_c, muutub lamp EL_1 juhtivaks. Tema anood ja samuti lambi EL_2 võre muutub negatiivsemaks, mille tagajärjel lamp EL_2 sulgub. Nüüd hakkab kondensaator *C* tühjenema (kõver *lmp*). Tühjendamine lõpeb, kui lambi EL_2 võre potentsiaal saavutab väärtuse U_c (punkt *p*). Nüüd jällegi lamp EL_1 sulgub ja EL_2 avaneb. Lambi EL_2 negatiivse anoodpotentsiaali tõttu lamp EL_1 eelpingestub, kuni ta lõpuks sulgub ja tekib järgmine impulss, sest nüüd tühjeneb kondensaator C_g (kõver *fgh*). Selle lõppedes, mil lambi EL_1 võre potentsiaal saavutab väärtuse U_c, hakkab eespool kirjeldatud

pingete muutus korduma. Selline võnkeprotsess kestab niikaua, kui seadme toide on sisse lülitatud.

Impulsi kestuse arvutamine. Lambi EL_1 positiivse anoodimpulsi kestuse määrab võrekondensaatori C_g tühjenemise ajakonstant:

$$\tau_g = R_{g1}C_{g1}. \tag{6-29}$$

Olgu lambi EL_1 võre kõige madalam potentsiaal U_m ja lambi sulgumiseelpinge U_c. Siis võib lambi EL_1 positiivse anoodimpulsi kestuse arvutada valemiga

$$\tau_{a1} = R_{g1}C_{g1} \ln \frac{U_{m_1}}{U_{c_1}} \tag{6-30}$$

See avaldis kehtib siis, kui takisti R_{g1} on ühendatud lambi EL_1 katoodiga. Kui aga R_{g1} on ühendatud anoodi toiteallika positiivse poolusega, siis tuleb positiivse anoodimpulsi kestus arvutada valemiga

$$\tau_{a1} = R_{g1}C_{g1} \ln \frac{(U_a - U_{m_1})}{(U_a - U_{c_1})}, \tag{6-31}$$

kus U_a on anoodi toitepinge.

Teise lambi EL_2 positiivse anoodimpulsi kestus sõltub tema võrekondensaatori C_g tühjendumise ajakonstandist, mida väljendab valemiga (6-29) sarnanev seos:

$$\tau_{g2} = R_{g2}C_{g2}.$$

Seega on lambi EL_2 positiivse anoodimpulsi kestus

$$\tau_{a2} = R_{g2}C_{g2} \ln \frac{U_{m_2}}{U_{c_2}}. \tag{6-31a}$$

Liitnud võrrandid (6-30) ja (6-31a), saame valemi, millega on arvutatav multivibraatorist saadavate impulsside perioodikestus:

$$T = R_{g1}C_{g1} \ln \frac{U_{m_1}}{U_{c_1}} + R_{g2}C_{g2} \ln \frac{U_{m_2}}{U_{c_2}}. \tag{6-32}$$

Juhul kui $U_{m2} = U_{m1}$ ja $U_{c2} = U_{c1}$, siis valem (6-32) lihtsustub:

$$T = (R_{g1}C_{g1} + R_{g2}C_{g2}) \ln \frac{U_{m_1}}{U_{c_1}}. \tag{6-32a}$$

Kui $R_{g1} = R_{g2}$ ning $C_{g1} = C_{g2}$, siis leiame multivibraatori ristkülikuliste väljeimpulsside perioodikestuse T valemiga

$$T = 2R_{g1}C_{g1} \ln \frac{U_{m_1}}{U_{c_1}}. \tag{6-32b}$$

Multivibraatoris saadavate impulsside sagedus

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2R_{g_1} C_{g_1} \ln \frac{U_{m_1}}{U_{c_1}}}. \qquad (6\text{-}33)$$

Kummagist lambist saadavate impulsside kestuste suhe

$$\frac{\tau_{a_1}}{\tau_{a_2}} = \frac{R_{g_1} C_{g_1} \ln \frac{U_{m_1}}{U_{c_1}}}{R_{g_2} C_{g_2} \ln \frac{U_{m_2}}{U_{c_2}}}. \qquad (6\text{-}34)$$

Kui $U_{m1} = U_{m2}$ ja $U_{c1} = U_{c2}$, siis

$$\frac{\tau_{a_1}}{\tau_{a_2}} = \frac{R_{g_1} C_{g_1}}{R_{g_2} C_{g_2}}. \qquad (6\text{-}34a)$$

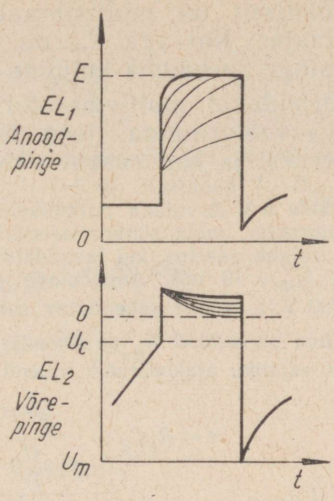
Kiirus, millega lambi EL_1 anoodi potentsiaal tõuseb, kui ta võre on suletud (kõver EFH joon. 6-32), sõltub peamiselt kondensaatori C_{g2} laadimise ajakonstandist. Kondensaator C_{g2} laadub lambi EL_2 võrevoolust. Seega sõltub lambi EL_1 anoodi potentsiaali tõus ajakonstandist

$$\tau_{ga} = C_{g2}\left(R_{a1} + \frac{R_{g_1} R_{a_1}}{R_{g_1} + R_{a_1}}\right). \qquad (6\text{-}35)$$

Küllaldase täpsusega võib aga ajakonstandi arvutamiseks kasutada selle asemel võrrandit

$$\tau_{ga} = R_{a1} C_{g2}. \qquad (6\text{-}35a)$$

Lambi EL_1 positiivse anoodimpulsi kestus sõltub kondensaatori C_g tühjenemise ajakonstandist τ_g, mida väljendab valem (6-29). Kui tühjendamise ajakonstant τ_2 on suur, võrreldes laadimise ajakonstandiga τ_1, siis kulub kondensaatori C_{g1} laadimiseks murdosa impulsi kestusest ja impulss kujuneb ligikaudu ristkülikuline, nagu on näidatud joonisel 6-32. Kui laadimine ja tühjenemise ajakonstandid on omavahel võrdsed, siis on impulsi tõusukestus peaaegu võrdne tema enese kestusega ja saadud impulsid on vaid ligikaudu ristkülikulised. Kui aga tühjenemise ajakonstant on väike, võrreldes laadimise ajakonstandiga, siis laadub kondensaator C_{g1} anoodi potentsiaali tõusmise kestel vaid osaliselt ja tema tühjenemine kulgeb eksponentsiaalkõvera algosa kuju järgi. Kuna eksponentsiaalkõvera algosa on ligikaudu sirgjooneline, siis saadakse peaaegu kolmnurkne anoodimpulss. Anoodimpulsi kuju sõltub laadimise ajakonstandi ja tühjenemise ajakonstandi suhtest (joon. 6-33). Seega määrab anoodimpulsi kuju suhe τ_{ga}/τ_g, mille leiame seoseist (6-35) ja (6-29):



Joon. 6-33. Anoodimpulsi kuju sõltuvus kondensaatori C_g mahtuvusest.

$$\frac{\tau_{ga}}{\tau_g} = \frac{R_{a_1} C_{g_2}}{R_{g_1} C_{g_1}}. \tag{6-36}$$

Sümmeetrilise multivibraatori korral $C_{g1} = C_{g2}$ ja

$$\frac{\tau_{ga}}{\tau_g} = \frac{R_{a_1}}{R_{g_1}}. \tag{6-37}$$

Eelkirjeldatud viisil leiame ka lambi EL_2 anoodringis tekkiva pingeimpulsi kuju suhte põhjal:

$$\frac{\tau_{ga}}{\tau_{g_2}} = \frac{R_{a_2} C_{g_2}}{R_{g_2} C_{g_1}} \tag{6-38}$$

ja sümmeetrilise multivibraatori korral suhtest:

$$\frac{\tau_{ga_2}}{\tau_{g_2}} = \frac{R_{a_2}}{R_{g_2}}. \tag{6-39}$$

Nii võib kokku võttes öelda, et stabiilse multivibraatori kummagi lambi positiivse anoodimpulsi kuju määrab kahe ajakonstandi suhe, nimelt võrekondensaatori C_{g1} laadimise ajakonstandi ja tühjenemise ajakonstandi suhe. Kui see suhe on väike, võrreldes ühega, siis on impulsid ristkülikulised. Kui ta aga on ühest palju suurem, siis on impulsid peaaegu kolmnurksed. Et saada täiesti ristkülikulisi impulsse, ei tohiks nimetatud suhe ületada väärtust 0,1, kolmnurksete impulsside saamiseks aga ei tohiks ta olla väiksem kui 10.

Põhiliselt on multivibraator ristkülikulisi impulsse tekitav generaator. Kui aga R_{a1} on tunduvalt suurem kui R_{g1}, siis on väljepinge saehamba kujuline.

Kirjeldatud multivibraatori anoodringi võib käsitada integreeriva vooluringina (joon. 6-13), milles takistiks R on anoodtakisti R_{a1} ja kondensaatoriks C võrekondensaator C_{g1}.

Näide 6-3. Arvutada ristkülikulisi impulsse sagedusega $f = 50$ Hz tekitav multivibraator, mida sünkroniseeritakse sagedusega 50 Hz. Leida tema üksikosade vajalik väärtus, kui lampide EL_1 ja EL_2 maksimaalne anoodvool impulsi korral $I_{am} = 10$ mA. Anoodpinge $U_a = 250$ V, minimaalne võrepinge $U_m = -100$ V ja võrele rakendatav sulgpinge $U_c = -5$ V.

Kuna võretakisti R_g on ühendatud anoodi toiteallika miinuspoolusega, siis leiame vajaliku ajakonstandi valemi (6-32b) põhjal:

$$\tau = R_g C_g = \frac{T}{2 \ln \frac{U_m}{U_c}} = \frac{1}{2 \cdot 50 \cdot \ln 20} = 0{,}0033 \text{ sec},$$

kus $T = 1/f = 1/50$ sec.

Multivibraatori sünkroniseerimiseks sagedusega 50 Hz peab ajakonstant τ olema suurem. Seepärast valime $\tau = R_g C_g = 0{,}005$ sec, mida on võimalik saavutada R_g ja C_g mitmesuguste arvväärtuste korral. Et aga laadimise ajakonstant $R_a C_g$ määrab impulsi rinde tõusukestuse, peab C_g järsu impulsirinde saavutamiseks olema võimalikult väike. Tavaliselt on suurimaks võretakistuseks $R_g = 1$ MΩ. Selle põhjal saame võrekondensaatori mahtuvuseks

$$C_g = \frac{0{,}005}{R_g} = \frac{0{,}005}{10^6} = 0{,}005 \text{ μF}.$$

Kuna $U_m = -100$ V, siis peab anoodimpulsi amplituudiks kujunema 100 V. Anoodvoolu amplituudi $i_{am} = 10$ mA korral on anoodtakistuseks $R_a = U_m / i_{am} = 100/10 = 10$ kΩ. Impulsi rinde tõusukestus

$$\tau_1 \approx 2{,}2 R_a C_g = 2{,}2 \cdot 10^4 \cdot 0{,}005 \cdot 10^{-6} \text{ sec} = 110 \text{ μsec}.$$

Impulsi rinde suurema tõusukiiruse saavutamiseks tuleks kasutada tugevama anoodvooluga lampi. Sel juhul võib vähendada anoodtakistust ja saavutada ikkagi sama suure anoodpinge kõikumise. Kõige paremaid tulemusi saadakse, kui 100-voldine väljepinge suunata läbi piiramisvõimendaja, mille läbilaskepiiriks on 5 V. Sellise võimendaja väljes saadakse impulsse, mille tõusukestuseks on 5 μsec.

Näide 6-4. Arvutada multivibraator, mis tekitab ristkülikulisi pingeimpulsse kestusega 10 μsec sagedusel 10 kHz. Impulsi tõusukestus ei tohi ületada 0,2 μsec. Multivibraatorit sünkroniseeritakse sagedusega $f = 10$ kHz. Leida R_{a1}, R_{g1}, R_{g2}, C_{g1} ja C_{g2} arvväärtused.

Kuna multivibraatori võnkeperiood $T = 1/f = 100$ μsec, siis on impulsside kestuste suhe 9 : 1 ja vastavalt avaldisele (6-34a)

$$R_{g1} C_{g1} = 9 R_{g2} C_{g2}$$

ning vastavalt valemile (6-32a):

$$R_{g1}C_{g1} + R_{g2}C_{g2} = \frac{T}{\ln \frac{U_m}{U_c}}.$$

Oletame, et võretakisti R_{g1} on ühendatud anoodpinge allika miinuspoolusega ja $U_{m1} = U_{m2} = -100$ V ning $U_{c1} = U_{c2} = -5$ V. Asetanud T, U_m ja U_c väärtused võrrandisse (6-32) saame:

$$R_{g1}C_{g1} + R_{g2}C_{g2} = \frac{100}{\ln 20} = \approx 33 \text{ µsec}.$$

Kuna

$$R_{g1}C_{g1} + R_{g2}C_{g2} = 10\ R_gC_g,$$

siis

$$R_gC_g = 3{,}3 \text{ µsec}$$

ja

$$R_{g2}C_{g2} = 9 \cdot 3{,}3 = 29{,}7 \text{ µsec}.$$

Sünkroniseerimiseks peab multivibraatori ajakonstant R_gC_g olema veidi suurem, kui oleks vaja sageduse korral 10 kHz. Seepärast valime tema väärtuseks 35 µsec ja ajakonstandi R_gC_g väärtuseks 5 µsec. Impulsi tõusukestuse 10 µsec määrab ajakonstant R_aC_g. Seepärast peab C_g olema väike, R_g aga suur. Tavaliselt valitakse $R_g = 1$ MΩ, mispuhul C_g väärtuseks on 35 pF.

Kuna impulsi tõusukestus on ligikaudu $2{,}2R_{a2}C_g$, siis on impulsi 0,2-mikrosekundise tõusukestuse saavutamiseks vajalik anoodtakistus:

$$R_{a2} = \frac{0{,}2 \cdot 10^{-6}}{2{,}2C_g} = \frac{0{,}2 \cdot 10^{-6}}{2{,}2 \cdot 35 \cdot 10^{-12}} = 2{,}5 \text{ kΩ}.$$

Sellise anoodtakistuse puhul on 100-V pingeimpulsi tekitamiseks anoodringis vaja, et lambi anoodvoolu amplituud oleks 40 mA. Kui kasutada nõrgema anoodvooluga lampi, saadakse anoodringis väiksem pingemuutus. Kui näiteks $U_m = 5\,U_c = 25$ V, tuleks ajakonstandid $R_{g1}C_{g1}$ ja $R_{g2}C_{g2}$ kahekordistada, et saada samasugust sagedust. Kuna $R_a = 1{,}25$ kΩ ja $U_m = 25$ V, siis on maksimaalne anoodvool lambis 20 mA, s. t. endisest kaks korda nõrgem. Tegelikult võib impulsi rinde tõusukestust lühendada, kui multivibraatorile järgneb piiramisvõimendaja.

Sünkroniseerimine ja ergutus. Multivibraatori sageduse stabiliseerimiseks suunatakse multivibraatorisse sünkroniseerimissignaal. Et iga lisamahtuvus või -takistus muudab multivibraatori talitlustingimusi, siis valmistab sünkroniseerimisgeneraatori ühendamine multivibraatoriga teatavaid raskusi.

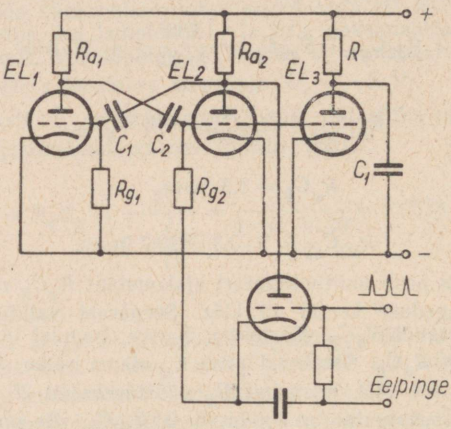
Joonisel 6-34 on näidatud tühjendusvooluringiga lambi ühendamine multivibraatoriga.

Kondensaator C_1 laadub ajal, mil lamp EL_3 on suletud. Sellest võib järeldada, et multivibraatorist saadavate impulsside tõusukestus τ_1 ja langukestus τ_2 on vastavalt võrdsed kondensaatori laadumis- ja tühjendumiskestusega. Lampide EL_3 ja EL_2 võred on

ühendatud rööbiti. Seepärast tuleb võretakistus R_{g2} valida arvutusel saadud takistusest kaks korda väiksem.

Sünkroniseerimissignaali suunamiseks multivibraatorisse kasutatakse sageli ka kas ühte või kahte dioodi või siis trioodi EL_3 asemel pentoodi.

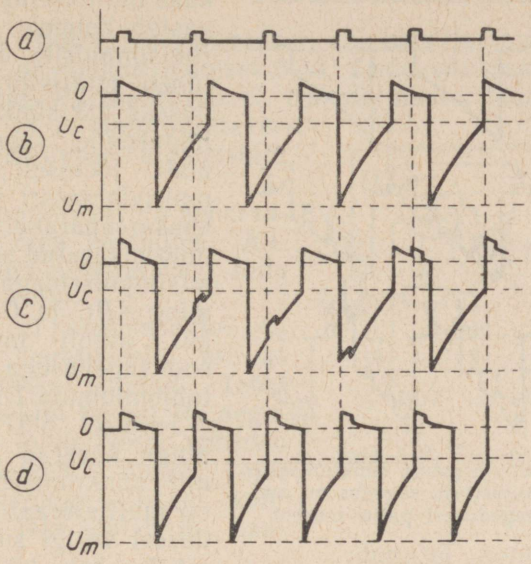
Sageli esineb, et sünkroniseeriv sagedus ei ühti sünkroniseeritava multivibraatori sagedusega.



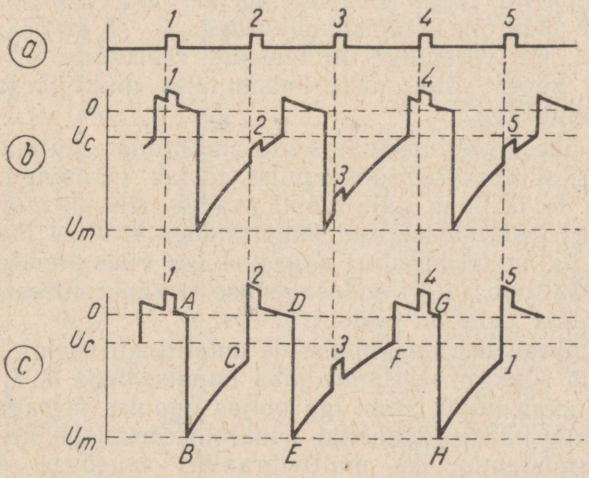
Joon. 6-34. Multivibraatori sünkroniseerimine.

Joonisel 6-35, *a* on kujutatud ristkülikulised sünkroniseerivad impulsid ja joonisel 6-35, *b* sünkroniseerimata multivibraatori võrepinge kulg. Multivibraatori sagedus on veidi väiksem kui sünkroniseerivate impulsside sagedus. Sama joonis *c* kujutab impulsside *a* ja *b* liitumisel tekkivat pinget, s. t. võrepinget juhul, mil sünkroniseerimissignaal on sisenenud. Näeme, et sünkroniseerimisimpulsid on liiga väikesed selleks, et multivibraatori sagedusele mõju avaldada. Nende amplituudi tuleb suurendada niivõrd, et nad tõstaksid võrepinge kriitilisele väärtusele U_c. Siis juba multivibraator sünkroniseerub ja tema võredele satuvad joonisel *d* kujutatud pingeimpulsid.

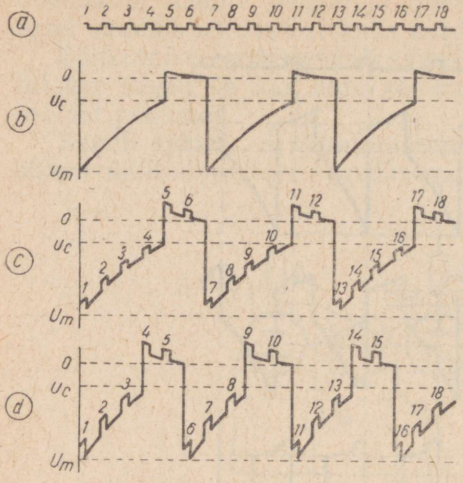
Nüüd käsitleme olukorda, mil sünkroniseeriv sagedus on multivibraatori endasagedusest suurem. Vastav pingete ajaline kulg on toodud joonisel 6-36, kus *a* kujutab ristkülikulisi sünkroniseerimisimpulsse ja *b* multivibraatori võrepinget, millega on liitunud sünkroniseerimisimpulsid. Näeme, et sünkroniseerimisimpulsside amplituud on jällegi liiga väike selleks, et multivibraatori sagedust muuta. Kui aga nende amplituudi suurendada niivõrd, et impulsside *2* ja *5* mõjul tõuseb võrepinge väärtusele U_c, siis toimub sünkroniseerimine. Jooniselt 6-36, *c* ilmneb, et see toimub



Joon. 6-35. Multivibraatori sünkroniseerimine, kui sünkroniseerimispinge sagedus on lähedane multivibraatori sagedusele.



Joon. 6-36. Multivibraatori sünkroniseerimine, kui multivibraatori sagedus on väiksem sünkroniseeritavast sagedusest.



Joon. 6-37. Multivibraatori sünkroniseerimine, kui sünkroniseeriv sagedus on multivibraatori sagedusest palju suurem.

impulssidega *2* ja *5* ning kaks multivibraatori impulssi vastab kolmele sünkroniseerimisimpulsile. Järelikult kujuneb multivibraatori sageduseks 2/3 sünkroniseerivate impulsside sagedusest. Samalt jooniselt näeme, et multivibraatori võrepinge on ebakorrapärane. Nimelt toimub määratud sünkroniseerimisimpulssidega tühjendumine *ABC* ja *GHJ* kiiremini kui ainult multivibraatori endasagedusega määratud tühjendumine *DEF*.

Joonisel 6-37 on toodud pinge kõverad juhu kohta, mil sünkroniseeriv sagedus on multivibraatori endasagedusest veelgi suurem. Joonisel kujutab kõver *a* multivibraatori võrele suunatavate sünkroniseerimisimpulsside jada. Multivibraatori enda pinget kujutab kõver *b*. Tema endasagedus on 1/6 sünkroniseerimisimpulsside sagedusest. Kõver *c* kujutab võrepinget juhul, kui multivibraatorisse on sisendatud sünkroniseerimisimpulsid. Nagu jooniselt näeme, ühtib võrepinge impulsside rinne sünkroniseerimisimpulssidega *5*, *11* ja *17*, mis saabuvad hetkel, mil võrepinge on tõusnud väärtusele U_c. Järelikult ühtib iga kuues sünkroniseerimisimpulss multivibraatori endavõngete impulsiga.

Kui sünkroniseerimisimpulsside amplituudi suurendada nii, et iga neljas sünkroniseerimisimpulss tõstab võrepinge väärtusele U_c (kõver *d*) ja lamp selle mõjul avaneb, siis on multivibraatori endavõnked sünkroniseeritud impulssidega *4*, *9*, *14* jne. Järelikult mõjutab siis multivibraatori sagedust iga viies sünkroniseerimisimpulss. Multivibraatori endasageduse ja sünkroniseerimisimpulsside sageduse suhe on nüüd 1/5.

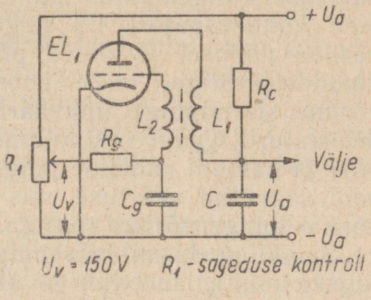
Kui sünkroniseerimisimpulsside amplituudi veelgi suurendada, siis toimub sünkroniseerimine juba impulssidega *3*, *7*, *11*, *15* jne. Järelikult avab nüüd lambi iga neljas impulss ja sageduste suhe on 1/4. Nagu näeme, põhjustab sünkroniseerimisimpulsside amplituudi suurendamine ka multivibraatori sageduse suurenemist. Sellist sünkroniseerimise moodust nimetatakse sageduse jaotamiseks. Sageduse jaotamisel tuleb sünkroniseerimisimpulsside amplituud säilitada jäävana. Sagedust võib jaotada kuni suhteni 1/10.

6-6. Blokeeriv generaator

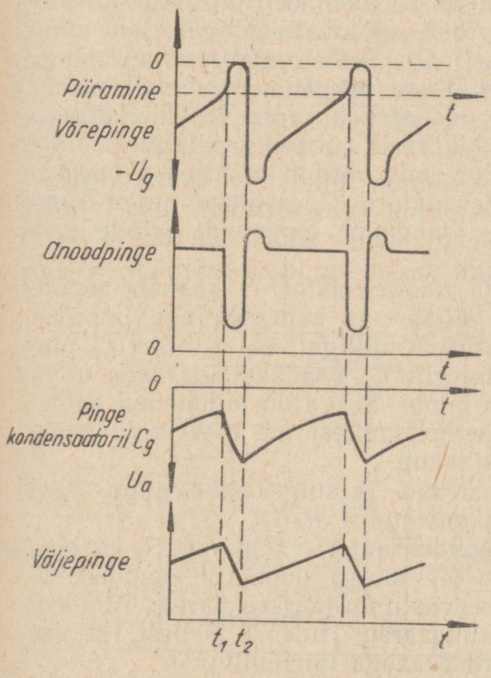
Põhimõte. Blokeeriva generaatori ehk ostsillaatori lihtsustatud lülitusskeem on toodud joonisel 6-38. Tema võnkesageduse määravad takistus R_c, mahtuvus C, transformaatori mähiste induktiivsused L_1 ja L_2 ning võretakistuse ja -mahtuvuse ajakonstant R_gC_g.

Üldiselt on blokeeriva generaatori talitlus õige keeruline. Alljärgnevas aga selgitatakse seda lihtsustatud kujul.

Oletame, et kondensaator C_g on laetud negatiivselt, nii et lamp EL_1 oleks suletud. Tema tühjenemisel läbi takisti R_g negatiivne pinge lambi võrel väheneb eksponentsiaalselt. Samal ajal laadub anoodpinge allikast kondensaator C läbi takisti R_c. Laadumisel kondensaatori C pinge tõuseb eksponentsiaalselt ja ühtlasi ka lambi anoodpinge. Jooniselt 6-38 selgub, et kondensaatori C pinge on ühtlasi blokeeriva generaatori väljepingeks.



Joon. 6-38. Blokeeriv generaator.



Joon. 6-39. Plokeeriva generaatori pingete kujud.

Positiivseks muutuva võre ja anoodpinge tõusmise tõttu tekib lambis EL_1 anoodvool. Selle tekkimist võib käsitada kondensaatori C tühjenemisena läbi lambi. Tühjenemise tõttu kondensaatori C pinge alaneb ja seega ka hammaspinge alaneb. Joonisel 6-39 toodud kõveratel esineb nimetatud pinge alanemine ajavahemikul $t_1 \ldots t_2$.

Transformaatori mähised L_1 ja L_2 on ühendatud selliselt, et mähist L_1 läbiv anoodvool indutseerib võremähises L_2 pinge, mis

muudab võre veelgi positiivsemaks. Selle tõttu anoodvool veelgi tugevneb. Anoodvoolu tugevnemine aga tekitab positiivse tagasisidestuse ehk koossidestuse, mille tõttu anoodvool järsku tugevneb ja kondensaator C tühjendub kiiresti. Samal ajal ka pinge mähises L_2 tõuseb väga kiiresti, saavutades peaaegu anoodpinge väärtuse. Pingemuutus mähises L_2 põhjustab aga võrevoolu. See laeb kondensaatori C_g negatiivselt pingele, mis on peaaegu võrdne mähisel L_2 oleva pingega. Seda nähtust võib võrrelda diooddetektoriga, mille koormusel tekkiv pinge on ligikaudu võrdne sisendpinge tippväärtusega. Kuna negatiivne pinge kondensaatoril C_g on vastupidine positiivse pingega mähisel L_2, siis võre ja katoodi vaheline pinge üle nullväärtuse ei tõuse ja anoodvool saavutab väärtuse, mis on võrdne anoodvooluga juhul, mil võre eelpinge võrdub nulliga.

Samal ajal, mil võrepinge tõuseb (põhjustades anoodvoolu tugevnemist), anoodpinge alaneb (kuna kondensaator C tühjeneb), põhjustades omakorda anoodvoolu nõrgenemist. Alaneva anoodpinge mõjul anoodvoolu tugevnemine aeglustub ja pärast teatud aja möödumist jääb anoodvool silmapilkselt ajavahemiku $t_1 \ldots t_2$ jooksul püsivaks, saavutades seejuures ühtlasi oma maksimaalse väärtuse. Sel ajavahemikul anoodvool ei muutu ja seetõttu ka anoodvoolu poolt mähises L_2 indutseeritud pinge võrdub nulliga. Ainsaks lambi EL_1 võrele mõjuvaks pingeks on nüüd negatiivne pinge kondensaatoril C_g. Selle negatiivse võrepinge mõjul alaneb anoodvool veelgi. Kuna nõrgenev vool mähises L_1 indutseerib mähises L_2 pinge, mis muudab võre veel negatiivsemaks, siis nõrgeneb anoodvool kiiresti võrdseks nulliga ja võre omandab kõrge negatiivse pinge, mis võrdub mähises L_2 tekitatud negatiivse pinge ja kondensaatoril C_g esineva pinge summaga. Nüüd on hammaspinge alanemine lõppenud. Sellele vastavat hetke tähistab joonisel 6-39 t_2.

Nüüd anoodvool puudub ja kondensaator C hakkab anoodpinge mõjul laaduma. Seega algab uus hammaspinge impulss. Kuna ka anoodvoolu muutus võrdub nulliga, siis mähises L_2 pinget ei indutseeru ja kondensaatorilt C_g saadav negatiivne võrepinge on nii kõrge, et ta suleb lambi. Seega on kujunenud samasugune olukord nagu esines hetkel, millest me blokeeriva generaatori talitluse jälgimist alustasime.

Blokeeriva generaatori lambi ava- ja sulgekestus, nagu algul mainitud, sõltub võreringi ajakonstandist R_gC_g.

Jooniselt 6-39 nähtub, et kondensaatori C_g pinge U_g ei oma küllaldast saehamba kuju ega ole täiesti lineaarne, kondensaatorilt C saadav väljepinge U_a seevastu on märksa parem. Kondensaatori C_g laadimisvoolu ebalineaarsus tuleneb sellest, et see kondensaator tühjendub igakord peaaegu täielikult.

Blokeerivat generaatorit võib käsitada aperioodilise generaatorina. Nagu jooniselt 6-39 selgub, esineb tema võrepinge kõvera

eksponentsiaalse osa algul mõni pingevõnge, mille määrab ajakonstant R_gC_g.

Blokeeriva generaatori ehitamisel tuleb silmas pidada järgmisi nõudeid.

1. Sidestus mähiste L_1 ja L_2 vahel peab olema tugev, et saavutada suuremat positiivset tagasisidestust ja kiiremat positiivse pinge tõusu mähises L_2 anoodvoolu tekkimise algul.

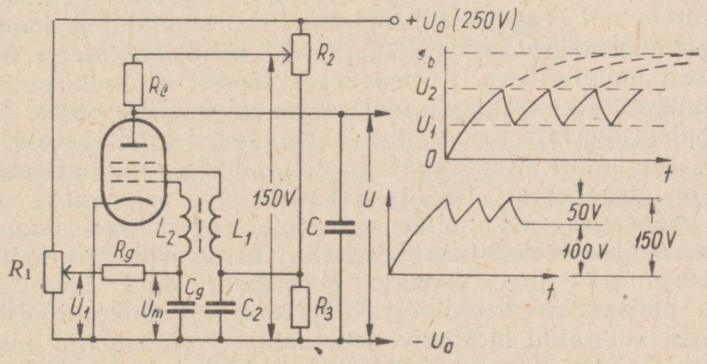
2. Mähise L_2 induktiivsusest ja tema sisemahtuvusest kujunenud võnkeringi sumbuvus peab olema suur, et lambist anoodvoolu läbimise kestel tekiks üksainus võnge.

3. Temas sisalduv lamp peab omama suurt tõusu ja emissioonivoolu, et positiivse tagasisidestuse tekkides läbiks kondensaatorit C küllalt tugev vool.

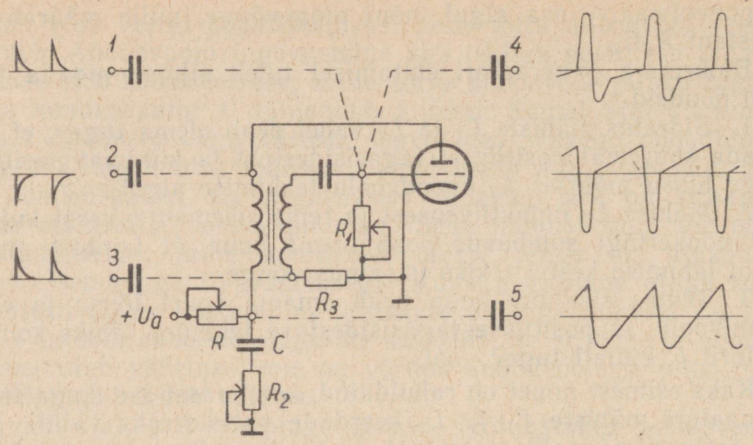
Kaks esimest nõuet on rahuldatud, kui terassüdamikuga transformaatori mähiste L_1 ja L_2 keerdude vahekorraks valida 1 : 1. Sel teel on võimalik saavutada mähiste sidestusteguri väärtuseks kuni 1. Mähise L_2 resonantsisagedus on siis tavaliselt 50 ... 200 kHz, mis on sobiv realaotusgeneraatorile. Südamiku teraskadu tekitab küllaldase sumbuvuse.

Sageduse ja väljepinge reguleerimine. Anoodvoolu impulsside sagedust võib muuta, kui muuta võretakistust R_g või -mahtuvust C_g. Tavaliselt säilitatakse mahtuvus C_g jäävana ja muudetakse võreringi takistust. Joonisel 6-38 toodud skeemilt nähtub, et võreringi on ühendatud potentsiomeeter R_1. Sellega toimubki sageduse muutmine. Potentsiomeetrit läbib ainult alalisvool ja seetõttu võib ta paigutada väljapoole generaatorit, sest ühendusjuhtme pikkus generaatori talitlusele olulist mõju ei avalda.

Generaatori väljepinge amplituudi saab muuta takistuse R_c muutmisega. Joonisel 6-40 kujutatud lülituse korral on anoodpinge allika klemmide vahele ühendatud potentsiomeetrit R_2 ja takistist R_3 koosnev pingejagaja. Muutes potentsiomeetriga lambi



Joon. 6-40. Plokeeriva generaatori sageduse reguleerimine.



Joon. 6-41. Plokeeriva generaatori sünkroniseerimine

anoodpinget, muutub generaatori väljepinge amplituud. Ka selle potentsiomeetri võib paigutada väljapoole generaatorit, ilma et see generaatori talitlust mõjutaks. Nii on võimalik seadme esiplaadil asuvate nuppudega reguleerida generaatori sagedust ja väljepinge amplituudi.

Joonisel 6-40 kujutatud generaatoris on kasutatud lambina pentoodi. Tühjendusvooluringiks on siin varivõre, mis saab toitepinget läbi mähise L_1. Potentsiomeetriga R_2 reguleeritakse väljepinge amplituudi ja ta moodustab takistiga R_3 pingejagaja varivõre toitmiseks. Kondensaator C_2 on anood- ja varivõreringi omavaheliseks lahtisidestamiseks, et vooluimpulsid ühes ringis ei mõjutaks teist vooluringi.

Blokeeriva generaatori sünkroniseerimiseks kasutatakse kas positiivseid sünkroniseerimisimpulsse, mis suunatakse generaatorlambi võrele, või negatiivseid impulsse, mis suunatakse anoodile. Viimased pööratakse trafos 180° ja nad kanduvad seega võrele positiivsete impulssidena. Et saavutada täpselt sünkroniseerimist, peab sünkroniseerimisimpulssidel olema väga järsk rinne. Sellised impulsid avavad generaatori lambi täpselt kindlaksmääratud hetkel. Generaatori enda sagedus võib erineda sünkroniseerimisimpulsside sagedusest. Tavaliselt annab sünkroniseeritud generaator endasagedusest natuke kõrgema sagedusega impulsse. Sünkroniseeritud blokeeriva generaatori hammaspinge amplituud on väiksem kui vabalt võnkuva generaatori oma. Joonis 6-41 selgitab blokeeriva generaatori tüüpilisemaid sünkroniseerimisviise. Seal kujutatud blokeeriv generaator ei erine palju eespool kirjeldatuist. Samuti nagu eelmistes, sisaldub ka siin tühjendusvooluringis kondensaator C, mis lambi sulgumisel laadub ja ava-

nemisel tühjeneb. Potentsiomeetriga R_2 reguleeritakse sagedust ja potentsiomeetriga R_1 väljepinge võngete amplituude. Võimalikud punktid sünkroniseerimisimpulsside sisendamiseks generaatorisse on tähistatud numbritega *1*, *2* ja *3*. Hammaspinge võetakse generaatorist välja kas punktist *4* või *5*. Ühtlasi on joonisel kujutatud ka sünkroniseerimis- ja väljeimpulsside kuju.

Blokeeriva generaatori sünkroniseerimiskäik üldiselt ei erine multivibraatorite omast.

Näide 6-5. Arvutada blokeeriv generaator vastavalt joonisel 6-38 toodud skeemile, nii et ta tekitaks hammaspinget sagedusega 15 625 Hz. Elektronkiire tagasiliikumise kestus ei tohi ületada reakustutusimpulsi kestust, mis vastavalt kehtivale standardile on 8...9 μsec.

Kuna sünkroniseerimisimpulsside sagedus on 15 625 Hz, siis peab generaatori endasagedus olema veidi väiksem (nagu oli selgitatud multivibraatori sünkroniseerimise käsitlemisel). Blokeeriva generaatori endasageduse muutmiseks kasutatakse potentsiomeetrit R_1. Väljepinge amplituudi muudetakse potentsiomeetriga R_2 (joon. 6-40). Takistus R_1 valitakse selline, et sagedusel 15 625 Hz paikneks tema liugkontakt takisti keskosas.

Lambi anoodpingeks valime 250 V. Eeldame, et kõrgeim positiivne pinge, mis tekib poolil L_2 on 50 V. Generaatori lambi anoodvoolu keskmiseks tugevuseks olgu 10 mA. Eelnimetatud väärtustest lähtudes arvutada suuruste R_g, $C_g R_c$ ja C väärtused, nii et saadaks hammaspinget amplituudiga 50 V.

Reasageduse periood $T + 1/f = {}^1/_{15\,625} = 64$ μsec. Realaotuse päriliikumise kestus $\tau_{a1} = 56$ μsec ta tagasiliikumise kestus $\tau_{a2} = 8$ μsec.

Võreringi ajakonstandi $R_g C_g$ arvutamiseks kasutame võrrandit (6-31) järgmises kujus:

$$R_g C_g = \frac{\tau_{a1}}{\ln [(U_1 - U_m) : (U_1 - U_c)]}.$$

Siin $U_m = -50$ V on maksimaalne võrepinge (võrekondensaatori C_g võrepoolsel plaadil tekkiv kõrgeim negatiivne pinge); U_c on võre-eelpinge, mille mõjul lamp avaneb (tekib anoodvool); U_1 on pinge, mis esineb potentsiomeetri R_1 liugkontakti ja maa vahel ($U_1 = 125$ V).

Valime lambi, mille anoodvool katkeb, kui $U_c = -5$ V. Siis

$$R_g C_g = \frac{56}{\ln [(125 - 50) : (125 - 5)]} = \frac{56}{\ln 1{,}346} = 190 \text{ μsec}.$$

Sellise ajakonstandi võib saavutada lõpmata paljude R_g ja C_g väärtuste korral. Kuid mahtuvus C_g ei tohi ületada teatud maksimaalset väärtust. Elektronkiire päriliikumise lõpul laadub kondensaator C_g pingele $U = U_m U_g = 50 - 5 = 45$ V. Sellest pingest peab ta aga tühjendumise teel vabanema elektronkiire tagasiliikumise jooksul, s. t. 8 mikrosekundiga. Kuna võrevoolu keskväärtus võib olla umbes ${}^1/_8$ anoodvoolust, s. o. 1,25 mA, ja tagasiliikumise kestuseks on ${}^1/_8$ reakestusest, siis on lubatav maksimaalne võrevool $I_m = 8 \cdot 1{,}25 = 10$ mA. Et võrekondensaatori laeng $Q = I_m \tau_{a2} = C_g U$, siis tema mahtuvus

$$C_g = \frac{I_m \tau_{a2}}{U} = \frac{10 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^{-6}}{45} = 1{,}77 \cdot 10^{-3} \text{ μF}.$$

Tegelikult valitakse see arvutatust natuke väiksem. Niisugusel juhul on võrekondensaator laetav kõrgemale pingele kui 45 V, mille tagajärjel päriliikumise kestus suureneks. Kuid kondensaatori pinget on võimalik potentsiomeetriga R_1 reguleerida.

Valime C_g väärtuseks 0,0015 µF. Et ajakonstant $R_g C_g = 190$ µsec, siis

$$R_g = \frac{190}{C_g} = \frac{190 \cdot 10^{-6}}{0{,}0015 \cdot 10^{-6}} = 127 \text{ kΩ}.$$

Tühjenemisvooluringi anoodtakisti R_c ja kondensaatori C andmete arvutamiseks kasutame võreringi $C_g R_g$ arvutamiseks antud valemit (6-31). Selleks on vaja teada anoodpinge kõikumise piirväärtusi U_1 ja U_2, sest

$$R_c C = \frac{\tau_{a1}}{\ln [(U_v - U_1) : (U_v - U_2)]},$$

kus U_v on pinge potentsiomeetri R_2 liugkontakti ja maa vahel,

U_2 — laetud kondensaatori pinge maksimaalväärtus.

Kui $U_1 = 50$ V, $U_2 = 100$ V ja $U_v = 150$ V, siis

$$R_c C = \frac{56}{\ln [150 - 50) : (150 - 100)]} = \frac{56}{\ln 2} = 70{,}7 \text{ µsec}.$$

Kondensaatori C mahtuvus peab olema selline, et tema pinge muutuks 50 V võrra, kui vool on 8 µsec vältel 10 mA. Siit leiame tema suurima väärtuse:

$$C = \frac{It}{U} = \frac{10 \cdot 10^{-3} \cdot 8 \cdot 10^{-6}}{50} = 1{,}6 \text{ nF}.$$

Valime kondensaatori mahtuvusega $C = 1{,}5 \cdot 10^{-3}$ µF. Siis

$$R_c = \frac{R_{c0} C}{C} = \frac{70{,}7 \cdot 10^{-6}}{1{,}5 \cdot 10^{-9}} = 47{,}2 \text{ kΩ}.$$

Teades võreringi ajakonstante ($\tau_{g1} = 190$ µsec) ja asetades R_1 liikuva kontakti sobivasse asendisse, leiame generaatori endasageduse valemiga

$$f \approx \frac{1}{\tau_{g1} \ln [(U_v - U_m) : (U_v - U_c)]}.$$

Pinged $U_m = -50$ V ja $U_c = -5$ V, U_v aga on potentsiomeetri R_1 pinge. Generaatori endasagedus sõltub potentsiomeetri R_1 liugkontakti asendist. Kui see on ülemises piirasendis, siis võrdub potentsiomeetri pinge anoodpingega, s. t. $U_v = 250$ V. Vastav sagedus

$$f_1 = \frac{1}{190 \cdot 10^{-6} \ln [(250 + 50) : (250 + 5)]} = \frac{1}{190 \cdot 10^{-6} \ln \frac{300}{255}} =$$

$$= 32\,362 \text{ Hz} \approx 32 \text{ kHz}.$$

Kui potentsiomeetri R_1 liugkontakt on alumises piirasendis, siis $U_v = 0$ ja generaatori sagedus

$$f_2 = \frac{1}{190 \cdot 10^{-6} \ln \frac{55}{5}} = 2{,}28 \text{ kHz}.$$

Seega on generaatori endasagedust võimalik potentsiomeetri R_1 abil muuta ligikaudu vahekorras 15 : 1. Tegelikult aga sageduse nii suurtes piirides regu-

leerimiseks vajadust pole, mistõttu potentsiomeetriga R_1 ühendatakse järjestikku sobiv takisti R_3 (joon. 6-40).

C ja R_c väärtuste arvutamisel eeldasime, et anoodpinge muutub 50 voldist 100 voldini (väljepinge on sel juhul 50 V). Seadnud potentsiomeetri R_2 nii, et pinge tema liugkontakti ja maa vahel on 250 V, muutuvad ka pinged U_2 ja U_1. See asjaolu teeb väljepinge arvutamise keerukaks. Arvutamise lihtsustamiseks eeldame, et pinge U_1 säilib jäävana (50 V) ja arvutame pinge U_2. Väljepinge arvutamiseks kasutame jällegi tuntud valemit

$$R_cC = \frac{\tau_{a1}}{\ln [(U - U_1) : (U - U_2)]},$$

kus väärtused peale U_2 on teada. Teisendamisel saame:

$$U_2 = U + (U_1 - U)e^{-\frac{\tau_{01}}{R_cC}}$$

Asetanud sellesse avaldisse väärtused $U = 250$ V, $U_1 = 50$ V ja

$$\frac{\tau_{01}}{R_cC} = \frac{56 \cdot 10^{-6}}{70{,}7 \cdot 10^{-6}} = 0{,}795,$$

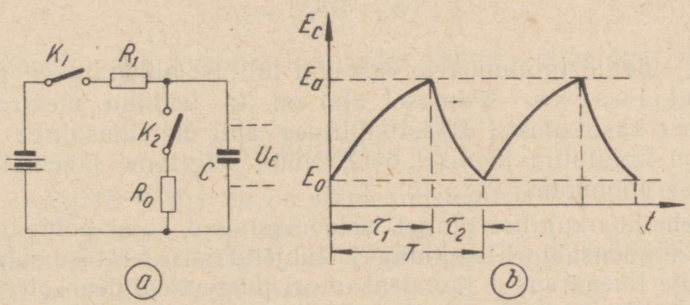
saame, et

$$U_2 = 250 - 200e^{-0{,}795} = 150 \text{ V}.$$

Pingete U_1 ja U_2 vahe on seega 150 V ning ka väljepinge on nüüd tõusnud sellele väärtusele. Seega on blokeeriva generaatori sageduse ja väljepinge arvutamine ligikaudne ning täpsed üksikosade väärtused tuleb määrata katseliselt, juhindudes arvutuse teel saadud esialgsetest andmetest.

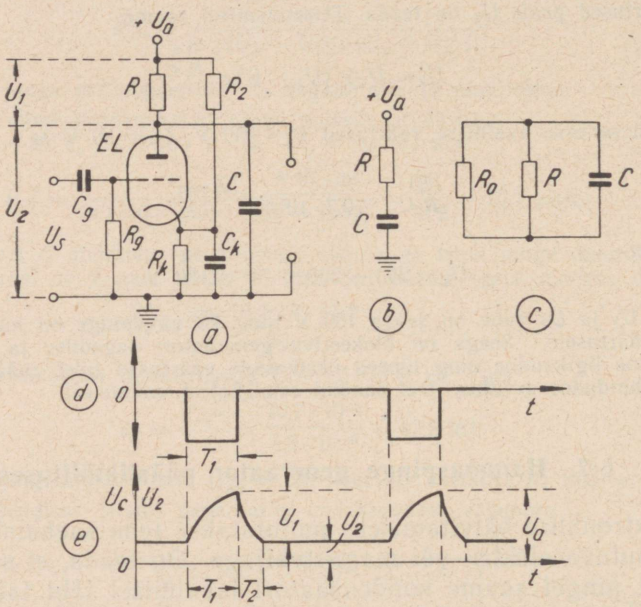
6-7. Hammaspinge generaator päästiklülituses

Elektronkiire hälvitamiseks mõjutatakse teda saehamba-kujuliselt muutuva elektri- või magnetväljaga. On teada, et saehamba-kujulist pinget saame kondensaatori laadimisel läbi takisti. Selline kondensaatorist C ja takistist R koosnev lüli (vt. joon. 6-7) kujutab endast lihtsaimat hammaspinge generaatorit.



Joon. 6-42. Hammaspinge generaatori põhimõtteskeem (*a*) ja väljepinge (*b*).

Võreringi toime päästiklülituses. Joonisel 6-42 on kujutatud lihtsaima hammaspinge generaatori lülitusskeem. Selline generaator kujundab saehamba-kujulisi pingeimpulsse ristkülikulistest impulssidest. Hammaspingegeneraator, milles lüliti K_2 ja takisti R_0 on asendatud elektronlambiga EL, on kujutatud joonisel 6-43. Siin kasutatav elektronlamp EL peab: 1) omama väikest alalisvoolutakistust R_0 avatud olekus, 2) olema tüüritav sünkroniseerimisimpulssidega, 3) olema inertsivaba, s. t. pärast sisendpinge kadumist peab ta pöörduma algseisundisse tagasi.



Joon. 6-43. Hammaspinge generaator (*a*), aseskeem kondensaatori laadimisel (*b*) ja tühjenemisel (*c*), sisendpinge (*d*) ja väljepinge (*e*).

Kirjeldatud tingimustele vastavat lülitust nimetatakse p ä ä s t i k l ü l i t u s e k s. Viimasel ajal on ta leidnud elektroonikas laialdast kasutamist. Päästiklülituse abil hammaspinge tekitamist on kujutatud joonisel 6-42. Nüüd selgitame lähemalt tema talitluse põhimõtet.

Saehamba-kujulist pinget iseloomustavad kolm põhiparameetrit: 1) kondensaatori laadimine ja tühjendamise kestuse suhe τ_2/τ_1; 2) pinge lineaarsus δ (kondensaatori pinge tõus peab olema võrdeline laadimiskestusega τ_1) ja 3) pinge amplituud.

Televisiooni üldpõhimõtete käsitlemisel selgus, et elektronkiir

tuleb pärast hälvitamist viia kiiresti oma algasendisse tagasi. Selleks peab kondensaatori tühjenemise kestus τ_2 olema võimalikult väike, võrreldes laadimise kestusega τ_1.

Selgitame lähemalt joonisel 5-43, *a* kujutatud lülitust.

Kui lambi *EL* võrele suunata ristkülikuline positiivne pingeimpulss, siis muutub lamp juhtivaks ja teda läbib anoodvool I_a, millest takistil R tekib pingelang $I_a R = U_1$. Kui elektronlambi takistus alalisvoolule on R_0, siis hakkab integreerivat lüli moodustav kondensaator C anoodvoolu I_a tekkimisel tühjenema läbi lambi sisetakistuse R_0. Seejuures jaguneb anoodallika pinge U_a lambi anoodringi välis- ja sisetakistuse vahel järgmiselt: $U_a = U_1 + U_2$.

Kui lambi *EL* võrele suunatakse negatiivne pingeimpulss kestusega T_1 (joon. 6-43, *d*), mis suleb lambi, siis hakkab kondensaator C laaduma. Kondensaatori pinge U_C ajalist muutust väljendab järgmine seos:

$$U_C = U_2 + U_1\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}\right), \qquad (6\text{-}40)$$

kus U_1 on kolmnurkse väljepinge amplituud,

U_2 — pinge kondensaatoril C juhul, kui puudub sisendpinge impulss,

$\tau_1 = RC$ — kondensaatori laadumise ajakonstant.

Joonisel 6-43, *b* on toodud lülituse aseskeem kondensaatori laadimisel ja joonisel 6-43, *c* — tühjenemisel. Kondensaatori tühjenemisel on lambi *EL* sisetakistus R_0 rööbiti anoodtakistusega R ja mahtuvusega C. Et saavutada kiiret kondensaatori tühjendumist, tuleb valida väikese sisetakistusega lamp.

Kondensaatori laadimisel ajakonstant $\tau_1 = RC$, kuid tühjendamisel vastavalt aseskeemile:

$$\tau_2 = C\frac{R_0 R}{R_0 + R} \qquad (6\text{-}41)$$

Sellise generaatori väljepinge igal soovitud hetkel t on leitav üldtuntud valemiga:

$$U_2 = U_1\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right), \qquad (6\text{-}42)$$

Eespooltoodud avaldisi kasutades saame väljepinge avaldada kujul:

$$U_2 = kU_{sulg}\left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}}\right), \qquad (6\text{-}43)$$

kus $k = R\mu/(R + R_1)$ (μ on võimendustegur),

U_{sulg} — võre sulgepinge.

Valemist (6-43) selgub, et väljepinge U_2 sõltub võimendustegurist ja sulgepingest U_{sulg}.

Väljepinge kondensaatori tühjenemise igal soovitud hetkel võime leida järgmise valemiga:

$$U_2 = U_1\left(1 - e^{-\frac{T_1}{\tau_1}}\right) e^{-\frac{t-T_1}{\tau_2}} \qquad (6\text{-}44)$$

ehk

$$U_2 = kU_{sulg}\left(1 - e^{-\frac{T_1}{\tau_1}}\right) e^{-\frac{t-T_1}{\tau_2}}, \qquad (6\text{-}45)$$

kus T_1 on kondensaatori laadimiskestus.

Tuleb märkida, et parasiitmahtuvuste tõttu tekib võimendusastmeis integreerivaid vooluringe, mis moonutavad võimendatavaid impulsse, neid piirates. Seepärast on vajalik, et lambi anoodi ja maa vaheline parasiitmahtuvus oleks võimalikult väike.

Hammaspinge lineaarsus. Eespool nägime, et kondensaatori laadimisel tõuseb tema klemmipinge mitte lineaarselt, vaid eksponentsiaalselt, vastavalt valemile:

$$U_C = U\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right).$$

Selle põhjal:

$$\frac{U_C}{U} = 1 - e^{-\frac{t}{RC}}. \qquad (6\text{-}46)$$

Valemit (6-46) väljendab graafiliselt kõver OB joonisel 6-44, *a*. Sirget OA joonisel 6-44 kujutab võrrand:

$$\frac{U_C}{U} = \frac{t}{RC}. \qquad (6\text{-}47)$$

Koordinaatide nullpunkti läbiv eksponentsiaalkõver on oma algosas sirge, kuid t suurenemisel kõvera tõus väheneb.

Joonisel 6-44 näeme, et suhte U_C/U suurenemisel suureneb ka lineaarse ja eksponentsiaalse kõvera erinevus ehk nn. ebalineaarsus. Joonisel on x-teljele kantud väärtus t/RC ja y-teljele vastav hammaspinge ebalineaarsus.

Eeltoodu selgitamiseks toome järgneva näite.

Näide 6-6. Oletame, et $t/RC = 0{,}1$. Seega valemi (6-47) põhjal

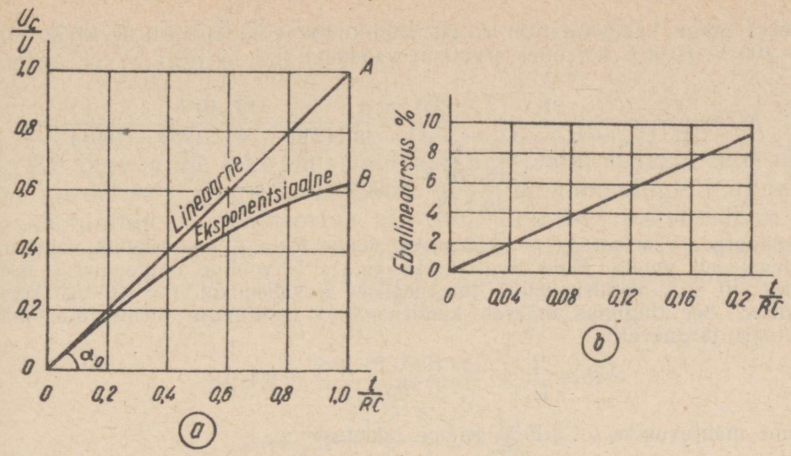
$$\frac{U_C}{U} = \frac{t}{RC} = 0{,}1.$$

Valemi (6-46) kohaselt

$$\frac{U_C}{U} = 1 - e^{-\frac{t}{RC}} = 1 - e^{-0{,}1} = 1 - 0{,}905 = 0{,}095.$$

Seega kui $t/RC = 0{,}1$, siis on eksponentsiaalkõvera OB ordinaat 5% väiksem kui sirge OA ordinaat ja eksponentsiaalkõvera ebalineaarsus $k = 5\%$.

Käsitleme nüüd lähemalt elektronlambiga päästiklülituse töötamise põhimõtet.



Joon. 6-44. Hammaspinge lineaarsus.

Olgu elektronlamp *EL* (joon. 6-43) negatiivselt eelpingestatud ja seetõttu suletud. Kui tema sisendisse suunata positiivseid impulsse, siis muutub võre positiivseks, mille tagajärjel tekib võrevool. Seetõttu kondensaator C_g positiivse impulsi vältel laadub läbi omavahel rööbiti olevate takisti R_g ja võrest ning katoodist kujunenud dioodi sisetakistuse R_{gk}. Positiivse impulsi lõppedes võrevool lakkab ja kondensaator C_g osaliselt tühjendub läbi takisti R_g, sest võrevoolu puudumisel osutub R_{gk} lõpmata suureks. Kondensaatori C_g tühjenemisel tekkiv vool läbib takisti R_g ja muudab võre katoodi suhtes negatiivseks. Järgmise positiivse sisendimpulsi puhul tõuseb kondensaatori pinge veelgi. Teatava arvu positiivsete sisendimpulsside tagajärjel muutub võrepinge niivõrd negatiivseks, et saabub tasakaaluseisund, mil positiivse sisendimpulsi saabudes tekkiv võrevool laeb kondensaatorit C_g sama palju, kui palju ta kahe impulsi vaheajal tühjeneb. Selles tasakaaluasendis tekib takistusel R_g negatiivne eelpinge, mis muutub peaaegu võrdseks nulliga vaid positiivse impulsi ajal.

Kokku võttes võib öelda, et positiivsed sisendimpulsid põhjustavad võrepinge muutumise nullist kuni lambi sulgepingeni ja seega lamp toimib samuti nagu lülitid K_1 ja K_2 joonisel 6-42 ning anoodringis oleval kondensaatoril C tekibki hammaspinge.

Näide 6-7. Arvutada vertikaalhälvituse hammaspinge generaator sagedusele $f = 50$ Hz. Sisendpingeks olgu impulsid, mille $\tau_1/\tau_2 = 9$. Toiteallika pinge $U_a = 250$ V. Lambi anoodvool olgu 10 mA anoodpingel 50 V. Nõutav väljundpinge amplituud olgu 50 V.

Eeldame, et anoodpinge muutub 50 voldist 100 voldini. Kondensaatori laadimiskestus 50 Hz puhul on $\tau_1 = 0{,}9 \cdot {}^1/_{50} = 18$ millisekundit. Selle aja vältel

tõusebki pinge kondensaatoril C 50 voldilt 100 voldile, s. t. $U_1 = 50$ V ja $U_2 = 100$ V. R ja C korrutise arvutame valemiga:

$$RC = \frac{\tau_1}{\ln [(U_a - U_1) : (U_a - U_2)]} = \frac{18 \cdot 10^{-3}}{\ln [(250 - 50) : (250 - 100)]} =$$

$$= \frac{18 \cdot 10^{-3}}{\ln 1{,}33} = 62{,}56 \text{ msec.}$$

Et saavutada väärtust $RC = 62{,}56$ msec, võime R ja C omavahelist vahekorda meelevaldselt muuta. Kuid tingimuseks on, et 50-voldine pingemuutus tekiks voolust 10 mA kondensaatori tühjenemise ajavahemikul $t = 0{,}1 \cdot {}^1/_{50}$ sec = = 2 msec. See tingimus määrab kondensaatori mahtuvuse ülemmäära, mille arvutame järgnevalt:

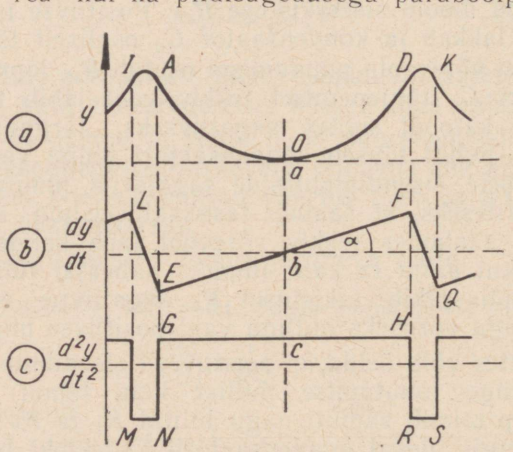
$$C = \frac{It}{U_1} = \frac{10 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{50} = 0{,}4 \ \mu\text{F}.$$

Valime mahtuvuseks 0,1 μF ja leiame takistuse:

$$R = \frac{62{,}56 \cdot 10^{-2}}{0{,}1 \cdot 10^{-6}} = 630 \ \text{k}\Omega.$$

6-8. Paraboolpinge generaator

Paraboolpinge generaatorit kasutatakse kaamerakanalis saatetoru poolt tekitatud kujutisesignaali moonutuste vähendamiseks. Vajatakse nii rea- kui ka pildisagedusega paraboolpinget. Para-



Joon. 6-45. Pinge tekitamine ristkülikulisest pingest.

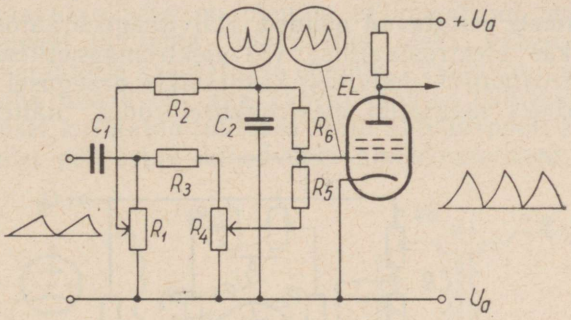
boolpinget kujutab joonisel 6-45 kõver AOD. Parabooli väljendab võrrand

$$y = ax^2, \qquad (6\text{-}48)$$

kus a on konstant. Televisioonitehnikas on pinge või vool paraboolne aja t suhtes, s. t.

$$y = at^2.$$

Paraboolpinge tekitamist hõlbustab asjaolu, et tema tõus muutub võrdeliselt ajaga t, mistõttu saab hammaspinge muundada paraboolpingeks integreeriva lüli abil. Eelmises paragrahvis aga selgus, et hammaspinget ristkülikulisest pingest saab omakorda päästiklülituse abil. Siin käsitleme lähemalt paraboolpinge saamist.



Joon. 6-46. Paraboolpinge generaator.

Kõver AOD joonisel 6-45, a kujutab parabooli võrrandiga $y = at^2$. Paraboolkõvera tõusu muutumist ajas t kujutab sirge EF joonisel 6-45, b. Selle sirge tõus ajas t on konstantne ja seda omakorda kujutab ajateljega rööbitine sirge GH joonisel 6-45, c.

Et paraboolpingest saab diferentseerimise teel hammaspinge ja hammaspinge diferentseerimisel omakorda ristkülikulise pinge, siis vastupidi saadakse joonisel 6-45 kujutatud hammaspinge ristkülikuliste impulsside integreerimise teel aja t suhtes ja paraboolpinge (joon. 6-45, a) hammaspinge integreerimisel.

Paraboolpinge generaatorisse sisestatakse tavaliselt hammaspinge, mida seal integreeritakse vastava RC-lüli abil. Joonisel 6-46 on kujutatud kaamerakanalis kasutatava paraboolpinge generaatori lülitus.

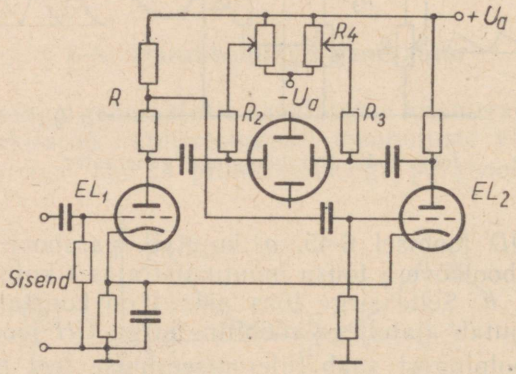
Siin kasutatakse sisendpingeks hammaspinget. Sisendpinge suunatakse moonutamatult läbi kondensaatori C_1 potentsiomeetrile R_1. Takistiga R_3 on ühendatud järjestikku potentsiomeeter R_4, mille liugkontaktilt võetakse hammaspinge ja suunatakse läbi eraldustakisti R_5 lambi võrele. Potentsiomeetri R_1 liugkontaktilt suunatakse hammaspinge integreerivasse lülisse R_2C_2. Ka kondensaatoril C_2 tekkiv paraboolpinge suunatakse lambi EL võrele,

kuid läbi eraldustakisti R_6. Seega saadakse lambi EL anoodtakistil hammaspinge, millele on liitunud paraboolpinge. Saatetorusid käsitlevas peatükis selgus, et just sellist pinget vajataksegi ikonoskoobis tekkiva musta tähni kompenseerimiseks.

Tegelikult aga kujutavad paraboolpinge generaatorid keerukaid elektronlülitusi ja nendest on võimalik suunata kujutisekanalisse kas nõgusaid või kumeraid paraboolseid impulsse koos hammaspinge impulssidega.

6-9. Hälvitusgeneraatori väljeaste

Väljeastmele esitatavad nõuded. Hälvitusgeneraatori väljeaste võib olla kas elektrostaatilise või elektromagnetilise hälvituse jaoks. Elektrostaatilist hälvitust kasutatakse praegusel ajal ainult mõõteotstarbeks määratud elektronkiiretorudes, näiteks otsilloskoopides.



Joon. 6-47. Elektrostaatilise hälvituse väljeaste vastastaktlülituses.

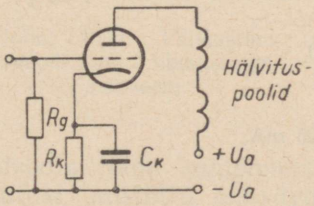
Elektrostaatiline väljeaste kujundatakse vastastaktlülituses (joon. 6-47). Võimendaja sisendisse suunatakse hammaspinge, mida pärast võimendamist koos faasi pööramisega kasutataksegi elektronkiire sümmeetriliseks hälvitamiseks.

See lülitus toimib järgmiselt. Elektronlambi EL_1 võrele suunatakse hammaspinge. Väljest suunatakse võimendatud hammaspinge ühele hälvitusplaadile. Teisele plaadile suunatakse lambi EL_2 väljepinge. Lambi EL_2 sisendpinge võetakse lambi EL_1 anoodringist ja on vastasfaasis lambi EL_2 anoodpingemuutustega. Elektronkiire keskasendi fikseerimiseks vajalik alalispingekomponent saadakse takistitelt R_3 ja R_4.

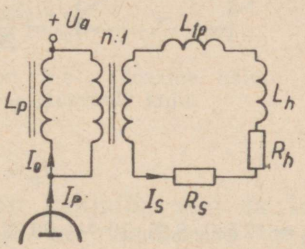
Eespool selgus, et elektrostaatiliseks hälvitamiseks tuleb hälvitusplaatidele anda hammaspinget, magnetiliseks hälvitamiseks aga on vaja hammasvoolu.

Televisioonivastuvõtjates kasutatakse peaaegu eranditult magnetilise hälvitusega elektronkiiretorusid, seepärast käsitlemegi järgnevas ainult magnetilise hälvituse väljeastet. Rea- ja pildilaotusgeneraatori (vertikaalhälvitusgeneraatori) välje talitlustingimused on erisugused ja nende hälvitussagedused erinevad teineteisest. Seepärast käsitleme neid kumbagi eraldi.

Pildilaotusgeneraatori väljeaste. Joonisel 6-48 kujutatud lülituses on hälvituspoolid ühendatud pildilaotusgeneraatori väljeastme anoodringi, mida läbib väljeastme anoodvool. Küllaldase hälvituse saavutamiseks on nõutav, et anoodvool muutuks saehamba-kujuliselt ja tema tippväärtus oleks vähemalt 40 mA. Hälvitusgeneraatoris kasutatakse enamasti vastuvõtulampe. Nende moonutusvaba anoodvool aga vaevalt sellise väärtuseni küünib. Samal joonisel kujutatud lülituses läbib hälvituspooli ka elektronkiire liikumist põhjustav anoodvoolu alaliskomponent.



Joon. 6-48. Pildihälvituse väljeaste, kus hälvituspoolid on ühendatud lambi anoodiga.



Joon. 6-49. Väljeastme anoodringi aseskeem.

Mainitud põhjustel ei kasutata mitte suure näivtakistusega ja anoodringi järjestikku ühendatud vertikaalhälvituspoole, vaid väikese näivtakistusega poole, mis sidestatakse väljeastme anoodringiga sobitustransformaatori kaudu. Nende induktiivsus on tavaliselt 6 mH ja näivtakistus 12 Ω (joon. 6-49).

Kui väljeastmes on triood, siis kujuneb väljepinge tippväärtuseks pool anoodallika pingest. Pentoodi korral aga võrdub anoodpinge kõikumine ligikaudu anoodallika pingega. Nõutava hälvituse saavutamiseks on vaja hälvitusvoolu 200 mA. Kui sobitustransformaatori ülekandesuhe on n, siis peab primaarvool olema $200/n$ mA.

Hälvituspoolide sobitustransformaatori arvutamisel kasutatakse tuntud valemit, millega arvutatakse sobitustransformaator helisagedusvõimendaja ja valjuhääldaja kokkuühendamiseks:

$$n = \sqrt{\frac{Z_{v_0}}{Z_{vt}}}, \qquad (6\text{-}49)$$

kus Z_{v0} — väljeastme soodsaim koormustakistus,
Z_{vt} — väljeastme tegelik koormustakistus,
n — sobitustransformaatori ülekandesuhe.

Näide 6-8. Oletame, et $U_a = 250$ V, $I_a = 20$ mA ja $Z_{vt} = 12\ \Omega$. Leida Z_{v0} ja n, kui a) väljeastmes sisaldub triood:

$$Z_{v0} = \frac{250}{2 \cdot 20 \cdot 10^{-3}} = 6250\ \Omega.$$

$$n = \sqrt{\frac{6250}{12}} = 23;$$

transformaatori vajalik primaarvool $I_p = {}^{200}/_{23} = 8{,}7$ mA;
primaarpinge $U_p = Z_{v0} \cdot I_p = 6250 \cdot 8{,}7 \cdot 10^{-3} = 54{,}3$ V;
b) väljeastmes on pentood:

$$Z_{v0} = \frac{250}{20 \cdot 10^{-3}} = 12\,500\ \Omega;$$

$$n = \sqrt{\frac{12\,500}{12}} = 32;$$

$$I_p = \frac{200}{32} = 6{,}25\ \text{mA};$$

ja $U_p = 12\,500 \cdot 6{,}25 \cdot 10^{-3} = 78$ V.

Sellest näitest selgub, et väljeastmes pentoodi sisaldumisel osutub anoodvool nõrgemaks kui trioodi korral.

Koormustakistuseks on transformaatori induktiiv- ja aktiivtakistus. Induktiivsus mõjutab hälvitusvoolu kuju. Selle selgitamiseks kasutame joonisel toodud 6-49 aseskeemi.

Transformaatori ülekandesuhe n määrab ka primaar- ja sekundaarmähise induktiivsuste vahekorra. Primaarmähise otseseks koormuseks on sekundaarmähis. Kuid tema koormuse arvutamisel tuleb arvestada ka hälvituspoolide induktiivsust ja puisteinduktiivsust.

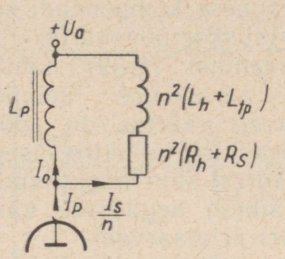
Joonisel 6-49 kujutatud aseskeemil leiduvad tähised väljendavad järgmisi suurusi:
I_p — transformaatori primaarvool A,
I_s — transformaatori sekundaarvool A,
I_0 — transformaatori primaarmähist kui paispooli läbiv vool (transformaatori tühijooksuvool) A,
L_p — transformaatori primaarmähise induktiivsus H,
L_{tp} — transformaatori puisteinduktiivsus H,
L_h — hälvituspoolide induktiivsus H,

R_h — hälvituspoolide takistus Ω,
R_s — transformaatori sekundaarmähise takistus Ω.

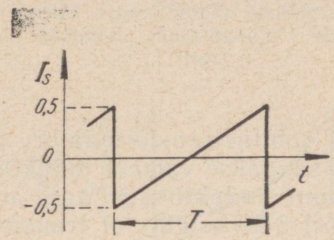
See aseskeem on lihtsustatuna toodud joonisel 6-50. Siin on transformaator esitatud tema primaarpoolele taandatud suuruste I_s, L_{tp}, L_h, R_h ja R_s kaudu.

Primaarpoolele taandamiseks tuleb sekundaarpoolel esinev takistuse suurus korrutada ülekandesuhte ruuduga n^2 ja sekundaarvool I_s jagada ülekandesuhtega n.

Lambi anoodvool I_p koosneb kahest komponendist: hälvitusvoolust I_s/n ja sobitustransformaatoriga rööbiti olevat paispooli läbivast voolust I_0. Hälvitusvool I_s/n on saehamba kujuline.



Joon. 6-50. Väljeastme anoodringi lihtsustatud aseskeem.



Joon. 6-51. Ideaalne hälvitusvoolu kuju.

Anoodvoolu teine komponent aga on kahjulik, sest ta tekitab moonutusi, mistõttu anoodvool I_p ei ole saehamba kujuline. Joonisel 6-50 kujutatud aseskeemi põhjal on võimalik määrata, missuguse kujuga anoodvool tekitaks saehamba-kujulise hälvitusvoolu I_s. Ideaalset hälvitusvoolu kuju näitab joonis 6-51. Tema langukestus peab võrduma nulliga. Kui selle saehamba-kujulise voolu tippväärtus on I_m, siis väljendab tema keskväärtust valem

$$I_s = I_m \left(\frac{t}{T} - \frac{1}{2}\right). \qquad (6\text{-}50)$$

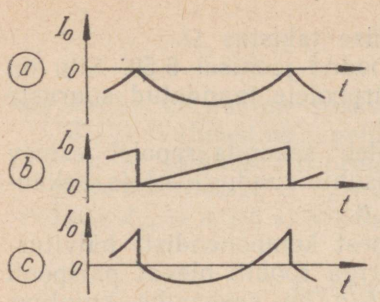
Joonisel 6-50 kujutatud aseskeemi kohaselt tekitab vool I_s/n, läbides takistust $n^2(R_h + R_s)$ sellel pinge

$$\frac{I_s}{n} n^2 (R_h + R_s) = n I_s (R_h + R_s). \qquad (6\text{-}51)$$

On võimalik tõestada, et paispooli läbiva voolu I_0 saab arvutada valemiga

$$I_0 = \frac{n I_t}{L_p}\left[\left(\frac{t^2}{2T} - \frac{t}{2}\right)(R_h + R_s) + \frac{t}{T}(L_h - L_{tp})\right] + K, \qquad (6\text{-}52)$$

kus t — aeg sec.



Joon. 6-52. Transformaatori primaarmähise induktiivsuse tõttu tekkiv moonutatud hammasvool.

Selle võrrandi esimene liige, mis sisaldab väärtust t^2, väljendab paraboolikujulist voolukomponenti (joon. 6-52, *a*). Teine liige, mis on võrdeline ajaga t, väljendab lineaarselt muutuvat voolukomponenti, millel on saehamba kuju (joon. 6-52, *b*). Kolmas liige ajast ei sõltu ja väljendab seega voolu alaliskomponenti. Joonisel 6-52, *c* on kujutatud voolu I_0 kahe esimese komponendi summa, ilma alaliskomponendita.

Võrrandist (6-52) nähtub, et voolu paraboolse komponendi negatiivne väärtus on pöördvõrdeline sobitustransformaatori primaarmähise induktiivsusega L_p. Seega saadakse väikese induktiivsuse korral suur negatiivne väärtus, suur induktiivsus aga annab väikese negatiivse väärtuse. Joonisel 6-50 selgub, et transformaatori primaarvool

$$I_p = \frac{I_s}{n} + I_0. \tag{6-53}$$

Asendanud siin I_s tema väärtusega võrrandist (6-50), saame, et

$$I_p = \frac{I_t}{n}\left(\frac{t}{T} - \frac{1}{2}\right) + I_0. \tag{6-54}$$

Võrrandite (6-54) ja (6-52) põhjal

$$I_p = \frac{I_t}{n}\left(\frac{t}{T} - \frac{1}{2}\right) + n\frac{I_t}{L_p}\left[\left(\frac{t^2}{2T} - \frac{t}{2}\right)(R_h + R_s) + \frac{t}{I}(L_h - L_{tp})\right] + K. \tag{6-55}$$

Primaarvoolu I_p komponendid I_0 ja I_s/n on kujutatud graafiliselt joonisel 6-53. Nagu võrrandi (6-52) järgi sõltub voolu I_0 lineaarsus sobitustransformaatori primaarmähise induktiivsusest L_p, nii sõltub viimasest vastavalt võrrandile (6-54) ka voolu I_p lineaarsus.

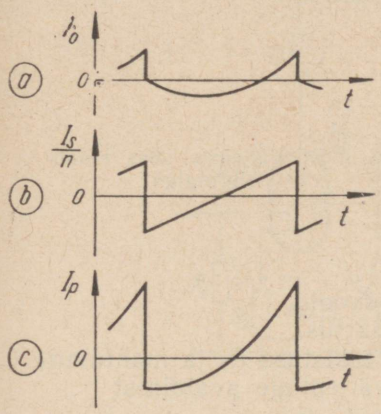
Moonutuste vältimiseks on vajalik, et väljeastme sobitustrafo primaarmähist läbiv vool iga saehamba-kujulise perioodi algul hakkaks pidevalt tugevnema (joon. 6-54, *a*), ilma vahepeal negatiivseks muutumata (joon. 6-54, *b*). Voolu muutumise iseloom perioodi algul sõltub põhiliselt sobitustransformaatori primaarmähise induktiivsusest. Tema negatiivsemaks muutumist saab vältida, kui valida primaarmähise induktiivsus võimalikult väike. Induktiivsuse suurim lubatav väärtus arvutatakse valemiga

$$L_p = n^2 T \left(\frac{R_h + R_s}{2} - \frac{L_h + L_{tp}}{T} \right) \qquad (6\text{-}56)$$

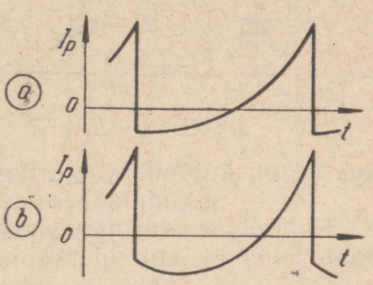
ehk ligikaudselt valemiga

$$L_p = \frac{n^2 T (R_h - R_s)}{2} . \qquad (6\text{-}57)$$

Neist valemeist selgub, et L_p väärtus sõltub peamiselt väljelambi koormusest ja hammaspinge perioodist.



Joon. 6-53. Sobitustrafo primaarvoolu I_p komponendid I_0 ja I_s/n.



Joon. 6-54. Hammasvoolu moonutused sobitustransformaatori väikse (*a*) ja suure (*b*) induktiivsuse puhul.

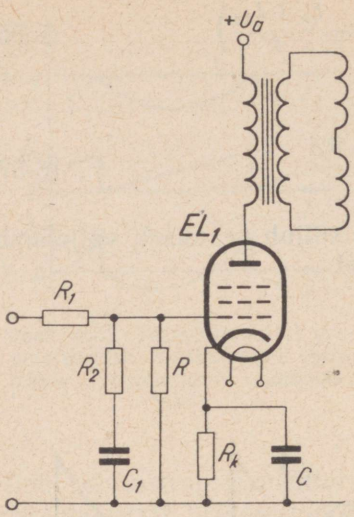
Näide 6-9. Arvutada sobitustransformaatori primaarmähise induktiivsuse suurim lubatav väärtus, lähtudes eelmiste näidete andmetest: $n = {}^{12500}/_{12}$; $T = 20$ msec. $R_h = 12\ \Omega$; $R_s = 2\ \Omega$; $L_h = 6$ mH, $L_{tp} = 10$ mH.

$$L_p = \frac{12500 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{12} \left(\frac{12 + 2}{2} - \frac{6 \cdot 10^{-3} + 10 \cdot 10^{-3}}{20 \cdot 10^{-3}} \right) = 130 \text{ mH}.$$

Sobitustransformaatori primaarmähise induktiivsuse tõttu võimendus madalamatel sagedustel väheneb. Seepärast lülitatakse lambi võre ja katoodi vahele kujundusvooluring, R_2C_1 (joon. 6-55), mis summutab kõrgemaid sagedusi rohkem kui madalamaid.

Kujundusvooluringi üksikosade andmed saab leida seosest:

$$I_s = \frac{U_m}{\sqrt{(R_1 + R_2)^2 + \left(\frac{1}{\omega C_1}\right)^2}} , \qquad (6\text{-}58)$$



Joon. 6-55. Väljeaste ühes kujundusvooluringiga.

kus I_s on kujundusvooluringi sisendvool,

U_m — sisendpinge amplituudväärtus.

Kujundusvooluringi moodustava takistuse R_2 ja mahtuvuse C_1 saab leida ka kujundusvooluringi väljepinge avaldisest

$$U_v = \frac{U}{R_1}\left[\frac{T_2}{2C_1T} + \left(\frac{R_2}{T} - \frac{1}{2C_1}\right)t - \frac{R_2}{2} + K\right]. \qquad (6\text{-}59)$$

Pärast teisendusi leiame, et

$$R_2C_1 = \frac{T}{2}. \qquad (6\text{-}60)$$

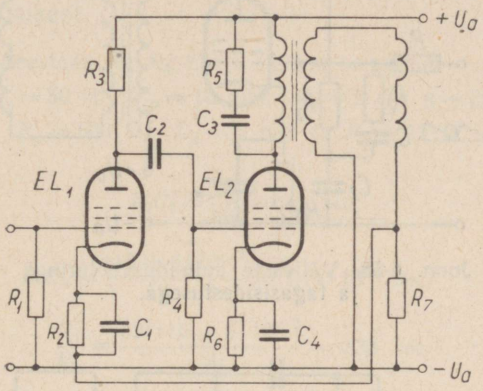
Tavaliselt $T = 20$ msec ja seega $R_2C_1 = 10$ msec; kui $R_2 = 100$ kΩ, siis $C_1 = 0{,}1$ μF.

Hammaspinge ebalineaarsust, mis on tingitud sobitustrafo primaarmähise induktiivsusest, on võimalik vähendada, kui kasutada väljeastmes negatiivset tagasisidestust. Tagasisidestuspinge võetakse hälvituspoolidega järjestikku ühendatud takistilt. Selle takistus peab olema väike, võrreldes hälvituspoolide takistusega. Vastasel korral suurem osa väljevõimsusest temas neelduks. Tavaliselt on ta 1 kuni 2 Ω. 1-oomisel takistil tekkiv pinge on 0,2 V. See on liiga madal selleks, et ta, suunatuna väljelambi võrele, suudaks tekitada vajaliku tugevusega tagasisidestuse. Seepärast suunatakse tagasisidestuspinge eelvõimenduslampi (joon. 6-56).

Kõrgema tagasisidestuspinge saamiseks võetakse see väljetransformaatori sekundaarmähisest.

Tagasisidestuse tekitamiseks võib kasutada ka väljelambi anoodiga ühendatud järjestikust vooluringi C_2R_2 (joon. 6-57). Takisti R_2 ja kondensaator C_2 moodustavad pingejagaja. Takistuse ja mahtuvuse väärtuse on võimalik leida seosest

$$R_2C_2 = \frac{L_h + L_{tp}}{R_h + R_s}. \qquad (6\text{-}61)$$



Joon. 6-56. Tagasisidestusega väljeaste.

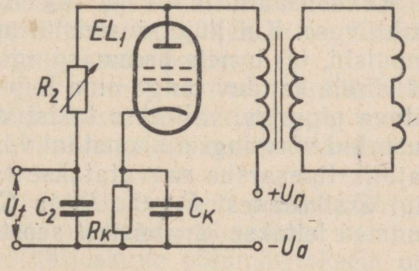
Näide 6-9. Arvutada R_2 ja C_2 väärtus, kui on antud:

$$L_h = 10 \text{ mH}, \quad L_{tp} = 6 \text{ mH}, \quad R_h = 12\ \Omega \text{ ning } R_s = 2\ \Omega$$

$$R_2C_2 = \frac{10 \cdot 10^{-3} + 6 \cdot 10^{-3}}{12 + 2} = 1{,}14 \cdot 10^{-3} \text{ sec.}$$

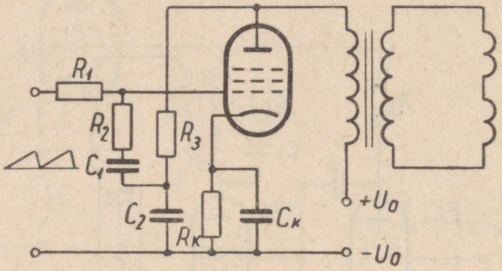
Kui $R_2 = 1$ MΩ, siis $C_2 = 0{,}0014$ μF.

Takistiks R_2 valitakse potentsiomeeter, millega on võimalik reguleerida hälvituspoolile antava hammaspinge lineaarsust. Väljeastmest saadava hammaspinge lineaarsust on võimalik veelgi parandada, kui kasutada lisaks tagasisidestusele ka kujundusvooluringi, nagu see esineb joonisel 6-58 kujutatud lülituses, kus R_3 ja C_2 on tagasisidestuseks ning R_1, R_2 ja C_1 moodustavad

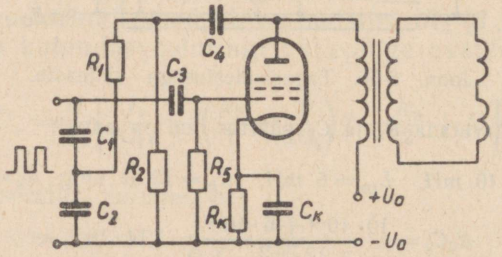


Joon. 6-57. Lihtsaim tagasisidestusega väljeaste.

kujundusvooluringi. Veelgi lineaarsem väljepinge saadakse joonisel 6-59 kujutatud lülitusega, mis sisaldab kahte RC-lülituses tagasisidestus- ja ühte kujundusvooluringi. Lüli R_2C_4 summutab tagasisidestuspinge madalsagedusi, mille tulemusena võimendaja võimendab madalsagedusvõnkeid suuremal määral. Vooluring R_1C_2 täidab sama otstarvet, mida eelmises lülituses täitis vooluring R_3C_2. Olgu märgitud, et tagasisidestuspinge kuju peab olema samasugune, nagu on voolul.



Joon. 6-58. Väljeaste kujundusvooluringi ja tagasisidestusega.



Joon. 6-59. Väljeaste kahe tagasisidestusringiga.

Kondensaatorid C_1 ja C_2 moodustavad kujundusvooluringi mahtuvuse. Kui kujundusvooluringi juhtida ristkülikulised pingeimpulsid, tekib neis hammaspinge, mis kandub väljeastme võrele. Et võrele kanduv pinge oma kujult sarnaseks C_1 ja C_2 poolt tekitatava pingega, valitakse takistist R_5 ja kondensaatorist C_3 moodustatud võreringi ajakonstant väga suur. Saehambakujulise voolu vajalik lineaarsus saavutatakse tagasisidestusega anoodilt võrele läbi üksikosadest R_1, C_2, R_2 ja C_4 koosneva vooluringi. Viimaste andmed leitakse järgmistest seostest:

$$R_2C_4 = \frac{L_p}{R_p}, \qquad (6\text{-}62)$$

$$R_1 C_2 = \frac{L_{tp} + L_h}{R_h + R_s}, \tag{6-63}$$

$$\frac{R_1}{R_2} = n^2 \frac{L_{tp} + L_h}{L_p}. \tag{6-64}$$

Nagu neist seostest nähtub, sõltub vooluringi R_2C_4 ajakonstant sobitustransformaatori primaarmähise induktiivsuse tagajärjel tekkivate ajakonstantide moonutuste määrast. Vooluringi R_1C_2 ajakonstant aga sõltub hälvituspoolide induktiivsusest ja puisteinduktiivsusest.

Näide 6-10. Arvutada R_1, R_2, C_2 ja C_4, kui on antud:

$$L_p = 50 \text{ H}, \quad L_{tp} = 10 \text{ mH}, \quad R_s = 2 \ \Omega, \quad n = 32,$$
$$R_p = 500 \ \Omega, \quad L_h = 6 \text{ mH ja } R_h = 12 \ \Omega.$$

Leiame:

$$R_2 C_4 = \frac{50}{500} = 0{,}1 \text{ sec},$$

$$R_1 C_2 = \frac{(10 + 6)\,10^{-3}}{12 + 2} = 1{,}14 \cdot 10^{-3} \text{ sec},$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{32^2 (10 + 6)\,10^{-3}}{50} = 0{,}33 \text{ sec}.$$

Valime $R_2 = 200$ kΩ, siis

$$C_4 = \frac{0{,}1}{R_2} = \frac{0{,}1}{200 \cdot 10^3} = 0{,}5 \ \mu\text{F},$$

$$R_1 = 0{,}33 \quad R_2 = 0{,}33 \cdot 200 = 66 \ \text{kΩ},$$

$$C_2 = \frac{1{,}14 \cdot 10^{-3}}{R_1} = \frac{1{,}14 \cdot 10^{-3}}{66 \cdot 10^3} = 0{,}017 \ \mu\text{F}.$$

Kasutatakse reguleeritavat takistit R_1 ja kondensaatorit C_1.

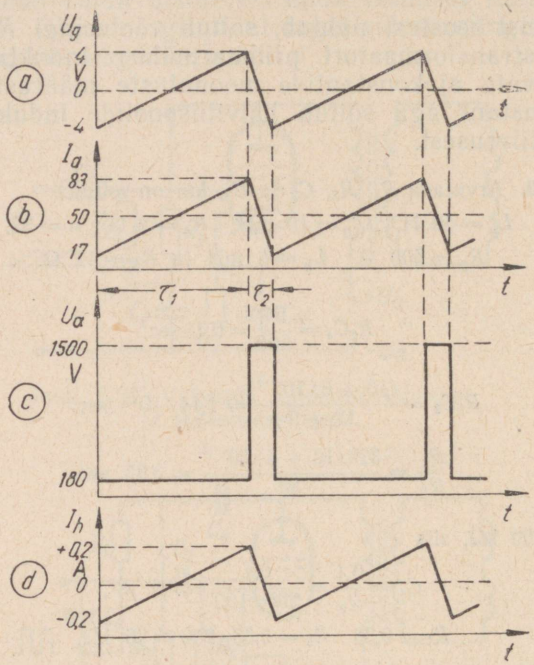
Realaotusgeneraatori väljeaste. Tutvume nüüd realaotuseks vajaliku horisontaalhälvituse väljeastme põhiomadustega. Horisontaalhälvitus toimub pildisagedusest tunduvalt suurema sagedusega. Seetõttu erineb horisontaalhälvituse väljeaste vertikaalhälvituse (pildi) väljeastmest kahe asjaolu poolest.

1. Horisontaalhälvituse poolisid võime käsitada puhtinduktiivse koormusena; kui neid toita väikese näivtakistusega vooluallikast, mille väljepinge on ristkülikuline, siis saadakse lineaarne hälvitus.

2. Voolu kiire muutumise tõttu toidetakse neid poolisid kõrge pingega, seepärast peavad nad omama head isolatsiooni.

Horisontaalhälvitusgeneraatori väljeastme põhimõtteskeem on toodud joonisel 6-62. Sellel kujutatud lülituses on hälvituspoolid ühendatud lõpplambiga transformaatori kaudu. Horisontaalhälvi-

tuspoole ei ühendata vahetult anoodringi, sest nende induktiivsus on suur ja voolu kiire muutumise tõttu tekiks neis väga kõrge pinge, mis ohustaks nende isolatsiooni. Pealegi kutsuks anoodvoolu alaliskomponent hälvituspoolide vahetult anoodringi ühendamise puhul esile elektrostaatilise hälvituse.

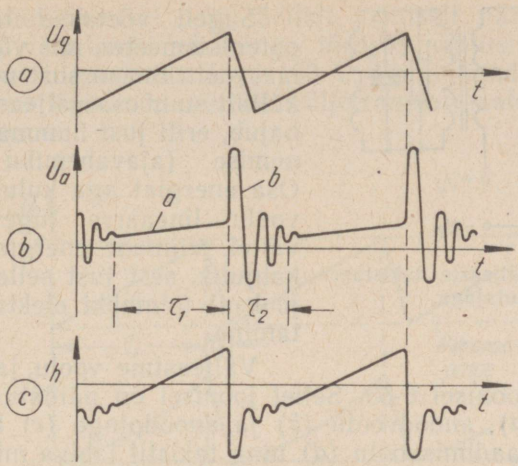


Joon. 6-60. Reahälvitusgeneraatori sisendpinge (*a*), anoodvoolu (*b*), anoodpinge (*c*) ja hälvituspoolide voolu (*d*) ideaalsed kujud.

Seepärast sidestatakse reahälvituspoolid anoodringiga eranditult sobitustransformaatori kaudu. Kui selle ülekandesuhe on otstarbekalt valitud, moodustavad reahälvituspoolid ka suure induktiivsuse korral lõpp-pentoodile anoodkoormuse, mis on väike, võrreldes viimase sisetakistusega. Sel juhul võib pentoodi käsitada konstantset voolu tekitava generaatorina.

Jooniselt 6-60 näeme, et pinge hälvituspoolidel on ristkülikuline. Tavaliselt ulatub ta horisontaalhälbe lõpuks kuni 30 voldini, tõuseb aga elektronkiire tagasiliikumise ajal kuni 250 voldini. Kui sobitustransformaatori ülekandesuhe $n = 6$, peab lõpplambi anoodringis olema kuus korda kõrgem pinge.

Hälvituspoolid ja sobitustransformaatori mähised omavad peale induktiivsuse ka oomilist takistust ning mahtuvust. Viimased aga muudavad väljepinge ja -voolu kuju. Väljepinge ja -voolu



Joon. 6-61. Takistuse ja mahtuvuse mõju hälvitusvoolu kujule:

a — sisendpinge, *b* — anoodpinge, *c* — hälvitusvool.

ideaalne kuju on esitatud joonisel 6-60, oomilise takistuse ja mahtuvuse mõjul tekkinud moonutustega kõverad aga joonisel 6-61. Takistuse mõjul muutub saehamba-kujulise voolu tõus väiksemaks (joonisel 6-61 kõvera osa *a*). Väljeastme anoodringis sisaldub induktiivsus ja mahtuvus aga moodustavad häälestatud võnkeringi. Selle toimel tekib iga horisontaalhälve lõpul, mil vool muutub kiiresti vastupidiseks, võnkumine (kõvera osa *b*). Energia hajumise tõttu hälvituspoolides ja sobitustransformaatoris väheneb selle võnkumise amplituud kiiresti.

Selline parasiitvõnkumine rikub hälvituspoole läbiva hammasvoolu lineaarsust. Tema sagedus sõltub transformaatori ja hälvituspoolide ehitusest, kuid on üldiselt ligikaudu 1000 kHz.

Parasiitvõnkumise summutamiseks ühendatakse hälvituspoolidega rööbiti takisti R, nagu on näidatud joonisel 6-62. Takisti tõttu aga aeglustub voolu nõrgenemine ja suureneb elektronkiire tagasiliikumise kestus. Ka vähendab takisti hälvituspinge amplituudi. Summutustakisti takistus arvutatakse valemiga

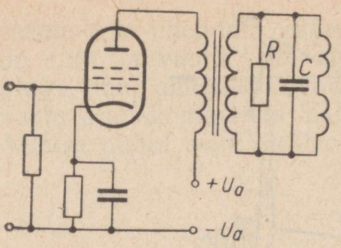
$$R = 0{,}5\sqrt{\frac{L}{C}}, \qquad (6\text{-}65)$$

kus L on hälvituspoolide induktiivsus H,

C — hälvituspoolide mahtuvus F.

Tavaliselt $L = 6$ mH ja $C = 200$ pF ning seega

$$R = 0{,}5\sqrt{\frac{6 \cdot 10^{-3}}{200 \cdot 10^{-12}}} = 2{,}7 \text{ k}\Omega.$$



Joon. 6-62. Väljeaste takistus-summutajaga.

Sageli võetakse takisti asemel potentsiomeeter, mis võimaldab hammasvoolu lineaarsust muuta. Takistis küllalt suur osa väljeastme energiast hajub, eriti just hammasvoolu nõrgenemise (ajavahemiku τ_2) kestel. Osa energiat aga kulub takistis ka voolu lineaarse tugevnemise (τ_1) vältel. Viimane energiakadu on eriti kahjulik, sest just selle ajavahemiku jooksul toimubki elektronkiire hälvitamine.

Väljeastme voolu ja pinge kujud on toodud joonisel 6-63. Sellel joonisel on näidatud peale lambi võrepinge (*a*), anoodvoolu (*b*) ja anoodpinge (*c*) ka anoodringi mahtuvuse laadimisvoolu (*d*) ning takistit läbiva nn. korrigeeriva voolu (*e*, kõver *3*) kuju. Transformaatori primaarmähist läbiva korrigeeritud voolu I_k kuju on toodud joonisel 6-63, *e* (kõver *2*). See vool kujutab lambi anoodvoolu *1* ja anoodringi mahtuvuse laadimisvoolu *3* summat. Hälvituspoole läbiva voolu kuju on esitatud joonisel 6-63, *f*.

Summutustakisti poolt põhjustatud energiakao vähendamiseks tuleb ta lülitada vooluringi ainult ajavahemikuks τ_2, ajavahemikuks τ_1 aga välja lülitada. Peale selle ühendatakse summutustakistis esineva energiakao vähendamiseks temaga rööbiti kondensaator nagu on näidatud joonisel 6-62.

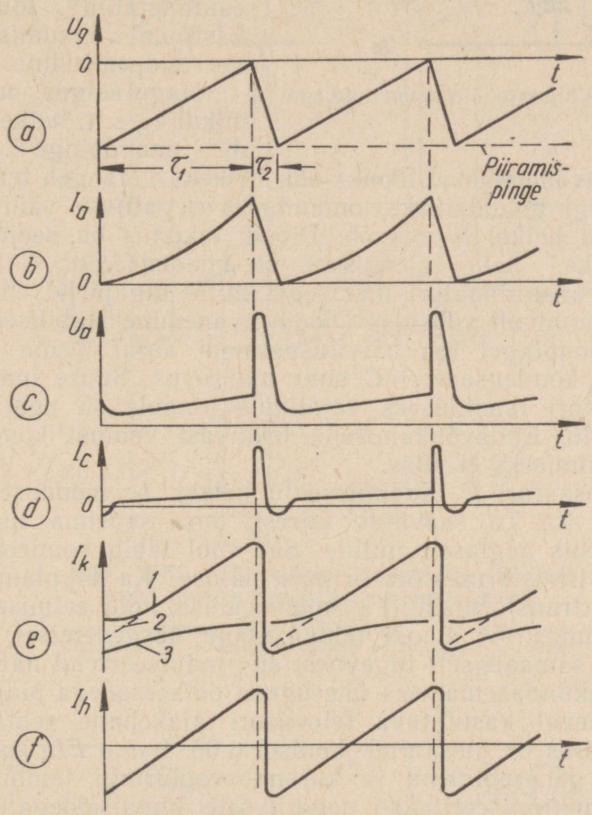
Transformaatori primaarmähise pinge on ajavahemiku τ_1 vältel konstantne. Kui takistist R ja kondensaatorist C moodustatud vooluringile on rakendatud konstantne pinge, siis sõltub energiakadu takistis R selle vooluringi ajakonstandist RC. Energiakao vähendamiseks ajavahemikul τ_1 peab ajakonstant RC olema τ_2-ga võrreldes lühike, sest pinge muutub ajavahemiku τ_1 jooksul aeglaselt ja vool vooluringis RC on nõrk. Ajavahemikul τ_2 aga on pinge kõrge ja vooluringi RC läbib tugev vool. Sellel ajavahemikul peaks ajakonstant RC olema pikk, võrreldes ajavahemikuga τ_2. Kui näiteks valida takistuseks 2700 Ω ja ajakonstandiks 25 kuni 30 μsec, siis osutub soodsaima ajakonstandi saavutamiseks vajalikuks mahtuvuseks:

$$C = \frac{RC}{R} = \frac{30 \cdot 10^{-6}}{27 \cdot 10^{-3}} = 0{,}0111 \ \mu\text{F}.$$

Osa energiat hajub summutustakistis siiski ka ajavahemikul τ_1. Selle energiakao vältimiseks asendatakse summutustakisti summutusdioodiga (joon. 6-64). Summutusdioodi ja mahtuvuse võib ühendada ka sobitustransformaatori sekundaarmähisega.

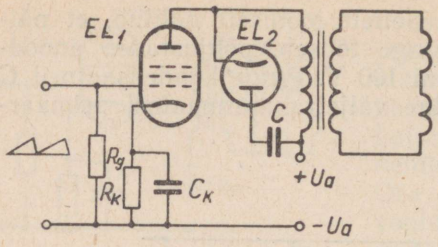
Summutusdioodi korral väljeastmes tekkiva pinge ja voolu

kuju on esitatud joonisel 6-65. Sellelt jooniselt nähtub, et näiteks hetkel t_1 väljelambi võrepinge tõuseb, põhjustades anoodvoolu lineaarset tugevnemist kuni 100 V. Pinge kondensaatoril C on selle hetkeni ligikaudu võrdne väljetransformaatori primaarmähise pingega.



Joon. 6-63. Väljeastme voolude ja pingete kujud.

Dioodis tekib pingelang, millest piisab, et kutsuda temas esile nõrka läbivoolu (joon. 65, kõver *d*). Vool hälvituspoolides tugevneb lineaarselt. Hälvitusvoolu lineaarse tugevnemise lõppedes hetkel t_2, s. o. ajavahemiku τ_1 lõpul, muutub võrepinge suund vastupidiseks. Selle tagajärjel anoodvool järsku nõrgeneb (kõver *c*), mis põhjustab anoodpinge tunduva tõusu — 2 kuni 2,5 kV (kõver *b*). Nii rakendub lõpplambi anoodiga ühendatud dioodi katoodile kõrgepinge. Dioodi anoodil aga on mahtuvuse C pinge, mis on võrdne ajavahemiku τ_1 lõpul oleva pingega, ligikaudu



Joon. 6-64. Väljeaste dioodsummutajaga.

100 V. Seetõttu diood sulgub. Väljetransformaatorist ja hälvituspoolidest moodustatud vooluringis tekib selle vooluringi endasagedusega võnkuv vool. Anoodpinge eelnimetatud tõusu võib käsitada võnkumise esimese veerandperioodina.

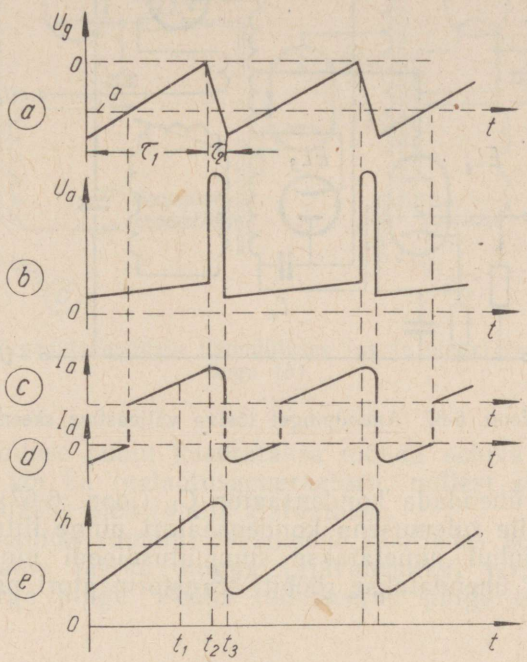
Nagu selgus, on ajavahemikul τ_1, s. t. hetkeni t_2 dioodi anoodpinge ligikaudu 100 V. Ajavahemiku τ_2 lõpuks ehk hetkeks t_3 langeb tema anoodpinge veelgi madalamaks, omandades negatiivse väärtuse. Seetõttu diood hetkel t_3 avaneb. Dioodi takistus on seejuures äärmiselt väike. Selle tulemusena on kondensaator C ühendatud vahetult transformaatori mähisega, mille tagajärjel enda võnkesagedus tunduvalt väheneb. Dioodi avanemine stabiliseerib väljeastme anoodpinget iga hälvitusperioodi algul. Tema avanemist võimaldab kondensaatori C suur mahtuvus. Suure mahtuvusega kondensaatori laadimiseks vajalikule pingele on aga vaja tunduvat voolu. Endavõnkumisena tekkivast voolust kondensaatori pinge muutmiseks ei piisa.

Kondensaatori C laadimisvoolu hetkel t_3 moodustab dioodi läbiv vool I_d. Ta saavutab kiiresti oma suurima tugevuse ja nõrgeneb siis aeglaselt nullile. See vool läbib kondensaatori C, dioodi ja transformaatori primaarmähise. Ka lõpplambi anoodvool läbib transformaatori primaarmähise, kuid eelmisega vastupidises suunas. Et dioodi läbiva voolu nõrgenemisel lõpplampi läbiv vool samaaegselt tugevneb, siis indutseerivad nad transformaatori sekundaarmähises ühesuguse polaarsusega pinge.

Tänapäeval kasutatava televiisori ajakohane realaotusgeneraatori lülitus on kujutatud joonisel 6-66. Lamp EL_1 toimib hammaspinge generaatorina ja kujundusvooluringi lambina. Generaatorit sünkroniseeritakse negatiivsete impulssidega. Sageduse reguleerimine toimub takisti R_1 abil. Kujundusvooluringil (R_3C_1) tekkiv pinge ja tagasisidestuspinge, mis saadakse hälvituspoolide sobitus-transformaatorist, suunatakse läbi kondensaatori C_2 väljeastme võrele. Sobiva sisendpinge ja tagasisidestuse puhul tekib lineaarne hälvitusvool.

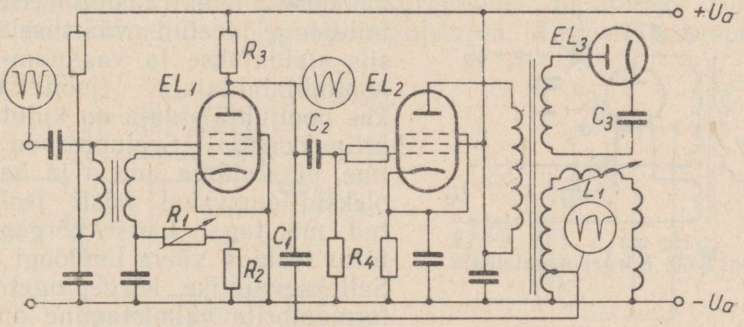
Vahel on vaja muuta hälvituspoolisid läbiva voolu amplituudi, ilma et seejuures lineaarsus muutuks. Selleks ühendatakse nendega järjestikku paispool L_1, mille südamiku asendi muutmisega reguleeritakse hälvitusvoolu.

Summutusdioodiga järjestikku ühendatud kondensaatoril C_3 esinev pinge (tavaliselt 150 V) muutub realaotuse kestel väga vähe. Selle pinge võib kasutada ära lõpplambi anoodpinge tõst-

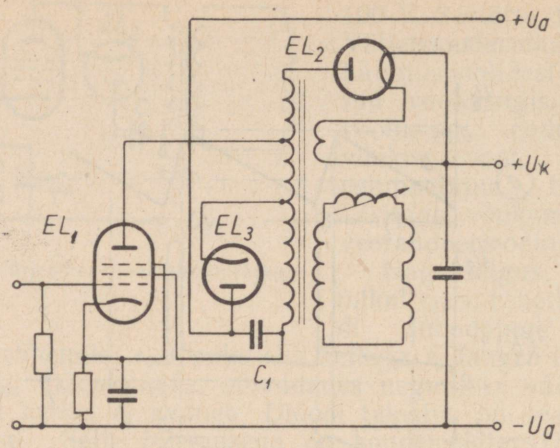


Joon. 6-65. Väljeastme pingete ja voolude kujud dioodsummutaja kasutamise puhul.

a — sisendpinge, *b* — anoodpinge, *c* — väljelambi anoodvool, *d* — summutusdioodi anoodvool, *e* — hälvitusvool.



Joon. 6-66. Realaotusgeneraatori skeem.

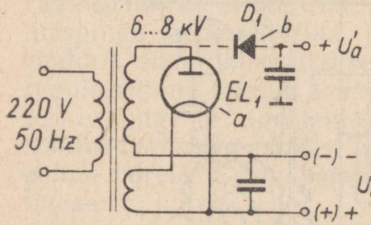


Joon. 6-67. Anoodpinget tõstva väljeastme skeem.

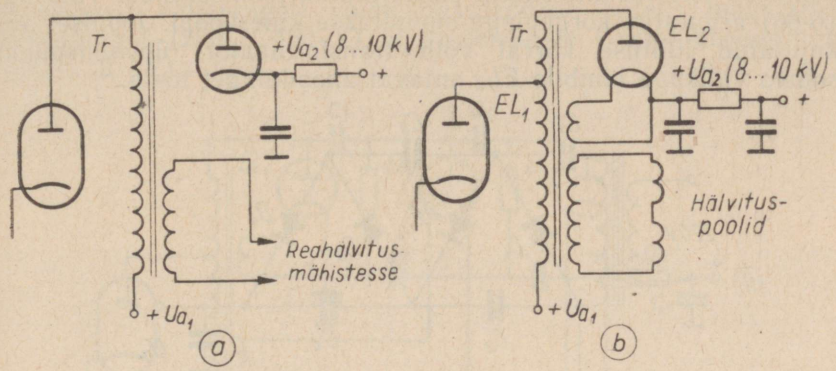
miseks, kui ühendada kondensaator C_1 (joon. 6-67) anoodpinge allikaga, mille tulemusena kondensaatori pinge liitub anoodpingega. Sel juhul nimetatakse summutusdioodi pinget tõstvaks dioodiks. Ta ühendatakse rööbiti transformaatori primaarmähise väljavõttega.

6-10. Kõrgepinge-toitesüsteem

Kineskoobi toitepinget võib saada peamiselt kahel teel: 1) transformeerides ja alaldades võrgupinget, või 2) transformeerides ja alaldades suurendatud sagedusega pinget. Esimese mooduse puhul transformeeritakse toitepinge teatud väärtusele ja siis alaldatakse ta vaakuum- või pooljuhtalaldajaga (joon. 6-68, kus pooljuhtalaldaja on kujutatud kriipsjoonega). Seejuures on oluline, et alaldaja anood ja katood oleksid omavahel hästi isoleeritud, mis tagab kaitse kõrgepinge tõttu tekkida võiva läbilöögi eest. Selleks vajalike kõrgepingetransformaatorite valmistamine on tülikas, sest sekundaarmähise keerdudevaheline isolatsioon peab vastama keerdudevahelisele pingele. Samuti peab sekundaar- ja primaarmähiste vaheline isolatsioon vältima läbilööki. Filterkondensaatori kasutamine kõrgepingepoolel pole eriti vajalik.



Joon. 6-68. Kõrgepingealaldaja.



Joon. 6-69. Kõrgepingealaldaja tüüplülituses (*a*) ja pinget tõstva väljavõttega (*b*).

Teise mooduse puhul kasutatakse mõnda sobiva sagedusega generaatorit või ka realaotusgeneraatorit, millest saadav pinge transformeeritakse üles ja siis alaldatakse.

Hälvituspoolide summutusseadmeid käsitledes selgus, et kui väljeastme lamp järsku sulgus (ajavahemikul τ_2), siis tekkis mähistes kõrge pinge. Poolis indutseeruv pinge on arvutatav valemiga:

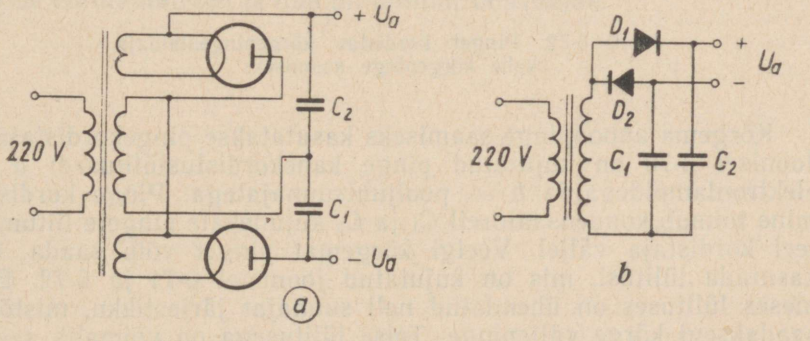
$$U = \frac{w\Phi}{10^8 \tau_2} \text{ V}, \qquad (6\text{-}66)$$

kus w on pooli keerdude arv,

Φ — magnetvoog Oe,

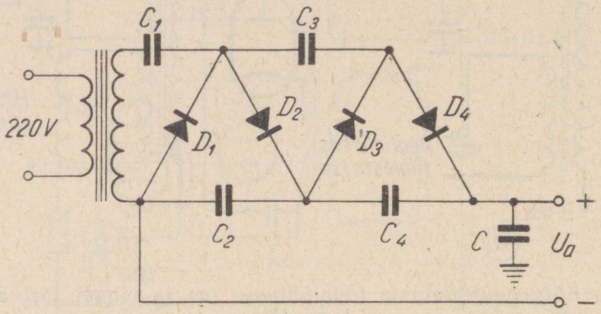
τ_2 — aeg sec.

Kirjeldatud viisil saadava kõrgepinge puuduseks on, et teda pole võimalik hõlpsasti reguleerida. Tagasiliikumispingel

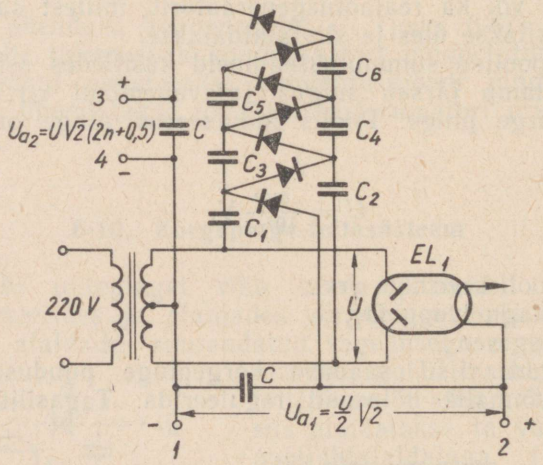


Joon. 6-70. Pinget kahekordistavad kõrgepingealaldajad.

põhineva toiteseadme skeem on kujutatud joonisel 6-69. Valemiga (6-66) arvutatav kõrgepinge suunatakse kineskoopi. Joonisel 6-69 kujutatud lülituse korral võib transformaatori ühenduspunkti sobiva valikuga lambile EL_2 antavat anoodpinget tõsta.



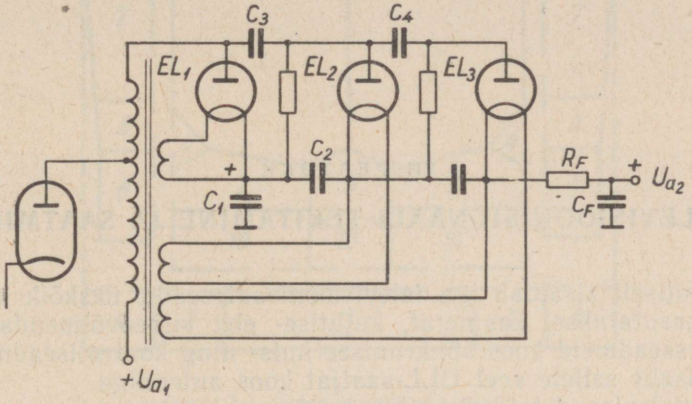
Joon. 6-71. Pinget kordistav kõrgepingealaldaja.



Joon. 6-72. Pinget kordistav kõrgepingealaldaja kahe kõrgepinge saamiseks.

Kõrgema anoodpinge saamiseks kasutatakse pingekordistajaid. Joonisel 6-70 on kujutatud pinge kahekordistuslülitused: *a* — elektronlampidega ja *b* — pooljuhtsuunajatega. Pinge kordistamine toimub kondensaatoreil C_1 ja C_2 kujunevate pingete liitumise teel kordistaja väljel. Veelgi kõrgemat pinget võib saada, kui kasutada lülitusi, mis on kujutatud joonistel 6-71 ja 6-72. Esimeses lülituses on ühendatud neli suunajat järjestikku, mistõttu saadaksegi kõrge väljepinge. Teise lülitusega on võimalik saada

kahesugust väljepinget: võimendusseadmete toiteks madalamat anoodpinget (250 ... 450 V) ja kineskoobile kõrget anoodpinget (10 ... 12 kV).



Joon. 6-73. Pinget kolmekordistav diood-kõrgepingealaldaja.

Joonisel 6-73 on kujutatud kõrgepingealaldaja, mis toimib tagasiliikumispingega toitmise põhimõttel, kuid milles on ühtlasi kasutatud ka pingekordistust, nimelt pinge kolmekordistajat. Kondensaatorid C_2, C_3 ja C_4 on laetud ligikaudu pingele, mis tekib transformaatori sekundaarmähise väljel. Kuna need kondensaatorid on järjestikku, siis saame väljel kolmekordse pinge. Tegelikult on sellise vooluringi maksimaalseks pingeks kuni 27 kV. Pinget saaks veelgi tõsta, kui kasutada mitmeastmelist järjestiklülitust.

Tänapäeval kasutatakse peaaegu eranditult tagasiliikumispingega toiteseadmeid, sest neil on võrreldes teiste süsteemidega rida paremusi. Näiteks kaob realaotuse lakates ka kineskoobi anoodpinge. Vastasel korral aga tekiks realaotuse lakates kineskoobi ekraanil helendav püstjoon, mistõttu ekraan rikneks. Ka on nende ehitus lihtsam ja nad on hinnalt odavamad.

VII PEATÜKK

TELEVISIOONISIGNAALI TEKITAMINE JA SAATMINE

Põhiliselt sisaldab iga televisioonisaateseade, ükskõik milleks seda kasutatakse, kaamerat, kujutise- ehk viideovõimendajat ja hälvitusseadmeid koos sünkroniseerimis- ning kontrollseadmetega ning lisaks sellele veel ULL-saatjat koos antenniga.

Vaatelevisaadete jaoks on vaja järgmisi seadmeid:

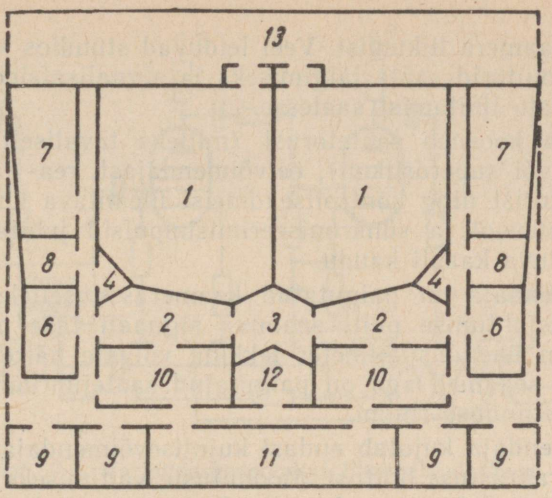
1) vaatelevikeskuses paiknevad stuudioseadmed, mille hulka kuuluvad ka seadmed saadete salvestamiseks ja taasesitamiseks;
2) liikuvad ülekandejaamad;
3) releeliinid — keskuste vahel saadete vahetamiseks (ka saatjate kavaga varustamiseks);
4) saatjad.

7-1. Kujutisekanal

Kujutisesignaal tekitatakse vaatelevikeskuses ehk televisioonimajas, mis sisaldab saateks vajalikke ruume ja abiruume. Peale televisioonitehniliste saateseadmete leidub seal veel lavastusvahendeid ja mitmesuguseid muid seadmeid (joon. 7-1).

Elavsaated ehk nn. stuudiosaated luuakse televisioonikeskuse stuudios. Viimase maht sõltub esinejate ja esitatavate lavapiltide arvust. Stuudiotena kasutatakse sajast kuni tuhandete ruutmeetriteni ulatuva põrandapinnaga ruume. Stuudiote arv sõltub saadete mahust ja arvust ning nende nõutavast mitmekesisusest.

Stuudio peab vastama teatud tehnilistele nõuetele. Ta peab omama head heliisolatsiooni ja teatud akustilisi omadusi. Stuudio peab olema varustatud tehiskliima seadmega (mis säilitab seal nõutud temperatuuri ja õhuniiskust) ning ventilatsiooniga, olema sisustatud eriliste valgustusseadmetega ning lavaseadeldistega ja muu vajalikuga. Stuudio *1* juurde kuulub tema lahutamata osana rida kõrvalruume, nagu näitejuhi *2* ja helijuhi ehk režissööride ruumid (foonikad) *3* ja valgustaja ruum *4*. Need kõik paiknevad üksteise vahetus läheduses ja on omavahel ning



Joon. 7-1. Televisioonimaja plaan.

stuudioga ühendatud helikindlate vaateakendega. Nende kaudu jälgivad näitejuhid stuudios viibijate tegevust ja annavad operaatoritele käsklusside kaudu vajalikke korraldusi. Selleks kannavad operaatorid stuudios peatelefone. Sidekanalina kasutatakse käsklussides kas lühilaine-raadiokanalit või helisageduslikul kiirgusel toimivat madalsageduskanalit. Viimase puhul on peatelefonid varustatud pooljuhttrioodidega võimendajaga.

Suuremas vaatelevikeskuses on mitu stuudiot koos juurdekuuluvate kõrvalruumide ja sisustusega. Peale nimetatud ruumide leiduvad televisioonimajas veel kaamerate hoiuruum, filmisaateruumid *6*, filmide vaatamise ja monteerimise ruumid *7*, *8*, samuti ruumid, kus toimub kujutise ja heli salvestamine ja taastamine *9*, ning dekoratsioonide ruumid *13*.

Lisaks ülalloetletutele leiduvad veel ruumid stuudio tehnilise aparatuuri paigutamiseks *10* ja tehniline keskus *11*. Kaadritaguseks teadustamiseks on ette nähtud diktoristuudio *12*.

Televisioonitrakti saateosa lihtsustatud lahterskeem on toodud joonisel 7-2.

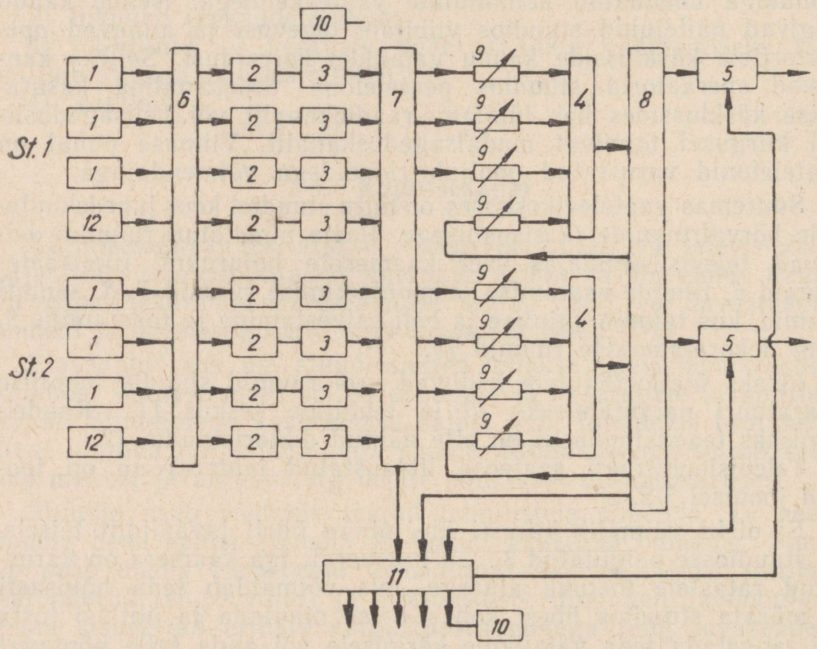
Et oleks võimalik kiiresti üle minna ühelt lavapildilt teisele, on stuudiosse paigutatud 3 . . . 4 kaamerat. Iga kaamera on varustatud ratastele toetuva alusega, mis võimaldab teda hõlpsasti ja mürata stuudios ühest kohast teise nihutada ja ühtlasi tõsta või langetada teda vajalikule kõrgusele või anda talle nõutavat kallet. Kaamera üles-alla liigutamine toimub vastava elektrimootori abil. Kõik ühendusjuhtmed kaamera ja paiksete seadmete vahel on koondatud mitmesooneliseks painduvaks kaabliks, mis

ei takista kaamera liikumist. Veel leiduvad stuudios kontrollseadmed ehk monitorid saate jälgimiseks ja signalisatsioon, mis näitab kaamerate lülitamist saatesse.

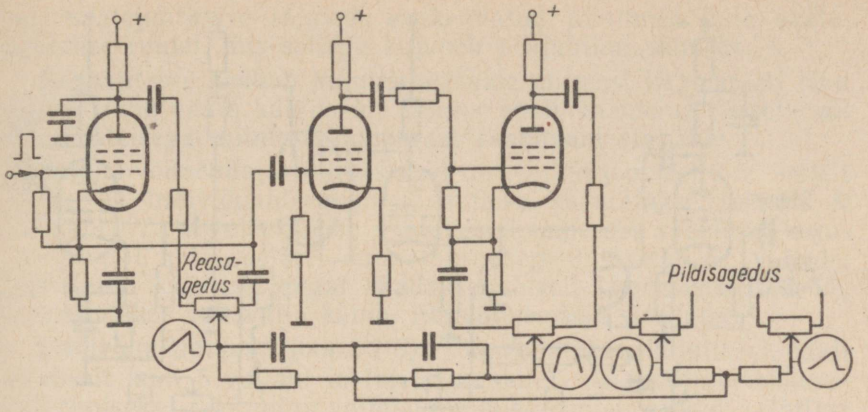
Kaamera koosneb saatetorust (milleks tavaliselt on superikonoskoop või superortikon), eelvõimendajast, rea- ja pildihälvitusgeneraatorist ning kontrollseadmeist üleantava kujutise jälgimiseks. Toitevool ja sünkroniseerimisimpulsid juhitakse kaamerasse painduva kaabli kaudu.

Eelvõimendaja on paigutatud kaamerasse selleks, et kaabli kaudu saatejuhtimise pulti saabuva signaali tase oleks tunduvalt kõrgem ühendusjuhtmetes tekkida võivate häirete tasemest. Kõik muud seadmed aga on paigutatud saatejuhtimise ruumi ja tehnilise teeninduse ruumi.

Eelvõimendaja kujutab endast kujutisevõimendajat, mis sisaldab ka müraärastuse lülitust. Moonutuste vältimiseks kasutatakse katoodväljet ja sobitatavat koaksiaalkaablit, mille kaudu kujutisesignaal juhitakse kompenseerimis- ehk varjundussignaali generaatorisse (joon. 7-3). Viimane tekitab pildi- ja realaotusimpuls-



Joon. 7-2. Televisioonitrakti lihtsustatud lahterskeem:
1 — kaamera, *2* — varjundusgeneraator, *3* — vahevõimendaja, *4* — segustusvõimendaja, *5* — liinivõimendaja, *6* — kaamerate kommuteerimisseade, *7* — kanalite kommuteerimisseade, *8* — liinivõimendajate kommuteerimisseade, *9* — segustid, *10* — kontrollseadmed, *11* — kontrollseadmete kommuteerija, *12* — kinokaamera.



Joon. 7-3. Varjundusgeneraatori lihtsustatud skeem.

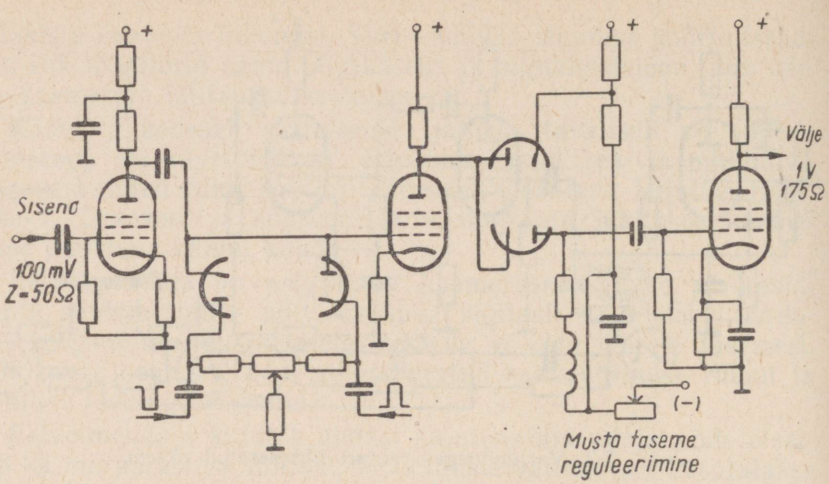
sidega sünkroonseid saehamba-kujulisi paraboolseid ja siinuselisi pingeid. Kompenseerimissignaali generaator asub saatejuhtimise puldis. Tema rea- ja pildikompenseerimisregulaatorite (ehk varjunduse regulaatorite) abil on võimalik muuta nii hammas- kui ka paraboolpingete amplituudi ja polaarsust ning samuti ka siinuseliste pingete amplituudi ja faasi. Kõik need pinged segustatakse ja generaatori väljes nad liituvad kujutisesignaaliga. Mainitud reguleerimisi sobivalt kooskõlastades võib musta tähni põhjustava pinge kujutisesignaalis peaaegu täielikult kaotada.

Ikonoskoobi kasutamisel sõltuvad kompenseerimissignaali soodsaima reguleerimise tingimused mitte ainult saatetoru omadustest, vaid ka saates olevate esemete kujust ja valgustamisest. Seetõttu tuleb selle signaali komponente saate kestel peaaegu lakkamatult reguleerida.

Pärast eelvõimendust satub kujutisesignaal vahevõimendajasse (joon. 7-4). Siin teda võimendatakse tavaliselt amplituudini 0,1 . . . 1 V. Seejärel segustatakse temaga kaks lisapinget: kustutusimpulsside pinge — kiire kustutamiseks vastuvõtutorus tagasiliikumisel ja musta tähni kompenseeriva signaali pinge.

Vahevõimendajas toimub ka kujutisesignaali võimenduse reguleerimine, mis ühtlasi määrab üleantava kujutise kontrastsuse. Siin toimub vastava eelpinge abil ka kujutisesignaali amplituudi reguleerimine, millega määratakse kindlaks üleantava kujutise keskmine heledus.

Vahevõimendajaga on ühendatud televisioonitraktis sisalduvad kontrollseadmed — monitor kujutise jälgimiseks ja kaks ostsillograafi — üks rea- ja teine pildisünkroniseerimisimpulsside ning kujutisesignaali jälgimiseks.



Joon. 7-4. Vahevõimendaja lihtsustatud skeem.

Monitore on kahesuguseid: ühed võimaldavad jälgida televisioonisignaali osalisena, teised aga täielikuna. Esimest liiki monitore kasutatakse kujutise jälgimiseks kaamerajuhtmetelt. Sellisesse kontrollseadmesse on vaja sisestada peale kujutisesignaali veel ka rea- ja pildisünkroniseerimisimpulsid.

Teist liiki monitore kasutatakse kujutise kontrollimiseks enne tema suunamist saatjasse. Sellise monitori sisendisse on vaja juhtida ainult televisioonisignaal selle täielikus koostises. Selline monitor kujutab televiisorit, millel puuduvad kõrgsagedus- ja heliosa.

Vahevõimendajale järgneb ümberlülitamis- ehk vaheväli, kus on võimalik vajaduse järgi lülitada segustite sisendeile kaameraid koos kompenseerimissignaali regulaatorite ja vahevõimendajatega. Kaamerakaablid lõpevad saatejuhtimise ruumis vastavate pistikutega, mille abil saabki kaameraid lülitada soovitud kanalitesse. Väiksemates vaatelevikeskustes asendavad vahevõimendajatele järgnevat vahevälja releed, mis võimaldab kaamerajuhtmeid lülitada vastava segustiga.

Segustite väljed on ühendatud segustivõimendajatega. Viimaste väljepinge suunatakse liinivõimendajate ümberlülitamisseadmesse, mis võimaldab lülitada segustivõimendaja välje liinivõimendaja sisendiga kas käsitsi või automaatselt. Peale selle võimaldab liinivõimendajate ümberlülitamisseade kas käsitsi või automaatselt lülitada antud saatejuhtimise ruumis oleva segustivõimendaja välje mõne teise saatejuhtimise ruumi juhtimispuldil oleva segusti sisendiga. See loob võimaluse koondada üheaegselt mitmes stuudios toimuva saate ja nende stuudiote juurde kuulu-

vate saatejuhtimise sõlmede keskendatud juhtimise ühte saatejuhtimise ruumi, mis sellega kujuneb peajuhtimissõlmeks.

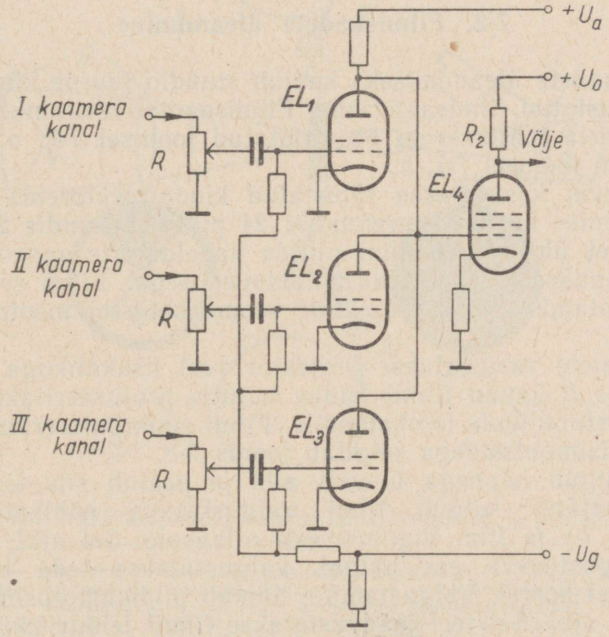
Segustitesse saabub kujutisesignaale mitmest kaamerast. Nad võimaldavad saate käigus üle minna ühelt kaameralt teisele või liita üksteisega mitmest kaamerast saabuvaid signaale.

Segustivõimendaja lülitusskeem on toodud joonisel 7-5. Sellelt näeme, et individuaalsegustiga, milleks kasutatakse takistit R ja lampi EL_1 reguleeritakse vastavast kaamerast saabuvat kujutisesignaali, mis seejärel suunatakse segustuslambi EL_4 võrele. Segustatud kujutisesignaal saadakse ühiselt koormustakistilt R_2 ja suunatakse vahevälja kaudu liinivõimendaja sisendisse.

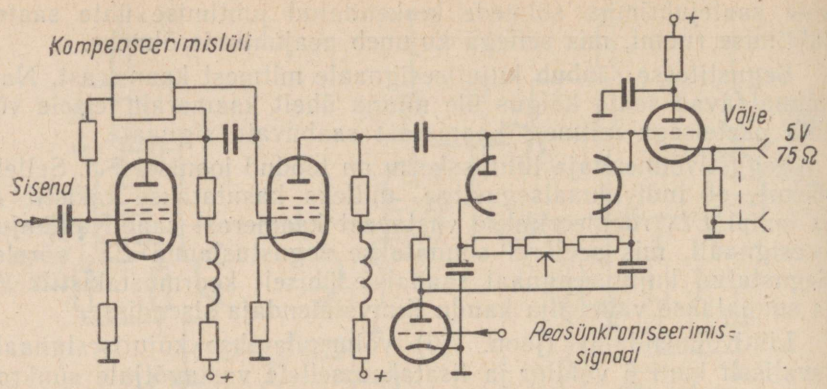
Liinivõimendajas (joon. 7-6) võimendatakse kujutisesignaali tavaliselt kuni 5 voldini ja lisatakse sellele vastuvõtjate sünkroniseerimiseks rea- ning pildisünkroniseerimisimpulsid. Ühtlasi säilitab liinivõimendaja automaatselt väljepinge taset ja ulatust.

Liinivõimendajast väljub täielik televisioonisignaal (vt. joon. 2-11), mis juhitakse koaksiaalkaabliga saatjasse. Kui saatja asub televisioonimajast kaugemal kui 500 m, siis ehitatakse televisioonimaja ja saatja vahele raadioreleeliin (vt. joon. 7-18).

Kontroll-, võimendus- ja kompenseerimissignaalide reguleerimisseadmed paiknevad saatejuhtimise puldis. Saadet on võimalik



Joon. 7-5. Segustusvõimendaja skeem.



Joon. 7-6. Liinivõimendaja lihtsustatud skeem.

kontrollida ka sellekohaste seadmetega, mis koosnevad reas ruumides leiduvatest monitoridest, valjuhääldajatest ja valimisseadmest ning võimaldavad jälgida saadet kõigist eespool nimetatud punktidest saatetraktis, välja arvatud kaamera eelvõimendaja väljelt.

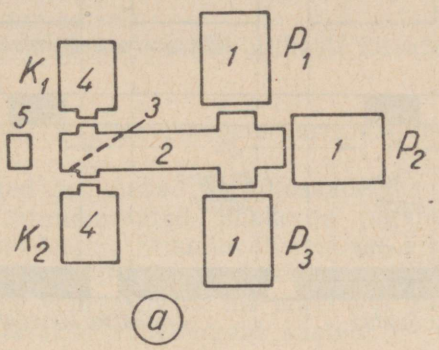
7-2. Filmisaadete üleandmine

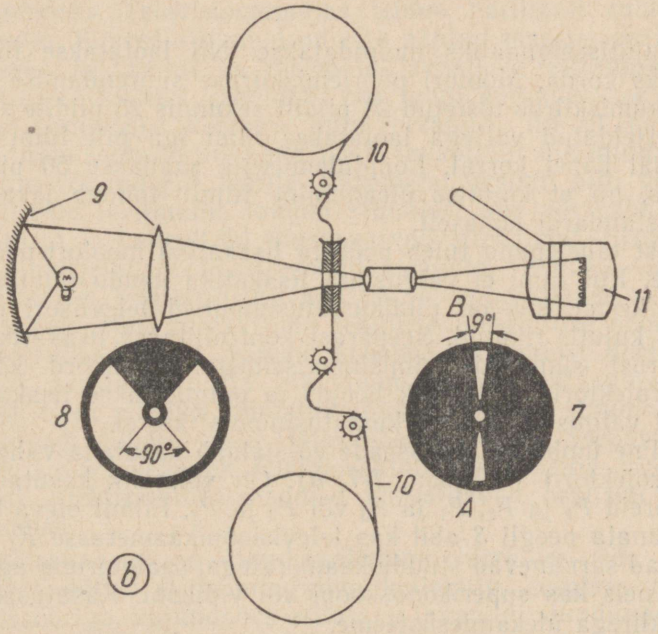
Filmisaadete üleandmiseks kuulub stuudio juurde kinoaparaatidega sisustatud filmisaateruum. Filmisaadete levitamiseks vajalike seadmete lahterskeem on kujutatud joonisel 7-7, *a* ja põhimõtteskeem joonisel 7-7, *b*.

Vaatelevis kasutatakse täiustatud kinoprojektoreid. Neis on filmi liikumise kiirust suurendatud 24 pildilt sekundis 25 pildile sekundis, et ühtlustada filmi piltide vaheldumise sagedust televisioonistandardis ettenähtud pildisagedusega. Filmi sellise kiiruse saavutamiseks on projektori veomehhanismi mootor ümber ehitatud.

Peale selle varustatakse projektor veel lisakatikuga 7, mille avade *A* ja *B* kaudu filmil leiduv kujutis projitseeritakse saatetoru valgustundlikule fotokatoodile. Filmi sünkroniseerimist sünkroniseerimisimpulssidega selgitab joonis 7-8.

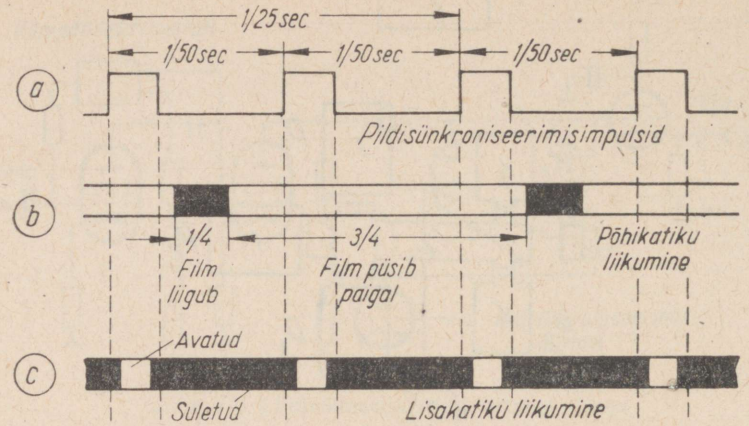
Film liigub hüppega ülevalt alla ja peatub siis teatud aja vältel. Seejärel sulgub filmi valgustusava põhikatikuga 8 (joon. 7-7, *b*) ja film liigub uuesti allapoole. Sel ajal, mil film püsib valgustusava ees paigal, valgustatakse teda lisakatiku kaudu kahel korral. Valgustamine toimub pildikustutusimpulsside lähetamise ajal. Sel teel jäädvustatakse filmil leiduv kujutis saatetoru mosaiigile, kust ta pildilaotuse ajal saatetoru elektronkiire





Joon. 7-7. Filmisaateaparatuuri lahterskeem (*a*) ja põhimõtteskeem (*b*):

1 — projektor, *2* — optilised ümberlülitamisseadmed, *3* — peegel kujutise suunamiseks soovitud kaamerasse, *4* — televisioonikaamerad, *5* — alloskoop, *6* — filmisaate automaatse juhtimise seadmed, *7* — lisakatik, *8* — katik, *9* — projektsiooniseade, *10* — film, *11* — kineskoop.



Joon. 7-8. Filmiprojektori sünkroniseerimist käsitleva teksti juurde.
a — pildikustutusimpulsid, *b* — põhikatiku avatud ja suletud oleku kestus, *c* — lisakatiku avatud ja suletud oleku kestus.

poolt kujutisesignaaliks muundatakse. Nii laotatakse filmi iga pilti kaks korda. Mootori pöörlemiskiiruse suurendamise teel on filmi liikumiskiirus tõstetud 24 pildilt sekundis 25 pildile sekundis ja eelkirjeldatud võttega laotatakse filmi iga pilt filmi paigalseisu ajal kahel korral. Lõpptulemusena saadakse 50 pildivälja sekundis, nii et kujutise üleandmine filmilt toimub ikkagi televisioonistandardi kohaselt.

Erilist tähelepanu tuleb pöörata lisakatiku mootori pöörlemiskiirusele. Kui filmi ei valgustata lisakatiku kaudu pildikustutusimpulsi kestel, siis on pildikustutusimpulsid televiisori ekraanil näha ja kujutis rikutud. Seepärast kontrollitakse lisakatiku pöörlemiskiirust sünkroniseerimisimpulssidega. Mõnikord kõrvaldatakse projektorist põhikatik hoopis ja paigutatakse lisakatik selliselt, et valgus läbib teda kustutusimpulsi kestel.

Optiline ümberlülitamisseade võimaldab kasutada vaheldumisi mitut projektorit (vt. joon. 7-7, *a*). On võimalik kasutada koos projektoreid P_1 ja P_2, P_1 ja P_3 või P_2 ja P_3. Filmil oleva kujutise võib suunata peegli *3* abil kas televisioonikaamerasse K_1 või K_2. Kaamerad sarnanevad stuudiokaameratega, saatetoruna aga kasutatakse neis kas superikonoskoopi või vidikoni. Kasutusel on ka jooksevkiirega ülekandesüsteeme.

Filmisaadete levitamiseks kasutatavate seadmete hulka kuulub tavaliselt ka alloskoop. See kujutab projektsiooniseadet, millesse võib paigutada tavalise filmi üksikpildi, et seda vastava lambi abil projitseerida kaamera saatetoru mosaiigile. Alloskoobiga on võimalik levitada häälestustabelit või näiteks mingit saatesse kuuluvat pealkirja.

Filmisaate automaatse juhtimise seade võimaldab ühel projektoril oleva filmiosa lõppemisel automaatselt käivitada teise projektori. Mitmeosalise filmi korral on ainult vaja järgmise filmi osa teisel projektoril ette valmistada. Vajalikul hetkel käivitub projektor automaatselt.

Filmisaadetes leiab kasutamist niihästi kitsas- kui ka laifilm.

7-3. Vaatelevisaadete korraldamine

Vaatelevisaated jagunevad stuudiosaadeteks ja stuudiovälisteks saadeteks. Stuudiosaated omakorda jagunevad elavsaadeteks ja taastussaadeteks. Stuudiovälistest on liikuvjaamaga üleantavad saated tavaliselt elavsaadeteks, releeliinidelt vastu võetud saadetes aga võib esineda nii elav- kui ka taastussaateid. Sageli aga levitatakse vahelduvaid saateid — enamasti vaheldumisi elav- ja taastussaateid.

Vaatelevisaate põhiliseks loomispaigaks on stuudio. Stuudiot kasutatakse igas saates; kui mitte rohkem, siis kas või ainult teadustamiseks. Televisioonimajas leidub harilikult rohkem kui üks stuudio. Suured stuudiod on ette nähtud massistseenide ettekandmiseks ja samuti ka pikemate lavastuste esitamiseks, kus rida lavapilte kiiresti vaheldub. Sel juhul kujundatakse ühte ja samasse stuudiosse korraga mitu lavapilti, nii et kaamerate ümberlülitamisega on võimalik ühelt lavapildilt üle minna teisele lavapildile või mingile tiitrile. Vaheaega, üksikut pilti vms. näitavate tiitrite levitamine toimub stuudiost ühe või kahe kaameraga. Tiitrid ja vahepildid illustreerivad ettekannet. Eriti vajalik on see olukirjelduste, illustreeritud loengute, vestluste eksponaatide näitamisel, vaateleviringvaadetes ja reportaažides.

Vaatelevisaated võivad oma tehnilise ülesehituse poolest olla väga keerulised. Nad võivad koosneda stuudiost levitatavate elavsaate, taastussaate ja liikuvjaamaga üle antavatest saatelõikudest. Seni puudub võimalus sünkroniseerida stuudiosaate ja liikuvjaamast tuleva saate televisioonisignaali. Seepärast pole võimalik sujuv üleminek stuudiosaatelt liikuvjaama saatele või vastupidi. Elektronlülitusseadmed kõrvaldavad osaliselt nimetatud puuduse.

Stuudiosaadetel on stuudiovälistega võrreldes rida eeliseid, eelkõige seetõttu, et loominguline kollektiiv, eesotsas näitejuhi ehk režissööriga, kujundades esitatava lavapildi stuudiosse, püüab siin luua võimalikult soodsad tingimused vaatelevisaate ettekandmiseks ja ära kasutada kõiki televisioonile omaseid tehnilisi võimalusi, et pakkuda televiisorivaatajaile võimalikult paremat kujutist ja helitausta.

Kogu kujundusliku osa saatest loovad lavatöötajad stuudio kunstnike valve all. Et ettekanne toimuks kõrgel kunstilisel tase-

mel, on vaja suurt stuudiot, mis mahutaks kõik dekoratsioonid ja lavaseadmed, tegelased, pealkirjade näitamise seadmed, samuti kujutise üleandmise vahendid, nagu ülesvõtteaparaadid, teisaldatavad ja kohakindlad mikrofonid ning valgustusseadmed. Seejuures on vaja kõik need vahendid paigutada nii, et üleminekud toimuksid kiiresti, mis on vajalik kogu saate sujuvaks ja rütmiliseks kulgemiseks.

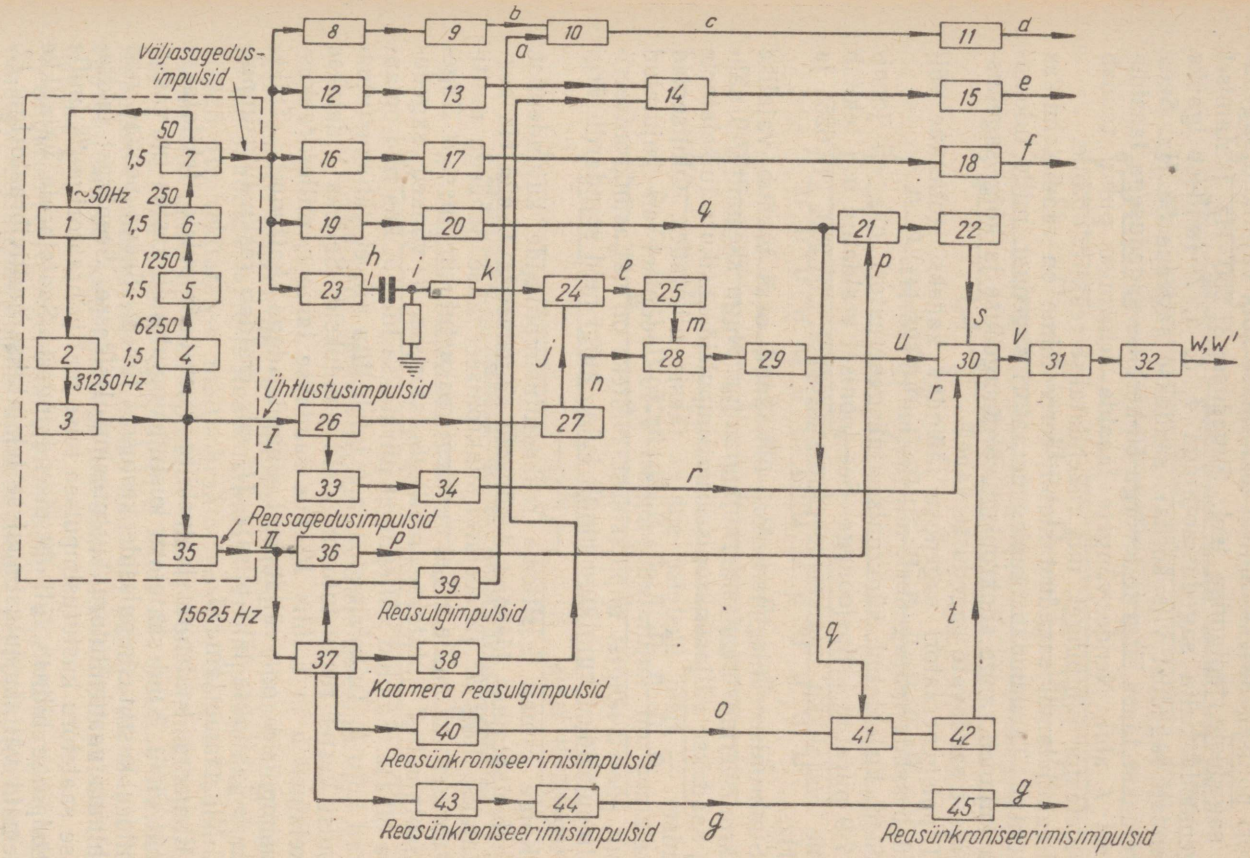
Igale stuudiosaatele eelnevad proovid. Olenevalt saate tehnilisest ja kunstilisest vajadusest korraldatakse algul tehnilisi proove. Enne saadet aga toimub täielik nn. «kaameraproov», mil kasutatakse kõiki vahendeid, mis antud saate esitamiseks on vajalikud. Niisugune proov vastab teatrietenduse peaproovile.

Režissöör ja kaameraoperaatorid määravad proovide käigus kindlaks lavastusse kuuluva eseme ja esineja asukoha ning suuruse üleantavas kujutises. Režissööri partituuri märgitakse ära kõik ümberlülitamised ja üleminekud ühelt kaameralt teisele. Iga saade teeb proovide kestel läbi «monteerimise» ja katsetamise perioodi, mille käigus selgitatakse, kas ta sisu, kunstiline külg ja organisatsiooniline struktuur on leidnud õige lahenduse. Samuti leitakse proovide käigus nõutav valgustustugevus ja valguse varjundid. Kui on vaja, korraldatakse veel erilisi valgustuse proove. Proovide ajal jälgivad kujutist tehnilises keskuses tehnikaala töötajad, kes vastutavad selle tehnilise kvaliteedi eest.

7-4. Sünkroniseerimisimpulsside tekitamine

Kõik vajalikud sünkroniseerimis- ja kustutusimpulsid tekitatakse sünkroniseerimisgeneraatoriga, mille lahterskeem on antud joonisel 7-9. See generaator kooskõlastab kogu lülituse tegutsemist ka toitevõrgu sagedusega. Samuti toodab sünkroniseerimisgeneraator ka saatetoru juhtelektroodile juhitavaid kustutusimpulsse, mis erinevad teistest oma mõnevõrra väiksema kestusega. Need impulsid väldivad saatetoru mosaiigil laotuskiire tagasiliikumisel joonte tekkimist, mis põhjustaksid üleantavale kujutisele heledate ribade ilmumist. Peale selle tekitab sünkroniseerimisgeneraator veel nn. rea- ja pildijuhtimpulsse, mis tüürivad vastavate laotusgeneraatorite tegutsemist. Seega juhib sünkroniseerimisgeneraator mitte ainult saateseadmete kooskõlastatud tööd, vaid kogu televisiooni levivõrgu tööd koos televisioonivastuvõtjaga. Sünkroniseerimisgeneraatori töö põhimõte on alljärgnev. Joonisel 7-9 on kujutatud 625-realisele standardile arvestatud sünkroniseerimisgeneraatori lahterskeem. See generaator koosneb neljast põhiosast: täppisgeneraatorist, sagedusjaotajast, multivibraatorist, tuigete tekitajast ja signaalide kujundajast.

Täppisgeneraator *2* tekitab võnkeid kahekordse reasagedu-



Joon. 7-9. Sünkroniseerimisgeneraatori lahterskeem.

sega, s. t. sagedusega 31 250 Hz, mis on sünkroniseerimisgeneraatori põhisageduseks. Sellest tekitatakse kõik vajalikud sagedused sageduste jaotamise teel. Sageduse 31 250 Hz jaotamisel järgemööda nelja sagedusjaotajaga *4*, *5*, *6*, *7* (millest igaüks vähendab sagedust viis korda), saadakse sagedus 50 Hz. Seda võrreldakse faasi järgi toitevõrgu 50-hertsise sagedusega faasidetektori *1* abil. Nende võngete faaside erinemise puhul toodab faasidetektor juhtpinget, mis rakendatakse reaktiivlambile.

Reaktiivlambi sagedust stabiliseeriv toime on raadiotehnikas üldtuntud. Ta muudab täppisgeneraatori sagedust, mille tulemusena kujuneb range sünkronism võrgusageduse ja kõigi sagedusjaotajast saadavate sageduste vahel.

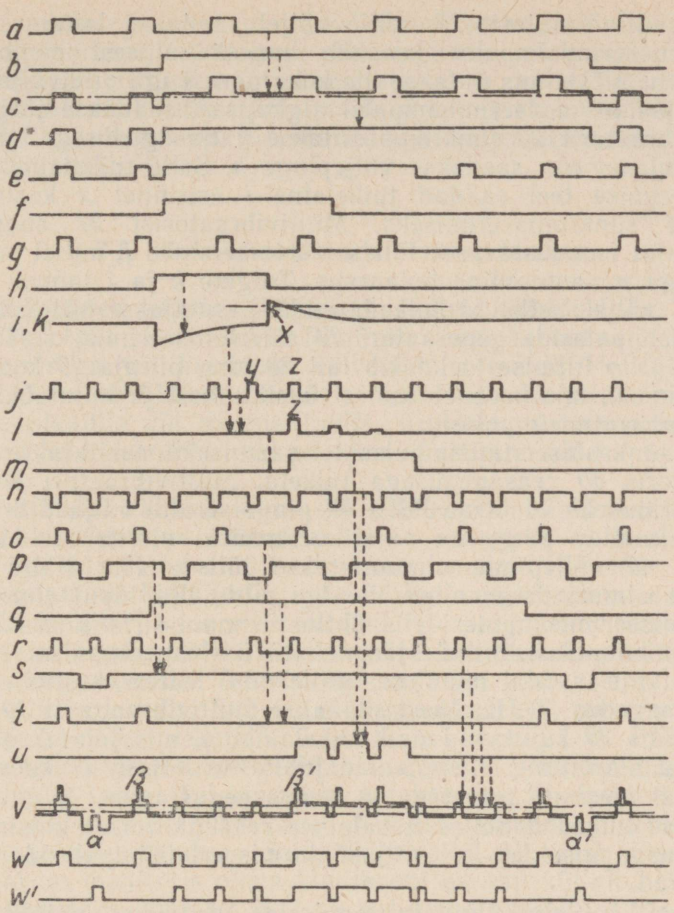
Täppisgeneraatori sageduse täiendav kaheks jaotamine võimaldab saada reasagedust, milleks on 16 625 Hz.

Seni kirjeldatud sünkroniseerimisgeneraatori osa on joonisel 7-9 piiratud kriipsjoonega. See joonisel eraldatud osa tekitab kolme vajalikku sünkroniseerimissagedust: 31 250, 15 625 ja 50 Hz.

Sünkroniseerimisgeneraatori ülejäänud osas toimub vajalike sünkroniseerimisimpulsside kujundamine. Nagu skeemilt 7-9 nähtub, saadakse väljasünkroniseerimisimpulsid üksikute tuikelainete liitmisel — neid üksteise suhtes faasis nihutades. Olulisemad tuikelained on kujutatud joonisel 7-10. Joonisel on kujutatud ainult pooled kõigist impulssidest. Näiteks on väljasünkroniseerimisimpulssidest kujutatud ainult kolm, kuigi neid standardi järgi on tegelikult kuus.

Kõige esmalt käsitleme reakustutusimpulsside kujundamist. Sagedusjaotajast *35* saadud võnkeid sagedusega 15 626 Hz aeglustatakse lülis *37* ja seejärel sünkroniseeritakse nendega multivibraatoreid *39*, mille väljel saamegi reakustutusimpulsse *a*. Sagedusjaotajast *7* juhitakse multivibraatorisse *8* võnked sagedusega 50 Hz. Saadud väljepinget piiratakse lülis *9*, kus nad omandavad kuju *b*. Tuikelained *a* ja *b* tuleb liita nii, et väljakustutusimpulsi kestel reakustutusimpulsid puuduksid. Selleks liidetakse tuikelained *a* ja *b* lülis *10*, kus saadakse laine *c*, milles reakustutusimpulsid on väljakustutusimpulssidega kattunud. Tuikelaine *c* juhitakse läbi piiraja *11*, mis eraldab reakustutusimpulsid. Nii saame laine *d*.

Kaamera saatetoru laotuskiire kustutusimpulsid tekitatakse samal viisil. Kuid saatetoru kustutusimpulsside kestus on vastuvõtutoru kustutusimpulsside kestusest lühem. Seega peavad nad mahtuma vastuvõtutoru kustutusimpulssidesse. Seepärast tekitatakse saatetoru kustutusimpulsse teise multivibraatoriga *38*, mille sisendpinge hilineb lüli *39* sisendpingest. Saatetorule vajalikke lühemaid väljakustutusimpulsse tekitatakse multivibraatoriga *12*. Mõlemad lained liidetakse ja piiratuna lülides *14* ning *15* saadakse laine *e*. Saatetoru väljasünkroniseerimisimpulsse tekita-



Joon. 7-10. Sünkroniseerimisgeneraatori lainekujud.

takse multivibraatoriga *16*. Sünkroniseerides viimast sagedusega 50 Hz saadakse laine *f*. Reasünkroniseerimisimpulsse sagedusega 15 625 Hz tekitatakse multivibraatoriga *43*. Sobiva faasinihke saamiseks saate- ja vastuvõtutoru reasünkroniseerimisimpulsside vahel võetakse lüli *43* sisendpinge lülist *37* eraldi väljavõttelt. Impulsside piiramiseks juhitakse nad läbi piiraja *44*. Edasi läbivad nad lüli *45*, kust saamegi reasünkroniseerimisimpulsse tuikelainena *g*.

Sünkroniseerimisgeneraatori ülejäänud osa kasutatakse väljasünkroniseerimisimpulsside kujundamiseks eespoolkirjeldatud tuikelainete liitmise teel. Selleks aeglustatakse lülis *26* kahekordse reasagedusega (31 250 Hz) impulsse ja sünkroniseeritakse nen-

dega multivibraatorit *27*, mille väljel saadakse laine *n*. Väljasünkroniseerimisimpulss koosneb kuuest sellisest sambakesest (vt. joon. 2-11), mis antakse üle kohe pärast iga pildivälja.

Väljasünkroniseerimisimpulsi algkuju *m* saadakse järgmiselt: multivibraatorit *23* sünkroniseeritakse väljasagedusega (50 Hz), mille tulemusena saadakse väljepinge *h*. Selle tuikelaine *h* diferentseerimise teel saadud tuikelaine *i* esirinnet *x* kasutatakse lüli *24* sünkroniseerimiseks. Multivibraatorist *27* suunatakse segustajat moodustavasse lülisse *24* tuikelained *j*, millel on tuikelainetega *n* vastupidine polaarsus. Tuigete *k* ja *j* toimel tekivad lüli *24* väljel hetkel *z* tuiked, mida kasutatakse väljasünkroniseerimisimpulsside generaatori *24* sünkroniseerimiseks. Tuikelainete *m* ja *n* liitmise teel tekib lüli *28* ning piiraja *29* koostoimel tuikelaine *u*, mis koosneb kuuest üksiktuikest ja kujutabki väljasünkroniseerimisimpulssi.

Reasünkroniseerimisimpulsside saamiseks tekitatakse multivibraatoris *40* reasagedusega tuikeid. Multivibraatori *40* sünkroniseerimiseks võetakse lülist *37* pinget eraldi väljavõtte kaudu, millelt saadav pinge on vajalikul määral viivitatud. Multivibraatori *40* väljepinge *o* suunatakse lülisse *41*. Nagu teada, antakse standardsignaaliga üle iga pildivälja lõpul enne väljasünkroniseerimisimpulssi viis ühtlustusimpulssi, siis viis sünkroniseerimisimpulssi, millele järgneb 15 ühtlustusimpulssi.

On vaja saada impulsse, millel on teatud kestus ja seejuures sagedus 50 Hz. Need saadakse multivibraatorist *19*. Piiratuina lülis *20* kujutavad nad tuikelainet *q*, mis juhitakse lülisse *21*. Reasünkroniseerimisimpulsid juhitakse lülisse *41* koos väljasagedust omavate tuigetega *q*. Nende segustamisel ja piiramisel saadakse tuiked *t*. Selles tuikelaines reasünkroniseerimisimpulsid ühtlustusimpulsside ja väljasünkroniseerimisimpulsside kestel puuduvad.

Edasi käsitleme ühtlustusimpulsside tekitamist. Vajalikult viivitatud ja kahekordse reasagedusega tuiked saadakse lülist *26*. Nendega sünkroniseeritakse multivibraatorit *33*, mille väljepingeks on tuikelaine *r*. Multivibraatorit *36* sünkroniseeritakse reasagedusega 15 625 Hz, mille tulemusena saadakse väljepingena tuikelaine *p*. Liitnud lülide *21* ja *22* abil tuiked *p* ja *q*, saadakse tuikelaine *s*. Seni tekitatud tuiked *s*, *u*, *r* ja *t* liidetakse segustis *30*, ning saadakse tuikelaine *v*. Tuigete *s* ja *r* liitmisel saadud tuikelaines *v* asuvad ühtlustusimpulsid hammaste α ja α' vahel. Seega asub ühtlustusimpulss pildivälja kestel iga rea keskkohal. Tuikelainete *s* ja *t* liitmisel saadud lainel *v* on näha tippe β ja β'.

Joonist 7-10 jälgides näeme, et tuikelaine *r* impulsside esirinded määravad välja- ja reasünkroniseerimisimpulsside algused.

Tsükkellained *w* ja *w'* saadakse tuikelaine *v* piiramise teel ja kujutavad väljasünkroniseerimisimpulsse paaris- ning paarituarvulise pildivälja puhul.

Ühe pikkusega rea- ja pildisünkroniseerimisimpulsid suunatakse saatetorusse, teistsuguse pikkusega rea- ning pildisünkroniseerimisimpulsid aga kontrollseadmesse ja vahevõimendajasse. Vastuvõtjate sünkroniseerimisimpulsid suunatakse liinivõimendajasse, mille tulemusena liinivõimendaja väljes tekib täielik televisioonisignaal.

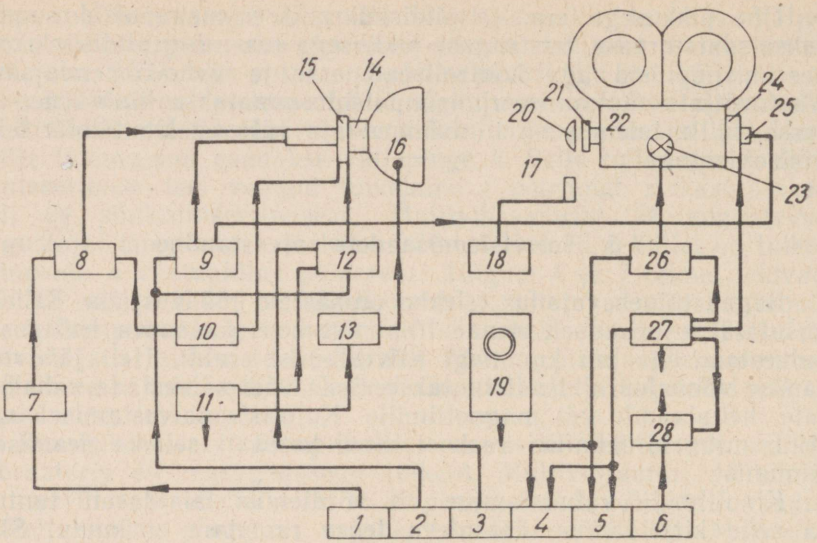
7-5. Televisioonisaadete salvestamine

Sageli esineb vajadus televisioonisaateid jäädvustada. Selleks kasutatakse peamiselt nende filmimist koos kaasneva helitausta salvestamisega või kummagi salvestamist eraldi. Heli jäädvustamise võimalusi üldiselt tuntakse. Seda võib salvestada vahakettale, heliplaadile või magnetlindile. Kujutiste salvestamisel aga tekib mitmeid tehnilisi raskusi. Seni kasutati selleks peamiselt filmimist.

Kinofilmide valmistamine on võrdlemisi laialdaselt tuntud ja selle kirjeldamine käesoleva teose raamisse ei kuulu. Siin on lühidalt käsitletud ainult televisioonisaadete filmimist.

Salvestamine kinofilmile. Televisiooni filmimiseks on sobiv kasutada monitori koos selle ekraani ette paigutatud filmikaameraga. Nagu teada, võtab filmikaamera hariliku filmimise puhul 24 ülesvõtet sekundis. Televisioonis aga on kasutusel pildisagedus 25 pilti sekundis. Selleks et filmikaameraga oleks võimalik võtta 25 ülesvõtet sekundis, kasutatakse mootori ja lindi ettenihutaja vahel vahemuhvi. Helitaustas selline pildisageduse muutus märgatav pole. Televisioonis antakse iga filmipildivälja üle kaks korda, salvestamisel aga jäetakse esimene poolpilt üles võtmata ja pildistatakse ainult teine pildiväli, sest teise poolpildi ajal on monitoris oleva kineskoobi ekraan küllalt hele ülesvõtte tegemiseks. Joonisel 7-11 on kujutatud käesoleval ajal kasutatava monitorilt filmimise seadme lahterskeem.

Televisioonimaja tehnilisest keskusest suunatakse kujutisesignaal pingega 1 volt paneeli *1*. Siit läbib ta segusti *7* ja kujutisevõimendaja *8* ning satub kineskoobi *16* katoodile. Pildisünkroniseerimisimpulsid juhitakse paneeli *2* kaudu pildi- ja reahälvitusgeneraatorisse *12* ning sealt hälvituspoolidesse *14*. Paneeli *3* kaudu juhitakse reasünkroniseerimisimpulsid reahälvitusgeneraatorisse *12*. Kineskoobi teravustuspooli *15* ergutatakse stabiliseeritud alalisvooluga, mida saadakse alaldajast *10*. Generaatoris *9* kujundatakse vastavad kustutusimpulsid, mis suunatakse kineskoopi *16*. Samast generaatorist suunatakse kustutusimpulssidega sarnanev signaal ka filmikaamera juhtimislülisse *25*, mis annab võimaluse säritada filmi kaameras kooskõlas kujutise ilmumisega kineskoobi ekraanile. Salvestusmonitoris kasutatakse eri tüüpi kineskoopi, mille ekraanil saadakse pilt mõõtmetega 127 × 170 mm



Joon. 7-11. Seade filmimiseks viideomonitorilt.

ning heledusega 45 . . . 50 millistilbi. Ekraani heleduse mõõtmiseks kasutatakse elektrilist valgusmõõtjat *18* koos fotoelemendiga *17*. Ostsilloskoop *19* on määratud kujutisesignaali ja sünkroniseerimisimpulsside kuju ning amplituudi kontrollimiseks. Filmikaamera *22* objektiivina *20* ja *21* kasutatakse objektiivi tüüp Ж-28.

Helisalvestus võib toimuda sellesama seadmega, kusjuures kasutatakse sünkroniseerimisseadet ja võimendajaid *26*, *27* ning *28*. Seadet toidetakse alaldajatest *11* ja *12*. Filmile pildistamine võib toimuda peegli abil ühelt salvestusmonitorilt mitme filmikaameraga.

Filmi ilmutamine ja kinnitamine sarnaneb filmi töötlemisega tavalisel kinofilmide valmistamisel. Kuid vaatelevi operatiivsuse suurendamiseks võib kasutada ka negatiivfilmi. Televiisorite ekraanil saadakse siiski positiivkujutis, sest televisioonikujutise kanali võimendusastmete arvu muutmisega saab soovi järgi valida, kas ekraanil ilmub positiiv- või negatiivkujutis.

Magnetiline salvestamine. Heli magnetilist salvestust tuntakse juba üle kolmekümne aasta ja kaasaegsed helisalvestusseadmed on arenenud nii täiuslikeks, et ringhäälingusaadetes on raske eristada elavsaateid magnetiliselt taastatud saadetest. Sellest järeldub, et magnetiliselt salvestatud heli kvaliteet võrdub täiel määral elavsaate kvaliteediga.

Eespool selgus, et 625-realise kujutise üleandmisel kujuneb sagedusriba laiuseks 5 MHz. Sellise laia sagedusriba salvestamine aga tekitab raskusi. On loodud küll mitu magnetilist salves-

tusviisi, kuid selleks vajalikud seadmed on senini veel küllalt keerulised ja kallid.

Allpool on lühidalt käsitletud laia sagedusriba magnetilise salvestamise põhimõtet, mis kõlbab televisioonisignaali salvestamiseks. Salvestatava sageduse ülempiiri määrab magnetlindi kiirus v ja salvestuspea õhupilu laius δ. Salvestatava laine pikkuse λ (mõõdetuna lindil mm-tes), magnetlindi kiiruse v (mm/sec) ja signaali sageduse f (Hz) vaheline seos väljendub järgmise valemiga:

$$f = \frac{v}{\lambda}. \qquad (7\text{-}1)$$

On teada, et magnetlindile salvestatava signaali lainepikkus lindil peab olema mõnevõrra suurem kui õhupilu laius. Kui näiteks magnetilise õhupilu laius on 0,015 mm, peab suurima sagedusega signaali laine pikkus lindil olema sel juhul vähemalt 0,03 mm. Sellise piluga salvestuspea puhul sõltub üleantav sagedus ainult magnetlindi kiirusest v. Teades, et üleantava sagedusriba laius on 5 MHz ja $\lambda = 0{,}03$ mm, leiame valemi (7-1) põhjal lindi nõutava liikumiskiiruse:

$$v = f\lambda = 5 \cdot 10^6 \cdot 0{,}03 = 15 \cdot 10^4 \text{ mm/sec}.$$

Sellist lindi liikumiskiirust on salvestusseadmes tegelikult väga raske saavutada. Tema vähendamiseks on rakendatud mitmesuguseid viise, milledest mõnda käsitletakse allpool.

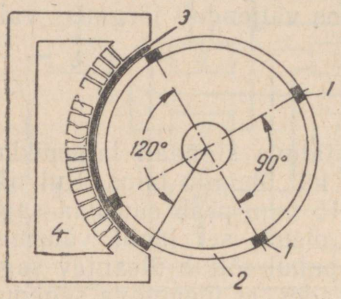
Ameerika Ühendriikides loodud Ampex-seadmes liigub magnetlint tavalistes heli salvestuseks kasutatavates magnetofonides esineva kiirusega, s. o. kiirusega 38,1 cm/sec. Kuid tavalise helisalvestuslindi asemel kasutatakse selles linti laiusega 50 mm. Heli salvestatakse piki linti, siin aga toimub signaali salvestamine põiki linti 240 korda sekundis. Neli salvestus- ja taastuspead *1* on paigutatud 50-mm läbimõõduga trumlile *2* (joon. 7-12). Trummel, mille telg on rööbiti lindi pikiteljega, teeb 14 400 pööret minutis.

Magnetlint *3* juhitakse päid kandvast pöörlevast trumlist mööda selliselt, et ta liibuks vastu trumlit selle 1/3 ümbermõõdu, s. o. 120° ulatuses. Selleks vajalik lindi kumerus saavutatakse vastava vaakuumseadme *4* abil, mis asetseb trumli vastasküljel. Sel teel säilib lindi liikumisel tema ja pöörleva trumli vahel jääv kaugus, mida on vaja salvestusel ja taastamisel moonutuste vältimiseks.

Kuna magnetlint liigub päid kandva pöörleva trumli teljega rööbiti, siis kantakse signaali magnetiline jälg lindile väikese kaldega (joon. 7-13). Päid kandva trumli pöörlemise joonkiirus on 37,7 m/sec. Nii saavutataksegi vajalik lindi kiirus, mis võimaldab televisioonisignaali salvestamist.

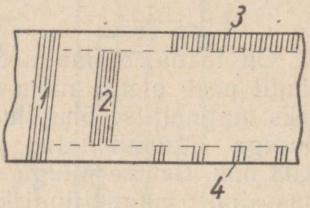
Trumlil asetsevad magnetpead on üksteisest nihutatud 90°

võrra. Kuna lint ümbritseb trumlit 120° ulatuses, siis esimene pea pole veel salvestust lindile lõpetanud, kui järgmine juba alustab salvestust. Seega kordub salvestus iga pöikrea alguses ja järgmise pöikrea lõpus. Lindi edasiliikumisel kustutatakse servadelt üleliigne salvestus ja kantakse sinna sünkroniseerimisimpulsid ning helitaust.



Joon. 7-12. Magnetilise kujutise salvestamise seadme «Ampex» peade komplekt:

1 — salvestuspea, *2* — peade trummel, *3* — magnetlint, *4* — vaakuumkamber.



Joon. 7-13. Magnetlint:

1 — pildisalvestus enne helisalvestust, *2* — pildisalvestus helisalvestusega (*3*) ja sünkroniseerimisimpulssidega (*4*).

Sellise salvestusviisi puuduseks on asjaolu, et sageli ei liigu lint salvestamisel ja taastamisel ühesuguse kiirusega, mistõttu pildiread ei satu enam üksteise suhtes õigesse asendisse ja tekib moonutus.

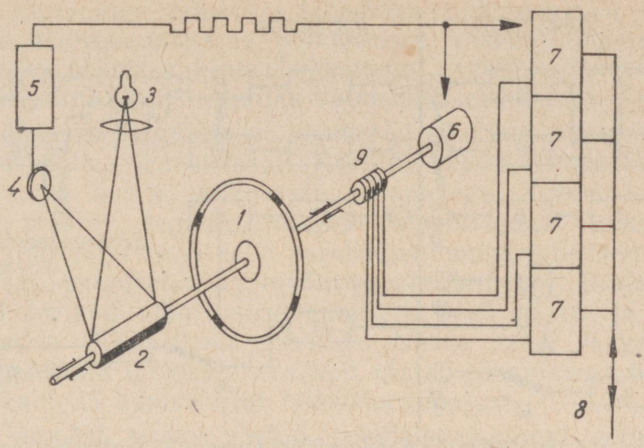
Kirjeldatud süsteemis saavutatakse lindi ühtlane kiirus lisaimpulsside abil. Nende tekitamiseks on magnetpäid kandva trumli *1* võllile lisatud veel teine väike trummel *2*, mis on värvitud ühelt poolt mustaks, teiselt poolt valgeks (joon. 7-14). Sellele trumlile suunatud valguskiir *3* peegeldub sealt fotoelemendile *4*, mille fotovool tüürib sünkroniseerimisimpulsside võimendajat *5*. Viimane omakorda jäädvustab lindile kujutise taastamiseks vajalikke sünkroniseerimisimpulsse sagedusega 240 Hz ja kontrollib mootori *6* pöörlemiskiirust ning lülitab nõutud hetkel sisse antud hetkel toimiva magnetpea jaoks vajaliku võimendaja *7*. Joonisel 7-15 on kujutatud Ampex-seadme osade paigutus.

Inglismaal on kasutamist leidnud ka nn. VERA-tüüpi[1] salvestusseade. Inglise televisioonistandard näeb ette kujutise üleandmist 405 reana pildis. Väiksemat ridade arvust tingitult läheb siin kujutise üleandmiseks vaja sagedusriba laiusega 3 MHz.

Joonisel 7-16 on toodud VERA-tüüpi magnetilise salvestusseadme lahterskeem.

Sellest selgub, et salvestus toimub magnetilindile jäädvustava

[1] VERA — Vision Electronic Recording Apparatur.

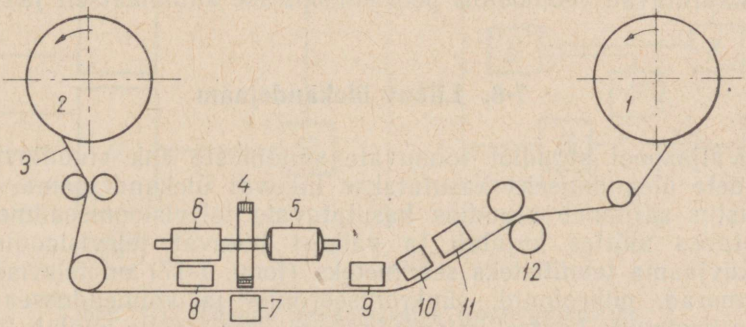


Joon. 7-14. Ampex-seadme põhimõtteskeem:

1 — salvestuspeade trummel, *2* — sünkroniseerimistrummel, *3* — valgusallikas, *4* — fotoelement, *5* — võimendaja, *6* — mootor, *7* — võimendusseadmed, *8* — välje, *9* — kommutaator.

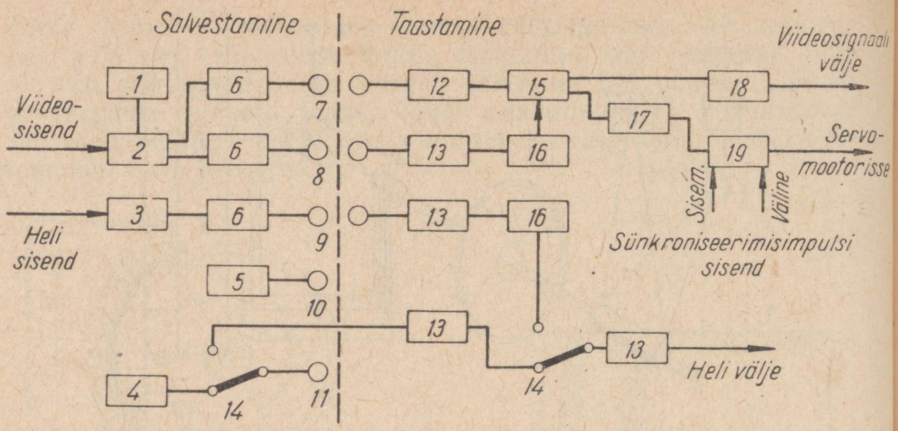
rajana kolme magnetpea abil. Kaks magnetpead on määratud kujutise salvestamiseks ja kolmas helitausta salvestamiseks. Peale selle kasutatakse veel märkimispead *11*. Kujutis salvestatakse sagedusribana 0...100 kHz ja sagedusribana 100 kHz kuni 3 MHz. Magnetlindi liikumiskiirus on 5 m/sec.

Sagedusribas 0...100 kHz toimub salvestamine sagedusmoduleeritult. Kujutise taastamisel sagedusmoduleeritud kujutisesignaali piiratakse, demoduleeritakse ja seejärel liidetakse kujutisesignaali kõrgsagedusriba moodustava signaaliga, mille järel saadaksegi täielik televisioonisignaal.



Joon. 7-15. Ampex-seadme osade paigutus:

1 ja *2* — kassetid, *3* — lint, *4* — magnetpead, *5* — mootor, *6* — sünkroniseerimistrummel, *7* — vaakuumkamber, *8* — fotoelement, *9* — kustutuspea, *10* — helisalvestuspea, *11* — sünkroniseerimisimpulsside salvestuspea, *12* — vedavrullid.



Joon. 7-16. VERA-tüüpi magnetiline kujutise salvestamise seade:

1 — sageduse deviatsiooni ja kandelaine mõõtja, *2* — sageduse jagaja ja modulaator, *3* — helisagedusmodulaator, *4* — prooviostsillaator, *5* — kustutusgeneraator, *6* — salvestusvõimendaja, *7* — kõrgsagedus-salvestuspea, *8* — madalsagedus-salvestuspea, *9* — helisalvestuspea, *10* — kustutuspea, *11* — märkimispea, *12* — eelvõimendaja piiraja, *13* — võimendaja, *14* — salvestus-taastuslüliti, *15* — segusti, *16* — detektor, *17* — sünkroniseerimissignaal, *18* — musta taseme piiraja ja sünkroniseerimisimpulsside regulaator, *19* — lindiveomehhanismi juhtseade.

Pärast televisioonisignaali madal- ja kõrgsagedusriba liitmist toimub rea- ja pildisünkroniseerimisimpulsside korrigeerimine ning musta taseme taastamine. Kirjeldatava salvestusseadmega on võimalik salvestada korraga ühele lindile 15-minutiline saade. Kahe salvestusseadme kasutamisel avaneb võimalus kestvate saadete salvestamiseks. Salvestuse ajal saab salvestatud kujutist jälgida monitorilt.

Lindiveomehhanismi sünkroniseeritakse toitevõrgu sagedusega ja sünkroniseerimisimpulssidega, mis erilise servomehhanismi abil säilitavad veomootori pöörlemiskiiruse automaatselt jäävana.

7-6. Liikuv ülekandejaam

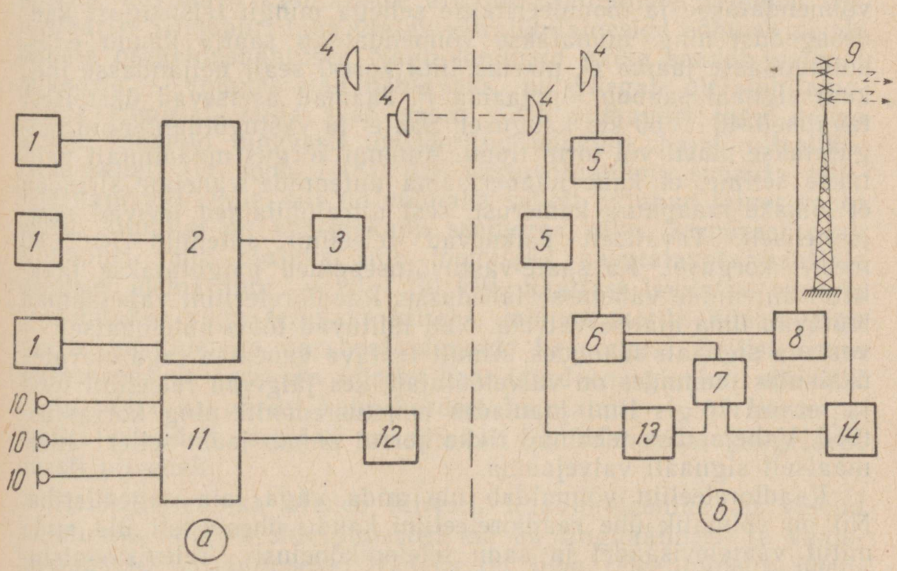
Väljaspool stuudiot toimuvate sündmuste ehk stuudioväliste saadete üleandmiseks kasutatakse liikuvat ülekandejaama. Selle sisustus sarnaneb stuudios kasutatavate televisiooniseadmetega. Teatavas mõttes kujutab ta väikest liikuvat televisioonimaja. Liikuvjaama tehnilisteks seadmeteks (joon. 7-17) on televisioonikaamerad, mikrofonid, sünkroniseerimis- ja võimendusseadmed koos vastavate kontrollimisseadmetega. Peale selle kuulub liikuvjaama koostisse ultralühilainesaatja koos kahe paraboolantenniga — üks kujutise-, teine helisignaalide saatmiseks. Liikuva ülekandejaama seadmed on paigutatud autobussi, millega neid

saab viia saatepaiga vahetusse lähedusse. Liikuvjaamast antakse saade üle televisioonimajas paiknevasse vastuvõtujaama. Seal asetseb kaks pööratavat paraboolantenni, antennivõimendaja ja vastuvõtuseadmed koos vajalike võimendusseadmetega.

Üleandmiseks paigutatakse kaamerad sündmuskohale — staadionile, väljakule või teatrisaali. Kaablite kaudu ühendatakse nad ülekandejaama bussis paiknevate seadmetega. Võimendatud ja vajalikul määral reguleeritud televisioonisignaal suunatakse ultralühilainesaatjasse ja selle paraboolantennist televisioonimaja antennimasti paigutatud vastuvõtu-paraboolantenni. Kuna ultralühilained levivad ainult sirgjooneliselt, peab saate- ja vastuvõtuantennide vahel olema silmside. Nende vahel ei tohi olla hooneid ega muid tõkkeid. Tavaliselt ulatab liikuvjaama tegevuspiirkond kuni 25 kilomeetrini televisioonimajast.

Liikuvjaamast vastu võetud televisioonisignaal suunatakse edasi televisioonisaatjasse. Ühtlasi aga juhitakse signaal ka televisioonimaja tehnilisse keskusse, kui toimub stuudiovälise saate kontrollimine ja vajalikul hetkel saatesse lülitamine.

Peale liikuvjaamade on kasutusel veel alalisi ja ajutisi vaatelevisaadete ülekandepunkte. Alalises ülekandepunktis leiduvad



Joon. 7-17. Liikuva ülekandejaama töö selgitamiseks:

a — ülekandejaam, *b* — televisioonimaja; *1* — kaamera, *2* — viideovõimendus- ja kontrollseadmed, *3* — ülekandejaama kujutisesaatja, *4* — paraboolantenn, *5* — vastuvõtja kõrgsagedusosa, *6* — vastuvõtujaam, *7* — viideolülituspult, *8* — kujutisesaatja, *9* — kujutisesaatja antenn, *10* — mikrofon, *11* — heli võimendus- ja kontrollseadmed, *12* — ülekandejaama helisaatja, *13* — helivastuvõtja, *14* — helisaatja.

kaamerad ja alatiseks paigaldatud televisiooniseadmed, mida võib igal ajal kasutada saate levitamiseks. Pärast saate lõppu jäävad seadmed ülekandepunkti paigale. Ajutises ülekandepunktis on alatiseks paigaldatud paraboolantennid ja varutud ruum seadmete paigutamiseks, teisaldatavad seadmed aga tuuakse sinna kohale iga kord ainult saate ajaks.

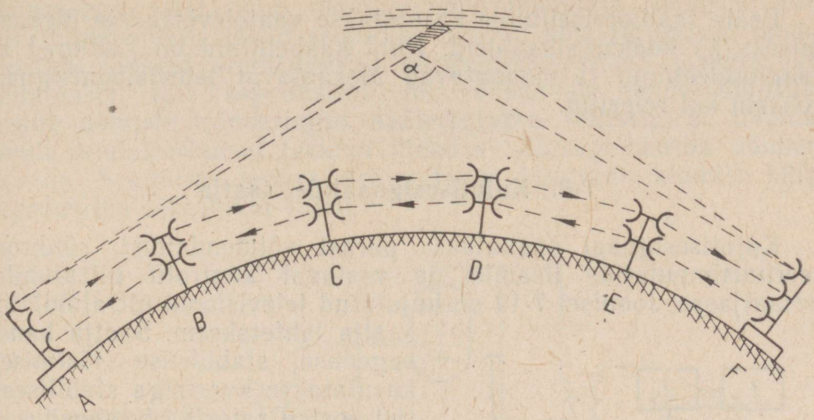
On kasutusel ka kaasaskantavaid reportaažiseadmeid. Niisugune seade koosneb väikesest käeshoitavast kaamerast, võimendus- ja kontrollseadmetest ning lühilainesaatjast koos toiteallikatega. Selline reportaažiseade koos toiteallikatega ei kaalu üle 40 kg.

7-7. Raadioreleeliin

Väljaspool liikuvjaama tegevuspiirkonda toimuvate sündmuste üleandmiseks kasutatakse raadioreleeliini. See kujutab sidekanalit, mis koosneb ultralühilainel töötavate raadiosaatjate ja vastuvõtjate ahelikust. Joonisel 7-18 on kujutatud asukohti *A* ja *F* ühendav raadioreleeliin. Saate suunamisel asukohast *A* asukohta *F* võetakse asukohale *A* kõige lähemal olevas jaamas *B* signaal vastu, muudetakse see madalama sagedusega signaaliks, võimendatakse ja moduleeritakse sellega mingit teistsugust kandesagedust ning suunatakse võimendatuna saatja kaudu edasi kolmandasse jaama *C*, pikema liini korral sealt neljandasse jne., kuni signaal saabub lõppjaama *F*. Jaamad asetsevad üksteisest tavaliselt 40 ... 60 km kaugusel. Saate- ja vastuvõtuantennid paigutatakse masti või torni tippu. Antenni kõrgus maapinnalt valitakse selline, et kahe naaberjaama antennide vaheline sirgjoon ei lõikaks maapinna kumerust, sest ultralühilained levivad sirgjooneliselt. Tavaliselt paiknevad releeliini antennid 70 ... 80 meetri kõrgusel. Ka saate-vastuvõtuseadmed paigutatakse tavaliselt antennide vahetusse lähedusse. Raadioreleeliini vahejaamad töötavad ilma alalise valveta. Nad lülituvad tööle automaatselt — vastava signaali saabudes. Ainult teatava vahemaa taga olevates üksikutes jaamades on valvetöötajad, kes jälgivad releeliini tööd ja teevad kõigis liini jaamades ennetusremonti ning korrastustööd. Vahejaamas tekkinud rikke korral annab jaam sellest automaatselt signaali valvejaama.

Raadioreleeliin võimaldab üle anda väga laia sagedusriba. Nii on võimalik ühe raadioreleeliini kaudu üheaegselt üle anda mitut vaatelevisaadet ja sadu telefonikõnelusi. Televisioonisignaali üleandmisel raadioreleeliin peaaegu mingit moonutust ei tekita.

Raadioreleeliini kanalite arvu suurendamiseks paigutatakse igasse jaama mitu saate- ja vastuvõtuseadet, mis kõik kasutavad läbi eraldusfiltrite ühiseid antenne.



Joon. 7-18. Raadioreleeliini ja kaugvastuvõtu selgitamiseks.

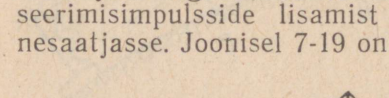
Ultralühilainete levimistingimuste uurimise tulemusena on viimastel aastatel leiutatud uusi võimalusi raadioreleeliinide ehitamiseks, kusjuures kasutatakse ära ultralühilainete hajumist troposfääris. Silmapiiri taha ulatuv ultralühilaineside põhineb nende lainete peegeldusnähtusel. Nagu loojunud päike saadab valgust pilvedele — muutes nad nähtavaks, nii kiirgab ultralühilainesaatja energiat, mida saab vastu võtta silmapiiri taga nurga α all. Tabanud tugevasti ioniseeritud õhukihti, hajub ultralühilaine sellelt (vt. joon. 7-18). Kui vastuvõtuantenn suunata sellisele hajuvale kihile, siis on võimalik sellelt hajunud lainet vastu võtta. Muidugi on energiakadu seejuures suur. Seepärast peab silmapiiri taha ulatuva side loomiseks kasutatavate saatjate võimsus olema suur — 20 ... 30 kW. Saatjast levitatav energia koondatakse väga teravaks kiireks, mis omakorda nõuab väga suurte mõõtmetega paraboolantennide kasutamist. Sellist suure võimsusega ja teravaks kiireks koondatud energiat on võimalik vastu võtta ka pärast kolmekordset hajutamist — pärast hajutamist pilvedelt, seejärel maapinnalt ja kolmandat peegeldust uuesti pilvedelt.

Releeliinitehnika areneb kiiresti. Raadioreleeliine on võetud kasutusele niihästi side otstarbel kui ka ringhäälingu- ja vaatelevisaadete üleandmiseks. Näiteks on juba releeliinidega ühendatud Leningrad, Tallinn ja Riia. See avab võimaluse Tallinna vaatelevisaateid levitada nimetatud linnade saatjate kaudu ja samuti levitada Tallinna vaatelevisaatja kaudu nimetatud linnade vaatelevisaateid. Raadioreleeliini kaudu on võimalik toita ka kohalikke saatjaid Tartus, Kohtla-Järvel ja mujal.

Peale raadioreleeliinide kasutatakse vaatelevisaadete ülekandmiseks ka koaksiaalkaableid. Kuid kaabelliinid on kallimad kui raadioreleeliinid ja moonutavad ülekantavat televisioonisignaali rohkem kui releeliin.

7-8. Kujutisesignaalide saatja

Kujutisesignaal suunatakse pärast võimendamist, sünkroniseerimisimpulsside lisamist ja vastavat kontrolli ultralühilainesaatjasse. Joonisel 7-19 on kujutatud televisiooni ultralühilainesaatja lahterskeem. Saatja kandesageduse stabiilsuse tõstmiseks kasutatakse kvartsiga stabiliseeritud ostsillaatorit *1* sagedusega 4...8 MHz. Saatja kandesagedus saadakse alles ostsillaatori sageduse mitmekordse kordistamise teel sageduskordistajas *2*. Pärast mitut vahepealset võimsusvõimendusastet *3* satuvad kandesageduse võnked saatja lõppvõimendusastmesse.



Joon. 7-19. Pildisaatja lahterskeem.

Televisioonimaja tehnilise keskuse liinivõimendajast saabuv televisioonisignaal suunatakse moduleerimisvõimendajasse *4*, mille võreringis toimub selle signaali alaliskomponendi taastamine.

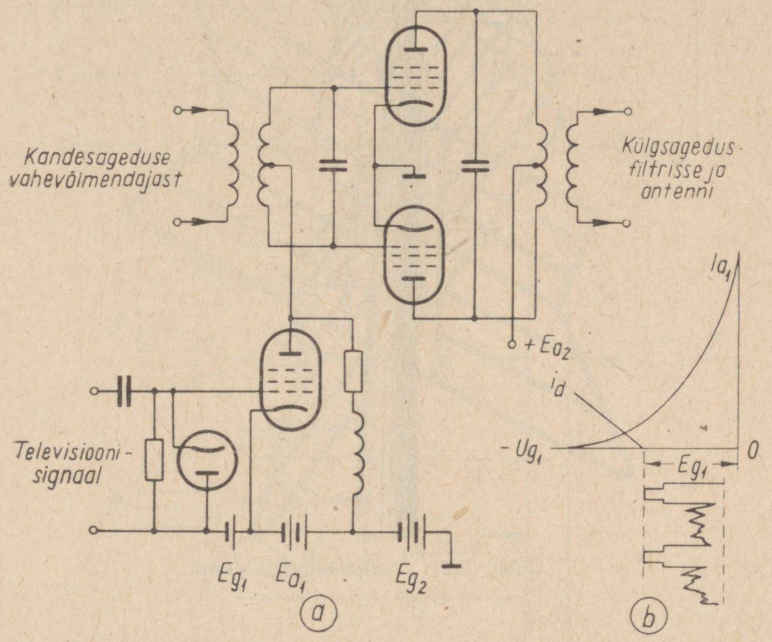
Moduleerida võib saatja ükskõik millises kõrgsagedusvõimenduse astmes, kaasa arvatud ka lõppvõimendusaste *5*. Lõppvõimendusastme anoodmoduleerimine vajaks võimsat modulaatorit, seepärast kasutatakse siin võremodulatsiooni.

Joonisel 7-20 on toodud saatja lõppastme moduleerimise lülitusskeem. Alaliskomponendi taastamine toimub moduleerimisvõimendaja võreringi ühendatud dioodiga. See diood on ühendatud selliselt, et ta saabuva signaali sünkroniseerimisimpulsside toimel avaneb ja säilitab automaatselt sellise positiivse eelpinge, mille puhul nende impulsside tase moduleerimisvõimendaja võrel ühtlustub, lähenedes jääva eelpinge E_{g1} poolt määratud potentsiaalile (joon. 7-20, *b*). Selleks et televisioonisignaali alaliskomponent satuks moduleeritava lõppvõimendaja võrele, on moduleerimisvõimendaja anood sidestatud temaga galvaaniliselt. Signaalipinge vastavate muutuste ja polaarsuse tulemusena toimub lõppvõimendaja võredel kandesageduse negatiivne moduleerimine.

Kujutisesaatja lõppastme välje ja antenni toitejuhtme vahele ühendatakse ülemist külgsagedusriba ja kandesagedust läbilaskev ning alumist külgsagedusriba tõkestav filter *6* (joon. 7-19).

Juhul kui moduleeritakse saatja mingit vahepealset väikese

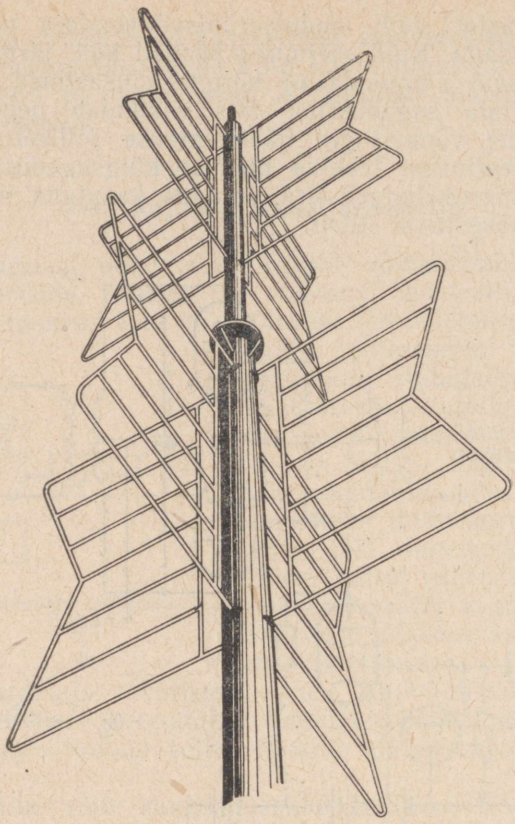
võimsusega astet, võib moduleerimisvõimendaja võimsust tunduvalt vähendada. Kuid seejuures peavad kõik järgmised moduleeritud võnkeid võimendavad kõrgsagedusastmed laskma läbi küllaldaselt laia sagedusriba, mis vähendab nende tõhusust. Nende astmete võnkeringid häälestatakse selliselt, et toimuks ainult moduleerimisel tekkiva ülemise külgsagedusriba võimendamine. Seejuures langeb ära vajadus kasutada alumist külgsagedusriba tõkestavat filtrit.



Joon. 7-20. Pildisaatja modulaatori skeem (*a*) ja modulaatori sünkroniseerimisimpulsside ühtlustamine (*b*).

Kujutise ja helisignaali üleandmiseks kasutatakse vaatelevis tavaliselt ühist antenni. Saateantenn peab ühtlaselt läbi laskma kogu televisioonikanalit läbiva sagedusriba ja kiirgama seda ühtlaselt, vastavalt antenni polariseeritusele kas horisontaal- või vertikaaltasapinnas. Kiirgumine peab olema igas sihis ühtlane.

Ultralühilaine saateanteniks kasutatakse dipoolantenni. Teatavasti on dipoolantennil 8-kujuline suunatunnusjoon. Peaaegu ringikujuline tunnusjoon aga saadakse horisontaaltasapinnas, kui paigutada kaks dipoolantenni omavahel risti. Vaateleviantenn peab kiirgama laia sagedusriba (8 MHz). Kiirgusenergia keskendamiseks vertikaaltasapinnas maapinna lähedale



Joon. 7-21. Saatja dipoolantenn.

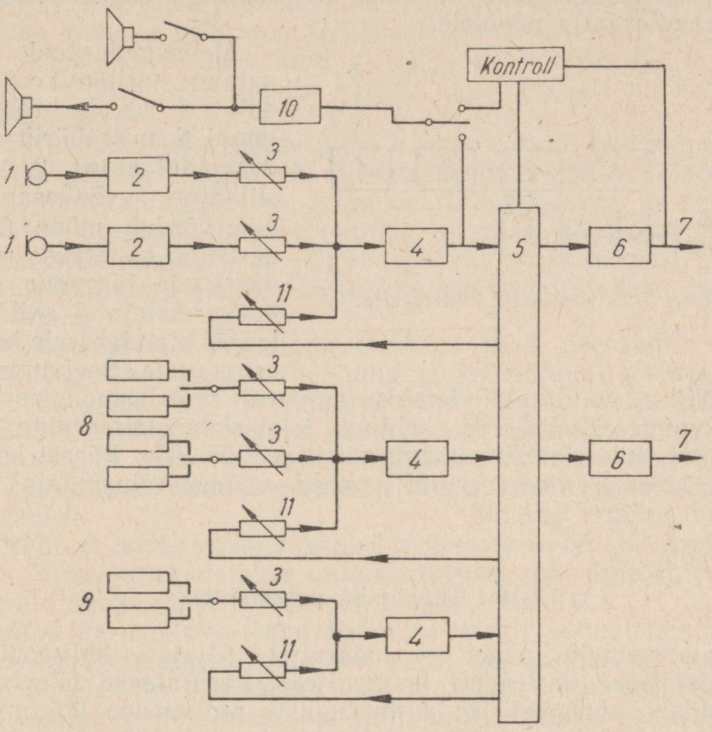
valmistatakse antenn mitmekorrulisena, kusjuures iga korrus koosneb eelnimetatud dipoolide ristist. Levinum vaateleviantenn on kujutatud joonisel 7-21.

7-9. Helikanal

Samaaegselt kujutisega toimub ka helitausta levitamine. Helikanal koosneb kahest osast: stuudio heliseadmetest, millega tekitatakse täielik helisignaal, ja sagedusmoduleeritud ultralühilaine-raadiosaatjast.

Joonisel 7-22 on antud saatja helikanali lahterskeem. Stuudios paiknevad mikrofonid *1* on ühendatud eelvõimendajate *2* sisendiga, eelvõimendajate välje aga segustite *3* sisendiga.

Segustite väljed on ühendatud rööbiti vahevõimendaja *4* sisendiga. Vahevõimendajate väljed on ühendatud automaatse ümberlülitamisseadmega *5*. Vastavalt tarbijate arvule leidub saatjas liinivõimendajaid *6*, mille väljega on ühendatud saatja ühenduskaabel *7*.



Joon. 7-22. Helikanali lahterskeem.

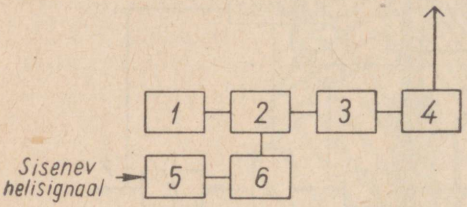
Peale mikrofonide kasutatakse vaatelevi helitausta tekitamiseks ka magnetofone *8* ja filmile *9* salvestatud heli.

Heli on võimalik kontrollida vahevõimendaja ja liinivõimendajate väljelt. Kasutatakse nähtavaid ja akustilisi heli kontrollimise seadmeid *10*.

Helirežissööril ehk helijuhil on segustite abil võimalik lülitada saatekanalisse ükskõik milline mikrofon või magnetofon. Lisaks stuudios leiduvatele mikrofonidele on helirežissööril võimalik lülitada lisasegusti *11* kaudu saatekanalisse veel mõni teine heliallikas, nagu liikuvast ülekandejaamast või mõnest teisest stuudiost saabuv heli jne. Nagu kujutisekanalis suunatakse tarbijaile täielik televisioonisignaal, nii suunatakse neile helika-

nali kaudu lõplik helisignaal, mille dünaamikat hiljem enam ei reguleerita.

Vaatelevisaate helitausta üleandmiseks kasutatakse ultralühilainel töötavat sagedusmoduleeritud raadiosaatjat. Joonisel 7-23 on toodud helitausta levitamiseks vajaliku raadiosaatja lahterskeem. Helisaatja peab vastama ringhäälingu sagedusmoduleeritud raadiosaatja nõuetele.



Joon. 7-23. Helisaatja lahterskeem.

Helisagedusvool suunatakse harilikult võimendaja *5* kaudu reaktiivlampi *6*, mis tüürib sagedusmodulaatorit *2*. Ostsillaatori võnkesagedus, mis võrdub mõne megahertsiga, tõstetakse mitme üksteisele järgneva sageduskordistaja *3* abil helitausta standardsele kandesagedusele. Seejuures toimub ühtlasi ka reaktiivlambis areneva sagedusmoduleerimise kordistamine. Kooskõlas kehtiva televisioonistandardiga peab sagedusmoduleerimine toimuma piirides ± 25 kHz. Pärast kordistamist läbivad moduleeritud võnked võimsusvõimendaja *4* ja satuvad seejärel antenni.

7-10. Tööstuslik televisioon

Peale vaatelevi, mis on määratud töötajate kultuuriliseks teenindamiseks ja teadete levitamiseks, kasutatakse televisiooni teaduslikuks uurimistööks mitmesuguste protsesside jälgimiseks.

Viimasel ajal on ta leidnud laialdasemat kasutamist ka tööstuses — tootmiskäigu jälgimiseks ja juhtimiseks. Sõltuvalt televisiooni rakenduse iseloomust kasutatakse selleks mitmesuguseid tehnilisi vahendeid.

Seni takistasid televisiooni rakendamist nimetatud otstarbeks seadmete suured mõõtmed ja keerukus. Nüüd aga, mil on tulnud kasutusele pooljuhid ja kaamerates saatetoruna vidikon, saab ehitada küllalt väikesemõõtmelisi seadmeid, mis sobivad ka tööstuslikuks televisiooniks.

Tööstusliku televisiooni seadmed ei erine oluliselt vaatelevis kasutatavatest televisiooniseadmetest. Nende ehitus ja omadused (ridade arv, võimendus jm.) sõltuvad sellest, mis otstarbeks aparatuur on määratud. Mitmed tööstusliku televisiooni seadmed tänapäeval isegi juba ületavad oma kvaliteedilt vaatelevis kasutatavaid seadmeid. Näiteks on tuumatehnikas kasutusel ka värviline ja ruumiline televisioon.

Enamasti kujutavad tööstusliku televisiooni seadmed lihtsustatud vaateleviseadmeid. Kuid tööstusliku televisiooni kaameratele esitatakse sageli rangeid tehnilisi nõudeid ja nad peavad laitmatult tegutsema väga rasketes tingimustes. Nii on kasutusel veealused televisioonikaamerad, tuumatööstuses peavad kaamerad taluma suurt kuumust ja radioaktiivset kiirgust jne.

Oma uudsuse tõttu pole tööstuslik televisioon veel väga laialdast rakendust leidnud, kuid kirjanduses leiduvatest teadetest selgub, et tema rakendamine areneb väga jõudsalt nii kodu- kui ka välismaal.

Tööstuslikku televisiooni tuleb kasutada seal, kus tööprotsessi on vaja juhtida kaugelt või jälgida ligipääsematus või ohtlikus kohas toimuvaid protsesse. Sageli kasutatakse teda ka seal, kus on vaja üheaegselt jälgida paljude masinate töötamist või kus suurem hulk inimesi peab jälgima ühte ja sama nähtust. Järgnevalt toome mõned näited tööstusliku televisiooni eduka rakendamise kohta.

Tööstusliku televisiooni seadmetega saab üle kanda registreerivate mõõteriistade näite, ilma et kontrollija tarvitseks riistadele läheneda. Sel teel muutub kontrollimine palju kiiremaks ja juhtimine ning võimalike puuduste kõrvaldamine tõhusamaks. Automaatsete elektrijaamade lülituskilpidel asuvate mõõteriistade jälgimine televisioonikaameratega on leidnud laialdast kasutamist.

Raudteel on televisioonikaamera dispetšeri lahutamatuks abiliseks. Temaga vaadatakse automaatpöörangute asetust, loetakse vagunite numbreid ja jälgitakse rongide liikumist.

Autod varustatakse tahavaatamise peegli asemel miniatuurse televisioonikaameraga, mille abil saab jälgida järel sõitvaid liiklusvahendeid. Ka lennuasjanduses on suure liiklusega lennuväljadel lennukite jälgimiseks ja juhtimisel võetud kasutusele televisioonikaamerad.

Nõukogude Liidus võeti esmakordselt maailmas kasutusele televisioonikaamera nafta puuraukude jälgimiseks.

Traallaevad kasutavad veealuseid televisioonikaameraid võrgus leiduva kalasaagi kindlaksmääramiseks. Veealuste varanduste ja süvavete põhja uurimistel on jällegi televisioonikaamera üks tõhusamaid abilisi.

Teaduses kasutatakse televisioonikaamerat mikroskoobis vaadeldavate preparaatide näitamiseks suuremale hulgale inimestele. Arstiteaduses aga võib kaamera abil jälgida eemalt lõikustoas toimuvat operatsiooni.

Viimasel ajal on moodustatud õppeasutused, kus õppus toimub televisioonisaadete kaudu. NSV Liidus uus koolikorraldus näeb ette õpingute korraldamist televisiooni kaudu.

Telefonisides on võimalik televisioonikaameraga anda telefoniliini kaudu kõnelejatele vastastikku üle ka teineteise kujutise.

Esialgu on see kujutis küll tunduvalt aeglasemalt vahelduv kui vaatelevis üleantav kujutis. Nii võivad telefoni teel kõnelejad teineteist jälgida sellekohasel ekraanil, kuid eeldusel, et nad end ei liiguta.

Inglismaal kasutatakse tuumaenergia tootmisel värvilist ja ruumilist televisiooni sellekohaste robotite jälgimiseks, mis võivad töötada ohtliku kiirguse piirkonnas. Niisuguse roboti kaugelt juhtimiseks on vaja operaatoril omada temast ruumilist ettekujutist ja samuti eristada esemete värvust.

Ka majanduslikes ettevõtetes on kasutust leidnud televisiooniseadmed. Pankades võimaldavad televisioonikaamerad võrrelda dokumente ja juhtida operatsioone.

Siinkohal pole võimalik loendada kõiki televisiooni rakendamise võimalusi, kuid juba eeltoodustki selgub, et televisioonitehnikat saab kasutada kõikjal ja järjest leidub uusi alasid tema rakendamiseks, et hõlbustada ja tõhustada inimeste tööd.

NSV Liidus toodetakse käesoleval ajal tüüpseid tööstusliku televisiooni seadmeid ПТУ-1, ПТУ-2 ja ПТУ-3. Näiteks seade ПТУ-3 sisaldab kaamerat, kus kasutatakse superortikoni. Eseme küllaldaseks jälgimiseks on vaja valgustustihedust ainult 30 luksi. Kaamera ja vastuvõtja vahelise kaabli pikkus võib olla kuni 150 m. Üleantav kujutis laotatakse 550 reaks. Kaamera mõõtmed on 280 × 330 × 700 mm. Juhtpuldi mõõtmed on 427 × 1040 × × 1240 mm. Kogu seadme kaal on 40 kg.

Siiski peab märkima, et tööstusliku televisiooni rakendamisega ei tuleks muidugi liialdada, sest mõneks otstarbeks on ta alles liiga kallis ja keerukas ega õigusta end seetõttu veel esialgu.

VIII PEATÜKK

TELEVISIOONIVASTUVÕTJAD

8-1. Televisioonivastuvõtja lahterskeem

Televisioonivastuvõtjaid ehk televiisoreid ehitatakse superheterodüün- ja otsevõimenduslülituses.

Teatavasti võimaldab superheterodüünlülitus saavutada suuremat selektiivsust ja tundlikkust kui otsevõimenduslülitus. Otsevastuvõtjate lülitusskeemid on küll tunduvalt lihtsamad, kuid neid saab edukalt kasutada ainult siis, kui vastuvõetav signaal on küllalt tugev (saatjast kuni 50 km kaugusel).

Helitausta vastuvõtmiseks kasutatakse kahte meetodit:

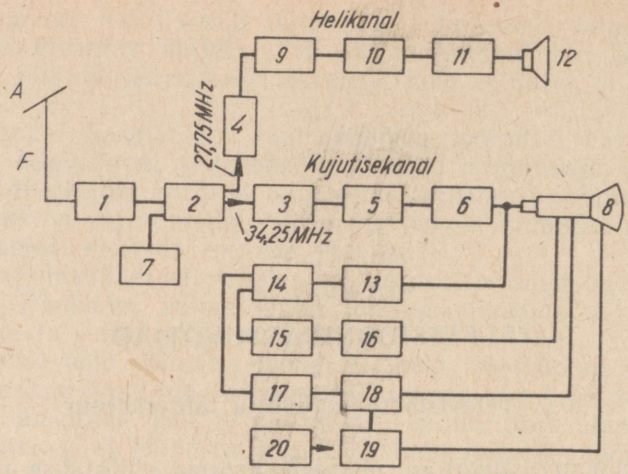
1) vahesageduse lisakanali meetodit, mispuhul võimendatakse heli ja kujutisesignaale koos kuni sagedusmuundajani, seejärel aga moodustuvad kaks eraldi vahesagedust, milledest ühel toimub heli- ja teisel kujutisesignaalide võimendamine (joon. 8-1);

2) kandesageduste tuikemeetodi puhul toimub heli- ja kujutisesignaalide võimendamine koos kuni viimase üldise vahesageduse võimendusastmeni. Selle väljes toimub helisignaalide eraldamine sagedusmoduleeritud vahe-kandesagedusena, mis tekib heli ja kujutise kandesageduste tuikamise tulemusena (joon. 8-2).

Vahesageduse lisakanali kasutamine on võimalik ainult supervastuvõtjates. Kandesageduste tuikemeetodit on võimalik kasutada nii super- kui ka otsevastuvõtjates.

Vahesageduse lisakanaliga superheterodüünvastuvõtja (joon. 8-1). Televisioonivastuvõtja kõrgsagedusosa *1* saab sisendpinge antennist *A*. Antenn on ühendatud kõrgsagedusvõimendaja sisendiga toiteliini *F* kaudu. Kõrgsagedusvõimendaja on häälestatud vastuvõetavale laineribale. Ta võimendab kujutise- ja helisignaali, säilitades seejuures kasuliku signaali ja mürataseme suhte võimalikult kõrgena. Temast oleneb ka kujutise teravus.

Vastuvõetud kõrgsagedussignaali võimendatakse kõrgsagedusblokis *1* ja juhitakse koos kohaliku ostsillaatori 7 signaaliga



Joon. 8-1. Vahesageduse lisakanaliga televisioonivastuvõtja lahterskeem.

segustusastmesse *2*, kus nimetatud signaalide vahel tekib tuiklemine, mille tulemusena saadakse kaks vahesagedussignaali.

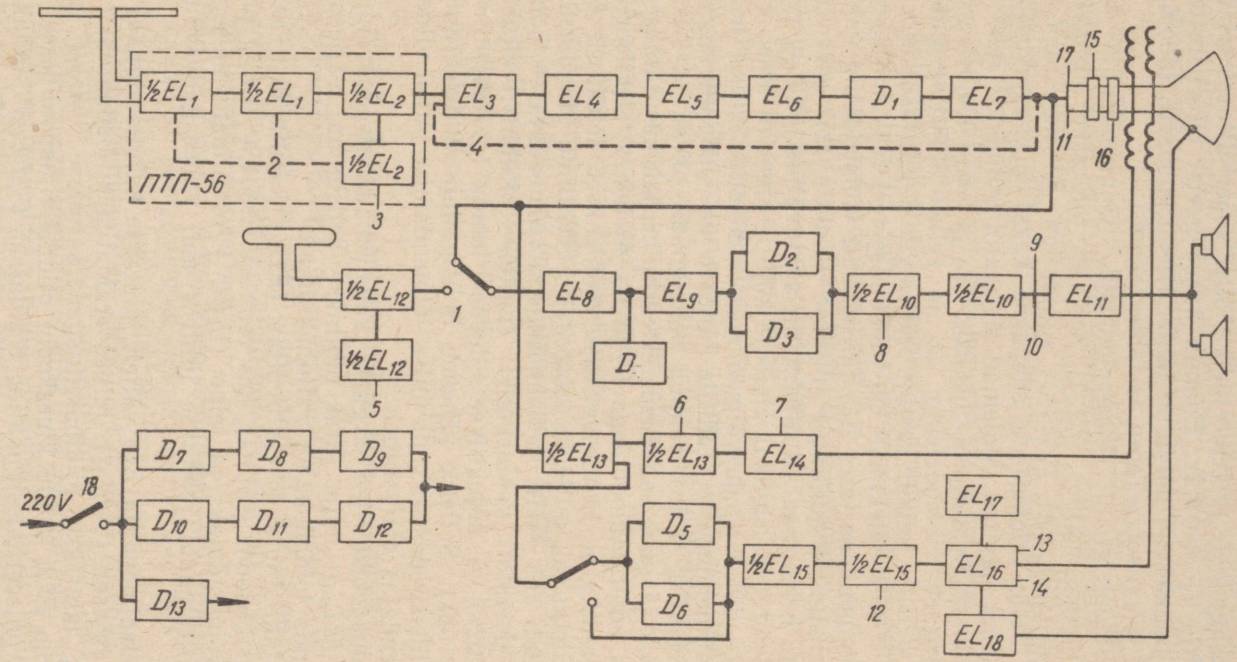
Kui näiteks soovitakse vastu võtta saadet teisel televisioonikanalil, kus kujutise kandesagedus on 59,25 MHz ja heli kandesagedus 65,75 MHz ning kohaliku ostsillaatori sagedus 93,5 MHz, siis saame kaks vahesagedust: kujutise vahesageduse 34,25 MHz ja heli vahesageduse $f_1 = 27{,}75$ MHz. Saadud vahesagedussignaalid (kujutis ja heli) juhitakse eraldi kujutise- (*3*) ja heli- (*4*) vahesagedusvõimendajatesse.

Võimendatud kujutisesignaal juhitakse viideodetektorisse *5*. Detektoris kujutisesignaal demoduleeritakse ja juhitakse kujutisevõimendajasse *6* ja selle väljest edasi kineskoobi *8* katoodile.

Segustis *2* eraldatud helisignaal võimendatakse heli vahesagedusvõimendajas *4*, mille järel ta satub piirajasse *9* ja sealt sagedusdetektorisse *10*. Seejärel toimub veel madalsageduse võimendamine võimendajas *11*, millest helisignaal juhitakse valjuhääldajasse *12*.

Kujutisesignaal juhitakse edasi amplituuderaldajasse *13*, kus üldisest kujutisesignaalist eraldatakse eraldusfiltrite *14* abil rea- ja pildisünkroniseerimissignaalid. Pildi sünkroniseerimissignaalid juhitakse pildihälvitusgeneraatorisse *15* ja tema väljeastmelt *16* saadav pildi hälvitusvool — vastavatesse hälvituspoolidesse.

Reasünkroniseerimisimpulsid juhitakse realaotusgeneraatorisse *17* ja väljeastme *18* kaudu reahälvituspoolidesse. Reahälvitusgeneraatorist kõrgepingealaldaja *19* abil saadud kõrgepinge juhitakse kineskoobi anoodile.



Joon. 8-2. Kandesageduste tuikemeetodil töötav televisioonivastuvõtja.

Toitepingeks kasutatakse harilikult toiteallikat *20*, mis ei erine põhimõtteliselt tavalise raadiovastuvõtja toiteseadmest.

Kandesageduste tuikemeetodil töötav superlülituses televisioonivastuvõtja (joon. 8-2). Enamik kaasaegseist televiisoritest on ehitatud joonisel 8-2 näidatud lahterskeemi kohaselt. (Joonisel on kujutatud televiisori «Temp 3» lahterskeem.)

Televisioonisignaali kõrgsageduslik võimendamine toimub kahes esimeses astmes (EL_1). Seejärel juhitakse signaal koos kohaliku ostsillaatori ($^1/_2EL_2$) signaaliga f_0 segustusastmesse ($^1/_2EL_2$). Selle tulemusena saadakse kaks vahesagedussignaali, nagu eespool nägime. Mõlemad signaalid võimendatakse ühises vahesagedusvõimendajas (EL_3, EL_4, EL_5 ja EL_6). Kujutisevõimendajale järgneb viideodetektor D_1 ja sellele kujutisevõimendaja väljeaste (EL_7). Sellelt saadud väljesignaal juhitakse kineskoobi katoodile. Viideodetektorist D_1 tuiklemise teel tekkinud ja viideosagedusvõimendusastmes EL_7 täiendavalt võimendatud vahesageduslik helisignaal juhitakse lülitisse *1*, mille abil on võimalik valida kas helisignaal ultralühilaine-vastuvõtjast (EL_{12}) või televisiooni helitausta signaal. Heli- ja kujutisesignaali ühise võimendamisega viideosagedusvõimendajas säästetakse üks helivahesagedusvõimendusaste. Lülitile järgneb üks helivahesagedusvõimendusaste EL_8. Edasi toimub helisignaali piiramine EL_9 ja D abil. Sellele järgneb sagedusdetekteerimine, kus kasutatakse suhtedetektorit pooljuhtdioodidega D_2 ja D_3. Mõnedes televiisorite lülitustes eraldatakse kandesageduste tuiklemisel detektoris D_1 tekkinud helisignaal, mille kesksagedus NSV Liidu standardi kohaselt võrdub 6,5 MHz, helivahesagedusvõimendajasse kohe, kas vahetult detektori vooluringist (näiteks «Rubin», «Rubin A», «Rubin 102») või induktiivse sidestuse kaudu (näiteks «Znamja», «Znamja 58»). Sellega väheneb helisignaali moduleerimise oht 50-Hz pildisagedusega, mis ühise võimendamise puhul viideosagedusvõimendajas alati esineb.

Sagedusdetektorile järgneb kaks madalsagedusvõimenduse eelastet (EL_{10}), mille järel juhitakse helisignaal väljeastmesse (EL_{11}), mis toidab kahte valjuhääldajat.

Ultralühilaineraadiovastuvõtjas (EL_{12}) kasutatakse harilikult ühte kaksiktrioodi (6Н3П), kus esimene triood ($^1/_2EL_{12}$) on kõrgsagedusvõimendajaks ja teine ($^1/_2EL_{12}$) ostsillaatoriks-segustiks, mille väljesignaal juhitakse lüliti *1* abil vahesagedusvõimendajasse.

Viideovõimendaja EL_7 väljelt juhitakse kujutisesignaal amplituuderaldajasse ($^1/_2EL_{13}$), milles eraldatud pildisünkroniseerimisimpulsid juhitakse pildihälvitusgeneraatorisse $^1/_2EL_{13}$ ja tema väljeastme EL_{14} kaudu kineskoobi pildihälvituspoolidesse.

Sünkroniseerimissignaalide eraldajast ($^1/_2EL_{13}$) juhitakse reasünkroniseerimisimpulsid faasidiskriminaatorisse D_5 ja D_6. Siin toimub reasünkroniseerimissignaali faasi automaatne reguleeri-

mine. Seejärel juhitakse reasünkroniseerimissignaal võimendajasse $^1/_2EL_{15}$, mille järel sünkroniseeritakse temaga reahälvitusgeneraatorit $^1/_2EL_{15}$. Edasi juhitakse signaal väljeastmesse EL_{16}, millega on ühendatud reahälvituspoolid. Reageneraatori lõppastmega on ühendatud kõrgepingealaldaja EL_{18} ja summutusdiood EL_{17}.

Televisioonivastuvõtja toiteks kasutatakse valgustusvõrgu voolu, mis pärast transformeerimist ja alaldamist dioodides D_7 ... D_{13} juhitakse vastavate elektronlampide toiteks.

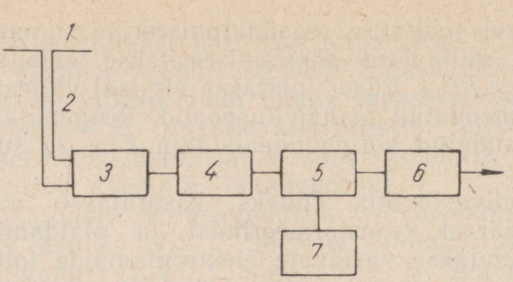
Televiisoris «Temp 3» on ette nähtud järgmised reguleerimised ja lülitamised (joon. 8-2):

1 — ümberlülitamine televisiooni ultralühilaine vastuvõtult helitausta vastuvõtule;
2 — televisioonikanalite ümberlülitamine;
3 — sujuv televisioonikanali sagedusele häälestamine;
4 — kontrastsuse reguleerimine;
5 — sujuv ULL raadiovastuvõtja häälestamine;
6 — pildilineaarsuse reguleerimine;
7 — pildisuuruse reguleerimine;
8 — helitugevuse reguleerimine;
9 — helitämbri reguleerimine (kõrged helisagedused);
10 — helitämbri reguleerimine (madalad helisagedused);
11 — kujutise teravuse reguleerimine;
12 — reasageduse reguleerimine;
13 — realineaarsuse reguleerimine;
14 — reapikkuse reguleerimine;
15 — ioonipüüdja magneti õige asendi leidmine;
16 — pildi tsentreerimine;
17 — heleduse reguleerimine;
18 — toite lülitamine.

8-2. Televisioonivastuvõtja kõrgsagedusosa

Televisioonivastuvõtja kõrgsagedusosa (joon. 8-3) koosneb järgmistest lülidest: antenni sidestuslüli *3*, kõrgsagedusvõimendaja *4* (võib ka puududa), ostsillaator *7*, segusti *5* ja vahesagedusele häälestatud võnkering *6*.

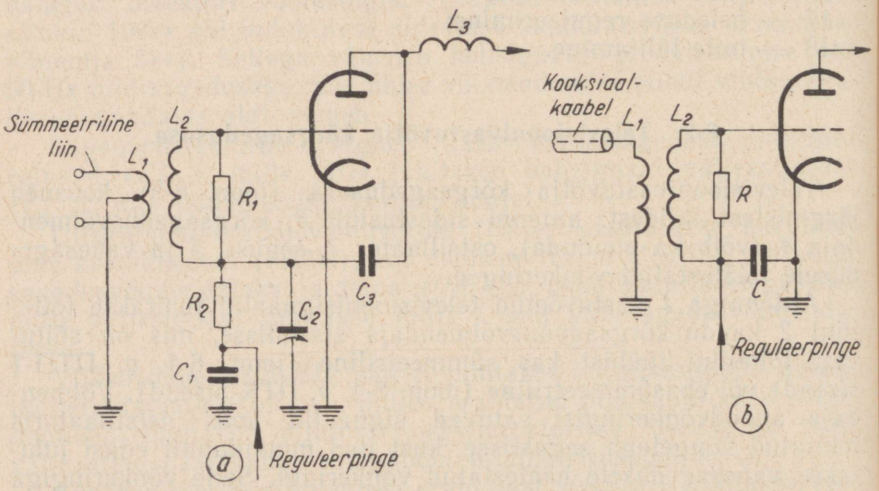
Antenniga *1* vastuvõetud televisioonisignaalid juhitakse toiteliini *2* kaudu kõrgsagedusvõimendaja sisendisse, mis on sõltuvalt toiteliini tüübist kas sümmeetriline (joon. 8-4, *a*, ПТП-1 sisend) või ebasümmeetriline (joon. 8-4, *b*, ПТК sisend). Võimendaja anoodvõnkeringist satuvad signaalid koos ostsillaatoris tekitatud võngetega segustisse, kust nad muundunult edasi juhitakse vahesagedusele häälestatud võnkeringi. Selle võnkeringiga eraldatakse soovitud signaal teistest signaalidest, teised mittesoovitud signaalid ja võnkumised aga summutatakse.



Joon. 8-3. Televisioonivastuvõtja kõrgsagedusosa lahterskeem.

Häälestamise meetodid. Televiisor on ümberlülitatav mitmele erinevale sagedusribale, nn. k a n a l i l e. Ümberlülitamine toimub harilikult vastavate sisend- ja kõrgsagedusvõimendaja võnkeringide töösse lülitamisega, mis eelnevalt vastavale sagedusribale olid ette häälestatud. Samal ajal vahetatakse ka ostsillaatori võnkeringi elemendid, harilikult häälestuspool. Häälestamist võib teostada ka häälestuspooli keerdude osalise lühistamise teel. Meie tööstuse poolt toodetavate superheterodüüntüüpi televiisorites kasutatakse unifitseeritud kõrgsagedusvõimenduse ja sagedusmuunduse komplekte, nagu näiteks ПТП-1, ПТП-2, ПТП-56, ПТК, mis võimaldavad 8 . . . 12 sageduskanalile ümberlülitamist.

Võnkeringi häälestamiseks on teatavasti vaja muuta kas tema



Joon. 8-4. Televisioonivastuvõtja sümmeetriline (*a*) ja ebasümmeetriline (*b*) sisend.

mahtuvust C või induktiivsust L. Võnkeringi resonantsisagedus

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \text{ Hz}, \tag{8-1}$$

kus L on võnkeringi induktiivsus H,
C — võnkeringi mahtuvus F.

Harilikult muudetakse võnkeringi induktiivsust, sest sel puhul on võimalik säilitada parem L/C suhe ja suurem võimendus. Pöördkondensaatorile lisatakse paralleelselt ka trimmerkondensaator, millega on võimalik ühtlustada erinevate poolide sisemahtuvusi.

Kui resonantsisagedus avaldada megahertsides, induktiivsus mikrohenrides ja mahtuvus pikofaradites, siis võnkeringi induktiivsus L ja mahtuvus C on määravad järgmiste valemite abil:

$$L = \frac{25\,330}{f^2 C} \text{ µH}; \tag{8-2}$$

$$C = \frac{25\,330}{f^2 L} \text{ pF}. \tag{8-2a}$$

Selektiivsus. Võimenduslambi sisendtakistus väheneb õige tunduvalt sageduse tõusmisel, olles ULL-alas pöördvõrdeline siseneva sageduse ruuduga. Kui näiteks 2. kanali kesksagedusel ($f_{kesk} = 62$ MHz) on lambi sisendtakistus 18 000 Ω, siis 11. kanali sagedusel ($f_{kesk} = 218$ MHz) on ta ainult 300 Ω. Et kanalitel 2 kuni 5 võimenduslambi sisendtakistus on suur, siis kasutatakse selles piirkonnas sisendvõnkeringile paralleelselt lülitatud summutustakistust. Sisendlüli selektiivsus peab olema selline, et laineribas 6 kuni 10 MHz tekiks piirsagedustel võimenduse langus 3 dB, s. o. 30% maksimaalsest võimendusest. Laineriba kõrgematel sagedustel ei või tekkida suuremat võimenduse langust, sest vastasel korral see avaldab mõju pildi üksikute detailide ülekandele.

Kui vajaliku sagedusriba piirideks on f_1 ja f_2 ning sisendvõnkeringi resonantsisagedus on f_r, siis kasutatakse sisendringi hindeteguri minimaalse väärtuse määramiseks järgmist valemit:

$$Q = \frac{f_r}{f_1 - f_2}(N^2 - 1), \tag{8-3}$$

$$N = \sqrt{\frac{f_1 - f_2}{f_r} Q + 1}, \tag{8-4}$$

kus N on tegur, mis näitab, mitu korda piirsagedused f_1 ja f_2 on madalamad resonantsisagedusest f_r.

Kui langus on 3 dB, siis $N = 1{,}414$, $N^2 = 2$ ja

$$Q = \frac{f_r}{f_1 - f_2}(2 - 1) = \frac{f_r}{f_1 - f_2}. \tag{8-5}$$

Kui summutustakistus R on järjestikku võnkeringi mahtuvusega või induktiivsusega, siis

$$Q = \frac{X}{R}. \tag{8-5a}$$

Kui summutustakistus R on paralleelne induktiivsusega, siis

$$Q_L = \frac{1}{2\pi fL/R_s + R/2\pi fL}. \tag{8-6}$$

Kui summutustakistus R on paralleelne mahtuvusega, siis

$$Q_C = \frac{1}{1/2\pi fCR_s + 1/2\pi fCR}. \tag{8-7}$$

Viimastes avaldistes on R_s võnkeringi järjestikune takistus.

Häired kõrgsagedusosas. Teatavasti piirab lampide müratase maksimaalselt saavutatavat võimendust. Televisioonivastuvõtjasse sisenevad häired ka antenni kaudu. Kõrgsagedusosas tekkivate häirete põhjusteks on lampide anoodvoolu voogus ehk haavelefekt, mida tekitab anoodvoolu moodustavate elektronide üksteisest sõltumatu liikumine katoodi-anoodi vahelises ruumalas, lampide katoodi ruumlaengust väljuva elektronvoo jagunemise korrapäratus üksikute elektroodide vahel ehk jaotusefekt, elektronide soojuslik liikumine takistustes, lampide mehaanilistest põrutustest tekkiv mikrofoniefekt ja vahelduvvooluvõrgust sisenevad parasiitpinged. Kui mürapinge läheneb oma väärtuselt pildisignaalile, siis tekib pildil nähtav häiretaust, nn. «lumi».

Haavelefekti poolt tekitatav müra ilmneb ka raadiovastuvõtjates. Ta on seda väiksem, mida väiksem on elektroni kiirus, s. t., mida madalam on anoodpinge ja mida väiksem on lambi anoodvool, ning mida kitsam on kasutatav sagedusriba. Jaotusefekti suhtes kehtib reegel, et mida rohkem on lambis elektroode, s. o., mida keerukam on ühise katoodvoolu jagunemine üksikute elektroodide vahel, seda suuremat voogavat komponenti sisaldab anoodvool ja seda suurem on lambis arenev müravool.

Haavel- ja jaotusefektist tingituna on lampide väljes arenevad mürapinged seda väiksemad, mida suurem on antud töötingimustes lambi tunnusjoone tõus S, sest tõusu väärtus iseloomustab võimenduse otstarbel ärakasutatavat anoodvoolu osa. Jaotusefektist tingituna on trioodis arenevad mürapinged 3 . . . 5 korda väiksemad, võrreldes sama tõusuga pentoodiga. Kuna sagedusmuundamise korral lampi iseloomustab mitte ta tunnusjoone efektiivne tõus S, mida rakendatakse võimenduse arvutamisel, vaid muundustõus S_m, mis on eelmisest keskmiselt 4 korda väiksem, siis osutub ta mürapinge õige tunduvalt suuremaks. Selleks et pildisignaali pinge ületaks tunduvalt müratasemе, tuleb kasutada suure tõusuga võimendus- ja segustuslampe.

Soojuslikud häired tekivad vastuvõtja üksikosades peamiselt

takistites, samuti ka võnkeringides. Üksikosades tekkivate häirete tugevus suureneb koos temperatuuri tõusuga ja ka võimendatava sagedusriba laienemisega.

Takisti poolt põhjustatav mürapinge arvutatakse valemiga

$$U_m = \sqrt{4kTR\Delta f} \tag{8-8}$$

kus U_m on soojuslik häirepinge V,
k — Boltzmanni konstant ($k = 1{,}37 \cdot 10^{-23}$),
T — absoluutne temperatuur °K(0°C + 273),
R — takistus Ω,
Δf — sagedusriba laius Hz.

Näiteks tekib temperatuuril +20° C televisioonivastuvõtja sisendringis, milles kasutatakse ПТК-tüüpi kõrgsagedusblokki ja mille ekvivalentne resonantsitakistus 6,5-MHz ribalaiusel 2. kanalis (kesksagedus 62 MHz) on 2,0 kΩ, mürapinge

$$U_m = \sqrt{4kTR\Delta f} = \sqrt{4 \cdot 1{,}37 \cdot 10^{-23} \cdot 293 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 6{,}5 \cdot 10^6} \approx$$
$$\approx 14 \cdot 10^{-6}\ \text{V} = 14\ \mu\text{V}.$$

Mikrofoniefektist tingitud häired tekivad elektronlambi elementide vibreerimise tõttu. Lambi elementide vibreerimine tekitab anoodvoolu muutusi, mis võimendatult kujutabki endast häiret.

Vahelduvvoolu müra tungib võimendajasse harilikult toitejuhtmete kaudu, või anoodtoiteseadme mitteküllaldase filtreerimise tõttu ja sageli ka vahelduvvoolu magnetvälja poolt, mis asub võimendusseadmete lähedal.

Kõige nõrgem signaal, mida vastuvõtjaga on võimalik vastu võtta, sõltub vastuvõtja kõrgsagedusosas genereeritava müravõimsuse suurusest. Televisioonivastuvõtjate kvaliteedi võrdlemiseks nendes areneva müranivoo seisukohalt kasutatakse *mürateguri* mõistet. Mürategur näitab, mitu korda on käsitletava vastuvõtja väljes tekkiv müravõimsus suurem ekvivalentse ideaalse vastuvõtja väljes areneva müra võimsusest, mis ise müravõimsust ei genereeri. Seejuures eeldatakse, et mõlemate võimendajate sisendklemmidele (antenniklemmidele) on rakendatud võrdne mürapinge. Harilikult avaldatakse mürategur mitte absoluutse väljevõimsuste suhtena, vaid selle suhte logaritmilistes ühikutes detsibellides, s. o.

$$F_m = 10 \lg \frac{P_{mv}}{P_{mvo}}, \tag{8-9}$$

kus P_{mv} on käsitletava vastuvõtja väljevõimsus,
P_{mvo} — ideaalse vastuvõtja müra väljevõimsus.

Healt televisioonivastuvõtjalt nõutakse, et ta mürategur F_m ei ületaks 8 dB (suhte absoluutväärtus ei oleks suurem kui 6,3).

Näide 8-1. Vastuvõtja võimsusevõimendus, mõõdetuna ta sisendklemmide (antenniklemmid) ja väljeklemmide (kineskoobi *G-K* klemmid) vahel, $V = 120$ dB ning antennist suubuv müravõimsus $P_{ms} = 1{,}9 \cdot 10^{-14}$ W. Kui suur on vastuvõtja mürategur, kui ta väljes areneva müra võimsus $P_{mv} = 0{,}12$ W?

$K =$ antilog $^1/_{10}V =$ antilog $12 = 10^{12}$.

Ekvivalentse ideaalse võimendaja müra väljevõimsus

$$P_{mvo} = KP_{ms} = 10^{12} \cdot 1{,}9 \cdot 10^{-14} = 1{,}9 \cdot 10^{-2} \text{ W}.$$

Vastuvõtja mürategur

$$F_m = 10 \lg \frac{P_{mv}}{P_{mvo}} = \frac{0{,}12}{1{,}9 \cdot 10^{-2}} = 10 \lg 6{,}3 = 10 \cdot 0{,}799 = 8 \text{ dB}.$$

Seega vastuvõtja vastab oma müranivoo suhtes parajasti esitatavale nõudele.

Kõrgsagedusosas kasutatavad lambid peavad vastama järgmistele tingimustele: 1) madal müratase, 2) väike elektroodidevaheline mahtuvus, 3) suur tunnusjoone tõus, 4) suur sisendtakistus, mis ei muutuks võrepinge muutmisega.

Kaasaegsete televiisorite kõrgsagedusosas kasutatakse järgmisi lambitüüpe: 6Н3П, 6Н14П, 6Ж1П, 6Ж3П, 6Ж4П, 6Ф1П.

Kõrgsagedusvõimendaja. Kõrgsagedusvõimendusaste võimendab vastuvõetud signaali samal sagedusel, millel ta vastu võeti. Kõrgsagedusastme võimendus on tavaliselt 3 kuni 12.

Kui kõrgsagedusvõimendaja anoodkoormus, mille moodustab paralleelne võnkering oma ekvivalentse järjestikuse takistusega Z_e, on väike, võrreldes lambi sisetakistusega R_i, siis arvutatakse astme võimendus valemiga:

$$K = SZ_e, \tag{8-10}$$

kus S on lambi tunnusjoone tõus mA/V.

Trioodi kasutamisel, kui koormustakistus Z_e on ligikaudu võrdne lambi sisetakistusega R_i, on võimendus

$$K = S \frac{R_v Z_e}{R_i + Z_e}. \tag{8-11}$$

Resonantsi puhul muutub paralleelse võnkeringi ekvivalentne näivtakistus Z_e ekvivalentseks aktiivtakistuseks R_0 ja siis

$$Z_e = R_0 = QX_L = QX_C.$$

Võrrandist (8-12) selgub, et X_L või X_C suurenemisel suureneb astme võimendus. Selle võnkeringi hindetegur

$$Q = 2\pi f_r C_p R, \tag{8-13}$$

kus C_p on anoodringi mahtuvus,

R — võnkeringi paralleelne kaotakistus.

Anoodringi mahtuvus C_p koosneb: 1) kõrgsagedusvõimenduslambi väljemahtuvusest, 2) segustuslambi sisendmahtuvusest ja 3) lisamahtuvustest, mis tekivad ühendusjuhtmetest ja lambi soklist.

Kui anoodringi mahtuvus C_p muutub, siis muutub ka Q, mille tõttu sagedusriba muutub, sest

$$Q = \frac{f_r}{f_1 - f_2}, \tag{8-14}$$

kus f_1 ja f_r on vastuvõetava sagedusriba piirsagedused.

Asetades saadud Q avaldise valemisse 8-13, saame:

$$2\pi f_r C_p R = \frac{f_r}{f_1 - f_2}, \tag{8-15}$$

millest

$$R = \frac{1}{2\pi C_p (f_1 - f_2)}. \tag{8-16}$$

Paralleelne kaotakistus R koosneb 1) R_p, mis on C_p paralleeltakistus ja 2) R_0, mis kujutab endast paralleelvõnkeringi ekvivalenttakistust. Kaotakistuse väärtuse leiame valemiga:

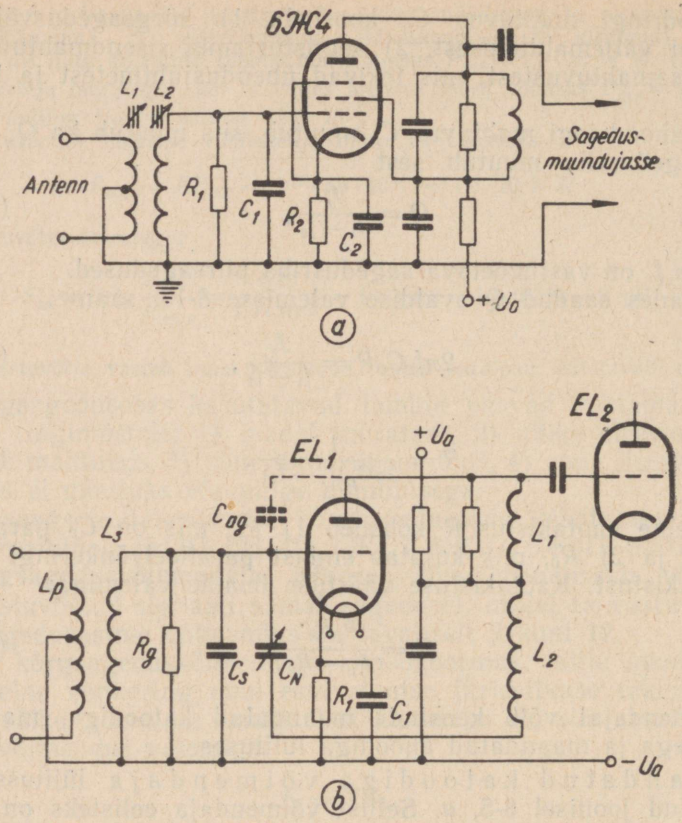
$$R = \frac{R_p R_0}{R_p + R_0}. \tag{8-17}$$

Võimendajat võib koostada maandatud katoodiga, maandatud võrega ja maandatud anoodiga lülituses.

Maandatud katoodiga võimendaja lülitusskeem on toodud joonisel 8-5, *a*. Sellise võimendaja eelisteks on suur võimendus, suur sisendtakistus ja järgmisele astmele moodustab ta väikese koormuse. Sellises lülituses kasutatakse pentoode, mis võimaldavad saavutada suurema võimenduse väikse anoodi ning võre vahelise mahtuvuse juures.

Eriti häid tulemusi saadakse trioodi kasutamisel kõrgsagedusvõimendajas, sest trioodis arenev endamüra nivoo on suhteliselt madal, kuid suure anoodi ja võre vahelise mahtuvuse tõttu hakkab selline võimendaja resonantsi puhul ostsilleerima. Selle vältimiseks täiendatakse lülitust neutraliseerimise vooluringiga L_2C_N (joon. 8-5, *b*). Selliselt neutraliseeritud trioodiga kõrgsagedusvõimendajalt saadakse ligikaudu sama pingevõimendus kui pentoodvõimendajaltki, kuid märksa väiksema endamüra tasemega.

Maandatud võrega võimendaja (joon. 8-6) kasutamisel ei teki neutraliseerimise vajadust. Lambi EL_1 võre on maandatud ja seetõttu moodustab ta anoodi ja katoodi vahelise varjestuse. Ostsilleerimist võib siin põhjustada ainult anoodi ja katoodi vahelise mahtuvuse C_{ak} kaudu, sest sisend asub katoodil.



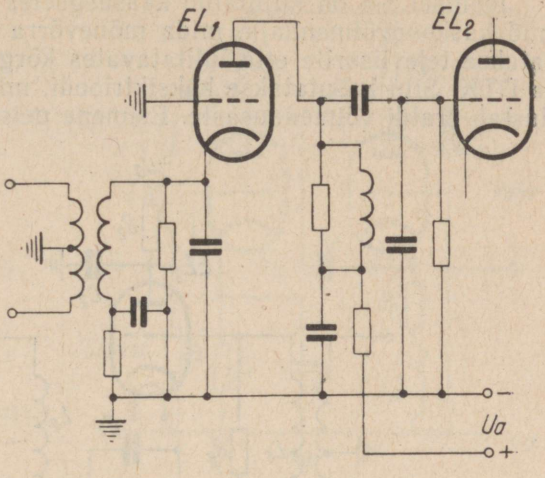
Joon. 8-5. Maandatud katoodiga (*a*) ja neutraliseeritud trioodiga (*b*) kõrgsagedusvõimendaja skeem.

Sisendpinge rakendamisel katoodi ja maa, s. o. võre vahele on siiski võimalik saada sama suurt võimendust, kui signaali juhtimisel eelmise lülituse kohaselt võre ja katoodi vahele. Teoreetiline pingevõimendustegur on sel puhul $\mu + 1$, kuid sisendtakistus R_s on märksa väiksem kui maandatud katoodi lülituse puhul:

$$R_s = \frac{1}{S}. \qquad (8\text{-}18)$$

Kui näiteks võimenduslambi $S = 5$ mA/V, siis võrdub maandatud võrega võimendaja sisendtakistus

$$R_s = \frac{1}{5 \cdot 10^{-3}} = 200\ \Omega;$$



Joon. 8-6. Maandatud võrega kõrgsagedusvõimendaja skeem.

Järelikult juhul, kui antenni toiteliini lainetakistus on 300 oomi, siis antenni sidestusringis pinge ülestransformeerimist ei toimu.

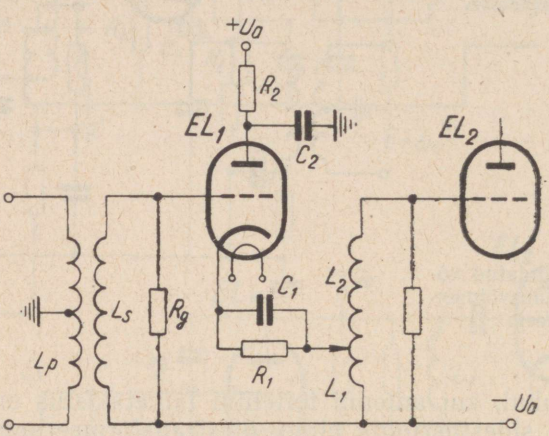
Maandatud võrega võimendaja eeliseks on suur võimendus ka sel juhul, kui sisendpinge allika sisetakistus on väike, ja asjaolu, et sisend- ning väljevooluringid on teineteise suhtes varjestatud. Võimendaja lampideks kasutatakse trioode, mis omavad väikest mürataset.

K a t o o d j ä r g i j a ehk m a a n d a t u d a n o o d i g a v õ i m e n d a j a lülitusskeem on näidatud joonisel 8-7. Samuti kui maandatud võrega võimendaja, ei vaja ka maandatud anoodiga (katoodväljega) võimendaja parasiitvõnkumiste neutraliseerimist. Selles võimendajas juhitakse sisendpinge võrele, kuid anood on ühendatud maaga mahtuvuse C_2 kaudu, mis moodustab kõrgsagedusvooludele lühise. Väljepinge saadakse väikese takistusega katoodkoormuselt L_1. Järgmise astme sisendisse kõrgema pinge juhtimiseks kasutatakse autotransformaatorit L_1L_2. EL_1 küttejuhtmeisse tuleb lülitada järjestikku kõrgsagedus-paispoolid, et isoleerida katoodi ja kütteringi vaheline mahtuvus maast.

Kuna maandatud anoodiga võimendaja astmevõimendus kujuneb alati väiksemaks kui 1, siis ei saa teda kasutada pingevõimendajana. Seepärast leiab ta kasutamist mõnes eriotstarbelises võimendajas, mille väljetakistus peab olema eriti väike, eriti kui võimendaja toidab madala sisendtakistusega koormust, näiteks koaksiaalkaablit. Maandatud anoodiga võimendaja väljetakistus määratakse valemiga

$$R_v \approx \frac{1}{S}. \qquad (8\text{-}19)$$

Joonisel 8-8 on kujutatud kaasaegsetes televiisorites eriti levinud kaskoodvõimendaja, mida mõnevõrra täiendatud kujul kasutatakse televiisorite ette lülitatavates kõrgsagedusblokkides ПТП ja ПТК. Siin kasutatakse kaksiktrioodi, mille kumbki triood moodustab eraldi võimendusaste. Esimene neist on maandatud katoo-



Joon. 8-7. Maandatud anoodiga ehk katoodjärgijaga kõrgsagedusvõimendaja skeem.

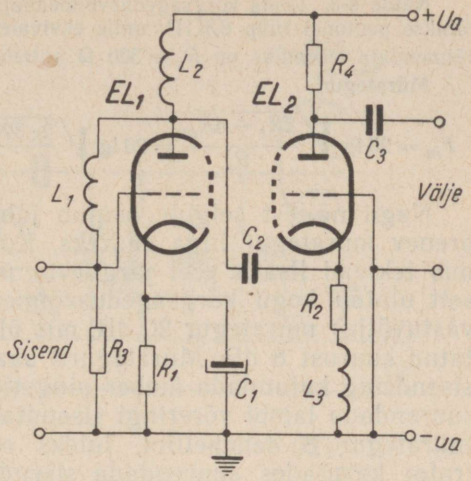
diga võimendaja, kus sisendpinge juhitakse võre ja maa vahele. Teine on maandatud võrega võimendaja, mille katoodile juhitakse esimese astme (EL_1) väljepinge. Astmetevaheliseks sidestuseks kasutatakse pooli L_2. Kõrgsagedus-paispool L_3 suurendab väljetakistust. Anoodi neutraliseerimiseks on kasutatud pooli L_1 EL_1 anoodi ja võre vahel. EL_2 ei vaja neutraliseerimist, sest ta töötab maandatud võrega. Mõlema astme üldine pingevõimendus võrdub suure tõusuga pentoodi võimendusega, kuid tema müratase on palju väiksem kui pentoodil.

Kaskoodvõimendaja pingevõimendust arvutatakse valemiga

$$K = \frac{\mu(1+\mu)}{\frac{R_i}{R_k}(2+\mu)}, \qquad (8\text{-}20)$$

kus μ on trioodi võimendustegur,
R_i — lambi sisetakistus,
R_k — koormustakistus võimendaja väljes.

Näide 8-2. Kaskoodlülituses kasutatakse kõrgsagedusvõimendajana kaksiktrioodi 6Н3П, kusjuures kummagi trioodi võimendustegur $\mu = 35$ ja sisetakistus $R_i = 6{,}5$ kΩ.



Joon. 8-8. Kaskoodvõimendaja põhimõtteskeem.

Kui võimendaja väljeringi lülitatud paralleelse võnkeringi ja seda sildavate takistuste üldine ekvivalentne takistus $R_k = 2600\ \Omega$, siis võimendaja üldine võimendus

$$K = \frac{\mu(1+\mu)}{1+\frac{R_i}{R_k}(2+\mu)} = \frac{35(1+35)}{1+\frac{6500}{2600}(2+35)} = 13{,}5.$$

Asendades sama võimendajas kaksiktrioodi 6Н3П moodsama lambiga 6Н14П, mille $S = 6{,}6$ mA/V ja $R_i = 4{,}0$ kΩ, leiame, et

$$\mu = SR_i = 6{,}6 \cdot 10^{-3} \cdot 4 \cdot 10^3 = 26{,}4;$$

$$K = \frac{26{,}4(1+26{,}4)}{1+\frac{4000}{2600}(2+26{,}4)} = 16{,}2.$$

Kõrgsagedusvõimendajas tekkivat mürataset hinnatakse samuti kui kogu vastuvõtjas arenevat müravõimsustki mürateguriga F_m. Eeldades ebasoodsaid vastuvõtutingimusi, mispuhul võimendajasse siseneva signaalipinge ja mürapinge suhe on 1, saab mürategurit avaldada valemiga

$$F_m = 20 \lg \sqrt{\frac{2R_s + 4R_m}{R_s}}\ \text{dB}, \qquad (8\text{-}21)$$

kus R_s on võimendaja sisendtakistus,
R_m — võimenduslampi iseloomustav ekvivalentne müratakistus, mis tuuakse iga lambi tüübi kohta lampide kataloogis.

Näide 8-3. Leida kõrgsagedusvõimendaja mürategur, kui võimendajas kasutatakse pentoodi tüüp 6Ж1П, mille ekvivalentne müratakistus $R_m = 1880\ \Omega$ ja võimendaja sisendiks on $R_s = 300\ \Omega$ antenni toiteliin.

Mürategur

$$F_m = 20 \lg \sqrt{\frac{2R_s + 4R_m}{R_s}} = 20 \lg \sqrt{\frac{2 \cdot 300 + 4 \cdot 1880}{300}} = 20 \lg 5{,}2 = 14{,}3 \text{ dB}.$$

Nagu näitest selgub, osutub juba pentoodvõimendajas endas arenev mürategur liiga suureks. Kui arvestada müravõimendusi, mis tekivad lisaks veel järgnevas muundusastmes, siis tõenäoliselt ulatub kogu kõrgsagedusvõimendaja (ja ühtlasi ka kogu vastuvõtja) mürategur 20 dB, mis ületab tunduvalt eespool soovitatud suurust 8 dB. Mürategurit saab mõnevõrra vähendada, kui sisendring kujundada ümber pingettõstva transformaatorina ning suurendada lambi võreringi sisendtakistust. Selleks et vähendada mürategur 8 detsibellini, tuleks eelnevas näites pingettõstvat trafot kasutades suurendada sisendtakistust 1750 Ω. Kuid selline suur takistuse suurendamine on vaevalt lubatav, sest teda sildab suhteliselt suur võimenduslambi sisendmahtuvus, mis ahendab ülekantavat sagedusriba tõenäoliselt kitsamaks, kui soovitav 6,5 MHz.

Kui asendada võimendajas pentood trioodiga, ei esine enam raskusi sisendastme mürateguri vähendamiseks soovitava suuruseni ja nimelt kahel põhjusel. Esiteks on trioodi ekvivalentne müratakistus tunduvalt väiksem ja sisendmahtuvus mõnevõrra madalam, mis ei piira enam sisendtakistuse vajalikku tõstmist.

Näide 8-4. Kõrgsagedusvõimendaja sisendis kasutatakse kaksiktrioodi 6Н14П esimest trioodi, mille ekvivalentne müratakistus $R_m = 380\ \Omega$ ja võreringi sisendtakistus $R_s = 1200\ \Omega$. Leida võimendusastme mürategur.

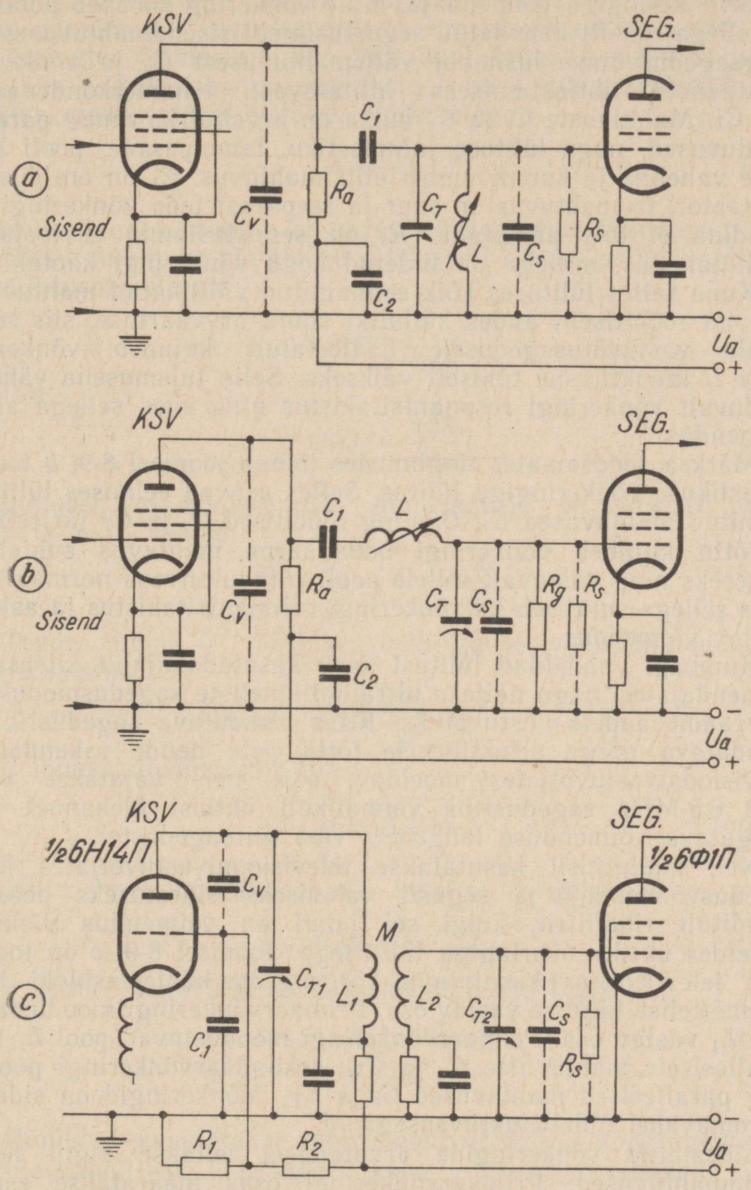
Mürategur

$$F_m = 20 \lg \sqrt{\frac{2R_s + 4R_m}{R_s}} = 20 \lg \sqrt{\frac{2 \cdot 1200 + 4 \cdot 380}{1200}} = 20 \lg 1{,}81 = 5{,}2 \text{ dB},$$

mida tuleb pidada väga heaks.

Kõrgsagedusvõimendaja sidestamine segustiga. Kõrgsagedusvõimendaja lambi anoodi ja segustuslambi võre vahel asub sidestuslüli, mis sisaldab mahtuvusi, induktiivsusi ja takistusi. See lüli koostatakse selliselt, et ta annaks segusti võrele üle maksimaalse signaalipinge. Selline lüli peab läbi laskma soovitud sagedusriba ja omama vastavalt kindlat Q väärtust.

Kõrgsagedusvõimendaja väljet on võimalik sidestada segustusastme sisendiga kas üksikvõnkeringi, kahe tugevasti sidestatud võnkeringi ehk ribafiltri või kahe nõrgalt sidestatud ja lahkuhäälestatud võnkeringi kaudu. Sidestusviisi valik sõltub sellest, millist sagedusriba peab kõrgsagedusvõimendaja üle kandma.



Joon. 8-9. Kõrgsagedusvõimendaja sidestamine segustiga:

a — paralleelse anoodtoitega üksikvõnkeringiga võimendaja, *b* — järjestikuse võnkeringiga lülitus, *c* — ribafiltriga lülitus.

Joonisel 8-9, *a* on toodud tavaline paralleelse anoodtoitega üksikvõnkeringiga võimendaja, mille võnkering koosneb poolist L ja sellega rööbiti ühendatud segustuslambi sisendmahtuvusest C_s, kõrgsagedusvõimenduslambi väljemahtuvusest C_v ja võnkeringi mahtuvuste ühtlustamiseks lülitatavast trimmerkondensaatorist C_T. Mahtuvuste C_s ja C_v hulka on arvatud ka muud parasiitmahtuvused, nagu lülituse juhtmestiku, lambipesade, pooli keerdude vaheline ja kanali ümberlüliti mahtuvus. C_1 on eralduskondensaator, ta mahtuvus on suur ja seepärast teda võnkeringi elemendina ei tule arvestada. R_s on segustuslambi ekvivalentne sisendtakistus, millega on liidetud kogu võnkeringi kaotakistus.

Kuna selles lülituses kõik eelmainitud vältimatud mahtuvused liituvad rööbitiselt, andes küllaltki suure arvväärtuse, siis soovitavale vastuvõtusagedusele häälestatult kujuneb võnkeringi pooli L induktiivsus tühiselt väikeseks. Selle tulemusena väheneb tunduvalt võnkeringi resonantsitakistus ning koos sellega astme võimendus.

Märksa soodsamates tingimustes töötab joonisel 8-9, *b* toodud järjestikuse võnkeringiga lülitus. Selles asuvad eelmises lülituses mainitud mahtuvused C_1, C_v ning rööbitised C_s ja C_T järjestikku. Seetõttu kujuneb võnkeringi summaarne mahtuvus suhteliselt väikeseks ning vastavalt sellele pooli L induktiivsus normaalseks. Koos sellega suureneb ka võnkeringi resonantsitakistus ja astmelt saadav võimendus.

Kumbagi vaadeldud lülitust saab kasutada ainult kitsasribavõimendajates, nagu näiteks ultralühilaineliste sagedusmoduleeritud raadiosaadete vastuvõtuks. Kitsa ülekantava sagedusriba ja arendatava nõrga selektiivsuse tõttu pole nende rakendamine televisioonivastuvõtjates mõeldav, sest neis vajatakse vähemalt 6,5-MHz sagedusriba võimalikult ühtlast ülekannet ilma märgatava võimenduse languseta riba piirsagedustel.

Neil kaalutlusil kasutatakse televisioonivastuvõtjates kõrgsagedusvõimendaja ja segusti vaheliseks sidestuseks peaaegu eranditult ribafiltrit, kuigi sel juhul on võimendus väiksem, võrreldes üksikvõnkeringiga lülitusega. Joonisel 8-9, *c* on toodud meie televiisorites kasutatava kõrgsagedus-häälestusbloki ПТК põhimõttelise lülituse vastav osa. Primaarvõnkeringi moodustavad pool L_1 vastav osa. Primaarvõnkeringi moodustavad pool L_1 koos paralleelsete mahtuvuste C_v ja C_{T1}, sekundaarvõnkeringi pool L_2 ning paralleelsed mahtuvused C_s ja C_{T2}. Võnkeringid on sidestatud omavahel ühisinduktiivsusega M.

Sidestatud võnkeringide arvutamisel leitakse algul nende koondmahtuvused. Primaarvõnkeringi osas määratakse esmalt kõrgsagedusvõimenduslambi anoodi ja võre vaheline mahtuvus C_{ak}, millele liidetakse lülituse parasiitmahtuvus ning saadakse üldine väljemahtuvus C_v. Trimmeri mahtuvuseks valitakse 10% C_v mahtuvusest. Samal põhimõttel leitakse ka sekundaarvõnke-

ringi üldine mahtuvus sisendmahtuvuse C_s arvväärtusest. Teades kummagi võnkeringi üldised mahtuvuse väärtused ja kasutatava televisioonikanali järgi keskmise resonantsisageduse, arvutatakse võnkeringide häälestamiseks vajalikud induktiivsused L_1 ja L_2. Kaetava sagedusriba piirsageduste f_1 ja f_2 ning keskmise resonantsisageduse järgi leitakse sidestustegur

$$k = \frac{f_1 - f_2}{f_r}. \tag{8-22}$$

Katseliselt on selgunud, et parim võnkeringide hindetegur Q on ca 50% suurem kriitilise sidestuse k_{kr} puhul vajatavast Q väärtusest. Seega

$$k_{kr} = \frac{1{,}5}{\sqrt{Q_1 Q_2}}, \tag{8-23}$$

millest

$$Q_1 Q_2 = \frac{2{,}25}{K^2_{kr}}. \tag{8-24}$$

Tingimusel, et võnkeringide hindetegurid on võrdsed, s. o. $Q_1 = Q_2 = Q$, saame:

$$Q = Q_1 = Q_2 = \frac{1{,}5}{k_{kr}}. \tag{8-25}$$

Teades nüüd Q väärtuse, määratakse võnkeringide üldine aktiivtakistus r:

$$Q = \frac{\omega_r L_1}{r_1}, \text{ millest } r_1 = \frac{\omega_r L_1}{Q} \text{ ja } r_2 = \frac{\omega_r L_2}{Q}, \tag{8-26}$$

ning lõpuks ühisinduktiivsus

$$M = \frac{\sqrt{r_1 r_2}}{2\pi f_r}. \tag{8-27}$$

Ribafiltri resonantsitakistus R_{0e} leitakse valemiga

$$R_{0e} = \pi f_r \sqrt{L_1 L_2 Q_1 Q_2} \tag{8-28}$$

ning astme pingevõimendus kaskoodlülituse korral

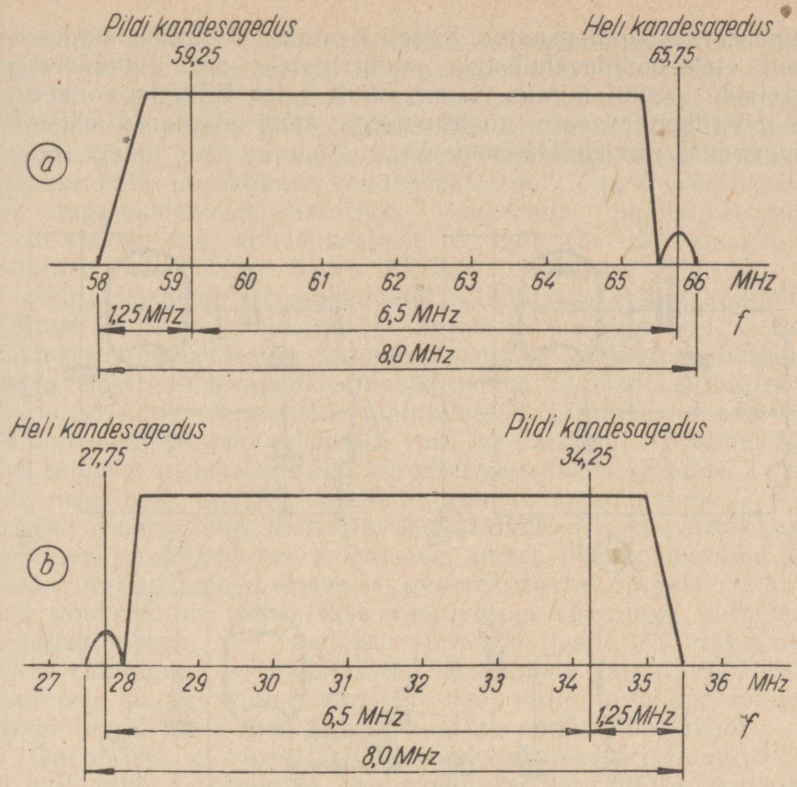
$$k = \frac{\mu(1+\mu)}{1 + \frac{R_i}{R_{0e}}(2+\mu)}. \tag{8-29}$$

Mõnikord kasutatakse televisioonivastuvõtja kõrgsagedusosas lampidevaheliseks sidestuseks kahe võnkeringi lahkuhäälestust. Sel puhul üks võnkering häälestatakse kanali kesksagedusest f_r mõnevõrra kõrgemale, teine — sümmeetriliselt madalamale sagedusele. Seejuures on nõudeks, et võnkeringide vahel peab otsene induktiivne või mahtuvuslik side olema minimaalne.

Kohalik ostsillaator. Kohalik ostsillaator ehk heterodüün peab genereerima ja üle andma segustile sellise sagedusega ostsillaatoripinge, mis, segustudes soovitava saatja signaalipingega, tekitaks segusti väljes õige sagedusega vahesageduspinge. Seejuures peab ostsillaatori väljepinge amplituud olema küllalt kõrge, et ta segustumine signaalipingega toimuks efektiivselt. Ostsillaatori sageduse stabiilsuse nõue on televisioonivastuvõtjas väga oluline, sest televiisori täppishäälestus vastuvõetavale kanalile toimubki just ostsillaatori sageduse reguleerimise teel. Kui ostsillaatori sagedus muutub vastuvõtu kestel, siis muutub ka suhteliselt laia sagedusribaga televisioonisignaali üldkuju, mille tulemuseks on nii kujutise kui ka helitausta ülekandekvaliteedi moonutus. Eriti tõsiseks kujunevad heli moonutused vanemat tüüpi kahe kanaliga vastuvõtjates, milledes heli- ja kujutisesignaal eraldatakse kohe pärast sageduse muundamist, sest siis toimub helisignaali võimendus suhteliselt kitsas kanalis. Genereeritava ostsillaatorisageduse triivimist põhjustab peamiselt lambi elektroodide vaheliste ja muude mahtuvuste muutumine vastuvõtja töösselülitamise algul, 15 ... 20 minuti kestel, mille vältel stabiliseerub enam-vähem normaalne temperatuurirežiim. Teiseks triivimise peapõhjuseks on lampide toitepingete muutumine. Ostsillaatorisageduse järelehäälestamiseks on kõigis televiisorites võimalus olemas. Peale loetletud nõuete esitatakse kohalikule ostsillaatori lülitusele veel täiendav nõue, et oleks tõkestatud ostsillaatorisageduslike voolude pääs antenni, kus nad välja kiirguvad ja esile kutsuvad häireid teistele naabruses töötavatele televisioonivastuvõtjatele. Kõrgsagedusliku osa väljatoomine eraldi blokki, selle bloki täielik varjestamine metallümbrisega ja kaskoodlülituse kasutamine kõrgsagedusvõimendajas praktiliselt väldivad selliste häirevoolude pääsu antenni.

Ostsillaatorisagedus valitakse harilikult vastuvõetava signaali sagedusest kõrgem, millega saavutatakse mõningaid eeliseid, võrreldes madalama ostsillaatorisagedusega. Sellega saadakse helivahesagedusvõimendaja suurem võimendus, koos sellega kujutisevõimendaja küllaldane sagedusriba laius ja parem lahkuhäälestus peegelkanali suhtes. Sel juhul muutub kujutise vahesagedus heli vahesagedusest kõrgemaks ning signaali sagedusspekter ise osutub ümberpööratuks. Joonisel 8-10, *a* on kujutatud 2. televisioonikanalil töötava saatja signaali täielik sagedusspekter, joonisel 8-10, *b* on kujutatud sama signaal pärast sageduse muundamist seesugusena, nagu ta välja näeb vahesagedusvõimendajasse juhtimisel.

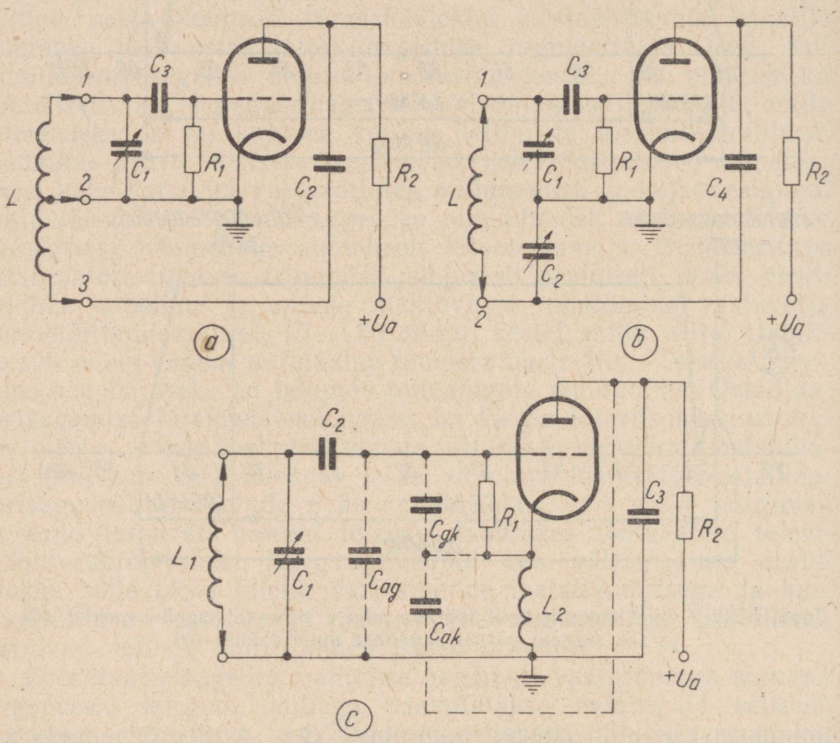
Tööpõhimõttelt ei erine ultrakõrgsageduslike vastuvõtjate kohalikud ostsillaatorid pikemail laineil kasutatavaist, kuid lülituslikult on neis siiski erinevusi. Kuna ultrakõrgsagedusalas kujunevad võnkeringide elemendid *L* ja *C* väga väikesteks, siis ei saa võnkeringide projekteerimisel enam arvestamata jätta



Joon. 8-10. 2. televisioonikanalil töötava saatja signaali sagedusspekter (*a*) ja see signaal pärast sageduse muundamist (*b*).

lampide elektroodidevahelisi mahtuvusi (2 . . . 3 pF) ja montaažijuhtmete vahelisi mahtuvusi (3 . . . 5 pF). Kõrgematele sagedus-kanalitele ostsillaatoreid kavandades tuleb arvestada isegi ühendusjuhtmete induktiivsusi. Selleks et säilitada ostsillaatorlambi anoodringi takistus suurena, mis on kindla ostsilleerumise eelduseks, tuleb võnkeringi L/C suhe hoida võimalikult kõrge. See on teostatav ainult siis, kui kõik ostsillaatori lülituses vältimatult esinevad kõrvalmahtuvused, millest äsja oli juttu, lülitatakse otstarbekalt kas võnkeringi või tagasiside mahtuvusena. Samuti tuleb ka ühendusjuhtmete induktiivsused liita võnkeringi pooliga järjestikku. Kuna need vältimatud mahtuvused ja eriti ostsillaatorlambi elektroodidevahelised mahtuvused muutuvad koos lambi temperatuuri tõusuga, siis sellest tuleneva ostsillaatori sageduse triivimise vähendamiseks lülitatakse mõnikord võnkeringi veel väike negatiivse dielektriku temperatuuriteguriga

kompenseeriv kondensaator. Sageli lisatakse rööbitisi kondensaatoreid elektroodidevahelistele mahtuvustele paraja väärtusega tagasiside saavutamiseks. Loomulikult tuleb lülitada võnkeringi veel pöördkondensaator mahtuvusega mõni pikofarad ostsillaatorisageduse järelehäälestamiseks.



Joon. 8-11. Kohalike ostsillaatorite lülitusi:

a — induktiivse sidestusega kolmpunktlülitus, *b* — mahtuvusliku sidestusega kolmpunktlülitus, *c* — ultraaudionlülitus.

Kooskõlas eeltoodud põhimõtetega osutub sobivaimaks ostsillaator kolmpunktlülituses, mis lihtsustatud kujul on toodud joonisel 8-11. Joonisel 8-11, *a* on antud induktiivse sidestusega kolmpunktlülitus (Hartley' lülitus), mida kasutatakse siiski harva peamiselt seetõttu, et kanalite ümberlülitamine on keerukam, sest tuleb ümber lülitada kõik kolm pooli *L* punkti *1*, *2* ja *3*. Peale selle on võimalik ostsilleerimine veel lisasagedustel, milledele võivad pooli osad lülituse lisamahtuvustega häälestuda.

Kõige töökindlamaks ja seetõttu ka levinuimaks tuleb pidada mahtuvusliku sidestusega kolmpunktlülitust (Colpittsi lülitus), mis on kujutatud joonisel 8-11, *b*. Lülituse eeliseks eelmisega võrreldes on see, et pool L lülitatakse ümber ainult kahe otsmise punkti kaudu, sest katoodile kanduv võnkeringi keskpunkt saavutatakse kahe järjestikuse kondensaatoriga C_1 ja C_2, milledest C_2 on tagasisidekondensaatoriks. Võnkeringi täppishäälestuseks kasutatakse kas kondensaatorit C_2 või C_1. Kõrvalsagedustel ostsilleerumise oht on selles lülituses praktiliselt välditud.

Väga kõrgetel ultrasagedustel eelistatakse erilist kolmpunktlülitust — ultraaudioni, mis on kujutatud joonisel 8-11, *c*. Selles lülituses moodustatakse katoodile kanduv võnkeringi keskpunkt lambi elektroodidevaheliste mahtuvustega C_{gk} ja C_{ak}, millest viimane on ühtlasi tagasiside mahtuvuseks. Lülituses ei asu lambi katood enam maapotentsiaalil, vaid on paispooli L_2 toimel tõstetud sellest kõrgemale. Väga kõrgetel sagedustel jäetakse L_2 isegi ära ning teda asendab täielikult katoodi maandusjuhe.

Ostsillaatori õige töörežiim saavutatakse siis, kui võrele tagasikanduva pinge väärtus moodustab umbes ühe kolmandiku kogu võnkeringi klemmidel arenevast genereeritavast pingest. Ostsillaatori võnkerežiim säilitatakse vastuvõtjas võrepinge automaatse reguleerimisega, mis saadakse võrevoolu poolt tekitatava negatiivse eelpingega võretakistil R_1. Võnkumiste amplituudi tõusuga suureneb ka negatiivne võre-eelpinge, mille tagajärjel väheneb lambi tunnusjoone tõus S ning taastub endine tööolukord.

On oluline, et võretakisti ja võrekondensaatori (joon. 8-11, *a* ja *b* R_1 ning C_3) korrutis, mis moodustab võreringi ajakonstandi τ_g, jääks arvuliselt alati väiksemaks võnkeringi ajakonstandist τ_f:

$$\tau_g < \tau_f, \quad \text{s. o.} \quad R_g C_g < \frac{Q}{\pi f}, \tag{8-30}$$

kus R_g — võretakistus Ω;
C — võrekondensaatori mahtuvus F;
Q — võnkeringi hindetegur;
f — võnkesagedus Hz.

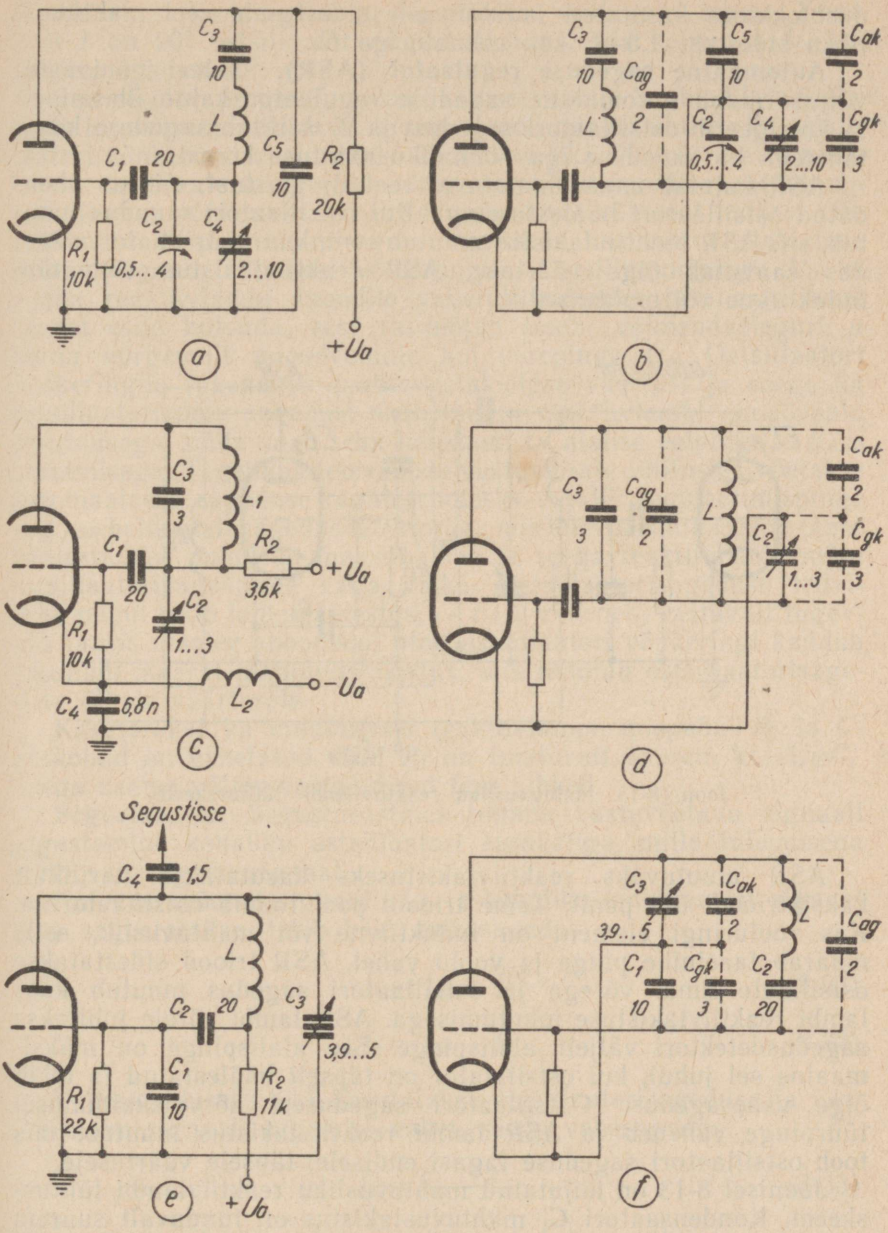
Kui seda nõuet ei täideta, siis ei saa võre-eelpinge enam muutuda võrdeliselt võnkumiste amplituudiga, mille tõttu võnkumised arenevad selliste amplituudväärtusteni, mille lõpuks piirab lambi tunnusjoone kõverus. Sel puhul ulatub võre-eelpinge sellise väärtuseni, mis sulgeb lambi. Ostsilleerumine taastub uuesti alles siis, kui negatiivne laeng on jõudnud võretakisti kaudu ära lekkida ning uus parasiitvõnkumiste tsükkel kordub. Selline tsükkeline võnkumiste tekkimine ja katkemine avaldub selles, et ostsillaatori põhivõnkumine moduleerub terve sageduste spektriga, milles esinevad külgsagedused paiknevad üksteisest eemal parasiitvõnkumise sageduse võrra.

Joonisel 8-12 on kujutatud meie televiisorite kõrgsagedusblokkides kasutatavate kohalike ostsillaatorite lülitusskeemid ja nende ekvivalentskeemid. Skeeme lähemalt vaadeldes selgub, et neis kõikides on ostsillaator rakendatud töösse mahtuvusliku sidestusega kolmpunktlülituses, milles lambi elektroodide vahelised ja montaažimahtuvused on ära kasutatud kas võnkeringi häälestuseks või sidestuseks. Joonisel 8-12, *a* on toodud kõrgsagedusblokis ПТП-1 kasutatava ostsillaatori lülitusskeem ja 8-12, *b* — selle lihtsustatud ekvivalentskeem. Kondensaator C_3 mahtuvusega 10 pF on lülitatud järjestikku võnkeringi mahtuvuste komplektiga selleks, et vähendada võnkeringi üldist mahtuvuse väärtust, mis võimaldab suurendada suhet L/C ja koos sellega anoodkoormuse takistust. Blokk ПТП-1 on ette nähtud töötamiseks esimesel viiel televisioonikanalil ja kolmel ultralühilainelise ringhäälingu astmikul. Teda kasutatakse vanemat tüüpi televiisorites, nagu näiteks «Temp 2», «Rekord», «Rubin», «Rubin A», «Jantar», «Belaruss 3».

Mõnedes televiisorites, nagu «Avangard 55», «Znamja 56», ja «Mir», on kasutatud kõrgsagedusblokki ПТП-2, mis konstruktiivselt sarnaneb põhijoontes blokiga ПТП-1, välja arvatud väikesed erinevused, nagu näiteks C_2 ja C_3 puudumine ning mõnevõrra erinev sageduskarakteristik.

Tingituna vajadusest kasutada 5 kanali asemel 12 kanalit, tuli luua konstruktiivselt mõnevõrra erinev blokk, sest endiste blokkide lülitustes kujunes suhe L/C ja vastavalt sellele ka anoodkoormustakistus liiga väikeseks, et tagada korrapärane ostsilleerimine ka kõrgemate kanalite sagedustel. Selliseks üleminekuaja kõrgsagedusblokiks on 1956. a. televiisoris «Temp 3» kasutusele võetud 12-kanaliline blokk ПТП-56, mille põhimõtteline ja ekvivalentne lülitusskeem on toodud joonisel 8-12, *c* ja *d*. Nagu nähtub, on lülituses ära jäetud kondensaatorid C_5, C_4, C_3, mille ülesandeid täidavad nüüd peaaegu täielikult lambi elektroodide vahelised mahtuvused. Peale selle on tunduvalt vähendatud täppishäälestuse kondensaatori C_2 (ПТП-1 — C_4) mahtuvust.

Veelgi lõplikuma kuju on omandanud kõrgsagedusblokk ПТК (joon. 8-12, *e* ja *f*), mida kasutatakse peaaegu kõigis alates 1958. a. teisest poolest väljalastavates televiisorites, nagu «Znamja 58», «Rubin 102», «Rekord B», «Temp 3». Selle bloki erinevuseks blokiga ПТП-56 võrreldes on see, et võrekondensaator C_2, mis on nüüd ühtlasi ka võnkeringi järjestikuseks elemendiks, piirab võnkeringi üldmahtuvust. Täppishäälestus on viidud võnkeringi võrepoolsest otsast anoodipoolsesse otsa ning tagasiside suurus on tehtud kondensaatori C_1 lülitamisega jäävaks. Kuna on võetud tarvitusele uut tüüpi sagedusmuundaja lamp triood-heptood 6Ф1П, mille trioodosa toimib ostsillaatorina ja heptoodosa segustina, siis osutus otstarbekaks ostsillaatori sidestamiseks segustiga kasutada täiendavalt varasemates kõrgsage-



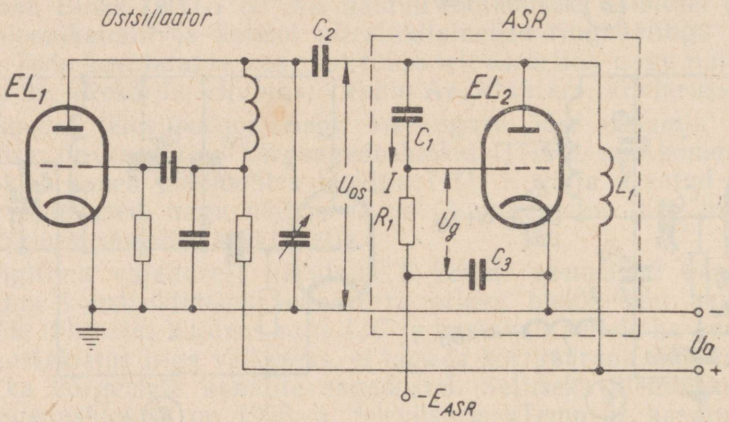
Joon. 8-12. Televiisorite kõrgsagedusblokkides kasutatavate kohalike ostsillaatorite lülitus- ja ekvivalentskeemid:

a ja *b* — ПТП-1, *c* ja *d* — ПТП-56, *e* ja *f* — ПТК.

dusblokkides kasutatud induktiivsele sidestusele veel mahtuvuslikku sidestust 1,5-pF kondensaatoriga C_4.

Automaatne sageduse regulaator (ASR). Televisioonivastuvõtjas täidab automaatne sageduse regulaator kahte ülesannet: 1) korrigeerib ostsillaatori sagedust ja 2) säilitab sageduse konstantsena ka sageduse iga võimaliku muutuse korral.

ASR kujutab endast muutuvat reaktiivtakistust, mis on ühendatud ostsillaatori häälestusringi. Kui ostsillaatori sagedus muutub, siis ASR reaktiivtakistus muutub seni, kuni ostsillaatori sagedus saavutab õige väärtuse. ASR reaktiivtakistus võib olla induktiivne või mahtuvuslik.



Joon. 8-13. Mahtuvusliku reaktiivlambi lülitusskeem.

ASR muutuvaks reaktiivtakistuseks kasutatakse harilikult kaksiktrioodi üht poolt. Teine trioodi pool toimib ostsillaatorina. Kas vooluringi element on induktiivne või mahtuvuslik, selle määrab faasinihe pinge ja voolu vahel. ASR triood sidestatakse ostsillaatorlambi võrega ja ostsillaatori sagedus muutub koos lambi reaktiivtakistuse muutumisega. ASR lambi võrele juhitakse sagedusdetektori väljelt alalispinge. See alalispinge on maksimaalne sel juhul, kui ostsillaator on täpselt häälestatud ja tekib õige vahesagedus. Ostsillaatori sagedusest kõrvalekaldumisel tüürpinge väheneb ja ASR lambi reaktiivtakistus muutub, mis toob ostsillaatori sageduse tagasi endisele, täpsele väärtusele.

Joonisel 8-13 on kujutatud mahtuvusliku reaktiivlambi lülitusskeem. Kondensaatori C_1 mahtuvustakistus on tunduvalt suurem kui R_1 takistus. Kondensaator C_2 on eralduskondensaator, sest ta kaitseb anoodpinget lühistumise eest.

Kui $1/\omega C_1 > R_1$, siis tekib ostsillaatorilt rakenduva pinge U_{os} toimel R_1C_1-ringis mahtuvuslik vool. See vool I läbib takisti R_1

ja tekitab selles pingelangu U_g, mis on vooluga I faasis. Kuna vool I on 90° ostsillaatoripingest U_{os} ees, siis ka pinge U_g on pingest U_{os} ees 90°.

See eesolev pinge U_g rakendatakse reaktiivlambi EL_2 võrele, mille tulemusena osutub ka ta anoodvool, mis on ühtlasi ka ostsillaatori võnkeringi voolu üheks komponendiks, 90° võrra ette nihutatuks ostsillaatoripinge U_{os} suhtes. Järelikult sunnib reaktiivlamp ostsillaatori võnkeringis voolu suuremal või vähemal määral ette ruttama selle pingest, mis on samaväärne lisamahtuvustakistuse lülitamisega ostsillaatori võnkeringile. Ostsillaatoripinge U_{os} ei suuda reaktiivlambi anoodile vahetult mõjudes tasakaalustavat toimet esile kutsuda, sest ta mõjub lambi võimendusteguri μ korda nõrgemalt anoodvoolule kui võrepinge U_g. Ostsillaatori võnkeringile rakenduva mahtuvustakistuse väärtust ja seega ka ostsillaatorivoolu sagedust saab muuta reaktiivlambi anoodvoolu muutmisega, mida saab teha hõlpsasti ta alalise eelpinge — E_{ASR} muutmisega. Tegelikus televisioonivastuvõtjate lülitustes võetakse automaatseks sageduse reguleerimiseks vajalik reguleerimispinge — E_{ASR} helikanali sagedusdetektorilt, mis televisioonikanalile täpse häälestamise puhul on maksimaalne ja seega reaktiivlambi mõju ostsillaatorisagedusele väga väike. Ostsillaatorisageduse triivimise puhul tekib lahkuhäälestus, — E_{ASR} väheneb, vastavalt tugevneb faasis eesolev anoodvool ning ostsillaatori võnkeringi kandub vajalikul määral mahtuvustakistus, mis nihutab ostsillaatorisageduse õigele väärtusele.

Kasutatakse ka induktiivset reaktiivlampi, mispuhul R_1 ja C_1 asukohad on vahetatud. Siin R_1 on tunduvalt suurem kui $1/\omega C_1$. Seega saame väljes vastupidised faasinihked.

Segustusaste. Segustusastmes toimub vastuvõetava signaali segustamine kohaliku ostsillaatori signaaliga, mille tulemusena tekib vahesagedussignaal.

Kui vastuvõetud signaal (f_s) ja kohaliku ostsillaatori signaal (f_{os}) segustatakse, tekib kaks tuikesagedust

$$f_1 = f_{os} + f_s \qquad (8\text{-}31)$$

$$f_2 = f_{os} - f_s \qquad (8\text{-}32)$$

Vahesageduseks (f_v) kasutatakse ostsillaatorisageduse ja vastuvõetava signaali sageduse vahet, seega vahesagedus

$$f_i = f_{os} - f_s. \qquad (8\text{-}33)$$

Vastuvõetav televisioonisignaal koosneb kahest põhisagedusest — kujutise ja heli kandesagedusest, millede vahe on 6,5 MHz, sest helisaatja signaal on 6,5 MHz kõrgem kujutisesaatja sagedusest. Kui kohaliku ostsillaatori sagedus on kõrgem vastuvõetavate

signaalide sagedusest, siis heli vahesagedus on 6,5 MHz võrra madalam kujutise vahesagedusest.

Segustusastme anoodvool sisaldab nii heli kui kujutise vahesagedusi. Eraldi vahesageduskanalitega televisioonivastuvõtjates, nagu näiteks «Temp 2», asetatakse nende vahesageduste eraldamiseks segusti anoodi häälestatud võnkeringid, mis on häälestatud vastavatele vahesagedustele.

Segustusastmes kasutatakse kristalldioode, lampdioode, trioode ja pentoode.

Oma väikeste sisemahtuvuste ja induktiivsuste tõttu kasutatakse segustitena kristalldioode väga kõrgetel sagedustel.

Kristalldetektorite ja dioodide eeliseks on nende madal müratase, ent nad ei võimenda signaali. Pentoodid tekitavad trioodidest küll tugevamat müra, kuid nende võimendus on suur.

Segustusastme võimenduse määrab segustuslambi tunnusjoone tõus, sisendmahtuvus, sisendtakistus ja ekvivalentne müratakistus. Segustusastme võimendus pentoodi ja heptoodi kasutamisel

$$K = S_s R_0 \tag{8-34}$$

ja trioodi puhul

$$K = S_s \frac{R_i R_0}{R_i + R_0}, \tag{8-35}$$

kus S_s on segustuslambi muundustõus,

R_i — lambi sisetakistus,

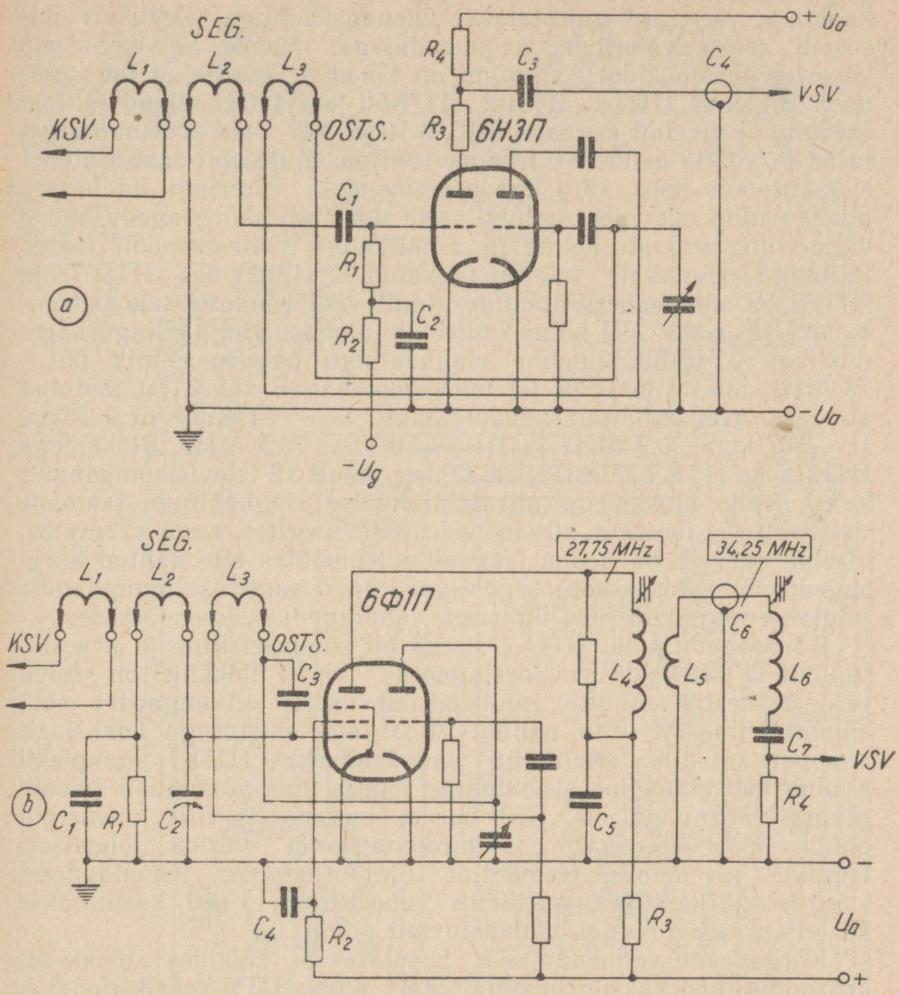
R_0 — anoodringi ekvivalentne koormustakistus, mille moodustab vahesagedusele häälestatud paralleelne võnkering koos rööbitise summutustakistusega (kui viimast kasutatakse).

Muundustõus S_s leitakse kasutatava lambi maksimaalse tõusu S_{max} ja varivõrevoolu I_{g2} ning anoodvoolu I_{a0} suhte järgi:

$$S_s = \frac{0{,}28}{1 + \frac{I_{g2}}{I_{a0}}} S_{max}. \tag{8-36}$$

Sellele vastavalt on trioodidel $S_s \approx 0{,}28\ S_{max}$, pentoodidel ja heptoodidel $S_s \approx 0{,}22\ S_{max}$.

Joonisel 8-14 on kujutatud kaks tüüpilist segustusastme lülitust, milledest lülitust *a* kasutatakse televiisorite kõrgsagedusblokis ПТП-1 ja lülitust *b* kõrgsagedusblokis ПТК. Esimeses on kasutusel kaksiktriood 6Н3П, mille esimene triood töötab segustina ja teine kohaliku ostsillaatorina. Kõrgsagedusblokis ПТК toimib segustina kaksiklambi 6Ф1П heptoodosa ja ostsillaatorina trioodosa. Segustusastme sidestamine toimub mõlemas lülituses nii kõrgsagedusvõimendajaga kui ka kohaliku ostsillaatoriga



Joon. 8-14. Segustuslambi põhimõttelisi lülitusi kõrgsagedusblokkides:

a — ПТП-1, *b* — ПТК.

induktiivselt poolikomplekti L_1, L_2, L_3 kaudu, ПТК blokis täiendatakse seda sidet veel mahtuvuslikuga C_3 abil.

Segustusastmes f_s ja f_{os} tuiklemise teel saadud vahesageduslikud võnkumised juhitakse segusti väljest vahesagedusvõimendajasse.

Kõrgsagedusblokid. Kaasaegsed televiisorid on varustatud eri šassiile monteeritud kõrgsagedusvõimendaja ja sagedusmuunduse komplektiga, mille sisend on ühendatud antennist suubuva toite-

kaabliga, välje aga sidestatakse ühenduskaabliga televiisori üldšassiil asuva vahesagedusvõimendajaga. Nende universaalsete kõrgsagedusblokkide üksiksõlmi on lähemalt käsitletud juba eespool. Blokkide ПТП-1, ПТП-2, ПТП-56 ja ПТК täielikud lülitusskeemid on toodud joonistel 8-15, 8-16 ja 8-17. Nad kõik on varustatud 8- või 12-astmelise trummellülitiga, mille abil saab antenni sidestuspooli koos kõrgsagedusvõimendaja võreringi häälestuspooliga ning omavahel induktiivselt sidestatud kõrgsagedusastme välje- ning segustusastme ja ostsillaatori häälestuspooli ümber lülitada soovitavale televisioonikanalile. Blokkides ПТП-1 ja ПТП-2 toimub ümberlülitamine ainult viiel esimesel televisioonikanalil ja lisaks veel kolmel ultralühilainelise ringhäälingu sagedusribal. Ultralühilaineline ringhäälingu sagedusastmik 66... 73 MHz, mis asub II ja III televisioonikanali vahel, on jaotatud kolmeks avardatud alasagedusribaks: I — 64 kuni 67,5 MHz, II — 67 kuni 70,7 MHz ja III — 70 kuni 73,5 MHz. Blokkidega ПТП-56 ja ПТК häälestatakse ümber ainult 12 televisioonikanalit; kuna nende blokkidega ultralühilainelise ringhäälingu jaamade vastuvõttu ei teostata, siis mõnedes televiisorites, nagu «Temp 3», «Rubin 102» jt. on nende jaamade vastuvõtuks ette nähtud kõrgsagedusvõimendaja koos segustiga. Pärast sageduse muundamist juhitakse signaalid juba üldisesse vahesagedusvõimendajasse.

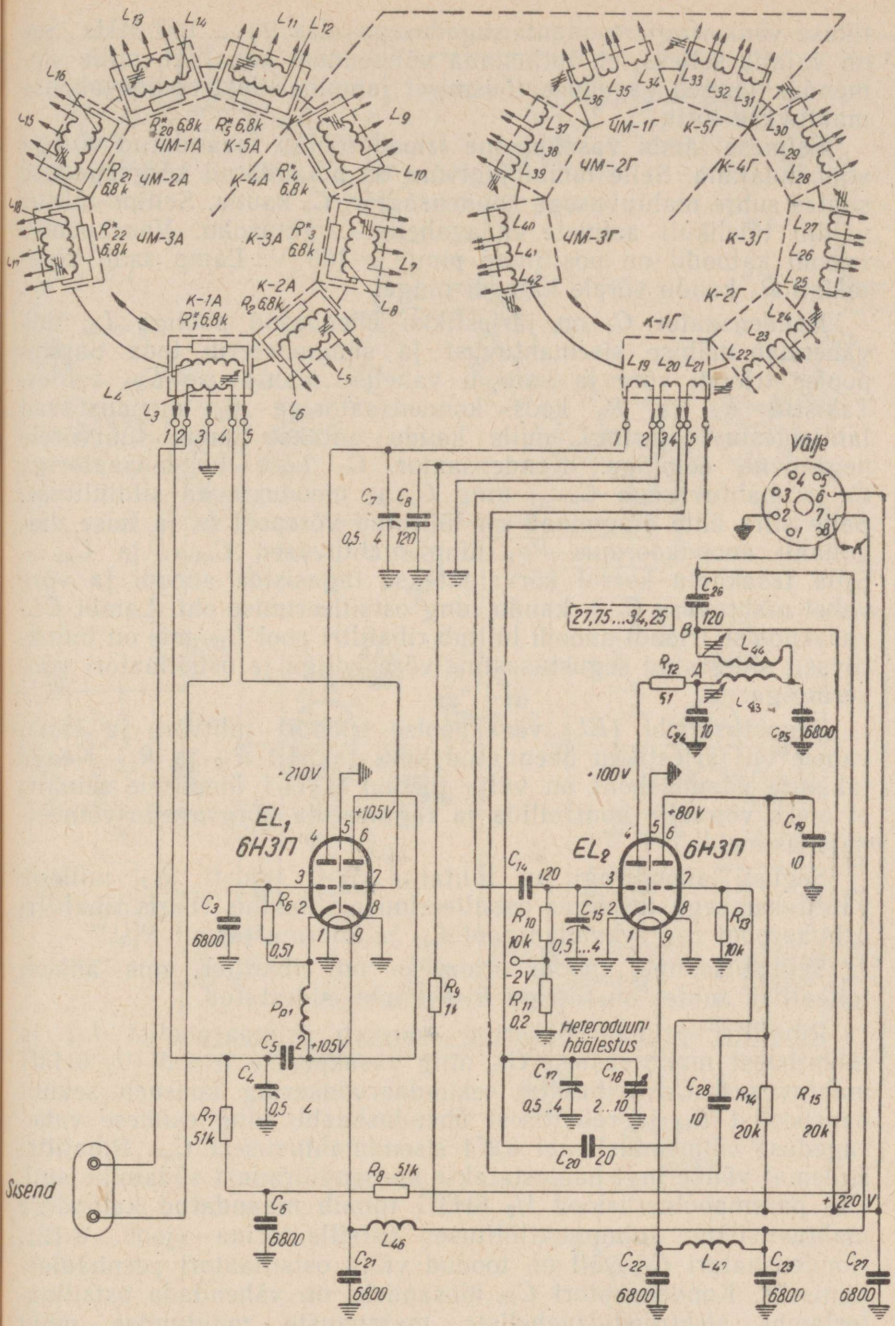
Kõrgsagedusbloki ПТП-1 sisend on sümmeetriline ja arvestatud 300-Ω toitekaabliga sidestamiseks. Teistel blokkidel on sisend peale väheste erandite (näiteks televiisoris «Avangard») ebasümmeetriline ja ette nähtud 75-Ω lainetakistusega koaksiaalkaablist antenni toiteliiniga ühendamiseks. ПТП-1 komplekti kuulub kaheastmeline sisendpinge jagaja, mis võimaldab sisendpinget vähendada 30... 50 korda, mis on tarvilik vastuvõtu puhul televisioonisaatja lähipiirkonnas, et vältida televiisori lampide ja muude elementide ülekoormamist. Samalaadseid sisendpinge jagajaid, harilikult vahekorraga 1 : 10 kasutatakse ka teistes televiisorites lähivastuvõtu puhul.

Kõrgsagedusvõimendajana kasutatakse kõikides blokkides kaskoodlülitust kaksiktrioodiga 6Н3П, blokis ПТК-kaksiktrioodiga 6Н14П. Ostsillaatorina ja segustina kasutatakse blokis ПТП kaksiktrioodi 6Н3П, blokis ПТК triood-heksoodi 6Ф1П.

Joonisel 8-15 on toodud kõrgsagedusbloki ПТП-1 üldine lülitusskeem.

Antennist sisenev signaal juhitakse transformaatori L_3L_4 kaudu kõrgsagedusvõimenduslambi parempoolse trioodi juhtvõrele. See triood töötab tavalises maandatud katoodiga lülituses. Esimese astme anood- ja teise astme katoodkoormuseks on paispool Pp_1. See paispool on sillatud teise trioodi väikese sisendtakistusega, mistõttu võimendaja läbilaskeriba on lai.

Paispooli Pp_1 induktiivsus on valitud selliselt, et ta koos teise trioodi võre ja katoodi vahelise mahtuvusega moodustab järjes-



Joon. 8-15. Kõrgsagedusbloki ПТП-1 skeem.

tikuse võnkeringi resonantsisagedusega alas 90 ... 100 MHz. See on vajalik selleks, et ühtlustada võimendust kanalitel, mille võimendus langeb sageduse tõusmisel lampide elektroodidevahelise mahtuvuse tõttu.

Esimese lambi vasakpoolne triood töötab maandatud võrega võimendajana. Selle lambi juhtvõre on maandatud kõrgsageduse suhtes suure mahtuvusega kondensaatori C_3 kaudu. Selline lülitus väldib täielikult astmete endavahelise ergutusohu. Vasakpoolse trioodi katoodil on positiivne pinge +105 V. Lamp saab võretakisti R_6 kaudu võrele katoodi pinge.

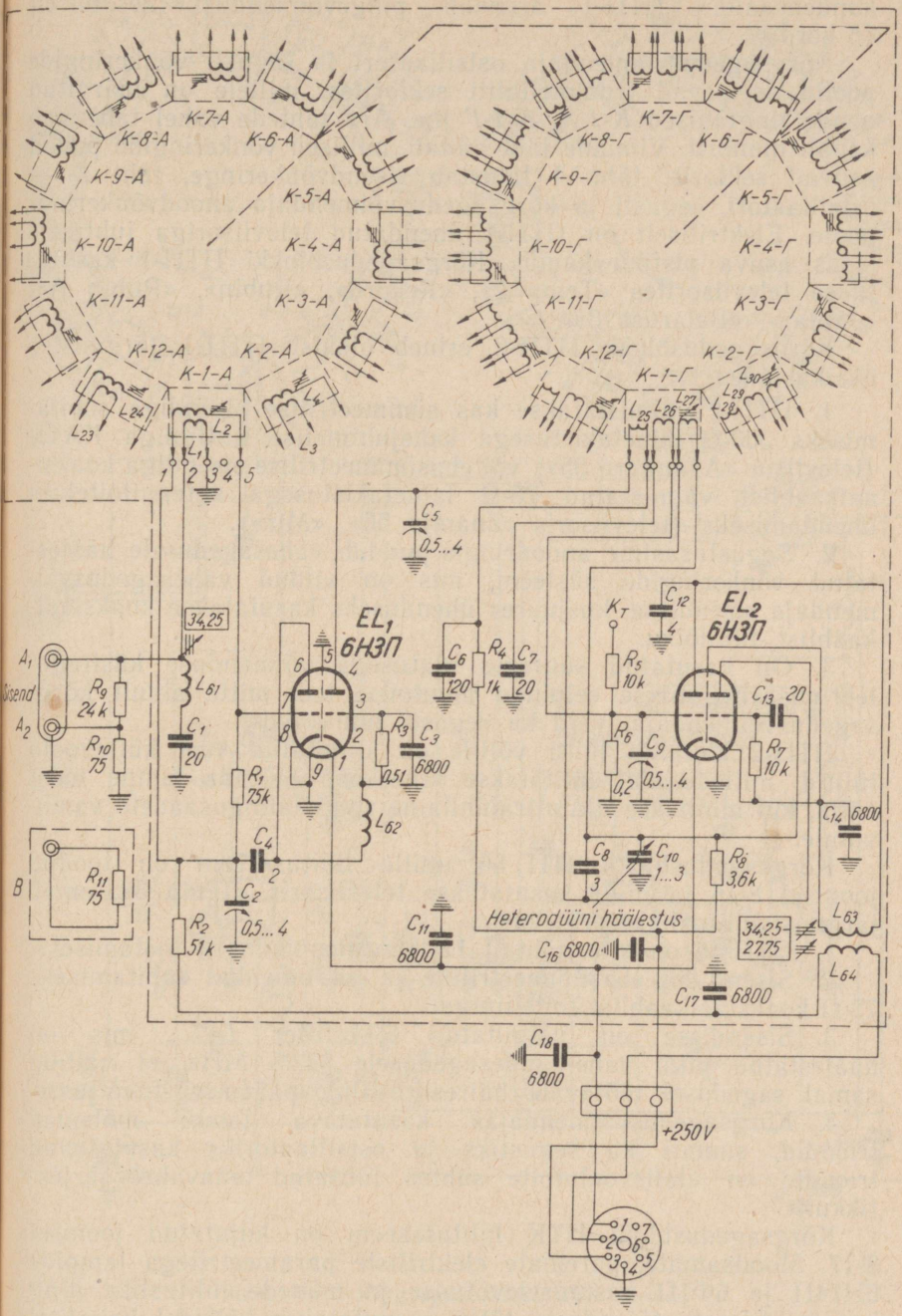
Kondensaator C_4 on järjestikku ühendatud pooliga L_4, mis vähendab mähise sisemahtuvust ja sümmetreerib teda parempoolse trioodi võre ja katoodi vahelise mahtuvuse C_{gk} suhtes. Takistid R_7 ja R_8 koos kondensaatoriga C_6 moodustavad lahtisidestusvooluringi, mille kaudu antakse lambi tüürvõrele negatiivne eelpinge. Kondensaator C_5 koos kondensaatoriga C_4 ja mahtuvusega C_{a1-g1} ning C_{g1-k1} moodustavad sildlülituse. Selle silla ühte diagonaali on lülitatud võrepool L_4 ja teise diagonaali anoodkoormus Pp_1 ning mahtuvused C_{a1-k1} ja C_{g2-k2}. Silla tasakaalu korral kõrvaldatakse tagasiside anoodi ja võre vahel mahtuvuse C_{a-g1} kaudu ning ostsilleerimise oht. Lambi EL_1 vasakpoolse trioodi anoodi lülitub ribafiltri pool L_{19}, mis on induktiivselt sidestatud segustusastme võrepooliga ja ostsillaatori võnkeringiga.

Segustuslambi (EL_2 vasakpoolse trioodi) juhtvõre ja šassii vahele on järjestikku ühendatud kaks takistit R_{10} ja R_{11}. Nende takistite ühenduskoht on välja toodud ПТП-1 ülemisele seinale, et oleks võimalik kontrollida ja reguleerida kõrgsagedusvõimendaja astmeid.

Segusti anoodringi on lülitatud 51-Ω takisti R_{12}, millega välditakse segustusastme ostsilleerimise võimalus ringis ribafiltri primaarpool L_{43}, sekundaarpool L_{44} ja koormustakisti R_{15}.

Segustusastme anoodkoormuseks on ribafilter, mis anoodi toiteallika suhtes on filtriga $R_{15}C_{25}$ lahti sidestatud.

Ribafiltri primaarvõnkering koosneb primaarpoolist L_{43} ja rööbitistest mahtuvustest C_{24} ning vasakpoolse trioodi $^1/_2$ 6Н3П mahtuvusest C_{ak}; ribafiltri sekundaarvõnkering koosneb sekundaarpoolist L_{44} ja rööbitisest ühenduskaabli ning esimese vahesageduse võimenduslambi 6Ж4 sisendmahtuvusest C_{gk}. Ribafiltri mõlemat võnkeringi häälestatakse karbonüülrauast südamike abil. EL_2 parempoolne triood $^1/_2$ 6Н3П toimib maandatud katoodiga mahtuvuslikus kolmpunktlülituses ostsillaatorina (joon. 8-12). Kondensaatori C_{18} võll on toodud välja ostsillaatori peenhäälestamiseks. Kondensaatori C_{28} ülesandeks on vähendada ostsillaatorlambi elektroodidevaheliste mahtuvuste muutumise mõju võnkeringile lambi soojenemisel. Kondensaator C_{26} on eraldus-



Joon. 8-16. Kõrgsagedusbloki ПТП-56 skeem.

kondensaator. ПТП-1 arendab pingevõimendust keskmiselt 16 korda.

Kõrgsagedusvõimendaja ostsillaatori ja segusti võnkeringide poolid asetsevad trummellüliti sektorites, millele on märgitud nende tingtähised *К-1-А*, *К-1-Г* jne. Arv tähtede vahel tähendab kanali numbrit. Viimane täht näitab, millised võnkeringide poolid asuvad sektoris: täht *А* tähistab sisendvõnkeringe, täht *Г* — ostsillaatori, segusti ja kõrgsagedusvõimendaja anoodvõnkeringi poole. Elektriliselt on ПТП-1 ühendatud televiisoriga juhtmete otsas asuva pistiku kaudu. Kõrgsagedusblokki ПТП-1 kasutatakse televiisorites «Temp 2», «Rekord», «Rubin», «Rubin A», «Jantar», «Belaruss 3».

Kõrgsagedusblokk ПТП-2 erineb blokist ПТП-1 järgmistes üksikasjades.

1. ПТП-2 valmistatakse kas sümmeetrilise sisendiga sobitamiseks 300-Ω lainetakistusega kahejuhtmelise lintliiniga КАТВ (televiisor «Avangard 55») või ebasümmeetrilise sisendiga koaksiaalkaablist valmistatud 75-Ω lainetakistusega antennitoiteliini ühendamiseks (televiisoris «Znamja 56», «Mir»).

2. Segustusastme anoodringis puudub vahesagedusele häälestatud võnkeringide süsteem, mis on viidud vahesagedusvõimendaja sisendisse, kusjuures ühenduseks kasutatakse koaksiaalkaablist liinilõiku.

3. On kasutatud suurema ulatusega võimenduse käsireguleerimist negatiivse eelpinge muutmise teel mitte ainult kõrgsagedusvõimendaja, vaid ka segusti tüürvõredel.

ПТП-2 kanalite lüliti võllile on kinnitatud veel küttevoolu lülitid, millede abil lülitatakse kineskoop ja rida lampe tööst välja, kui minnakse üle ultralühilaine ringhäälingusaadete vastuvõtule.

Kõrgsagedusblokk ПТП-56, mille lülitusskeem on toodud joonisel 8-16 ja mida kasutatakse televiisoris «Temp 3», omab järgmisi lülituslikke erinevusi.

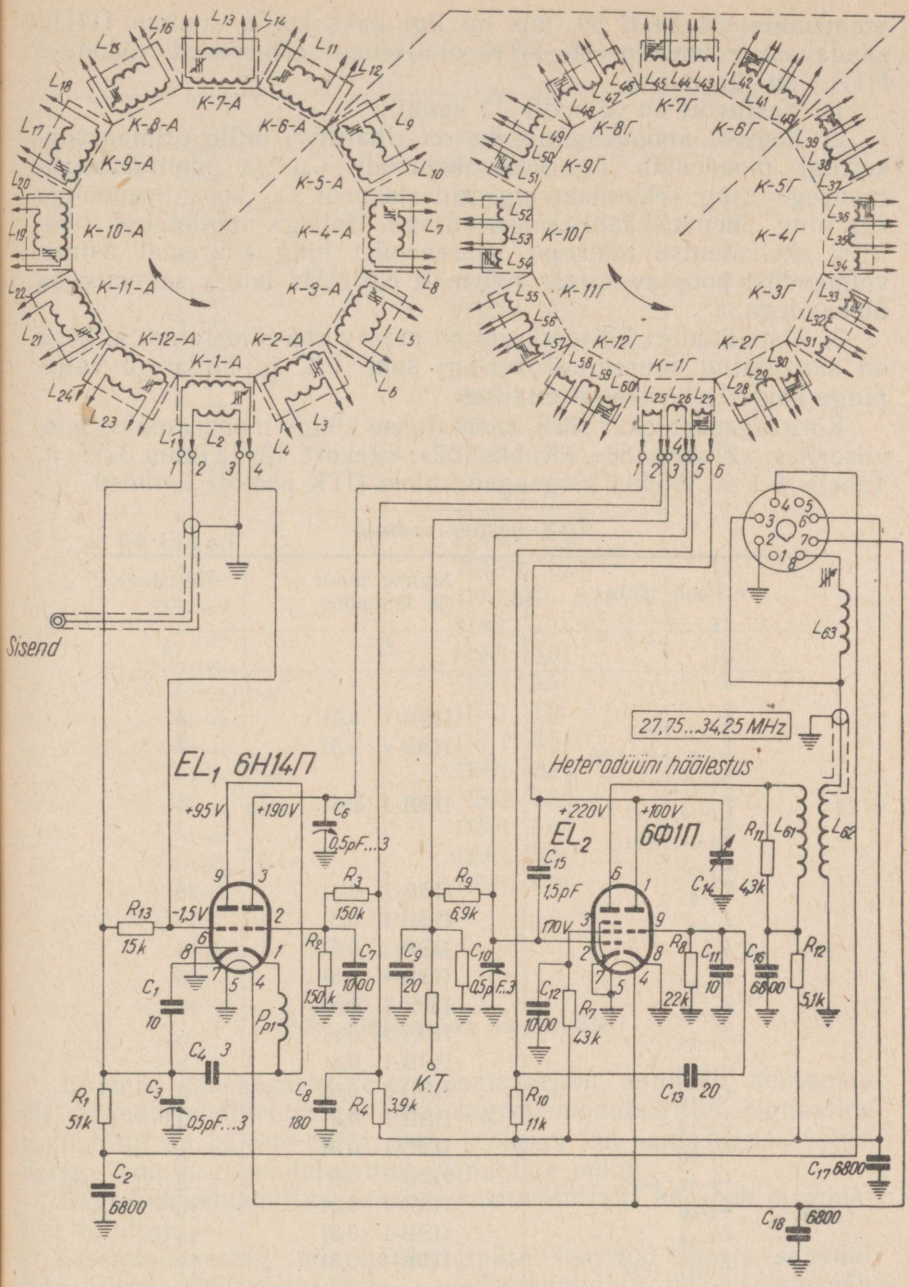
1. ПТП-56 on ette nähtud 12 televisioonikanalil töötamiseks.

2. Sisend on ebasümmeetriline ja on mõeldud sobitamiseks 75-Ω koaksiaalkaablist toiteliiniga.

3. Sisendisse on paigutatud tõkkefilter $L_{61}C_1$, mis on häälestatud pildi vahe-kandesagedusele 34,25 MHz, et vältida samal sagedusel töötavate häiresignaalide pääsu vastuvõtjasse.

4. Kõrgsagedusvõimendajas kasutatava lambi mõlemad trioodid, samuti ka segustiks ja ostsillaatoriks kasutatavad trioodid on alalisvoolutoite suhtes lülitatud omavahel järjestikku.

Kõrgsagedusbloki ПТК lülitusskeem on kujutatud joonisel 8-17. Moodsamate, paremate elektriliste parameetritega lampide 6Н14П ja 6Ф1П kasutuselevõtmise ja mõnede lülituslike ning konstruktiivsete täienduste tõttu saavutatakse kõikidel kanalitel



Joon. 8-17. Kõrgsagedusbloki ПТК skeem.

võimendus vähemalt 30, mis on ligi kaks korda suurem ПТП-1 saadavast võimendusest. ПТК olulisemad erinevused võrreldes ПТП-1 on järgmised.

1. Vastuvõtt on võimalik 12 kanalil.

2. Segusti anoodkoormuseks on ribafilter, mille primaarvõnkeringi moodustab L_{61} koos heptoodi C_{ak} ja montaažimahtuvusega ning sekundaarringi sidestuspool L_{62} koos lisapooliga L_{63} ning ühenduskaabli mahtuvusega. Sellega taotletakse ribafiltri ekvivalentse takistuse suurenemist ning suuremat astmevõimendust koos avarama, vähemalt 6,5 MHz laiuse sagedusriba ülekandega.

3. Ostsillaatori lülitusskeem on mõnevõrra täiustatud, millega on saavutatud suurem võnkeringi suhe L/C ja ühtlasem väljepinge kõigis televisioonikanalites.

Kõrgsagedusblokki ПТК kasutatakse kõigis moodsamates televiisorites: «Znamja 58», «Rubin 102», «Rekord 13», «Temp 3-59» jt. Tabelis 8-1 on toodud kõrgsagedusbloki ПТК poolide andmed.

ПТК poolide andmed [1]

Tabel 8-1

Pooli tähis	Juhtme mark ja läbimõõt	Keerdude arv
1	2	3
$L_{1-1,\ 1-3}$	ПЭВ-1 0,51	3
$L_{1-5,\ 1-7,\ 1-9}$	ПЭВ-1 0,51	2
$L_{1-11,\ 1-13}$, $L_{1-15,\ 1-17}$, $L_{1-19,\ 1-21}$, L_{1-23}	ПЭВ-1 0,51	1
L_{1-2}	ПЭВ-1 0,31	28
L_{1-4}	ПЭВ-1 0,31	22
L_{1-6}	ПЭВ-1 0,51	18
L_{1-8}	ПЭВ-1 0,51	16
L_{1-10}	ПЭВ-1 0,51	15
L_{1-12}	ПЭВ-1 0,51	5
L_{1-14}	ПЭВ-1 0,8	5
L_{1-16}	ПЭВ-1 0,51	4
L_{1-18}	ПЭВ-1 0,8	4
L_{1-20}	ПЭВ-1 0,51	3
$L_{1-22,\ 1-24}$	ПЭВ-1 0,8	3
L_{1-26}	ПЭВ-1 0,31	19
L_{1-28}	ПЭВ-1 0,31	14
$L_{1-31,\ 1-34}$	ПЭВ-1 0,51	11

[1] Tabelis on poolide tähistamisel kasutatud sama indeksite süsteemi, mis esineb ПТК tehaseskeemil (joonisel 8-17 on indeks 1 ära jäetud).

Tabeli 8-1 järg

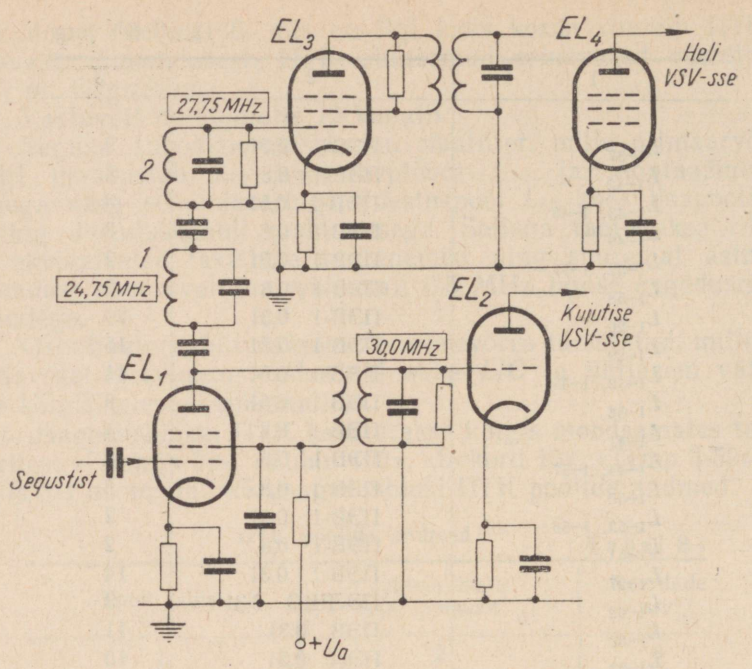
1	2	3
L_{1-37}	ПЭВ-1 0,51	9
L_{1-40}	ПЭВ-1 0,8	4
$L_{1-43,\ 1-46}$	ПЭВ-1 0,51	3
L_{1-49}	ПЭВ-1 0,8	3
$L_{1-52,\ 1-55}$	ПЭВ-1 0,51	2
L_{1-58}	ПЭВ-1 0,8	2
L_{1-26}	ПЭВ-1 0,31	20
L_{1-29}	ПЭВ-1 0,31	15
$L_{1-32,\ 1-35}$	ПЭВ-1 0,51	11
L_{1-38}	ПЭВ-1 0,51	9
L_{1-41}	ПЭВ-1 0,8	4
$L_{1-44,\ 1-57}$	ПЭВ-1 0,5	3
L_{1-50}	ПЭВ-1 0,8	3
$L_{1-53,\ 1-56}$	ПЭВ-1 0,51	2
L_{1-51}	ПЭВ-1 0,8	2
L_{1-27}	ПЭВ-1 0,31	14
L_{1-62}	ПЭЛШО 0,31	3
L_{1-30}	ПЭВ 0,31	11
L_{1-33}	ПЭЛ 0,51	10
$L_{1-36,\ 1-39}$	ПЭЛ 0,51	9
L_{1-42}	ПЭЛ 1,0	5
L_{1-45}	ПЭЛ 0,51	4
$L_{1-48,\ 1-51}$	ПЭЛ 0,51	3
$L_{1-54,\ 1-57}$	ПЭЛ 0,8	3
L_{1-60}	ПЭЛ 1,0	3
L_{1-61}	ПЭЛ 0,31	23
L_{1-63}	ПЭЛ 0,31	16

8-3. Helitausta vastuvõtt

Enamik kaasaegseid televisioonisaatjaid annavad helitausta üle sagedusmoduleerituna, sest sagedusmoduleeritud signaalide vastuvõtul on häirete mõju palju väiksem kui samasuguse võimsusega amplituudmoduleeritud signaalide puhul.

Sagedusmoduleeritud saadete vastuvõtutrakt koosneb järgmistest lülidest.

Sisendvõnkering, mis häälestatakse soovitud saatja sagedusele, kõrgsagedusvõimendaja, sagedusmuundaja, vahesagedusvõimendaja, amplituudipiiraja, sagedusdetektor, madalsagedusvõimendaja ja valjuhääldaja.



Joon. 8-18. Helitausta vastuvõtt vahesageduse lisakanali meetodil («Temp 2»).

Nagu eespool nägime, toimub esialgu kujutise ja helisignaali võimendamine koos. Helisignaali eraldamise meetod sõltub vastuvõtja tüübist.

Helitausta vastuvõtuks on olemas kaks põhimeetodit: vahesageduse lisakanali meetod (joon. 8-18) ja kandesageduste vahelise tuiklemise meetod (joon. 8-19). Superheterodüünvastuvõtjates toimub vahesageduse lisakanali meetodi puhul kujutise ja helisignaalide eraldumine segusti anoodringi paigutatud kahe võnkeringi kaudu, millest üks on häälestatud kujutise vahesagedusele (harilikult $f_{vk} = 34{,}25$ MHz) ja teine heli vahesagedusele ($f_{vh} = 27{,}25$ MHz). Nimetatud võnkeringid ühendatakse vastavate vahesagedusvõimendajatega. Joonisel 8-18 on kujutatud osa taolise superheterodüünvastuvõtja («Temp 3») lülitusskeemist. Segustusastmest suubuvad muundunud signaalid ühisesse vahesagedusvõimendusastmesse (EL_1), mille anoodringi on lülitatud võnkeringid *1* ja *2* ja mis on häälestatud sagedustele $f_{vk} = 29 \ldots 34{,}5$ MHz ja $f_{vh} = 27{,}75$ MHz. Võnkeringist *1* suunatakse signaalid kujutise vahesagedusvõimendajasse, võnkeringist *2* — heli vahesagedusvõimendajasse.

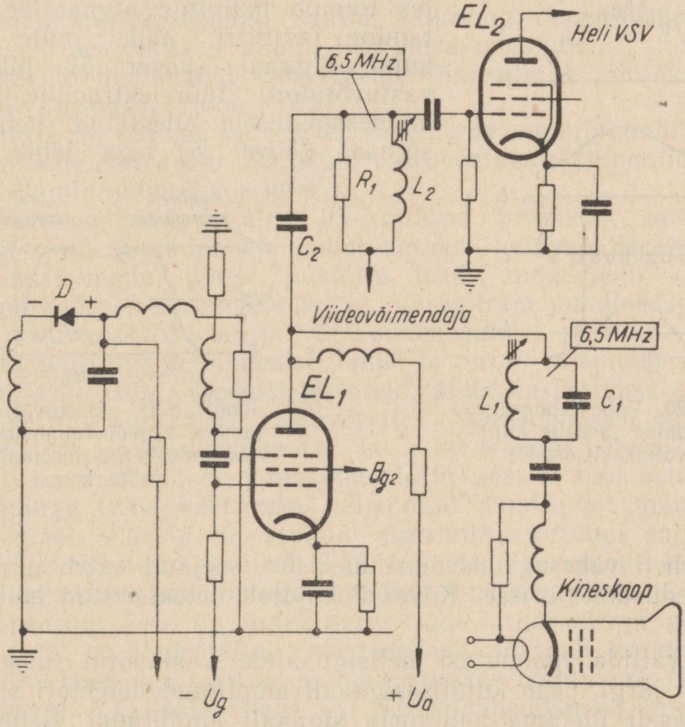
Kandesageduste tuikemeetodil töötavas vastuvõtjas eralda-

takse helisignaal kas kohe viideodetektori järel või pärast viideovõimendajat. Joonisel 8-19 on kujutatud televiisori «Temp 3» viideovõimendaja lülitusskeem lambiga EL_1, mille anoodringi on lülitatud kaks heli vahesagedusele $f_{vh} = 6{,}5$ MHz häälestatud võnkeringi. Neist esimene, tõkke-võnkering L_1C_1 suleb tee helisignaalile kineskoobi sisendisse, mis tekitaks nn. «helivõrgu häire» kineskoobi ekraanil. Teise võnkeringiga L_2R_1, millega liituvad rööbitised montaažimahtuvused, eraldatakse helivahesageduslik signaal $f_{vh} = 6{,}5$ MHz heli vahesagedusvõimendajasse EL_2.

Heli vahesagedus tekitati viideodetektoris, mille ebalineaarse tunnusjoone tõttu eraldus pildi ja helisageduste vahega võrdne helivahesagedus $f_{vh} = f_k - f_h = 34{,}25 - 27{,}75 = 6{,}5$ MHz.

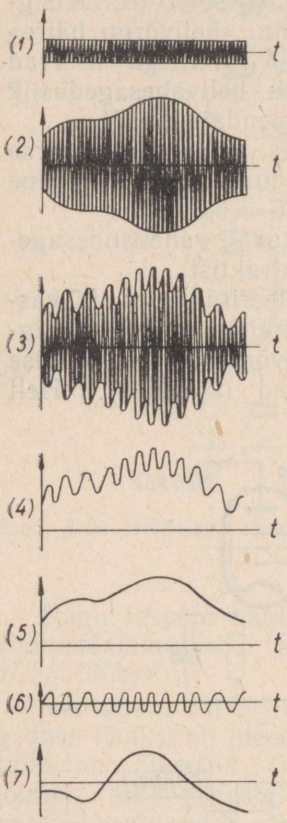
Joonisel 8-20 on toodud kõverad, mis näitavad vahekandesageduse kujunemist ja selle läbimist vastuvõtutraktist.

Kõver *1* kujutab helitausta sagedusmoduleeritud signaali vastuvõtja sisendis, kõver *2* aga kujutise amplituudmoduleeritud signaali samuti vastuvõtja sisendis. Nende võnkumiste liitumise tulemusena tekivad nende vahel tuiklemised (kõver *3*). Heli



Joon. 8-19. Helitausta vastuvõtt kandesageduste tuikemeetodil («Temp 3»).

moduleerimise puudumise korral on nende tuiklemise sagedus $f_v = 6{,}5$ MHz. Heli moduleerimise puhul muutub tuiklemiste sagedus vastavalt helitausta kandesageduse muutustele piirides $\Delta f_{mk} \pm 50$ kHz.

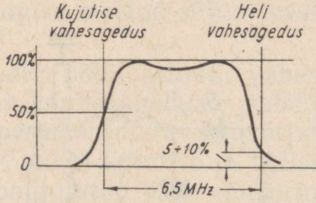


Joon. 8-20. Vahe-kandesageduse saamine ja selle kujud vastuvõtutrakti osades.

Superheterodüünvastuvõtja puhul muutub pärast algsageduse muundamist ainult selle tuiklemiste kandesagedus, kuid modulatsiooni piirkõver jääb endiseks. Järelikult võib kõver *3* võrdsel määral illustreerida pinget nii kõrgsagedusvõimendaja kui ka vahesagedusvõimendaja väljes.

Pärast vaadeldud tuiklemiste detekteerimist saadakse kujutisesignaal temale ülestatud 6,5 MHz vahekandesagedusega, mis on sagedusmoduleeritud helisignaaliga (kõver *4*).

Seejärel võimendatakse kujutisesignaali koos vahe-kandesagedusega videovõimendajas. Selle võimendaja väljes toimub mainitud signaalide lahutamine erifiltri abil, mille järel kujutisesignaal (kõver *5*) juhitakse vastuvõtutoru tüürelektroodile, vahekandesagedusele ülestatud helitausta signaal (kõver *6*) aga läbib algul



Joon. 8-21. Vastuvõtja optimaalne sagedustunnusjoon kandesageduste tuikemeetodil vastuvõtu korral.

1 . . . 2 heli vahesagedusvõimendusastet, seejärel satub piirajasse ja sagedusdetektorisse. Kõver *7* kujutab detekteeritud helitausta signaali.

Et vältida moonutusi helisignaalide vastuvõtul kirjeldatud meetodi järgi, peab kujutisesignaali amplituud detektori sisendis küllaldaselt ületama helitausta signaali amplituudi. Selleks on vajalik, et vastuvõtja sagedustunnusjoon vahesageduse osas (või

kõrgsagedusosas, kui on tegemist otsevastuvõtjaga) langeks helitausta kandesagedusele f_{ah} vastavas osas — helitrepis — järsult 5—10%-ni maksimaalväärtusest U_{max}. Joonisel 8-21 on toodud sellele juhule vastava teoreetilise sagedustunnusjoone kuju.

Peale selle vähendatakse vastuvõtjas teise külgriba osatähtsust ülekantava madalama sageduse alas, võimendades seda ühtlase langusega keskmiselt 50% ulatuses, võrreldes võimendusega keskmistel ja kõrgetel sagedustel.

Vastuvõtjatel, milledes kasutatakse helitausta signaalide võimendamiseks kirjeldatud meetodit, on vahesageduse lisakanaliga vastuvõtjatega võrreldes peale lampide arvu säästmise nende ühise kasutamise tõttu veel see eelis, et nad ei vaja ostsillaatori täpset häälestamist helitausta kanali suhtes ja seetõttu ei avalda ostsillaatori sageduse juhuslik kõrvalekaldumine mõju helitausta kvaliteedile. See on seletatav asjaoluga, et vahe-kandesageduse väärtuse määrab kindlaks saatja ja ta ei sõltu ostsillaatori häälestusest.

Kirjeldatud süsteemi puuduseks on asjaolu, et tuleb piirata kujutisesignaali moduleerimise sügavust saatjas. Kandesageduse taseme langemine allapoole 10...15% maksimaalväärtusest põhjustab helitausta moonutusi, mis avaldub 50-Hz mürana. On lubamatu kujutisesignaali saatja väiksemgi sagedusmoduleerimine, sest see tekitaks samuti helitausta moonutusi.

Peale võimendamist vahesagedusvõimendajas juhitakse helisignaal piirajasse (joon. 8-22).

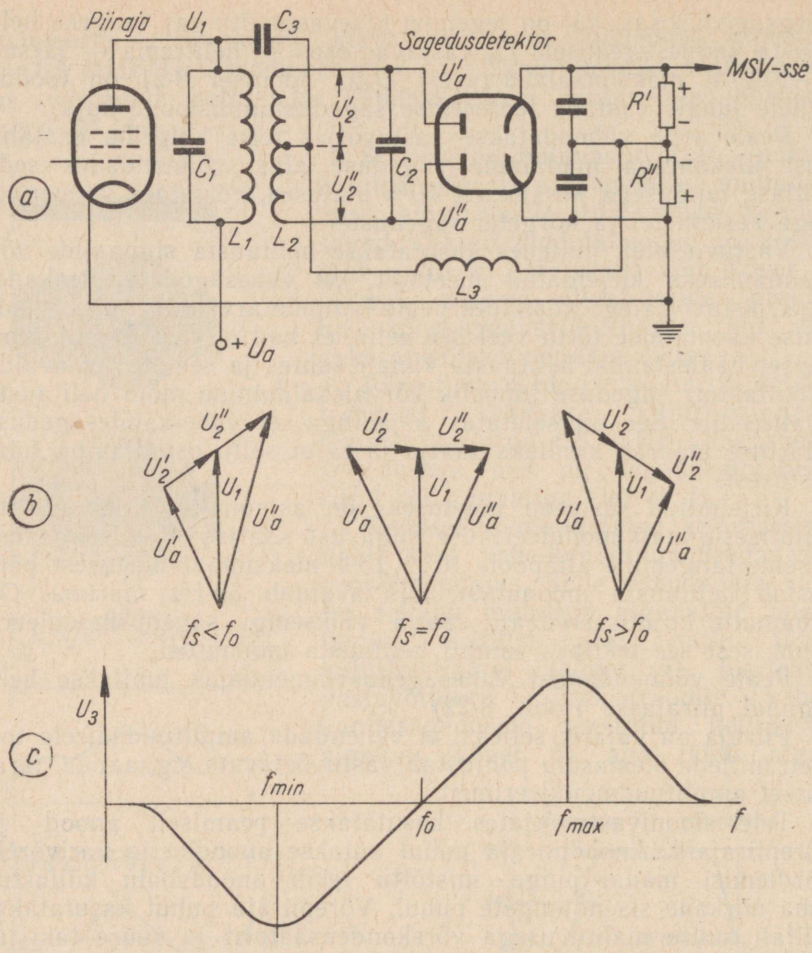
Piiraja on vajalik selleks, et vähendada amplituudhäirete toimet, millede olemasolu põhjustab vastuvõetavate signaalide parasiitset amplituudmoduleerimist.

Televisioonivastuvõtjates kasutatakse peamiselt anood- ja võrepiirajaid. Anoodpiiraja puhul antakse anoodile ja varivõrele võrdlemisi madal pinge, mistõttu tekib anoodvoolu küllastus juba nõrkade sisendpingete puhul. Võrepiiraja puhul kasutatakse küllalt suure mahtuvusega võrekondensaatorit ja suure takistusega takistit, mis eelpingestab lambi ja piirab ta anoodvoolu.

Tuntakse rida sagedusdetektoreid, mida kasutatakse sagedusmoduleeritud signaalide vastuvõtjates. Nende hulgast on tuntuimad kaks: faasidiskriminaator ja suhtedetektor. Oma tööpõhimõttelt on nad mõlemad faasidetektorid, sest et nad muundavad sisendpinge faasi vastavaks väljepinge amplituudi muutusteks.

Joonisel 8-22, *a* on toodud diskriminaatortüüpi sagedusdetektori lülitusskeem, joonisel 8-22, *b* vektordiagrammid ja 8-22, *c* väljepinge kõver sisendpinge sageduse funktsioonina.

Võnkering L_2C_2 on induktiivselt sidestatud piiraja võnkeringiga L_1C_1 ja häälestatud detekteeritava signaali kandesagedusele f_0. Võnkeringi L_2C_2 keskpunkti antakse mahtuvuse C_3 kaudu võnkeringi L_1C_1 potentsiaal U_1. Sellise ühendamise tulemusena rakenduvad dioodi anoodidele pinged:



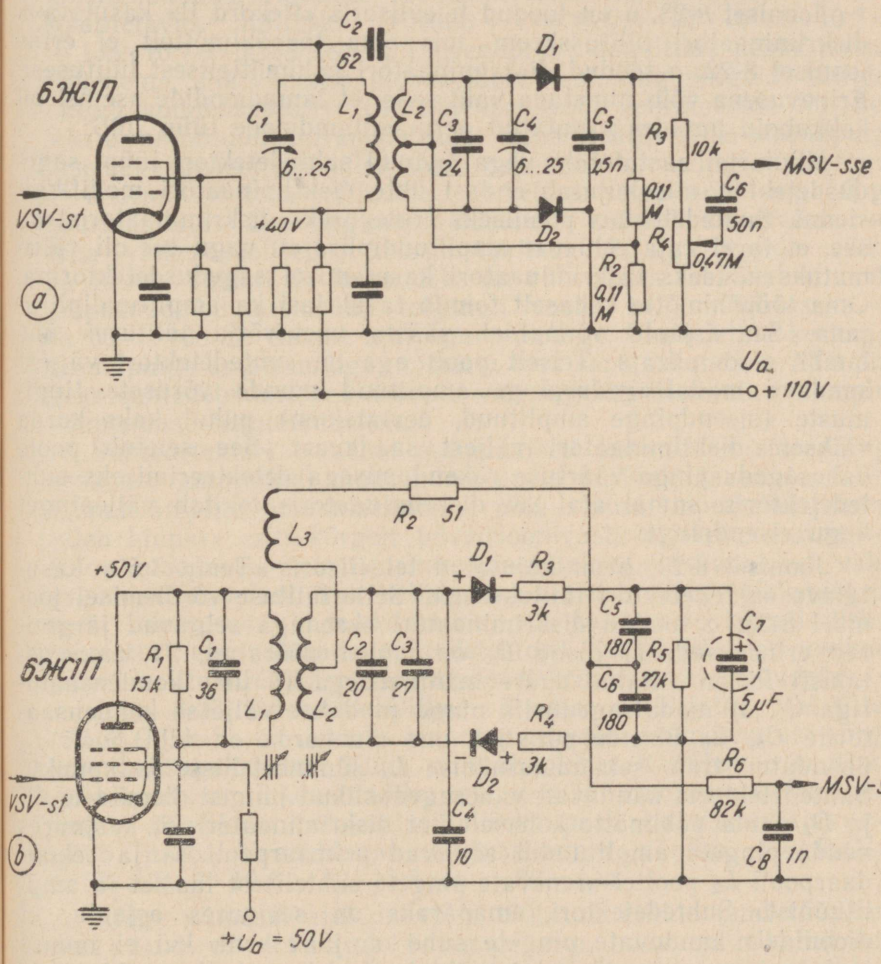
Joon. 8-22. Diskriminaatoritüüpi sagedusdetektori lülitusskeem (*a*), vektordiagrammid (*b*) ja tunnusjoon (*c*).

$$U_a'' = U_1 + U_2'', \tag{8-37}$$

$$U_a' = U_1 + U_2'. \tag{8-38}$$

Juhul, kui signaalisagedus f_s võrdub kandesagedusega f_0, on pinge $U_2' + U_2''$ võnkeringis L_2C_2 faasis nihutatud pingest U_1 täpselt 90° võrra. Seejuures on potentsiaalid U_a' ja U_a'' mõlema dioodi anoodil teineteisega võrdsed, mille tulemusel alaldatud pinged takistitel R' ja R'' kompenseerivad teineteist ning nende pinge U_3 detektori väljes võrdub nulliga. Signaalisageduse f_s

kõrvalekaldumisel sagedusest f_0 hakkab pinge $U_2' + U_2''$ faas pinge U_1 suhtes muutuma, mille tõttu mainitud pingete U_a' ja U_a'' tasakaal saab rikutud ning detektori väljes tekib pinge U_3, mis omab ühte või teist märki, olenevalt signaalisageduse kõrvalekaldumise märgist. Moonutusvabaks detekteerimiseks peab sagedusdetektori tunnusjoon olema lineaarne kogu signaalipinge sageduse kõrvalekaldumise ulatuses piirides $f_{min} \ldots f_{max}$. Selle nõude täitmiseks peab diskriminaatori trafo omama kindla suurusega primaar- ja sekundaarmähise vahelist sidestust ning sekundaarvõnkeringi hindetegurit Q_s. Kriitilise sidestuse puhul määratakse



Joon. 8-23. Sagedusdetektori lülitusi:
a — «Rekord B», *b* — «Temp 3-59».

detekteerimise tunnusjoone sirgosa piirid f_{min} ja f_{max} vahel ligikaudse valemiga

$$f_{max} - f_{min} = \frac{1{,}41 f_0}{Q_s}, \qquad (8\text{-}39)$$

kus f_0 on kandesagedus;

Q_s — dioodidega koormatud sekundaarvõnkeringi hindetegur.

Paremate tulemuste saavutamiseks on soovitav diskriminaatorlülituses kasutada suure vastutakistusega dioode, mistõttu mõnikord loobutakse pooljuhtdioodide kasutamisest.

Joonisel 8-23, *a* on toodud televiisoris «Rekord B» kasutatava diskriminaatori lülitusskeem, mis oma tööpõhimõttelt ei erine joonisel 8-22, *a* toodud diskriminaatori põhimõttelisest lülitusest. Erinevusena võib nimetada vaid seda, et lampdioodide asemel on kokkuhoiu huvides kasutatud germaaniumdioode tüüp Д2Б.

Viimastel aastatel on väga levinud suhtedetektori tüüpi sagedusdetektor, mis kujutab endast ühte diskriminaatori modifikatsiooni. Suhtedetektori põhiliseks erinevuseks diskriminaatorist on see, et ta ei vaja eelnevat amplituudipiirajat, nagu see oli vältimatuks nõudeks diskriminaatori kasutamisel sagedusdetektorina. Oma tööpõhimõtte kohaselt toimib ta ühtlasi ka amplituudipiirajana. See asjaolu võimaldab säästa vastuvõtja lülituses ühe lambi, s. o. piiraja. Teiselt poolt aga on suhtedetektori väljest saadava madalsageduspinge amplituud muude võrdsete tingimuste (sisendpinge amplituud, deviatsioon) puhul kaks korda väiksem diskriminaatori väljest saadavast. See seletub poole vahesageduspinge väärtuse rakendamisega detekteerimiseks suhtedetektoris, samal ajal kui diskriminaatoris tekitab väljepinget kogu sisendpinge.

Joonisel 8-23, *b* on kujutatud televiisoris «Temp 3-59» kasutatava suhtedetektori lülitusskeem. Selle lülituse võrdlemisel joonisel 8-23, *a* toodud diskriminaatori skeemiga selguvad järgmised erinevused: 1) diood D_2 on ümber pööratud, 2) koormustakisti R_5 on sillatud suure mahtuvusega (5 μF) kondensaatoriga C_7, 3) madalsageduslik pinge saadakse väljesse kondensaatorite C_5, C_6 ühenduspunktist, mis omakorda on läbi pooli L_3 ühendatud trafo sekundaarmähise L_2 sümmeetrilisse keskpunkti. Suhtedetektoris kanduvad vahesageduslikud pinged dioodidele D_1 ja D_2 sama põhimõtte kohaselt kui diskriminaatoriski, kusjuures nende pingete amplituudid sõltuvad primaarpooli L_1 ja sekundaarpooli L_2 pooltel arenevate pingete suhtelisest faasist ja amplituudist. Suhtedetektori omapäraks on seejuures asjaolu, et dioodidele kanduvate pingete suhe on jääv seni, kui ei muutu trafo primaar- ja sekundaarmähise pingete vaheline nihkenurk, mille omakorda määrab vastuvõetava signaali deviatsioon. Sig-

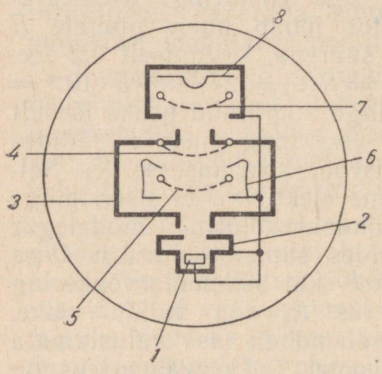
naali deviatsiooni muutumisega võrdeliselt hakkab muutuma ka dioodidele rakenduvate pingete suhe, millest on tuletatudki nimetus suhtedetektor. Amplituudi piiramist põhjustab suhtedetektoris suure mahtuvusega (5 ... 15 μF) kondensaator C_7, mis on lülitatud paralleelselt koormustakistile R_5. Teatava püsiva amplituudiga sisendpinge puhul laadub kondensaator C vastavale alalispinge väärtusele E. Kui nüüd sisendpinge amplituud järsku tõuseb, siis väheneb vastavalt dioodide takistus ning suureneb kondensaatorisse C_7 suubuv vool. Samal ajal säilib kondensaatori C_7 klemmidel endine laadimispinge E, sest vooluringi R_5C_7 ajakonstant τ, mille kestel kondensaator jõuab uuele pingele E ümber laaduda, valitakse võrdlemisi suurena, keskmiselt 0,2 sec. Käsitletavas lülituses võrdub $\tau = R_5C_7 = 27 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-6} = 135 \cdot 10^{-3} = 0{,}135$ sec. Kui sisendpinge amplituud peaks järsult vähenema, siis väheneb dioode läbiv vool ning pinge E säilides väljub kondensaatorist C_7 tühjenemisvool koormusesse R_5. Selleks et amplituudi piiramine oleks sama efektiivne ka sisendpinge taseme vähenemisel, tuleb trafo sekundaarvooluringi hindetegur Q koormatult teha väikeseks, võrreldes sama vooluringi Q-ga koormamatult. See tingimus täidetakse, kui sekundaarvõnkering teha väikesekaolisena, koormustakistus R_5 aga valida väike, ca 10 kΩ. Takisti R_2 ülesandeks on vähendada tasakaalustamata amplituudmodulatsioonist tekkinud voole; ta arvväärtuseks on ca 50 ... 100 Ω. Samal ajal aga on pinge E võrdeline keskmise sisendpinge amplituudiga, mistõttu teda saab rakendada ATR pingeks suhtedetektori ees asuvate vahesagedusvõimenduse lampide võimenduse reguleerimiseks.

Suhtedetektori omadust automaatselt kohanduda sisendpinge keskmise amplituudi muutumisel uuele püsivale tasemele, millel toimub amplituudmodulatsioonist põhjustatud tippude kärpimine, tuleb hinnata eriti kõrgelt televisioonivastuvõtjates kasutamisel. Kuna moodsates televiisorites kasutatakse ühiskanalilist vahesagedusvõimendust, kus helisignaal eraldub alles tuiklemisprotsessi tulemusena viideodetektoris, siis tuleb neis kõigiti diskriminaatori ees eelistada suhtedetektorit. Nagu käsitleti eespool, pole amplituudide kärpimise nivoo diskriminaatoris muudetav.

Joon. 8-23, *b* toodud lülituse väljesse on lülitatud veel filterlüli R_6C_8, mille ülesandeks on kompenseerida eelmoonutust kõrgemas helisagedusalas. Kuna normide kohaselt nähakse saatjates eelmoonutuse ajakonstandiks ette $\tau = 75$ μsec, siis lineaarmoonutuse täielikuks tasakaalustamiseks peab ka vastuvõtjas $\tau = 75$ μsec. Vaadeldavas lülitusskeemis võrdub $\tau = R_6C_8 = 82 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 10^{-9} = 82 \cdot 10^{-6}$ sec $= 82$ μsec.

Kõige viimasel ajal on välja töötatud eriline lambitüüp, nn. s u l e t u d e l e k t r o n k i i r e g a lamp, mida on hakatud edukalt kasutama sagedusmoduleeritud võnkumiste piiramiseks ja ühtlasi sagedusdetekteerimiseks. Hoolimata sellest, et selle lambi

kasutamisel lihtsustab tunduvalt sagedusdetektori lülitusskeem, pole ta seni veel televiisorites laialdast kasutamist leidnud. Samuti kui diskriminaator ja suhtedetektor, töötab ka suletud elektronkiirega lambiga detektor faasidetekteerimise põhimõttel. Suletud elektronkiirega lambiga sagedusdetektori peamisteks eelisteks on lülituse reguleerimise lihtsus ja pingevõimenduse astme säästmine madalsagedusvõimendajas, sest õiges režiimis töötamisel suudab detektor täielikult välja tüürida lõppvõimendusastet.



Joon. 8-24. Suletud elektronkiirega lambi tööpõhimõtte selgitamiseks.

Suletud elektronkiirega lambi tööpõhimõtte selgituseks on toodud ta ristlõige joonisel 8-24.

Lambi katood *1* on ristkülikukujuline ja ümbritsetud kolmest küljest maandatud teravustuselektroodiga *2*. Katoodi avatud külg asub positiivselt laetud kiirenduselektroodi *3* vastas. Katoodilt lahkuvad elektronid vormitakse teravustuselektroodide poolt õhukeseks lehetaoliseks kiireks. See kiir projitseeritakse kiirenduselektroodis oleva kitsa pilu kaudu piiraja võrele *5*.

Kui piiraja võre *5* pinge on null või positiivne, siis laseb ta läbi elektronide voo. Kui piiraja võrele rakendatud pinge muutub negatiivseks, siis kiir peatatakse, elektronid pöörduvad tagasi, hajuvad ning lõpuks langevad tagasi kiirenduselektroodile.

Piiraja võre töötab nagu ventiil, lastes saabuva elektronkiire läbi või tõrjudes selle tagasi. Kui piiraja võrele rakendatakse siinuseline pinge, siis kiir vaheldumisi läbib piiraja ning tõrjutakse tagasi. Kui piiraja võre on küllalt negatiivne, siis ei teki üldse elektronide voolu. Kui negatiivne potentsiaal piiraja võrel väheneb, siis tekib kriitiline olukord, mispuhul kiire vool tõuseb järsku maksimaalse väärtuseni. Piiraja võre potentsiaali edaspidine tõstmine ei suurenda enam kiire voolu suurust.

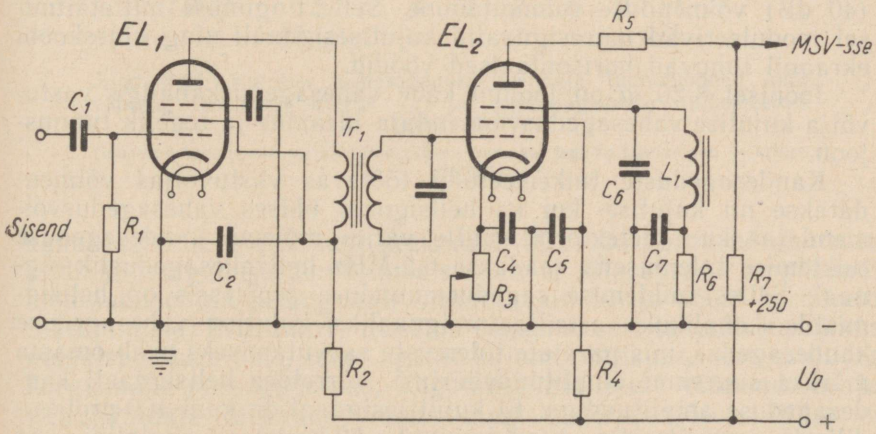
Piiraja võrele antakse pinge 2...3 V. Normaalne signaali sisendpinge on 5...10 V, mis muudab piiraja võre tugevasti positiivseks positiivsete poollainete ajal. Et vähendada võre liigset sumbuvust, on lamp ehitatud nii, et võrevool piirdub mõne kümnendiku milliampriga.

Piiraja võre läbinud elektronkiir teravustatakse uuesti elektronläätsedega *6*. Seejärel läbib kiir elektronkiirendaja teise ava ja langeb läbi teise juhtvõre *7* (mis asub tema teega risti) anoodile. Võrega *7* ühendatud võnkering on häälestatud vastuvõetava

signaali sagedusele ja saab oma potentsiaali perioodiliselt muutuvalt ruumilaengult, mis tekitab võnkeringis umbes 5-voldise pinge. Selle võre toimel tekib anoodvool ainult 1/4 perioodi ulatuses. Anoodvoolu impulsi kestus oleneb teise juhtvõre pinge ja elektronkiire voolu vahelise faasinihke suurusest. See faasinihe omakorda aga sõltub sisendpinge modulatsiooni sügavusest. Kuna anoodi koormustakistil arenev alalispingelang on võrdeline anoodvoolu impulsi kestusega, siis on väljepinge võrdeline sisendpinge modulatsiooni sügavusega.

Joonisel 8-25 on antud suletud elektronkiirega lambiga sagedusdetektori lülitusskeem. Piiramine toimub siin osaliselt lambis ja osaliselt lülituses. Sellega saadakse häirevabam heliülekanne ka nõrga signaalitugevuse puhul. Vahesageduslik väljesignaal saadakse piirajast EL_1 ja juhitakse suletud võrega lambi EL_2 piiraja võrele transformaatori Tr_1 kaudu. Ruumilaengu sidestuse mõjul indutseeritakse vool teisel juhtvõrel, mis tekitab pinge selle võnkeringis L_1C_6. Kui võnkering L_1C_6 on häälestatud siseneva pinge sagedusele, siis pinge selles vooluringis on piiraja võre pingest taga 90°. Kui sisendpinge sagedus muutub resonantsisagedusest erinevaks, siis piiraja võrepinge faasinihe erineb 90°-st.

Anoodvool tekitab koormustakistuses R_7 madalsagedusliku pinge, mis vastab sisendpinge sagedusmodulatsioonile. Muudetavat takistit R_3 kasutatakse EL_2 tööpunkti väljareguleerimiseks selliselt, et takistada 50-Hz vertikaalimpulsi pääsu anoodringi. Eelpinge, mis antakse teisele juhtvõrele R_6 ja C_7 abil, vähendab detektoriringi müra taset.



Joon. 8-25. Suletud elektronkiirega lambiga sagedusdetektori skeem.

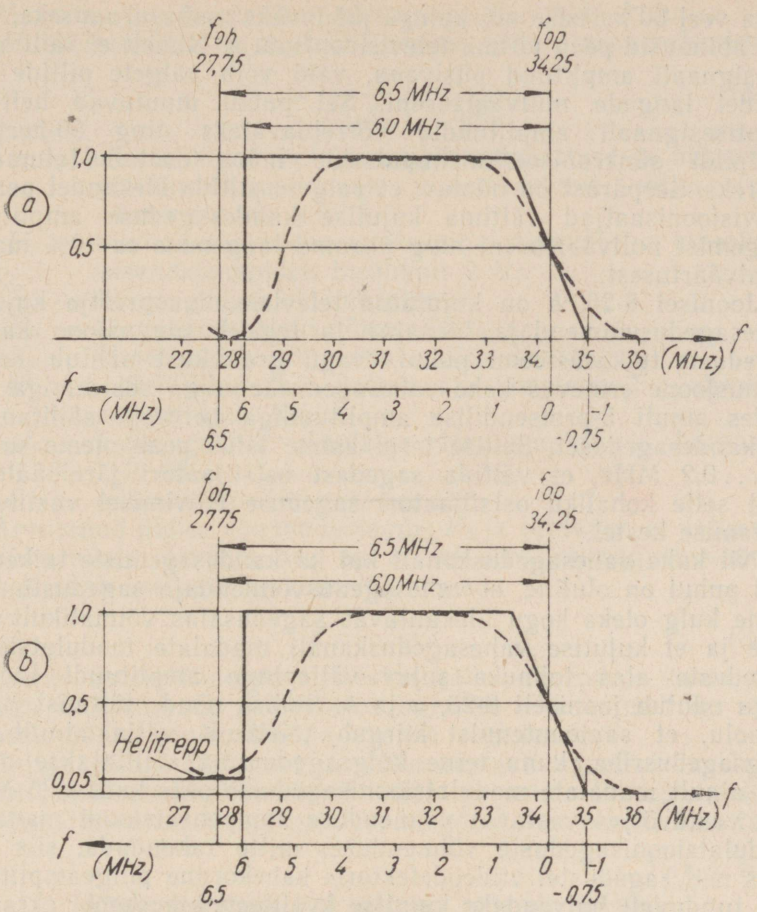
8-4. Kujutise vahesagedusvõimendajad

Igas televisioonivastuvõtjas, välja arvatud kõige lihtsamad otsevastuvõtjad, saavutatakse nii võimendus kui ka selektiivsus põhiliselt vahesagedusvõimendajatega. Seejuures eristatakse kahesuguseid vahesagedusvõimendajaid, ühtesid, mis on ette nähtud kujutisesignaali võimendamiseks ja mida nimetatakse kujutise vahesagedusvõimendajaks, ja teisi, mida kasutatakse helitausta signaalide võimendamiseks ja mida nimetatakse heli vahesagedusvõimendajateks. Kui esimesed neist on tüüpilised laiaribalised võimendajad, mis võimendavad ühtlaselt kuni 5...6 megahertsini ulatuvas sagedusribas, siis kuuluvad teised pigem kitsasribavõimendajate hulka, sest nende läbilaskeriba piirdub harilikult 200 kilohertsiga. Käesolevas punktis käsitletakse ainult kujutise vahesagedusvõimendajaid.

Sõltuvalt televisioonivastuvõtja süsteemist tuleb eristada nii lülituse kui ka elektriliste omaduste poolest kahesuguseid kujutise vahesagedusvõimendajaid: vanemat tüüpi kahe vahesageduskanaliga vastuvõtjates kasutatavaid ja kaasaegsetes kandesageduste tuikemeetodil toimivates vastuvõtjates kasutatavaid vahesagedusvõimendajaid. Kujutise vahesagedusvõimendaja peab võimendama ühtlaselt kogu kasulikus sagedusalas laiusega 5...6 MHz ja ainult neis vastuvõtjates, milles kasutatakse väiksema ekraaniga kineskoope, on lubatud sagedusriba ahendada kuni 4 MHz-ni. See on põhjendatud selliste kineskoopide teravustuse madalama kvaliteediga ja kujutise jälgimise ebasoodsate tingimustega, mis niikuinii ei võimalda kasutada laiema sagedusriba eeliseid. Kahe vahesageduskanaliga süsteemi puhul on oluline, et oma kanali heli vahesagedusel ja sagedusaladel väljaspool oma kanalit toimuks õige tunduv, vähemalt 100-kordne (40 dB) võimenduse summutamine. Selle tingimuse mittetäitmisel moduleerivad häiresignaalid kujutisesignaali ning kineskoobi ekraanil ilmuvad horisontaalsed vöödid.

Joonisel 8-26, *a* on toodud kahe vahesageduskanaliga vastuvõtja kujutise vahesagedusvõimendaja ideaalne ja tegelik tunnusjoon.

Kandesageduste tuikemeetodil töötavas vastuvõtjas võimendatakse nii kujutise- kui ka helisignaal ühises vahesagedusvõimendajas kuni detektorini, mille väljes mõlema kandesageduse tuiklemise tulemusena saadakse 6,5-MHz helivahesageduslik signaal. Selles tuiklemise sagedusmuunduse protsessis on helisignaalile kohalikuks ostsillaatorsignaaliks kujutise vahesageduse kandesagedus, mis parajate tulemuste saavutamiseks peab omama märksa suuremat amplituudväärtust, võrreldes helisignaali kandesageduse amplituudiga. Et kujutisesignaal on kuni 100-protsendiliselt amplituudis moduleeritud 50-hertsise poolpildi- ja 15625-hertsise reasünkroniseerimisimpulssidega, siis tuleb heli-



Joon. 8-26. Kujutise vahesagedusvõimendaja tunnusjooned kahe vahesageduskanali korral (*a*) ja kandesageduste tuikemeetodi korral (*b*)
(ideaalne tunnusjoon on näidatud pideva joonega, tegelik tunnusjoon — kriipsjoonega).

kandesageduse amplituudi keskmiselt 20 . . . 25 korda nõrgendada pildikandesageduse amplituudi suhtes, et alla suruda amplituudmodulatsioonina helisignaali ülekantavaid 50- ja 15625-hertsiseid mürapingeid. Eriti häiriv neist on esimene, sest ta asub kasulikus madalsageduse alas, teine aga ei kujune ohtlikuks, sest osutudes kõrgeimaks piirsageduseks, lõigatakse harilikult võimendajas ja valjuhääldaja ülekandes maha ning seetõttu mõjule üldse ei pääse.

Kuid vastuvõtjas tarvituselevõetavatest abinõudest üksi ei

piisa veel 50-hertsise mürapinge jäädavaks mahasurumiseks, vaid osa abinõusid peab täitma televisioonisaatja. Nimelt ei säili kujutisesignaali amplituud püsivana, vaid võib valgete piltide ülekandel langeda nullväärtuseni. Sel puhul muutuvad heli- ja kujutisesignaali amplituudid võrreldavateks ning 50-hertsine poolpildi sünkroniseerimisimpulsside müra osutub talumatult suureks. Seepärast on nõutav, et valgete piltide ülekandel peavad televisioonisaatjad vältima kujutise kandesageduse amplituudi langemist nullväärtuseni ning piirama langemise ca 10% maksimaalväärtusest.

Joonisel 8-26, *b* on kujutatud televisioonivastuvõtja kujutise vahesagedusvõimendaja ideaalne ja tegelik tunnusjoon kandesageduste tuikesüsteemi puhul. Nagu graafikust nähtub, seisab tunnusjoone erinevus kahe vahesageduskanaliga süsteemiga võrreldes ainult 5-protsendilise amplituudiga helitrepi säilitamises helikandesagedusel. Sellise trepi astme laius peab olema umbes 0,1 ... 0,2 MHz, et vältida sagedast ostsillaatori järelhäälestamist selle kohaliku ostsillaatori sageduse triivimisel vastuvõtja töötamise kestel.

Nii kahe vahesageduskanali kui ka kandesageduste tuikemeetodi puhul on oluline, et vahesagedusvõimendaja sagedustunnusjoone kulg oleks kogu ülekantavas sagedusalas võimalikult ühtlane ja et kujutise vahesageduskanali madalate modulatsioonisageduste alas toimuks sujuv väljepinge amplituudi langus, nagu nähtub jooniselt 8-26, *a* ja *b*. Sellise nõude täitmist tingib asjaolu, et saateantennist kiirgub täielikult välja ainult üks külgsagedusriba, kuna teine külgsagedusriba säilitatakse osaliselt ainult madalate modulatsioonisageduste osas kuni 1,25 MHz. Kui vastuvõtjas vastavat võimenduse kompensatsiooni madalate modulatsioonisageduste võimenduses mitte rakendada, siis areneks neil sagedustel viideodetektoris kahekordne pingeamplituud, mis tunduvalt halvendaks kujutise kvaliteeti kineskoobi ekraanil. Rakendades vastuvõtja kujutise vahesagedusvõimendajas äsjamainitud võimenduse kompensatsiooni, osutub pildi ülekanne loomulikuks.

Pildi pooltoonide õigeks säilitamiseks on tarvilik, et keskmises ja kõrgemas modulatsioonisageduste alas säiliks võimendus ühtlasena, mida saavutatakse ühtlase ja sujuva vahesagedusvõimendaja tunnusjoonega neil sagedustel.

Sõltumata süsteemist peab kujutise vahesagedusvõimendaja arendama praktiliselt kogu vastuvõtjas vajatava võimenduse. Võimendusastmete arvu säästmise huvides taotletakse võimalikult suurt astmevõimendust. Sellele vastavalt kujuneb pildi vahesagedusvõimendaja astme arvuks lihtsamates kohalikuks vastuvõtuks ettenähtud vastuvõtjates kaks kuni kolm ja kaugvastuvõtjates — kolm kuni neli. Joonisel 8-27, *a*, *b* ja *c* on toodud tüüpilisemad vahesagedusvõimendajate skeemid.

Maksimaalne teoreetiline võimendus $K_{\ddot{u}}$, mida kujutise vahesagedusvõimendaja on suuteline andma, määratakse valemiga

$$K_{\ddot{u}} = \frac{aU_v}{FK_kK_v\sqrt{kT\Delta fR_A}}, \qquad (8\text{-}40)$$

kus a on lubatav signaalipinge amplituudväärtuse ja mürapinge efektiivväärtuse suhe viideodetektori väljes (peab olema suurem kui 1),

U_v — minimaalne viideosageduspinge tippväärtus kineskoobi sisendklemmidel, harilikult 2 V,

F — kõrgsagedusbloki mürategur,

K_k — kõrgsagedusbloki võimendustegur,

K_v — viideosagedusvõimendaja võimendustegur,

$kT = 4 \cdot 10^{-21}$ Wsec (k — Boltzmanni konstant, T — absoluuttemperatuur K°),

Δf — vahesageduse ribalaius Hz, amplituudi langusega —3 dB,

R_A — antenni toiteliini takistus Ω.

Arvutanud üldise võimendusteguri $K_{\ddot{u}}$ ja eeldades, et vahesagedusvõimendaja astmete arv on n, leitakse, missugust võimendust K peab iga aste keskmiselt andma:

$$K = \sqrt[n]{K_{\ddot{u}}}. \qquad (8\text{-}41)$$

Leitud astmevõimenduse väärtus käib võimendaja kohta, milles iga aste koosneb üksikvõnkeringist ja kõik astmed on sünkroonselt häälestatud ühele ja samale sagedusele.

Astme võimendusteguri ja võimendatava sagedusriba laiuse korrutis määrab kindlaks lambi tüübi ja astme lülituse, millega on võimalik varem leitud astmevõimendust saavutada. Kasutades

Tabel 8-2

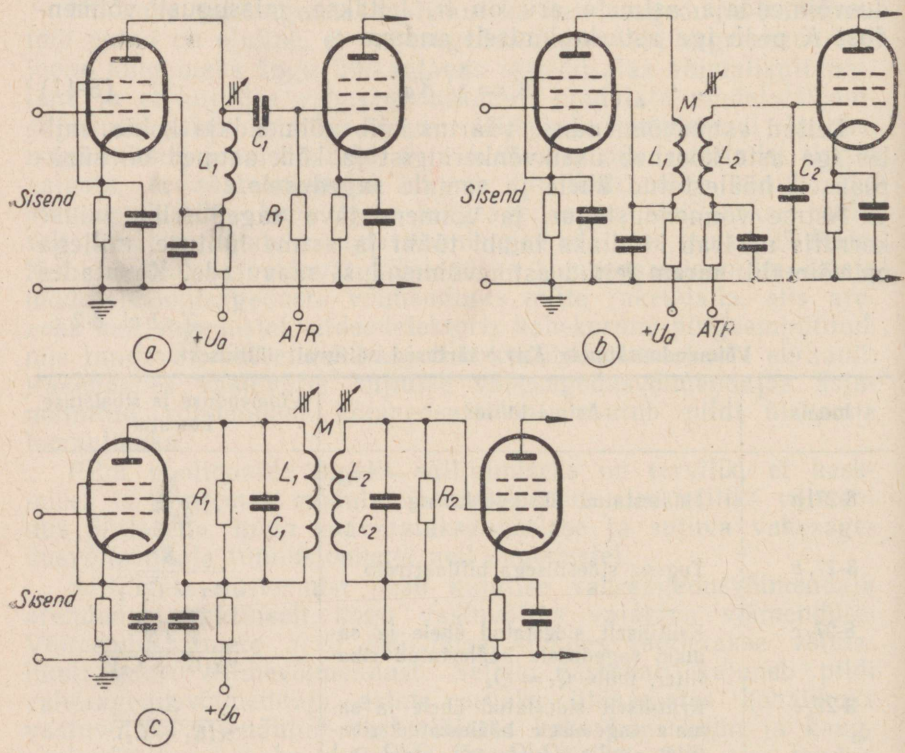
Võimendusastmete $K\Delta f$ väärtused sõltuvalt lülitusest

Joonis	Astme lülitus	Võimenduse ja ribalaiuse korrutis
8-27, *a*	Häälestatud üksikvõnkering	$\frac{S}{2\pi C}$
8-27, *b*	Tugeva sidestusega bifilaartrafo	$\frac{S}{4\pi\sqrt{C_1C_2}}$
8-27, *c*	Kriitiliselt sidestatud ühele ja samale sagedusele häälestatud ribafilter, mille $Q_1 = Q_2$	$\frac{\sqrt{2}S}{2\pi(C_1+C_2)}$
8-27, *c*	Kriitiliselt sidestatud ühele ja samale sagedusele häälestatud ribafilter, mille Q_1/Q_2 või $Q_2/Q_1 \gg 1$	$\frac{S}{\pi(C_1+C_2)}$

tabeleid 8-2 ja 8-3 saab lõplikult kindlaks määrata astmetes kasutatava lülituse ja lambitüübi.

Tabelis 8-2 S on lambi tunnusjoone tõus mA/V,
C — üldine lülituse mahtuvus F,
C_1 — primaarringi mahtuvus F,
C_2 — sekundaarringi mahtuvus F.

Nagu nähtub tabelist 8-2, annavad ribafiltrid suuremaid võimenduse ja ribalaiuse korrutisi $K\Delta f$ kui üksikvõnkeringid. Bifilaartrafoga saadakse suur $K\Delta f$ väärtus, kui $C_1/C_2 \gg 1$ või $C_1/C_2 \ll 1$. Kõige levinumad on kujutise vahesagedusvõimendajates lahkuhäälestatud võnkeringid, kusjuures iga võnkering omab erinevat hindetegurit Q ja on sümmeetriliselt kesksageduse ümber lahku häälestatud. Õigesti kavandatuna annab lahkuhäälestatud võimendaja suuremat astmevõimendust ja parema sagedustunnusjoone kui mistahes teise lülitusega võimendaja.



Joon. 8-27. Tüüpilisi kujutise vahesagedusvõimendaja lülitusi.

Tabel 8-3

Vahesagedusvõimendaja lampide võimenduse ja ribalaiuse korrutise $K\Delta f$ andmeid

Lambi tüüp	C_i pF	C_v pF	S mA/V	$K\Delta f$ MHz
6Ж4П	5,5	5,0	5,2	47,0
6Ж3П	6,5	1,5	5,0	53,0
6Ж1П	4,35	2,35	5,2	60,5
6Ж4	11,0	5,0	9,0	62,0
6Ф1П	5,0	3,4	6,0	62,0
6Ж5П	10,0	2,5	9,0	73,0

Tabelis 8-3 toodud lampide võimenduse K ja ribalaiuse Δf korrutis on arvutatud valemiga

$$K\Delta f = \frac{S}{2\pi C_t}, \qquad (8\text{-}42)$$

kus S on lambi tunnusjoone tõus mA/V; C_t — lambi sisendmahtuvuse C_i ja väljemahtuvuse C_v summa, millele on lisatud 7 pF lülituse montaažimahtuvusena. Reaalsed $K\Delta f$ väärtused on mõnevõrra väiksemad. On väga oluline vähendada võnkeringi mahtuvus võimaliku miinimumini, millega koos suureneb ta reaktiivtakistus ja saadav astmevõimendus.

Täiesti hea võimenduse annab nelja lahkuhäälestatud võimendusastmega vahesagedusvõimendaja, milles on viis võnkeringi. Selleks, et võimenduse tunnusjoon oleks ülekantavas sagedusalas sujuv, peab õigesti valima lahkuhäälestatud võnkeringide endasagedused f_0 ja nende hindetegurid Q. Võnkeringide projekteerimiseks rakendatakse mitut meetodit, millest lihtsaimaks osutub alljärgnev graafiline meetod.

Joonise 8-26, *b* järgi tehakse kindlaks ülekandmisele kuuluv 6-MHz sagedusala, mis ulatub 28,5 kuni 34,5 MHz. Selle ala sagedused kantakse joonise 8-28, *a* horisontaalteljele ning kesksageduse 31,5 MHz kui tsentri ümber tõmmatakse poolring, mille läbimõõt võrdub ülekantava sagedusalaga, s. o. 6 MHz. Poolring jagatakse nii mitmeks võrdseks osaks, mitu võnkeringi on võimendajas, käesoleval juhul seega viieks. Saadud jaotuskaarte keskelt lastakse ristjooned alusjoonele, mille lõikekohad annavadki võnkeringide omasagedused. Joonisel 8-28, *a* osutuvad võnkeringide omasagedusteks 28,65; 29,75; 31,5; 33,25 ja 34,35 MHz. Ristjoonte kõrgused näitavad vastava võnkeringi ülekanderiba poolt väärtust. Jooniselt selgub, et kesksageduse ribalaius on 6 MHz, kõrvalolevatel sagedustel 4,8 MHz ja äärmistel sagedustel 1,8 MHz. Kuna nüüd võnkeringide omasagedused ja riba-

laiused on teada, saab kindlaks määrata võnkeringide hindetegurid valemiga

$$Q = \frac{f_0}{\Delta f}. \qquad (8\text{-}43)$$

Käesoleval juhul osutuvad võnkeringide hindetegurid järgmisteks:

$$Q_1 = \frac{28{,}65}{1{,}8} = 16,$$

$$Q_2 = \frac{29{,}75}{4{,}8} = 6{,}2,$$

$$Q_3 = \frac{31{,}5}{6} = 5{,}2,$$

$$Q_4 = \frac{33{,}25}{4{,}8} = 6{,}9,$$

$$Q_5 = \frac{34{,}32}{1{,}8} = 19.$$

Eeldades, et võnkeringide kogumahtuvus on 20 pF (lambi ja lülituse mahtuvused kokku) arvutatakse võnkeringide resonantsitakistused valemiga

$$R_e = \frac{Q}{2\pi f_0 C_t}; \qquad (8\text{-}44)$$

$$R_{e1} = \frac{16}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 28{,}65 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot 10^{-12}} = 4300\ \Omega,$$

$$R_{e2} = \frac{6{,}2}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 29{,}75 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot 10^{-12}} = 1650\ \Omega,$$

$$R_{e3} = \frac{5{,}2}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 31{,}5 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot 10^{-12}} = 1300\ \Omega,$$

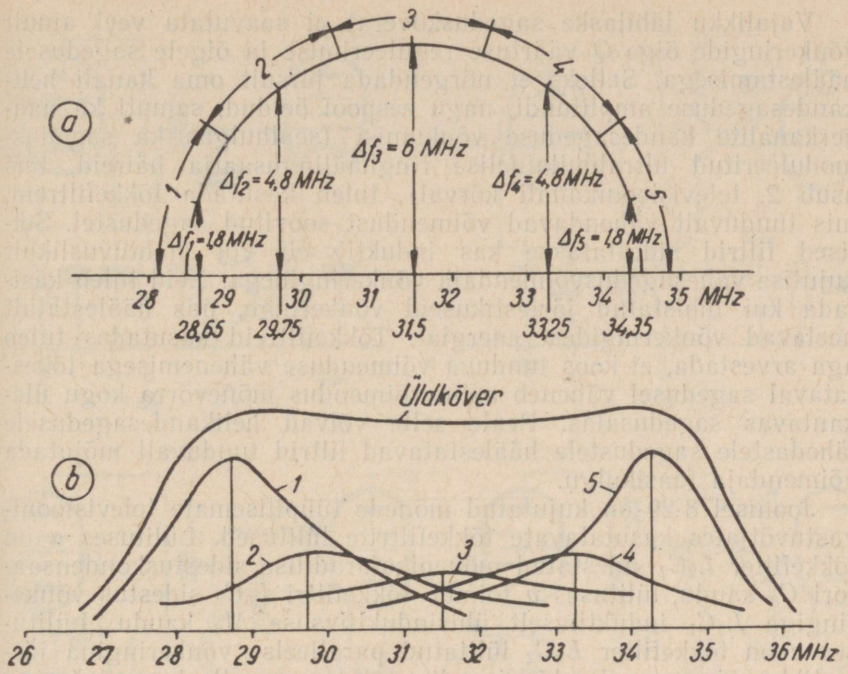
$$R_{e4} = \frac{6{,}9}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 33{,}25 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot 10^{-12}} = 1630\ \Omega,$$

$$R_{e5} = \frac{19}{2 \cdot 3{,}14 \cdot 34{,}35 \cdot 10^6 \cdot 20 \cdot 10^{-12}} = 4500\ \Omega.$$

Järgnevalt leitakse astmete võimendus omasagedustel, kui on valitud vastav lambitüüp, näiteks 6Ж1П, mille $S = 5{,}2$, valemiga

$$K_0 = SR_e;$$

$$K_{01} = 5{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot 4300 = 22,$$
$$K_{02} = 5{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot 1650 = 8{,}5,$$
$$K_{03} = 5{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot 1300 = 7,$$
$$K_{04} = 5{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot 1630 = 8{,}5,$$
$$K_{05} = 5{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot 4500 = 23.$$



Joon. 8-28. Vahesagedusvõimendaja lahkuhäälestatud astmete võnkeringide omasageduste ja hindetegurite määramine:

a — diagramm, *b* — vahesageduse liitkõver.

Kuna arvutatud astmevõimendused saadakse erinevatel sagedustel, siis ei moodusta võimendaja üldvõimendus üksikute astmete võimenduste korrutist, vaid see osutub märksa väiksemaks. Valmistades igale astmele resonantsikõverad, on võimalik koostada võimendaja üldine sageduskõver, mis on kujutatud joon. 8-28, *b*. Võnkeringide hindetegurid reguleeritakse parajaks nende rööbitiste summutustakistitega.

Võnkeringide järjekord võimendajas valitakse harilikult nii, et suurema hindeteguriga võnkeringid asuksid esimestes ja väiksemate hindeteguritega võnkeringid viimastes astmetes. Käesoleva kavanduse järgi oleks õige paigutada võnkeringid astmetesse järgmiselt:

1. astmesse 1. võnkering, mille $Q_1 = 22$,
2. astmesse 5. võnkering, mille $Q_5 = 23$,
3. astmesse 2. võnkering, mille $Q_2 = 8{,}5$,
4. astmesse 4. võnkering, mille $Q_4 = 8{,}5$,
5. astmesse 3. võnkering, mille $Q_3 = 5{,}2$.

Vajalikku läbilaske sageduskõverat ei saavutata veel ainult võnkeringide õige Q väärtuse reguleerimise ja õigele sagedusele häälestamisega. Selleks et nõrgendada järsult oma kanali helikandesageduse amplituudi, nagu eespool öeldud, samuti ka naaberkanalite kandesageduse võnkumisi (sealhulgas ka sagedusmoduleeritud ultralühilainelise ringhäälingusaatja häireid, mis asub 2. televisioonikanali kõrval), tuleb kasutada tõkkefiltreid, mis tunduvalt vähendavad võimendust soovitud sagedustel. Sellised filtrid sidestatakse kas induktiivselt või mahtuvuslikult kujutise vahesagedusvõimendaja võnkeringidega. Neid tuleb käsitada kui lühistatud järjestikuseid võnkeringe, mis häälestatult neelavad võnkeringidest energiat. Tõkkefiltreid kasutades tuleb aga arvestada, et koos tunduva võimenduse vähenemisega tõkestataval sagedusel väheneb astmevõimendus mõnevõrra kogu ülekantavas sagedusalas. Peale selle võivad helikandesagedusele lähedastele sagedustele häälestatavad filtrid tunduvalt mõjutada võimendaja faasikulgu.

Joonisel 8-29 on kujutatud mõnede tüüpilisemate televisioonivastuvõtjates kasutatavate tõkkefiltrite lülitused. Lülituses *a* on tõkkefilter L_2C_2 sidestatud mõnepikofaradilise sidestuskondensaatori C_3 kaudu, lülituses *b* toimub tõkkefiltri L_3C_2 sidestus võnkeringiga L_2C_1 induktiivselt ühisinduktiivsuse M_2 kaudu. Lülituses *c* on tõkkefilter L_2C_2 lülitatud paralleelse võnkeringina järjestikku järgneva lambi sisendiga. Kuna paralleelne võnkering esineb häälestussagedusel suure takistusena, siis sellise tõkkefiltri lülitamine on samaväärne sisendvõnkeringi L_1C_1 isoleerimisega samal sagedusel järgnevast astmest. Lülitus *d* kujutab kompenseeritud tõkketrafot, mis erineb eelmistest selle poolest, et tõkkesagedusel saavutatakse täielik võimenduse langus, kuid ülekantava sagedusala suur osa jääb seejuures mõjutamata. Täielik võimenduse langus tekib tõkkesagedusel ω, kui tõkkering on välja reguleeritud tingimuse kohaselt:

$$\omega L = \frac{r}{\omega C}.$$

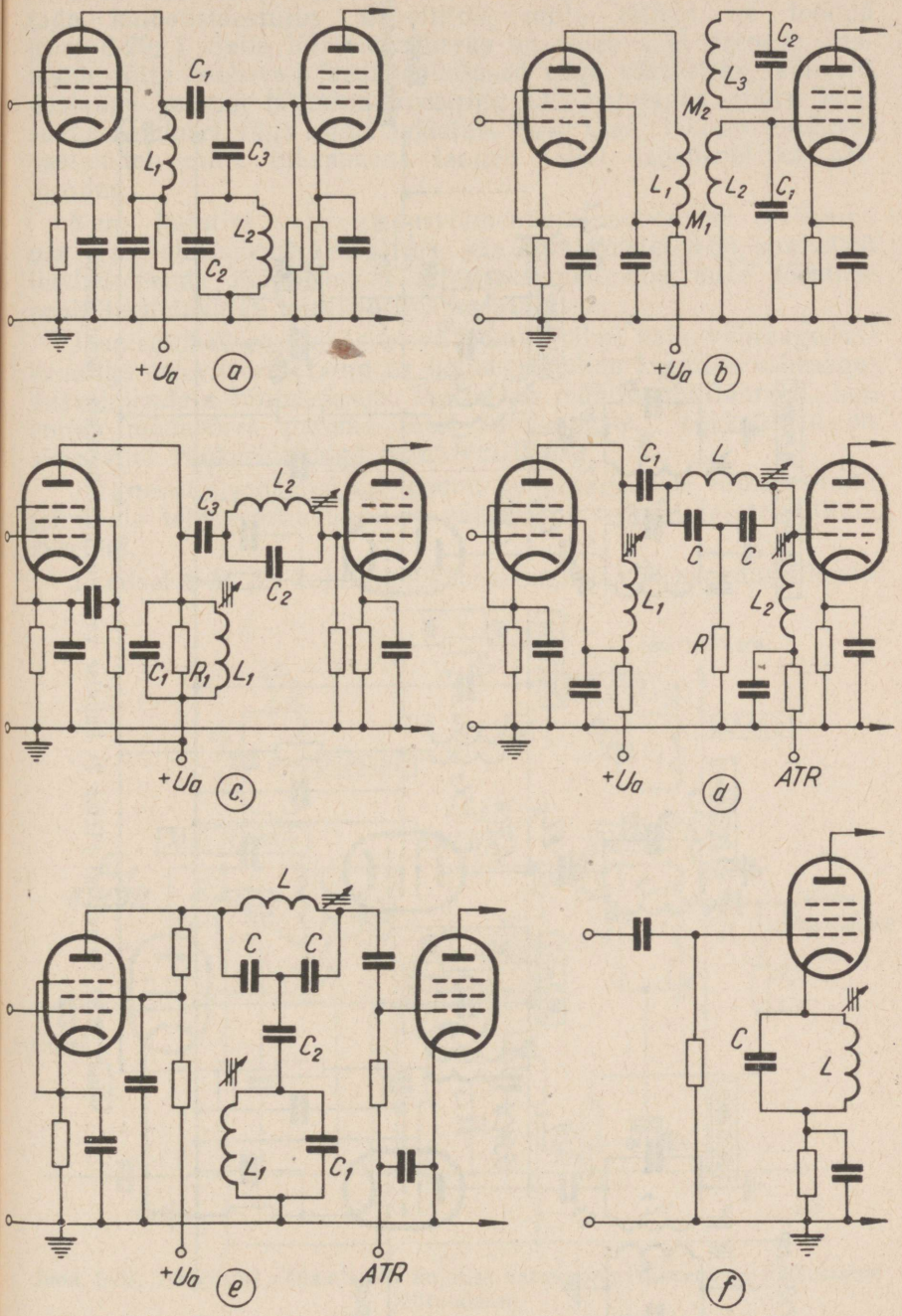
Siis

$$R_0 = \frac{1}{r(\omega C)^2} = \frac{Q}{r\omega C}, \qquad (8\text{-}45)$$

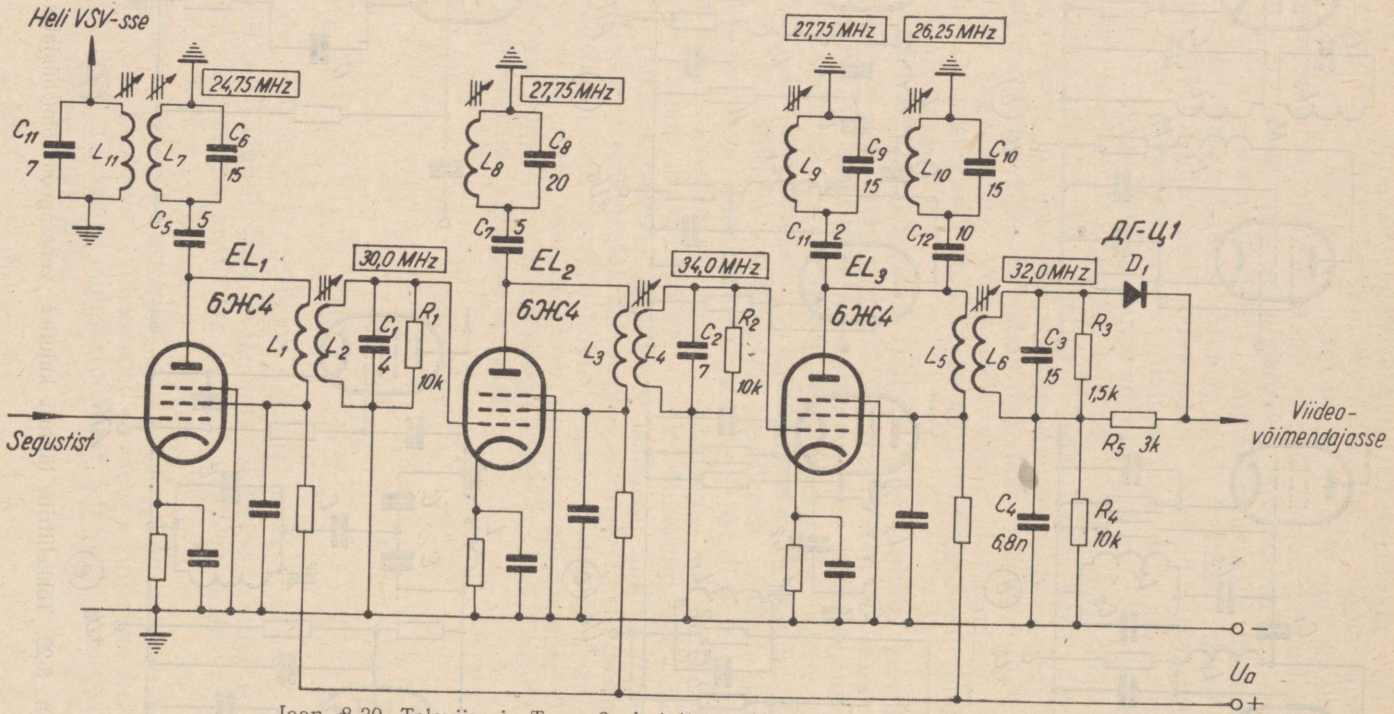
kus r on tõkkeringi järjestikune aktiivtakistus, $Q = \omega L/r$.

Algul tuleb täpselt välja häälestada tõkkering ja alles seejärel otsmised võnkeringid poolidega L_1 ja L_2. Tõkestustoime väheneb, kui ära jätta R.

Lülitus *e* üldiselt sarnaneb eelmisega ja on tuntud T-filtri nimetuse all. Oluliseks erinevuseks on see, et filtriga LCC on mahtuvuslikult C_2 kaudu sidestatud veel teisele tõkkesagedusele häälestatud tõkkering L_1C_1.



Joon. 8-29. Tõkkefiltrite lülitusi kujutise vahesagedusvõimendajates.



Joon. 8-30. Televiisori «Temp 2» kujutise vahesagedusvõimendaja lülitusskeem.

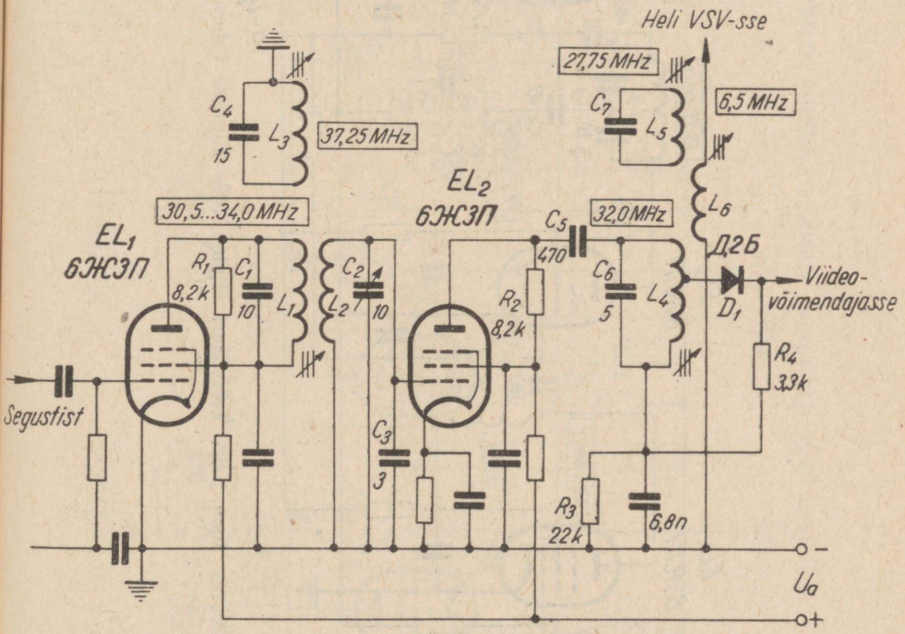
Eriti otstarbekas on kujutise vahesagedusvõimendajas kasutada katoodsidestuses tõkkefiltrit, mille lülitus on toodud joon. 8-29, *f*. Selle lülituse eeliseks on asjaolu, et areneva vastuside tõttu osutuvad faasimoonutused väga väikesteks. Võimenduslambi katoodi lülitatud tõkkering *LC*, kujutades endast häälestussagedusel väga suurt takistust $R_0 = Q\omega L$, tekitab tunduvat vastusidet, mille tulemusena langeb sellel sagedusel ka võimendus.

Kuna kujutise vahesagedusvõimendaja moodustab olulisema osa igas televisioonivastuvõtjas, siis on joonistel 8-30 kuni 8-33 toodud nende tüüpilisemad lülitusskeemid, mis meie tööstuse poolt toodetavates televiisorites kasutatakse.

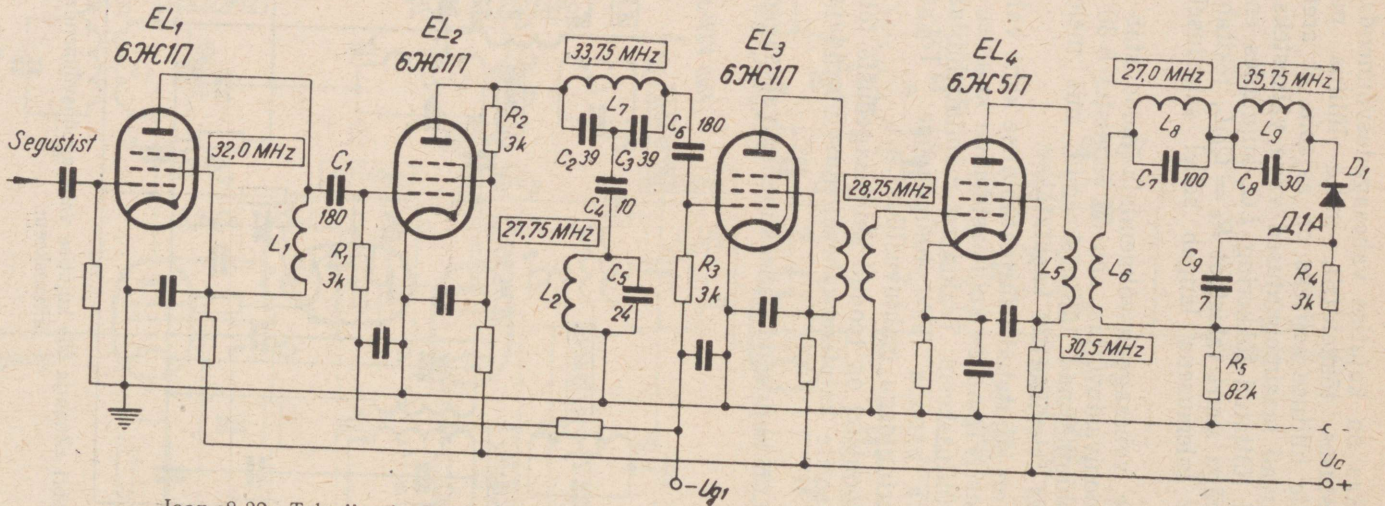
Joonisel 8-30 on kujutatud vanematüübilise kahe vahesagedus-kanaliga televiisori «Temp 2» kolmeastmeline kujutise vahesagedusvõimendaja lülitusskeem. Trafod on mähitud bifilaarselt, mis annab mõnevõrra parema faasi tunnusjoone. Tõkkefiltrid on sidestatud võnkeringidega mahtuvuslikult.

Järgnevatel joonistel on toodud kandesageduste tuikemeetodil toimivate televiisorite kujutise vahesagedusvõimendajate lülitusskeemid.

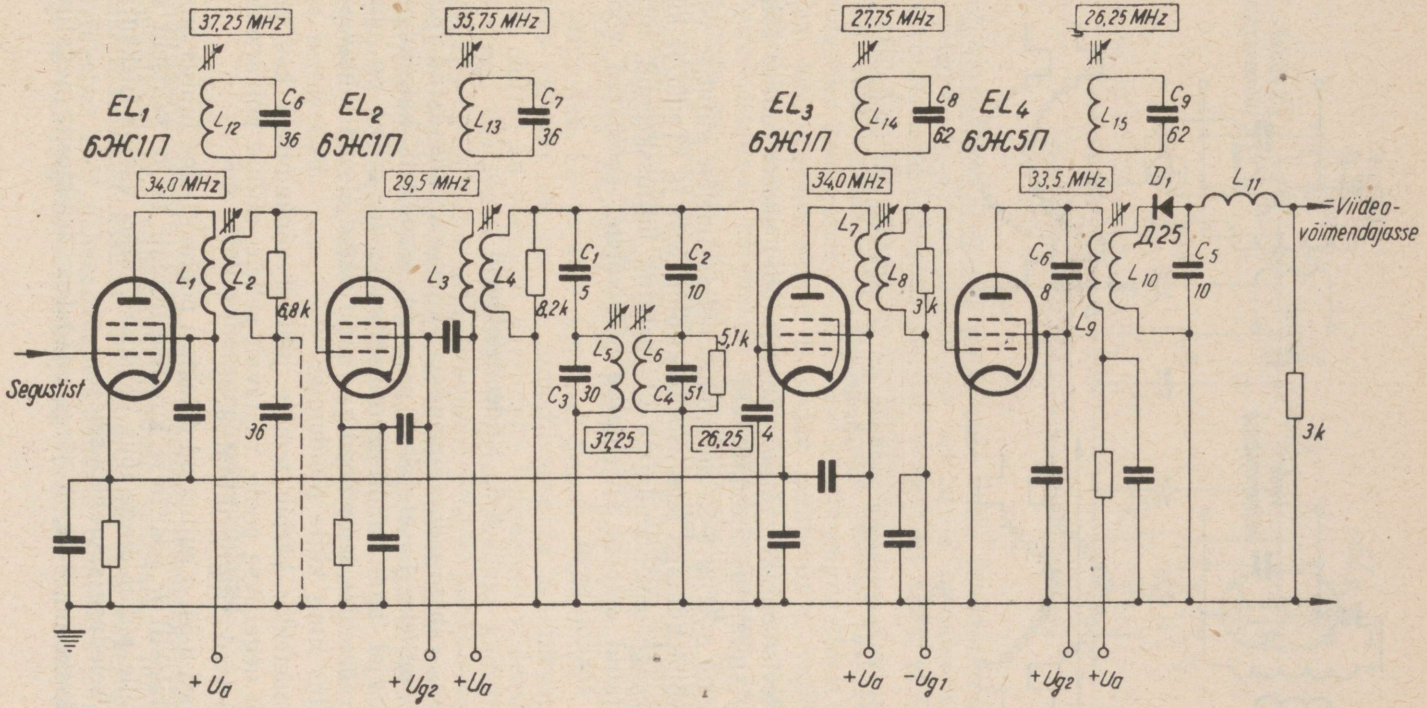
Joonisel 8-31 on kujutatud kaheastmelise vahesagedusvõimen-



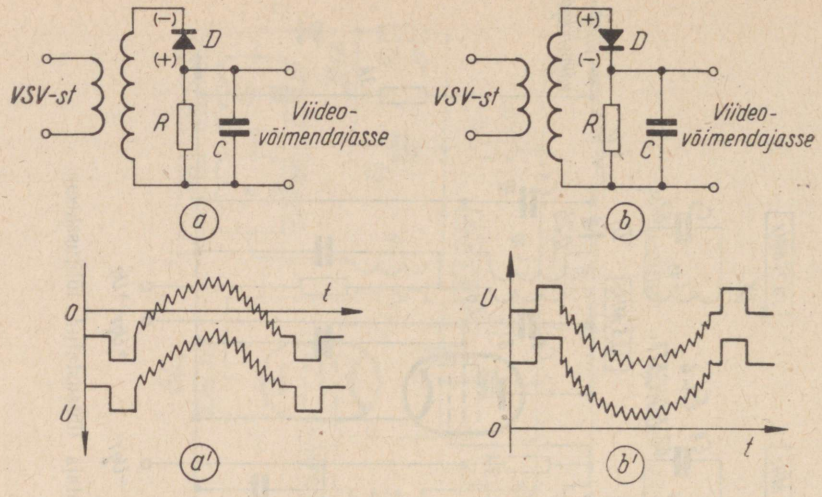
Joon. 8-31. Televiisori «Znamja 58» kujutise vahesagedusvõimendaja lihtsustatud lülitusskeem.



Joon. 8-32. Televiisori «Rubin 102» kujutise vahesagedusvõimendaja lihtsustatud lülitusskeem.



Joon. 8-33. Televiisori «Temp 3» kujutise vahesagedusvõimendaja lihtsustatud lülitusskeem.



Joon. 8-34. Viideodetektorid positiivse (*a*) ja negatiivse (*b*) kujutisesignaali saamiseks.

daja (televisioonivastuvõtjas «Znamja 58») skeem, milles tõkkefiltrid on sidestatud induktiivselt.

Joonistel 8-32 ja 8-33 on toodud neljaastmelise kujutise vahesagedusvõimendajaga televiisorite «Rubin 102» ja «Temp 3» kujutise vahesagedusvõimendajate lihtsustatud lülitusskeemid, milles on kasutatud eespool kirjeldatud põhimõtetel koostatud võnkeringe ja tõkkefiltreid.

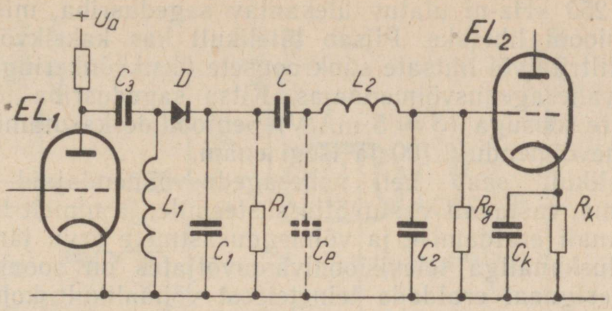
8-5. Viideodetektorid

Kujutise vahesagedusvõimendaja väljesse on ühendatud viideodetektor, milleks kasutatakse peaaegu eranditult kaksikdioodi, viimasel ajal aga samuti germaaniumdioode, millel on olulisi eeliseid, võrreldes lampdioodiga, nagu väike sisendmahtuvus ja sisetakistus ning kütte puudumine.

Viideodetektor kärbib temale juhitud võnkumisest kas positiivse või negatiivse poole, vastavalt sellele, millise polaarsusega on diood võnkeringile lülitatud.

Joonisel 8-34, *a* kujutatud detektori põhimõtteline lülitus annab koormustakistil *R* positiivse kujutisesignaali (s. o. selliseid signaale, mille puhul pinge tõus detektori väljes vastab ülekantava kujutise heleduse suurenemisele).

Lülitusskeemi 8-34, *b* järgi saadakse detektorilt negatiivne



Joon. 8-35. Viideodetektor madalläbivusfiltriga.

kujutisesignaal. Väljepinge polaarsuse valik detektori väljes sõltub järgnevate võimendusastmete arvust ja moduleeriva pinge vastuvõtutorusse suunamise viisist, arvestades seda, et iga järgnev aste muudab polaarsuse vastupidiseks.

Kui vahesagedus ei ole küllalt kõrge, tekivad raskused vahesagedusliku komponendi eraldamisel kujutisesignaalidest detektori väljes. Kui koormustakistit R sildav mahtuvus C valida vahesagedusliku komponendi filtreerimiseks küllalt suur, siis hakkab ta kujutisesignaali kõrgemaid sagedusi nõrgendama, ja kui see mahtuvus on väike, siis on filtreerimine puudulik. Sel põhjusel kasutatakse detektori väljes mõnikord madalläbivusfiltrit, mis võimaldab mainitud pingeid hõlpsamini eraldada kui sildav mahtuvus. Joonisel 8-35 on kujutatud sellise filtriga detektor. Siin on kasutatud *LC*-filtrit, sest *RC*-filter pole küllalt selektiivne ja põhjustab ka asjatut kujutisesignaali sumbumist. *LC*-filtri teiseks eeliseks on see, et induktiivsuse ja mahtuvuse sobiva valiku korral on võimalik parandada kõrgemate viideosageduste ülekannet. Teatavasti põhjustab kõrgsageduslikke kadusid dioodi mahtuvus C_1 ja montaažimahtuvused. Nende kompenseerimiseks valitakse L_2 sellise suurusega, et ta moodustab koos mahtuvusega C_2 järjestikuse võnkeringi resonantsisagedusega kõrgematel viideosagedustel. Seega on selline lülitus kasulik nii vahesagedus-komponendi kõrvaldamise kui ka sagedustunnusjoone parandamise seisukohalt.

8-6. Heli vahesagedusvõimendajad

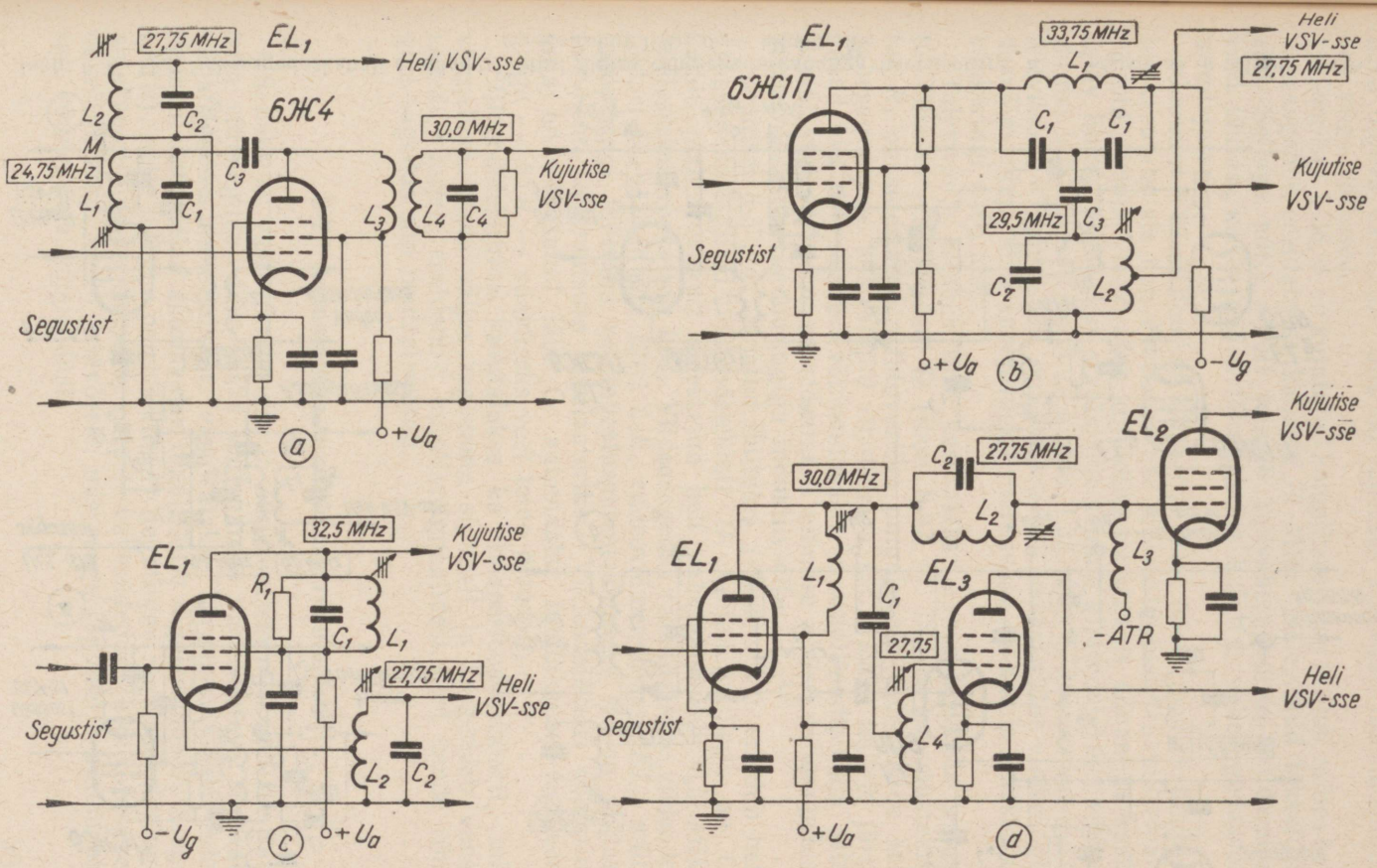
Sõltumata sellest, missugust meetodit televisioonivastuvõtjas rakendatakse heli vahe-kandesageduse saamiseks, juhitakse ta pärast eraldamist üldisest koondsignaalist heli vahesagedusvõimendajasse. Heli vahesagedusvõimendaja põhiliseks erinevuseks kujutise vahesagedusvõimendajaga võrreldes on suhteliselt kit-

sas, kuni 250 kHz-ni ulatuv ülekantav sagedusriba, mis teeb ta konstruktsiooni lihtsaks. Piisab täielikult kas kaksikvõnkeringidega ribafiltrite või lihtsate sünkroonsete üksikvõnkeringide kasutamisest vahesagedusvõimendajas. Kitsa sagedusriba tõttu saadakse suure tõusuga ($S \approx 5$ mA/V) pentoodide kasutamisel hõlpsasti astmevõimendusi 100 ja isegi enam.

Lülituslikult saab heli vahesagedusvõimendajaid liigitada kahte rühma, vastavalt vastuvõtja süsteemile, ja nimelt heli vahesageduskanali eraldamise ja võimendusastmete arvu järgi. Kahe vahesageduskanaliga televisioonivastuvõtjates on soovitav heli- ja kujutisesignaal eraldada teineteisest võimalikult kohe pärast sagedusmuundamist kõrgsagedusblokis selleks, et vältida vastastikuseid häireid nii helis kui ka kujutises. Sõltumata televisioonivastuvõtja heliosa liigist oleneb ta helikanali võimendus kujutisekanali tundlikkusest. Seega, mida suurem on vastuvõtja kujutisekanali tundlikkus, seda suurem olgu ka helikanali võimendus. Amplituudhäirete vähendamise seisukohalt on soovitav kõigis televisioonivastuvõtjates kasutatavates helisignaali detektorites, vaatamata nende tüübile, rakendada amplituudi piiramist. Arvestades seda, et nõrga signaalitaseme puhul saadakse viideodetektori väljes ca 20-millivoldine helivahesageduspinge, siis jätkub parajasti ühest 6,5-MHz sagedusel toimivast vahesagedusastmest võimendusega 100, et arendada piiraja sisendis vajalik 2-voldine pinge. Kahekanalilise vastuvõtja puhul peab heli vahesageduskanal arendama täiendavat võimendust, mis ligikaudu peab vastama kujutise vahesagedusvõimendajas saadava võimendusega. Kuna kahe kanaliga vastuvõtjates peaaegu alati on segustile järgnev esimene vahesagedus-võimendusaste ühiseks võimendusastmeks, mis võimendab ka helisignaali, siis piisab parajasti kaheastmelisest heli vahesagedusvõimendajast, millele järgneb enne helidetektorit veel amplituudipiiraja.

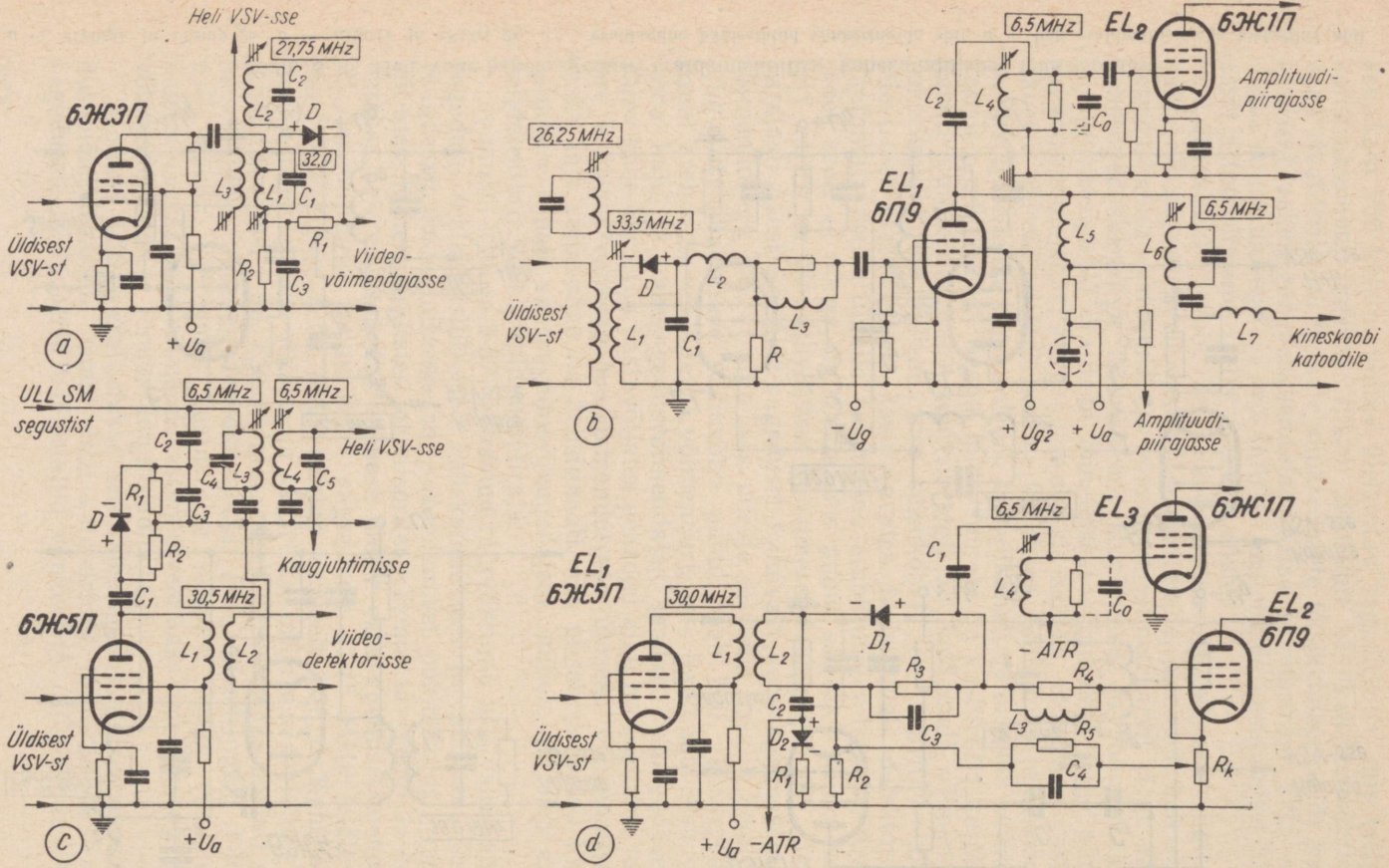
Joonistel 8-36 ja 8-37 on toodud tüüpilisemad heli vahe-kandesageduse eraldamislülitused kahekanalilistes ja ühiskanalilistes (kandesageduste tuikemeetodi rakendamisel põhinevates) vastuvõtjates. Kahekanalilistes televiisorites «Temp» ja «Temp 2» eraldatakse heli vahesagedus esimese üldise vahesagedusvõimendaja EL_1 anoodringist induktiivselt sagedusele 27,75 MHz häälestatud võnkeringiga L_2C_2, nagu nähtub jooniselt 8-36, *a*. Kahekanalilistes televiisorites «Start» ja «Start 2», mille vastav lülitus on toodud joonisel 8-36, *b*, eraldatakse heli vahesagedus samuti esimese üldise vahesagedusvõimendaja EL_2 anoodringist T-filtri L_2C_2 kaudu. Mõlemas vastuvõtjas järgneb lisaks vaadeldud ühisele vahesagedusvõimendusastmele veel kaks heli vahesagedusvõimendusastet ja lõpuks amplituudipiiraja.

Joonisel 8-36, *c* eraldatakse heli vahesagedus üldise vahesagedusvõimendusastme lambi EL_1 katoodringi lülitatud ja vahesagedusele 27,75 MHz häälestatud võnkeringi L_2C_2 kaudu. Are-



Joon. 8-36. Heli vahe-kandesageduse eraldamislülitusi kahekanalilistes televiisorites:

a — «Temp» ja «Temp 2», *b* — «Start» ja «Start 2», *c* — eraldamine häälestatud võnkeringide abil, *d* — heli eraldamine kahe tõkkefiltri abil.



Joon. 8-37. Heli vahesageduskanali eraldamislülitusi üldise vahesageduskanaliga televiisorites: *a* — «Znamja», *b* «Temp 3-59»; *c* — «Rubin 102», *d* — «Rubin A».

neva tugeva vastuside tõttu on lülituses arenevad faasimoonutused väga väikesed.

Joonisel 8-36, *d* on kujutatud komplitseeritum lülitus, milles heli vahesagedus eraldatakse kahe 27,75 MHz häälestatud tõkkefiltri abil. Sellega mitte ainult toimub helivahesageduse eraldamine, vaid ühtlasi ka ta pääsu tõkestamine kujutise vahesagedusvõimendajasse.

Joonisel 8-37 on toodud ühiskanalilistes televisioonivastuvõtjates kasutatavate heli vahesageduse eralduslülituste tüüpilisemaid näiteid. Joonisel 8-37, *a* on kujutatud televiisoris «Znamja» kasutatav lihtne lülitus, kus eraldamine toimub viideodetektori võnkeringist induktiivselt pooli L_3 kaudu. Lülituses *b*, mis on kasutusel televiisoris «Temp 3-59», eraldatakse heli vahesagedus viideosagedusvõimendaja 6П9 anoodringist mahtuvuse C_2 kaudu sidestatud võnkeringi L_4C_0 abil.

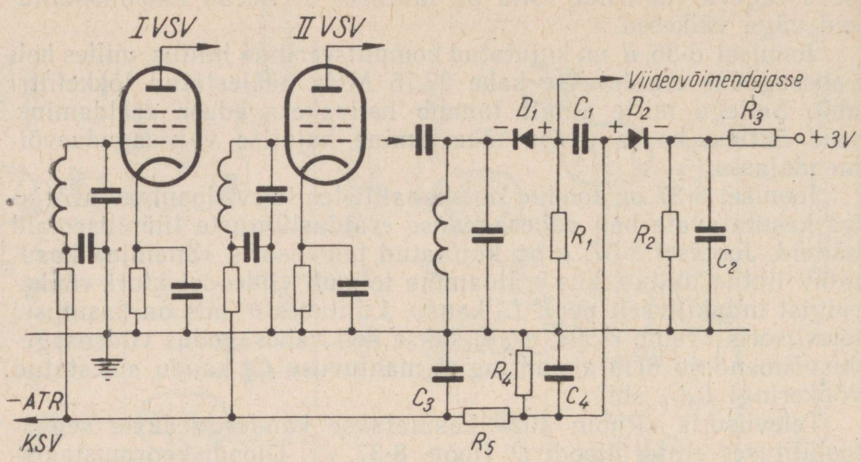
Televiisoris «Rubin 102» kasutatakse kandesageduste segustuslülituses eraldi dioodi D (joon. 8-37, *c*). Dioodi koormustakistus R_1 on sidestatud mahtuvusliku pingejagaja C_2C_3 kaudu heli vahesagedusele häälestatud ribafiltriga L_3C_4, L_4C_5, millele järgnevad üks vahesagedus-võimendusaste ja amplituudipiiraja aste. Eraldi viideodetektor on sidestatud viimase üldise vahesagedusvõimendusastme anoodringiga induktiivselt.

Joonisel 8-37, *d* näidatud lülituses («Rubin A») eraldub heli vahesagedussignaal viideodetektori D_1 väljelt, millega on C_1 kaudu mahtuvuslikult sidestatud heli vahesagedusele 6,5 MHz häälestatud võnkering L_4C_0. Viideosagedus rakendatakse viideodetektori D_1 väljest läbi filtri L_3R_4 viideovõimendajasse EL_2, mille katoodringi lülitatud eelpingestuspotentsiomeeter R_k on ühtlasi televiisori kontrastsuse regulaatoriks. Viideodetektori vooluringiga on sidestatud läbi C_2 automaatse tundlikkuse reguleerpinge — ATR — saamiseks veel teine diood D_2.

Viideodetektorina kasutatakse ka täisperioodidetektorit, mis võimaldab saada väljes tugevama signaali ja kergendab vahesagedusvõngete eraldamist kujutisesignaalidest, sest nende võngete sagedus siin neutraliseerub.

8-7. Automaatne tundlikkuse regulaator

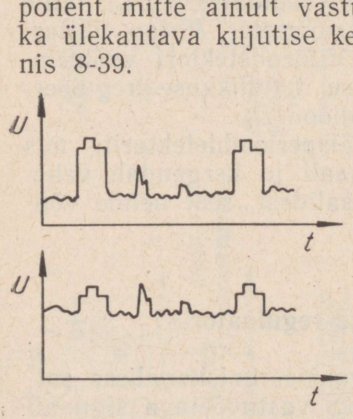
Selleks et vastuvõtutorusse ja sünkroniseerimiskanalisse sattuva väljesignaali tase jääks sõltumatuks vastuvõetava signaali väljatugevuse muutumisest, varustatakse kõrgema klassi televisioonivastuvõtjad automaatse tundlikkuse reguleerimislülitusega (ATR). Selle lülituse poolt tekitatav negatiivne reguleerimispinge antakse eelpingena esimeste astmete vahesagedus- ja ka kõrgsagedusvõimendaja lambi juhtvõrele, mis seega reguleerib automaatselt võimendaja võimendust.



Joon. 8-38. Automaatne tundlikkuse regulaator.

Automaatse eelpinge tekitamiseks rakendatakse kõige sagedamini viideodetektori väljepinge teistkordsel detekteerimisel saadava pinge alaliskomponenti (joon. 8-38).

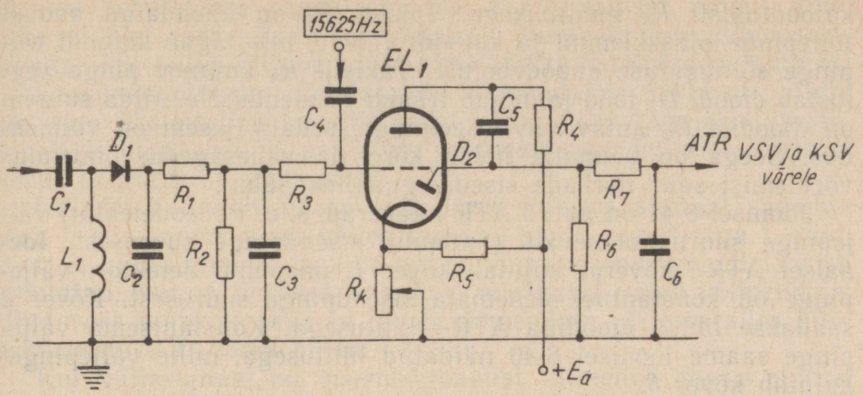
Ringhäälingu-vastuvõtjates kasutatakse võimendust tüüriva pingena detekteeritud signaalide alaliskomponenti. Televisioonivastuvõtjates aga ei ole see soovitav, sest siin sõltub alaliskomponent mitte ainult vastuvõetavate signaalide tugevusest, vaid ka ülekantava kujutise keskmisest heledusest, mida selgitab joonis 8-39.



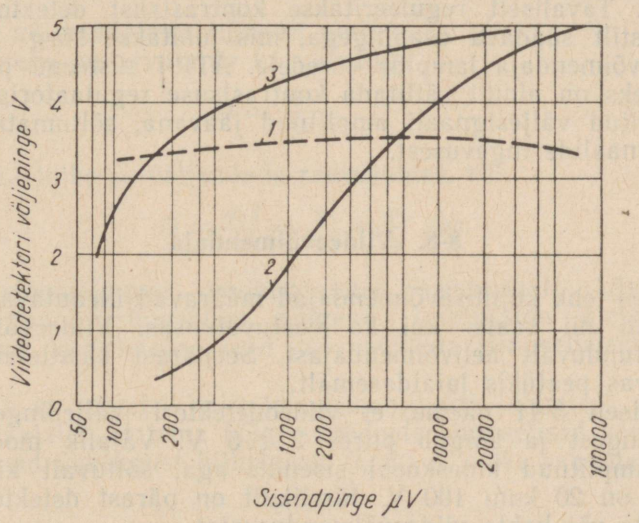
Joon. 8-39. Ülekantava kujutise keskmise heleduse selgituse juurde.

Kuna ülekantavate kujutiste süžee muutumisel säilib jäävana vaid kandesageduse amplituud sünkroniseerimisimpulsside lähetamise hetkel, siis saab siin lähtepingena automaatseks tundlikkuse reguleerimiseks kasutada ainult detekteeritud signaalide amplituudi.

Joonisel 8-38 kujutatud automaatse tundlikkuse reguleerimiseks vajaliku tüürpinge saamise lülitusest selgub, et siin juhitakse dioodi D_2 katoodile positiivne pinge ja see diood ei hakka juhtima enne, kui teise dioodi D_1 väljepinge ületab teatud positiivse väärtuse (+3 V). Seega toimub automaatne tundlikkuse reguleerimine teatud viivitusega.



Joon. 8-40. Lisadioodiga automaatne tundlikkuse regulaator.



Joon. 8-41. Viideodetektori väljepinge sõltuvus sisendpingest.

Joonisel 8-40 kujutatud ATR-i skeemis kasutatakse lisadioodi D_2, mis asub trioodis EL_1. Trioodi kasutatakse reasageduspinge võimendamiseks. Trioodi võimendust reguleeritakse positiivse pingega takistil R_2. Võimendatud signaal, mis saadakse trioodi anoodilt, alaldatakse dioodiga D_2. Seda takistil R_6 tekkivat negatiivset pinget kasutataksegi ATR-i pingeks, mis reguleerib kõrg- ja vahesagedusvõimendust.

ATR-i pinge viivituse ja amplituudi reguleerimine toimub

katoodtakisti R_k muutmisega. Takisti R_5 on ühendatud anoodi toitepinge plussklemmi ja katoodi vahele, mis tagab katoodi eelpinge sõltumatuse anoodvoolust. Takistil R_k kujunev pinge aeglustab dioodi D_2 tööd ja mõjub trioodi võimendusele. Mida suurem on dioodile D_2 antav viivituseelpinge, seda väiksem on võimendus. Seega on võimalik hoida kõrg- ja vahesagedusvõimendus võrdlemisi suur nõrkade sisendsignaalide puhul.

Joonisel 8-41 on antud ATR-i kõverad, s. o. viideodetektori väljepinge suurus olenevalt (antenni) sisendpinge suurusest. Ideaalset ATR-i kõverat kujutab kõver *1*, mispuhul detektori väljepinge on konstantne, olenemata sisendpinge suurusest. Kõver *2* saadakse lihtsa dioodiga ATR-i lülitusega. Konstantsema väljepinge saame joonisel 8-40 näidatud lülitusega, mille väljepinget kujutab kõver *3*.

Peale ATR-i on televiisor varustatud veel tundlikkuse käsiregulaatoriga, mida tavaliselt nimetatakse kontrastsuse regulaatoriks, sest tema abil reguleeritakse vastuvõetava kujutise kontrastsust. Tavaliselt reguleeritakse kontrastsust detektori koormustakistilt saadava osapingega, mis juhitakse kõrg- ja vahesagedusvõimendaja lampide võredele. ATR-i süsteemi põhiliseks ülesandeks on ainult säilitada kontrastsuse regulaatoriga väljareguleeritud väljesignaali amplituud jäävana, sõltumata sisenevate signaalide tugevusest.

8-8. Viideovõimendaja

Viideo- ehk kujutisevõimendajad määravad üleantava kujutise kvaliteedi nii saate- kui ka vastuvõtuosas. Viideovõimendaja erineb tunduvalt helivõimendajast. Seepärast käsitletakse teda käesolevas peatükis laialdasemalt.

Jooniselt 8-41 näeme, et viideodetektori väljepinge sõltub sisendpingest ja kõigub piires 2...5 V. Vajalik moduleeriva pinge amplituud kineskoobi sisendis aga, sõltuvalt kineskoobi tüübist, on 20 kuni 100 V. Järelikult on pärast detektorit vaja veel ühte või kahte viideovõimendusastet.

Selleks otstarbeks kasutatakse takistussidestuses võimendajat, sest ainult selline võimaldab teatud eeldustel võimendada küllalt laia sagedusriba lubatavate sagedusmoonutuste puhul.

Peale ühtlase võimenduse peab viideovõimendajatel (nii saatjas kui ka vastuvõtjas) olema kogu läbilastava riba ulatuses sirgjooneline faasitunnusjoon. Sagedus- ja faasimoonutused kutsuvad esile üleantavas kujutises tunduvaid moonutusi. Seepärast on oluline, et viideovõimendaja faasimoonutused oleksid võimalikult väikesed.

Tavaliselt esineb koos faasimoonutusega ka sagedusmoonutus, kuid leidub ka lülitusi, milles tekib ainult faasimoonutus. Võimen-

dajates kasutatakse sageli sagedust korrigeerivaid lülisid, kuid need ei ole vabad faasimoonutustest. Viimaste kõrvaldamiseks kasutatakse erilisi lülitusi, mida nimetatakse *faasivõrdsustajateks*.

Faasimoonutuseks nimetatakse võimendajas tekkivat pildipunktide üksteise suhtes nihkumist ajas, mille tagajärjel pildipunktide omavaheline paigutus vastuvõetavas kujutises erineb nende paigutusest algkujutises.

Näiteks kui võimendaja sisendisse suunata signaal sagedusega f, siis saame tema väljes signaali sama sagedusega f, kuid faas on väljesignaalis teatava nurga võrra sisendsignaali faasist nihutatud. See on tingitud asjaolust, et signaal vajab võimendaja läbimiseks teatavat aega ja jõuab võimendaja väljesse alles hilinemiskestuse D võrra hiljem.

Kui väljesignaal on sisendsignaalist hilinenud faasis nurga φ_1 võrra, siis hilinemiskestus ehk h i l i n e m u s

$$D = \frac{\varphi_1}{360} T \text{ sec}, \tag{8-46}$$

kus T on võimendatava signaali periood.

Hilinemus on arvutatav ka valemiga

$$D = \frac{\varphi_1}{360 f}. \tag{8-47}$$

Kui faasinihe φ_1 väljendada radiaanides, siis

$$D = \frac{\varphi_1 T}{2\pi} = \frac{\varphi_1}{2\pi f} = \frac{\varphi_1}{\omega} \text{ sec}. \tag{8-48}$$

Televisioonisignaali võimendamise seisukohalt käsitatakse kujutisesignaali siinuselise pingena. Impulsside ülekandmise käsitlemisel kujutletakse neid koosnevatena siinuselistest pingetest.

Selleks et impulsi kuju televisioonitrakti läbimisel ei muutuks, on vajalik, et tema kõigi sageduste siinuselised komponendid omaksid ühesugust hilinemust D, nii et oleks rahuldatud tingimus

$$D = \frac{\varphi_i}{2\pi f_i} = \text{const}, \tag{8-49}$$

kus φ_i on i-nda harmoonilise faasinihe,

f_i — i-nda harmoonilise sagedus.

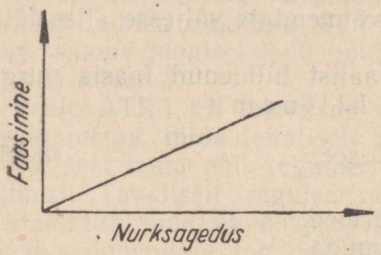
Võrrandiga (8-49) väljendatud tingimuse võime kirjutada kujul:

$$\varphi_i = k f_i, \tag{8-50}$$

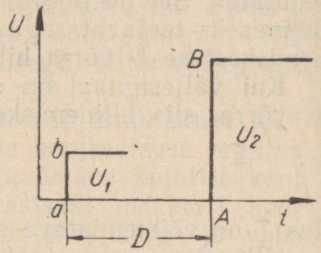
s. t. viideovõimendajas peab faasinihe φ olema võrdeline sagedusega. Joonisel 8-42 on graafiliselt kujutatud faasinihke sõltuvus nurksagedusest ideaalses viideovõimendajas.

Niisuguses viideovõimendajas jõuavad impulsi kõik harmoonilised komponendid võimendaja väljesse ühesuguse hilinemusega ja väljes taastub ristkülikuline sisendimpulss oma loomutruul kujul. Seda selgitab joonis 8-43.

VI peatükis selgus, et ristkülikulise impulsi tõusu- ja langukestus sõltub sagedusriba laiusest. Joonisel 8-44 on kujutatud ideaalne ristkülikuline impulss. Selle kujus esinevad moonutused, kui võimendaja ei kanna loomutruult üle impulsi kõiki koostisosi — harmoonilisi võnkeid.



Joon. 8-42. Faasinihke sõltuvus sagedusest ideaalses viideovõimendajas.



Joon. 8-43. Sisend- ja väljepinge vahelise hilinemise selgituse juurde:

U_1 — sisendpinge, U_2 — väljepinge, D — hilinemus.

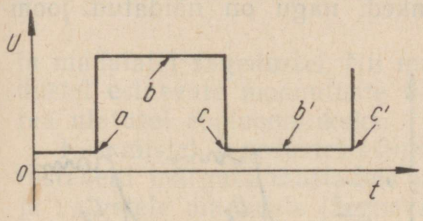
On vajalik, et viideovõimendaja võimendus oleks ühtlane kogu üleantava sagedusriba ulatuses. Juhul kui võimendus madalamate sageduste osas on väiksem, siis tekib ristkülikulise sisendimpulsi puhul väljeimpulss, nagu on näidatud joonisel 8-50 ja 8-51, s. t. impulsi algosa kujuneb kallakuliseks. Kui aga võimendus kõrgemate sageduste osas on väiksem, siis tekib ristkülikulise sisendimpulsi puhul väljeimpulss, nagu on näidatud joonisel 8-45.

Sisendpinge U_1 korral tekib võimendajas esineva sagedusriba piiramise tõttu moonutatud kujuga väljepinge U_2. Väljepinge on hilinenud sisendpingest ajavahemiku D võrra. Piiratud sagedusriba tõttu on impulsi tõusukestuseks t_0. Tõusukestuse t_0 ja võimendatava sageduse f vahel on seos:

$$f = \frac{1}{2t_0}. \qquad (8\text{-}51)$$

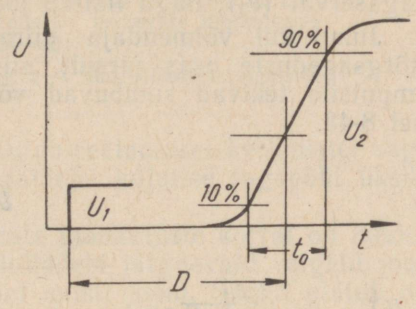
Kui võimendaja võimendus oleks ühtlane kuni väga kõrge sageduseni, siis impulsi tõusukestus kujutise headusele mõju ei avaldaks. Tavaliselt aga pole võimendaja sagedustunnusjoon sirge, vaid kõrgemate sageduste osas langeb, mistõttu faasinihe φ pole enam võrdeline sagedusega f. Sellises võimendajas esinev

sisend- ja väljeimpulsi kuju ongi antud joonisel 8-45. Lineaarmoonutuste tõttu mõjutab nüüd impulsi tõusukestus t_0 kujutise headust. Häälestustabelil on kõik kujutise elemendid teravad ainult sel juhul, kui viideovõimendaja sagedusriba on küllalt lai. Ebaterav ja udune häälestustabel, millel üksikasjad pole eristatavad, tõendab, et viideovõimendaja sagedusriba on liiga kitsas ja võimendajas tekkiv faasimoonutus suur.



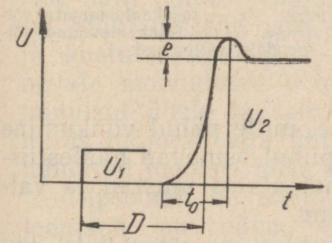
Joon. 8-44. Lineaarmoonutuste mõju impulsi kujule:

kõrgemate sageduste puudumine tekitab moonutusi punktides *a* ja *c*, madalamate sageduste puudumine punktides *b* ja *b'*.



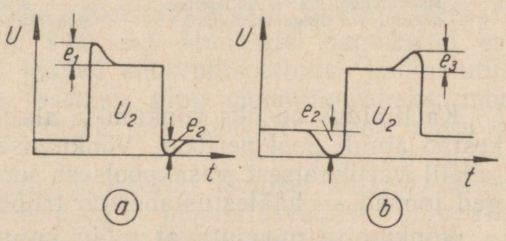
Joon. 8-45. Kõrgete sageduste puudumine impulsis:

U_1 — sisendpinge, U_2 — väljepinge, t_0 — impulsi tõusukestus.



Joon. 8-46. Liialdusega impulss:

e — liialdus, U_1 — sisendpinge, U_2 — väljepinge, t_0 — impulsi tõusukestus.



Joon. 8-47. Liialdustega impulsside kujud:

a — ülemise (e_1) ja alumise (e_2) liialdusega impulss, *b* — tagaserva liialdusega (e_3) impulss.

Võimendaja sagedustunnusjoont on võimalik vastavate korrigeerimislülidega muuta sirgeks, kuid viimased ei kõrvalda faasimoonutusi ja nii saadakse lõpptulemusena joonisel 8-46 kujutatud väljeimpulss, mille tõus nagu inertsi tõttu ületab hetkeks oma maksimaalväärtuse.

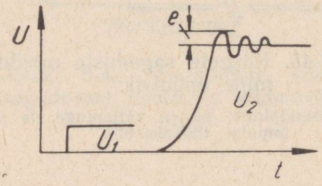
Seda pinge väärtust *e* nimetatakse liialduseks. Liialduste tõttu tekivad kujutistes moonutused — kujutiste detailid on

küll teravad, kuid mustadele osadele kujutises järgnevad (üksikosast paremal pool) valged vertikaalsed äärisjooned ja — valgetele mustad äärisjooned.

Kui sellise võimendaja sisendisse suunata ristkülikuline impulss, siis saadakse tema väljes joonisel 8-47, *a* kujutatud impulss, milles on tekkinud liialdus e_1.

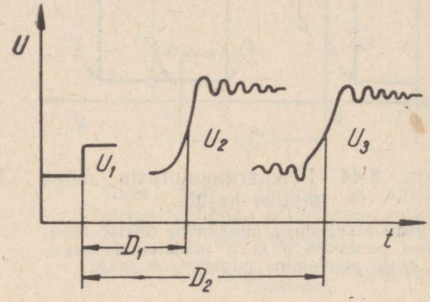
Vahel tekib liialdus ristkülikulise impulsi ees (e_2) või selle tagaserval (e_3), nagu näitab joonis 8-47, *b*.

Juhul kui võimendaja piirab kujutisesignaali sagedusriba kõrgsageduste osas järsult, siis kujuneb võnkumine — väljeimpulsile tekivad sumbuvad võnked, nagu on näidatud joonisel 8-48.



Joon. 8-48. Impulsi kuju:

U_1 — sisendpinge, U_2 — väljepinge, e — genereeriva pinge amplituud.



Joon. 8-49. Impulsside kujud:

U_1 — sisendpinge, U_2 — tasakaalustamata võimendaja väljepinge, U_3 — tasakaalustatud võimendaja väljepinge.

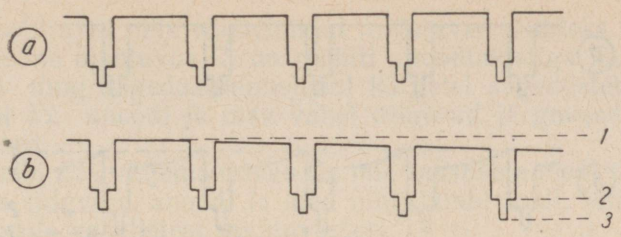
Ka liialdus on üks võnkumise alaliike, mille puhul võnkumine kestab ainult pool perioodi. Võnkumise puhul esinevad häälestustabelil vertikaalsest vasakpoolsest servast alates mustad ja valged jooned — häälestustabel on triibuline.

Võnkumise moonutavat mõju kujutisele saab vähendada, kui muuta võnkesagedus suureks ja nende amplituud küllalt väikeseks, nii et võnked kujutisel esile ei tule.

Faasi korrigeerimise lülituse kasutamisega vähendame võnkumiste amplituudi, kuid suurendame hilinemust *D* ja võnkumine tekib ka impulsi tõusuosas, nagu näitab joonis 8-49.

Võimendaja sisendisse suunatud ristkülikulist pingeimpulssi nimetatakse ühikpingeks U_1. Temast tekkiva väljepinge kuju nimetatakse siirde- või üleminekutunnusjooneks. Seega mõistetakse siirde- või üleminekutunnusjoone all kõverat, mis näitab signaali muutumist süsteemi väljes, kui tema sisendile rakendada ühikpinge.

Sagedus- ja faasimoonutused võivad esineda ka keskmistel



Joon. 8-50. Impulsi kuju moonutusvaba võimenduse korral (*a*) ja madalatel sagedustel esinevate moonutuste korral (*b*):

1 — valge tase, *2* — musta tase, *3* — sünkroniseerimisimpulsside tase.

ja madalatel sagedustel. Nii muutub realaotusel keskmistel sagedustel esinevate moonutuste tagajärjel kujutise tagapõhi üksiku rea ulatusel ebaloomulikuks.

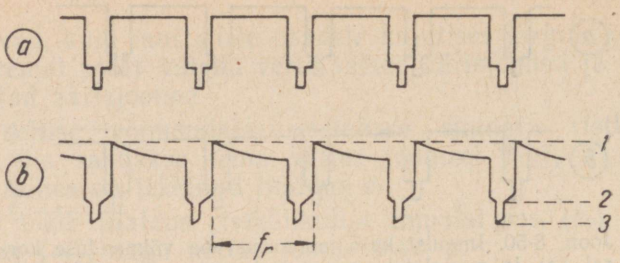
Keskmistel sagedustel esinevate moonutuste korral on häälestustabelil märgata mustadele pindadele järgnevaid valgeid jooni ja valgetele pindadele järgnevaid musti jooni. Sageli ulatub niisugune valge või must joon üle kogu kujutise pinna.

Madalatel sagedustel esinevate moonutuste korral muutub kujutise tagapõhi ebaloomulikuks mitme rea laiuselt. Kujutise ülaja alaosas esinevad varjud on erisugused ja moonutatud. Madalatel sagedustel esinevaid moonutusi on kõige hõlpsam välja selgitada, kui kontrollida ekraani heledust ilma kujutiseta, s. t. ühtlase halli pinna üleandmisel. Moonutusvaba kujutise signaalil on sel juhul ühtlane tase, mida katkestavad vaid sünkroniseerimis- ja kustutusimpulsid (joon. 8-50, *a*.) Madalatel sagedustel esinevate moonutuste puhul jäävad sünkroniseerimis- ja kustutusimpulsid ühele ja samale tasemele ning moonutusvabaks; moonutus mõjutab aga ühtlast taset, mis pidevalt alaneb, nagu on näidatud joonisel 8-50, *b*.

Täpsemalt on moonutused kujutatud joonisel 8-51, *b*. Sellelt jooniselt on näha, et erinevalt moonutusvabast signaalist (joon. 8-51, *a*), alaneb moonutuste korral ühtlane tase iga rea jooksul eksponentsiaalselt. Selle tagajärjel muutubki kujutise üks äär ekraanil tumedamaks kui teine.

Takistussidestuses võimendusastme puhul on anoodil esinev pinge sisendpingest 180° võrra nihutatud. Kui aga anoodringis esineb induktiivsust või mahtuvust, siis ei ole anoodpinge sisendpingest täpselt 180° nihutatud, mille tagajärjel tekib faasimoonutus.

Televisioonikanal peab võimalikult ühtlasel määral laskma läbi kogu sagedusriba piires f_1 kuni f_2. Selleks peab kanali sagedustunnusjoon olema ühtlane, ilma langudeta piires f_1 kuni f_2. On vajalik, et kõrgsageduste osas esineks televisioonikanalis sujuv sagedustunnusjoone lang nullile. Sel juhul ei teki üleantavas



Joon. 8-51. Moonutusvaba pildisagedusimpulsid (*a*) ja moonutatud pildisagedusimpulsid (*b*).

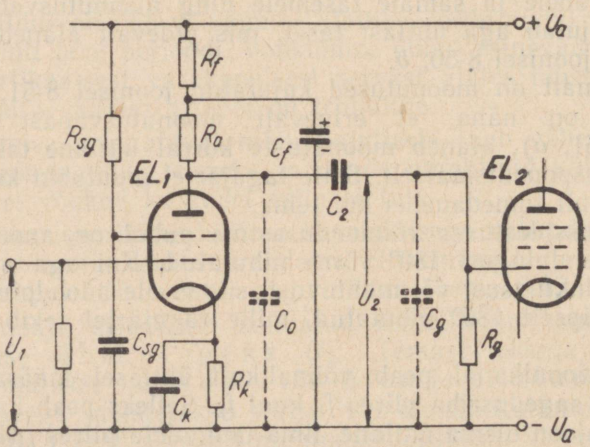
kujutises moonutusi, vaid signaalide põhjal loomutruu kujutise tekkimine on isegi soodustatud.

Meil kehtiva 625-realise standardi puhul peab viideovõimendaja ühtlaselt läbi laskma sagedusriba 50 kuni $6 \cdot 10^6$ Hz.

Antennis lisandub kujutisesignaalile ka helisignaal, mis üleantavat sagedusriba veelgi laiendab. Nagu eespool selgus, üks pool sümmeetrilisest sagedusribast kõrvaldatakse ja vastuvõtja kõrgsagedusosa arvutamisel võetakse arvesse ainult kandesageduse ühe külgriba laius.

Vastavalt NSV Liidu televisioonistandardile on 625-realise laotuse korral ühe televisioonikanali laiuseks 8 MHz. Selles sagedusribas antakse üle niihästi kujutis kui ka helitaust.

Võimenduse arvutamine madalatel, keskmistel ja kõrgetel viideosagedustel. Takistussidestuses võimendaja skeem on kujutatud joonisel 8-52. Kriipsjoonega on kujutatud parasiitmahtuvusi sisal-



Joon. 8-52. Viideovõimendaja takistussidestuse skeem.

davad voolurajad, mis võimendajat mõjutavad. Näiteks anoodi ja maa vaheline mahtuvus C_0 on rööbiti anoodtakistiga R_a ja mõjutab faasi- ning sagedustunnusjoont kõrgetel sagedustel.

Lambi EL anoodi ja maa vahel esinevad järgmised parasiitmahtuvused:

a) lambi EL_1 väljemahtuvus C_0, mis koosneb anoodi ja katoodi, anoodi ja sulgvõre, anoodi ja maa ning lambi sokli, lülituse ning muude osade vahelistest mahtuvustest;

b) lambi EL_2 sisendmahtuvus C_g, mis koosneb võre ja katoodi (C_{gk}), juht- ja varivõre (C_{g1}, C_{g2}) ning anoodi ja võre (C_{ag}) vahelistest mahtuvustest; pentoodide puhul on C_{ag} võrdne $^1/_{1000}$ trioodi mahtuvusest C_{ag}, mistõttu seda ei arvestata;

c) sidestuskondensaatori C_2 parasiitmahtuvus C maa suhtes.

Kogu parasiitmahtuvus lambi EL_1 anoodi ja maa vahel on seega

$$C_{t0} = C_0 + C_g + C. \tag{8-52}$$

Joonisel 8-52 on kujutatud pentoodi sisaldava takistussidestuses võimendaja skeem. Keskmistel sagedustel takistiga R_a järjestikku olevat anoodi lahtisidestusmahtuvust C_f arvesse ei võeta. Takistiga R_a rööbiti oleva mahtuvuse C_0 reaktiivtakistus on väga suur võrreldes R_a-ga. Seega on R_a põhiliseks anoodkoormuseks ja astme võimendus on ligikaudu

$$K_2 = SR_a.$$

Kõrgematel sagedustel määrab aga astme võimenduse põhiliselt mahtuvuse C_0 reaktiivtakistus

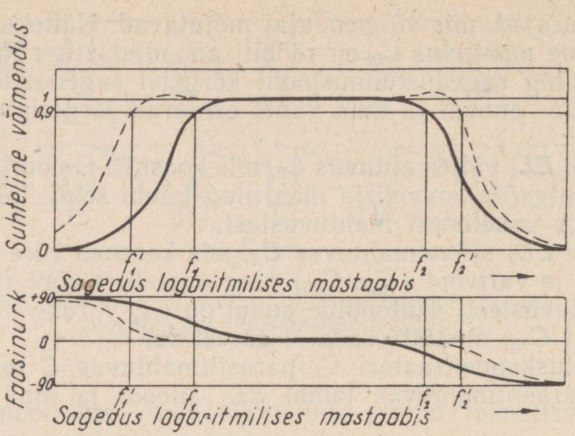
$$X_C = \frac{1}{\omega C_0}.$$

Kuna nüüd koormustakistus on pöördvõrdeline sagedusega, siis ka astme võimendus on pöördvõrdeline sagedusega, mistõttu sagedustunnusjoon kõrgematel sagedustel langeb. Kõrgemate sageduste võimendamiseks on vaja kõrvaldada mahtuvuse C_0 sildav mõju.

Nagu eespool märgitud, on viideovõimendaja võimendus madalamatel sagedustel rahuldav, kui tema sagedustunnusjoon on sirge 50 Hz alates.

Takistus-mahtuvuslikus sidestuses võimendajas võivad madalamatel sagedustel põhjustada moonutusi järgmised komponendid (joon. 8-52): a) lampidevaheline võrekomplekt R_gC_2, b) katoodkomplekt R_kC_k, c) varivõre lahtisidestuskomplekt $R_{sg}C_{sg}$ ja d) anoodi lahtisidestuskomplekt R_fC_f. Suurimat moonutust madalsagedustel võib tekitada lampidevaheline komplekt R_gC_2.

Seega võib takistussidestuses võimendaja võimendus, säilides teatava keskmise sagedusala ulatuses suhteliselt jäävana, väljas-

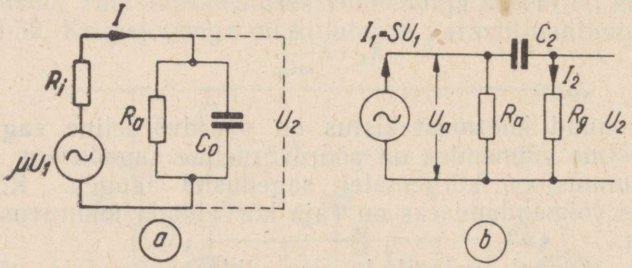


Joon. 8-53. Takistussidestuses võimendaja sagedus- ja faasitunnusjooned korrigeerimatult (pidevad jooned) ja korrigeeritult (punktiirjooned).

pool seda sagedusala väheneda nii madalamate kui ka kõrgemate sageduste piirkonnas nullile.

Võimendaja poolt tekitatud faasinihe läheneb kõige madalamatel sagedustel +90 kraadile ja kõige kõrgematel sagedustel —90 kraadile. Takistussidestuses võimendaja sagedus- ja faasitunnusjoone näidised on kujutatud joonisel 8-53 pideva joonena.

Joonisel 8-54, *a* on toodud takistus-mahtuvussidestuses või-



Joon. 8-54. Takistussidestuses võimendaja aseskeemid kõrgemate sageduste võimendamiseks, (*a*) ja madalamate sageduste võimendamiseks (*b*).

mendaja (joon. 8-52) aseskeem kõrgemate sageduste võimendamise puhul. Anoodkoormuse efektiivväärtus väljendub siin avaldisega

$$Z_a = \frac{R_a}{\sqrt{1 + (\omega C_0 R_a)^2}}, \qquad (8\text{-}53)$$

kus ω on nurksagedus, teised tähised aga samad, mis joonisel 8-52.

Võimenduslambi anoodvool aseskeemi (joon. 8-54, *a*) kohaselt

$$I_a = \frac{\mu U_1}{R_i + Z_a}, \tag{8-54}$$

kus U_1 on sisendpinge,
μ — lambi võimendustegur.

Väljepinge on aseskeemi kohaselt:

$$U_2 = I_a Z_a. \tag{8-55}$$

Valemite (8-54) ja (8-55) põhjal astme võimendus madalamatel sagedustel

$$K_1 = \frac{U_2}{U_1} = \frac{\mu Z_a}{R_i + Z_a}. \tag{8-56}$$

Viideovõimendajates on anoodtakistus R_a väike, võrreldes lambi sisetakistusega R_i. Seetõttu võime valemi (8-56) lihtsustada:

$$K_1 = \frac{\mu}{R_i} \cdot R_a. \tag{8-56a}$$

Võimendus keskmistel sagedustel

$$K_2 = SR_a, \tag{8-57}$$

kus S on lambi tõus.

Valemitest (8-57) ja (8-53) saame astme võimenduse kõrgematel sagedustel:

$$K_3 = S \frac{R_a}{\sqrt{1 + (\omega C_0 R_a)^2}}. \tag{8-57a}$$

Käesoleval juhul kujutab võimenduslamp jääva voolu generaatorit, kusjuures

$$\omega_0 = \frac{1}{C_0 R_a}. \tag{8-58}$$

Siin $\omega_0 = 2\pi f_0$ on nurksagedus sagedusel f_0, mil mahtuvuse C_0 reaktiivtakistus võrdub anoodtakistusega R_a.

Võrrandeist (8-57a) ja (8-58) saame:

$$K_3 = \frac{SR_a}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}}. \tag{8-59}$$

Juhul kui $\omega/\omega_0 = X = 1$, siis on võimendus kõrgetel sagedustel võimendusest madalatel sagedustel väiksem — 3 dB võrra.

Sel juhul $\omega = \omega_0$ ja sagedus f_0 teatud anoodkoormusel R_a sõltub ainult mahtuvusest C_0, sest

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_a C_0}. \tag{8-60}$$

Sagedust f_0, s. t. sagedust, mille puhul võimendus kõrgetel või madalatel sagedustel on keskmiste sageduste suhtes vähenenud —3 dB võrra nimetatakse p ö ö r d e s a g e d u s e k s.

Valemit (8-60) kasutatakse viideovõimendaja parasiitmahtuvuse C_0 arvutamiseks. Selleks valitakse $R_a = 2$ kΩ ja mõõdetakse võimendaja võimendus sagedusel $f = 1$ kHz. Seejärel muudetakse sagedust samal sisendpingel, kuni väljepinge on 71% endisest väärtusest (s. t. võimendus on vähenenud 3 dB). Parasiitmahtuvus määratakse valemiga:

$$C_0 = \frac{1}{\omega R_a} \text{ F}. \tag{8-61}$$

Võimenduse arvutamiseks kesksagedustel kasutatakse valemit (8-57) ja kõrgetel sagedustel — valemit (8-59).

Võimenduste suhe kesk- ja kõrgetel sagedustel leitakse valemiga

$$\frac{K_2}{K_3} = \frac{1}{\sqrt{1 + X^2}}. \tag{8-62}$$

Võimenduste suhe detsibellides

$$K_{dB} = -10 \lg (1 - X^2) \text{ dB}. \tag{8-63}$$

Faasinihe φ kõrgetel sagedustel leitakse valemiga

$$\varphi = -\text{arctg}\, X. \tag{8-64}$$

Negatiivne märk tähendab, et nurk φ asub 90° ja 180° vahel. Võimendamise arvutamisel kõrgematel sagedustel tuleb arvestada ka nende hilinemist madalamate sageduste suhtes ehk normaliseeritud hilinemist D_1, mis sõltub normaliseeritud sagedusest

$$X = \frac{\omega}{\omega_0}.$$

Nagu eespool selgus, mõjutavad võimendust madalatel sagedustel võrekondensaator C_2 ja takisti R_g. Joonisel 8-52 kujutatud võimendaja aseskeem madalate sageduste võimendamiseks on antud joonisel 8-54, *b*. Tavaliselt on R_g suur, võrreldes R_a-ga ja vool I_2 moodustab voolust I_1 vaid murdosa. Pingelang anoodtakistusel R_a:

$$U_a = -SU_1R_a. \tag{8-65}$$

Takistus R_g ja mahtuvus C_2 moodustavad pingejagaja. Seega

$$U_2 = \frac{R_g}{\sqrt{R_g^2 + \frac{1}{\omega^2 C_2^2}}} U_a. \tag{8-66}$$

Võimendus madalatel sagedustel

$$K_1 = \frac{U_2}{U_1} = -\frac{SR_aR_g}{\sqrt{R_g^2 + \frac{1}{\omega^2 C_2^2}}}. \tag{8-67}$$

Suhet võimendusest madalatel sagedustel (K_1) võimendusega (K_2) keskmistel sagedustel väljendab valem

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{X}{\sqrt{1+X^2}}. \tag{8-68}$$

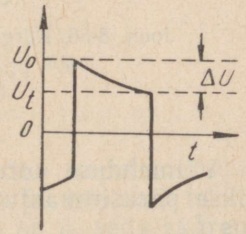
Võimenduse vähenemise detsibellides madalate sageduste osas saame arvutada valemiga

$$K_{dB} = 20 \lg \frac{X}{\sqrt{1+X^2}} \text{ dB}. \tag{8-69}$$

Faasinihe φ madalatel sagedustel leitakse valemiga:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{1}{X}. \tag{8-70}$$

Lampidevaheline võrekomplekt kujutab diferentseerivat RC-lüli. Jooniselt 6-12 näeme, et RC-lüli väljepinge kuju sõltub lüli ajakonstandi $\tau = CR$ ja siseneva ristkülikulise impulsi perioodi T vahekorrast. Mida väiksem on ajakonstant, seda vähem pääseb madalsagedusvoolu läbi RC-lüli lambi võrele ja seda järsumalt impulsi saba langeb (joon. 6-12, *b*). Seega moodustavad võrekondensaator C_2 ja -takisti R_g filtri, mis laseb läbi kõrgsageduspinget, kuid tõkestab madalsageduspinget.



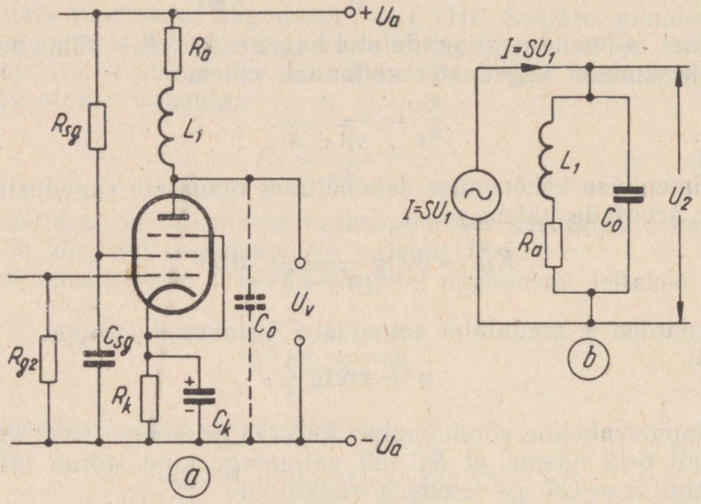
Joon. 8-55. Madalsagedusmoonutustega impulsi kuju.

Joonisel 8-55 on kujutatud impulss, mille madalsageduse komponent on summutatud, mistõttu tema harja ulatusel tekib pinge alanemine ΔU.

Olgu märgitud, et integreeriv lüli kujutab filtrit, mis tõkestab kõrgsageduspingeid. Jooniselt 6-14 näeme, et kui ajakonstant on suur, võrreldes impulsi perioodiga T, tekib ka suurem kõrgsageduskomponentide alanemine integreeriva lüli väljepinges. Seega on võimalik impulsi kuju järgi otsustada, millise sagedusega komponendid temas puuduvad.

Kõrg- või madalsageduskomponentide puudumine televisioonisignaalis avaldab kujutise kvaliteedile tunduvat mõju, nagu impulsside moonutusi käsitlevatelt joonistelt 8-46 ja 8-47 juba selgus.

Võimenduse korrigeerimine kõrgsagedustel. Eespool nägime, et viideovõimendaja võimendust kõrgematel sagedustel piirab sagedus- ja faasimoonutuste suurenemine. Nende piiramiseks peab anoodkoormus R_a olema väike, mille tagajärjel aga võimendus omakorda jällegi väheneb.



Joon. 8-56. Kõrgemate sageduse korrigeerimine rööbitise induktiivsusega:

a — põhimõtteskeem, *b* — aseskeem.

Võimenduse korrigeerimiseks kõrgematel sagedustel ühendatakse parasiitmahtuvusega C_0 (joon. 8-56, *a*) rööbiti induktiivsus L_1.

Niisuguse lülituse aseskeem on toodud joonisel 8-56, *b*.

On võimalik tõestada, et võimenduse kõrgematel sagedustel saab arvutada avaldisest:

$$\frac{K_3}{K_2} = \sqrt{\frac{1 + a^2X^2}{(1 - aX^2)^2 + X^2}} \qquad (8\text{-}71)$$

kus $a = L_1/R_a^2C_0$.

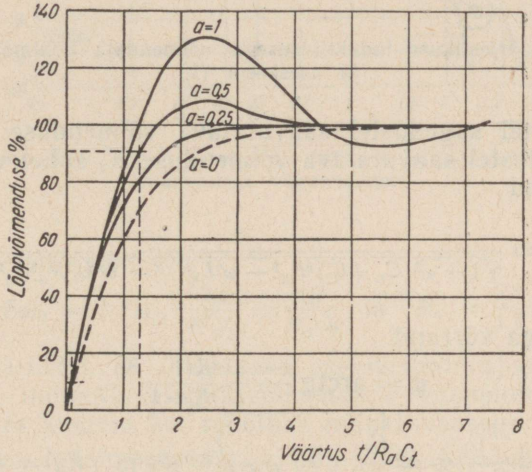
Võimenduse vähenemine kõrgematel sagedustel, võrreldes võimendusega keskmistel sagedustel, väljendatuna detsibellides, arvutatakse valemiga

$$K_{dB} = 10 \lg \frac{1 + \alpha X^2}{(1 - \alpha X^2)^2 + X^2} \text{ dB} \qquad (8\text{-}72)$$

ja vastav faasinihe valemiga

$$\varphi = \operatorname{arctg} X^2[(\alpha - 1) - \alpha^2 X^2]. \qquad (8\text{-}73)$$

Valemite (8-71) ja (8-73) analüüs näitab, et kõige ühtlasem sagedustunnusjoon saadakse, kui $\alpha = 0{,}414$, kõige sirgjoonelisem faasitunnusjoon aga, kui $\alpha = 0{,}32$. Tegelikult valitakse korrigeerimistegur α lähedane nende väärtuste keskmisele.

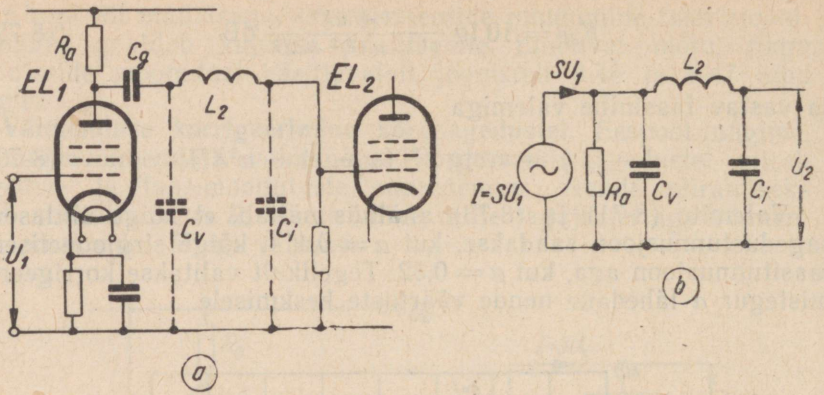


Joon. 8-57. Rööbitise induktiivsuse mõju võimendaja väljeimpulsi kujule.

Joonisel 8-57 on toodud graafik, mis kujutab impulsi tõusukestust rööbitise induktiivsusega võimendajas ja impulsil tekkivat liialdust. Jooniselt näeme, et mida suurem on α, seda suurem on liialdus. Kuid α suurenemisega ühtlasi kiireneb ka impulsi tõusukestus. Kriipsjoonega on näidatud impulsi tõus lihtsas RC-võimendajas, millel $\alpha = 0$ ja ka $L_1 = 0$.

Ka selgub jooniselt, et impulsil ei teki liialdust, kui $\alpha = 0{,}25$.

Kasutatakse ka järjestikuse induktiivsusega korrigeeritud võimendajaid. Joonisel 8-58, *a* kujutatud lülituse puhul on pool L_2 ühendatud lambi EL_1 anoodi ja lambi EL_2 võre vahele. Seega eraldab see pool L_2 lambi EL_1 väljemahtuvuse C_v lambi EL_2 sisendmahtuvusest C_i. Lülituse aseskeem on näidatud joonisel 8-58, *b*. Lampidevahelist sidestusmahtuvust C_g pole aseskeemil näidatud, sest kõrgematel sagedustel ta mõju ei avalda.



Joon. 8-58. Järjestikuse induktiivsusega võimendaja põhimõtteskeem (*a*) ja aseskeem (*b*).

Kõrgematel sagedustel saavutatava võimenduse K_3 ja keskmistel sagedustel saavutatava võimenduse K_2 suhet väljendab sel juhul võrrand

$$\frac{K_3}{K_2} = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^2(C_v + C_i)^2 R_a^2 - \omega^4 L_2^2 C_i^2 - \omega^6 L_2^2 R_a^2 C_v^2 C_i^2}}, \qquad (8\text{-}74)$$

faasinihet aga võrrand:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{x - cX^3K(1-K)}{cX^2K - 1}, \qquad (8\text{-}75)$$

kus $K = \frac{C_i}{C_i + C_v} = \frac{C_i}{C_t}$, $c = \frac{L_2}{R_a^2(C_i + C_v)}$ ja $R_a' = R_a \frac{1-K}{K}$.

Joonisel 8-59 on kujutatud järjestikuse induktiivsusega võimendaja võimendust iseloomustava teguri c väärtusi väljendav graafik. Kui $c = 0$, siis järjestikune induktiivsus puudub.

Teguri c suurenemisel muutub sagedustunnusjoon soodsamaks.

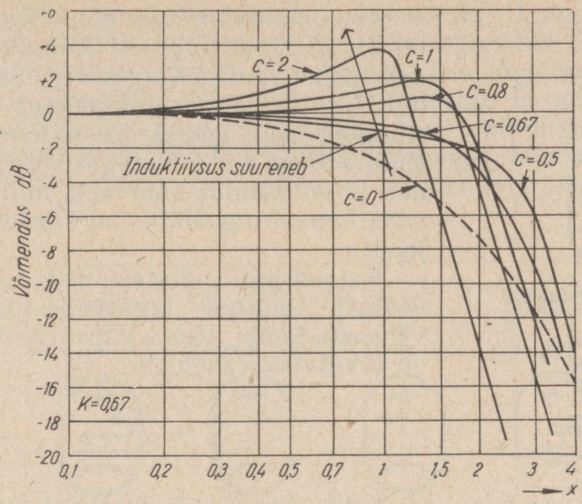
Järjestikuse ja rööbitise induktiivsusega võimendajate võrdluseks olgu antud järgmised andmed.

Järjestikuse induktiivsusega võimendaja võimenduse vähenemine on —3 dB, kui

$$X = \frac{\omega}{\omega_0} = 2{,}5 \quad \text{ja} \quad \omega_0' = \frac{1}{R'_a C_t}.$$

Rööbitise induktiivsusega võimendaja võimenduse vähenemine on aga —3 dB, kui

$$X = \frac{\omega}{\omega_0} = 1{,}7 \quad \text{ja} \quad \omega_0 = \frac{1}{R_a C_t}.$$



Joon. 8-59. Teguri c mõju järjestikuse induktiivsusega võimendaja võimendusele.

Neist andmetest saame:

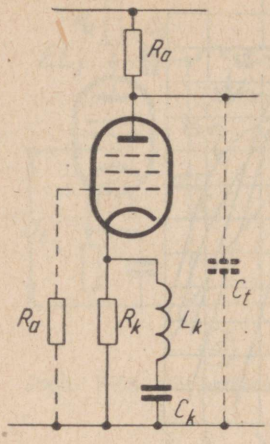
$$2{,}5\omega_0' = 1{,}7\omega_0, \quad \frac{2{,}5}{R'_a C_0} = \frac{1{,}7}{R_a C_0} \quad \text{ja} \quad R_a' = \frac{2{,}5}{1{,}7} R_a.$$

Sellest järeldub, et ühesuguse sagedustunnusjoone puhul on järjestikuse induktiivsusega võimendaja võimendus ligikaudu 3,35 dB võrra suurem kui rööbitise induktiivsusega võimendajal.

Arvestades faasimoonutusi ja hilinemist, kandub impulss üle kõige loomutruumana, kui $K = 0{,}75$ ja $c = 0{,}67$.

Viideovõimendaja võimendus ja sagedusriba laius sõltuvad suhtest S/C_0. Seepärast nimetatakse suhet S/C_0 võimendaja h e a d u s t e g u r i k s.

Lahtisidestuse mõju võimendusele. Kasutatakse anood-, katood- ja varivõrelahtisidestust. Anoodlahtisidestuse vooluring $R_f C_f$ on näha joonisel 8-52. Anoodlahtisidestust rakendatakse tavaliselt mitmeastmelises võimendajas ja nimelt positiivse tagasisidestuse vähendamiseks, mis tekib võimendusastmete ühiste toiteallikate kaudu. Keskmistel ja kõrgematel sagedustel on takisti R_f kondensaatori C_f kaudu lühistatud. Sel juhul moodustab anoodkoormuse ainult takisti R. Madalamatel sagedustel, mil kondensaatori C_f reaktiivtakistus on suur, osutub suureks ka anoodkoormus, sest ta sisaldab peale R_a veel omavahel rööbitisi C_f ja R_f. Viimased põhjustavad hilinevat faasinihet. Nende mõju on vastupidine võreringi $C_2 R_g$ mõjule. Sobiva C_f ja R_f ning R_g ja C_2 valiku puhul nad vastastikku tasakaalustavad teineteise mõju.



Joon. 8-60. Kolmikkatoodlülitus.

Katoodlahtisidestuse puhul tekib katoodtakisti R_k mõjul tagasisidestus, mis vähendab võimendust. Kõrgematel sagedustel, mil C_0 ja C_k reaktiivtakistus väheneb, sildavad nad anood- ja katoodtakistusi. Kuid sellega katoodi tagasisidestus väheneb ja võimendus suureneb, mille tulemusena katoodring ühtlustab sagedustunnusjoont.

Katoodringi näivtakistust Z_k läbivast voolust tingitud tagasisidestuse mõjul väheneb lambi tõus. Vähenenud tõus S' on arvutatav valemiga

$$S' = \frac{S}{1 + SZ_k}. \qquad (8\text{-}76)$$

Selle tagajärjel tasakaalustub väljemahtuvus C_0' võrra:

$$C_0' = \frac{C_0}{1 + SR_k}. \qquad (8\text{-}77)$$

Märkimisväärne on nn. kolmikkatoodlülitus (joon. 8-60), kus katoodkondensaatoriga C_k on ühendatud järjestikku pool L_k, mille väärtus tavaliselt leitakse järgmise valemi abil

$$L_k = \frac{0{,}5\, eC_k}{S^2}, \qquad (8\text{-}78)$$

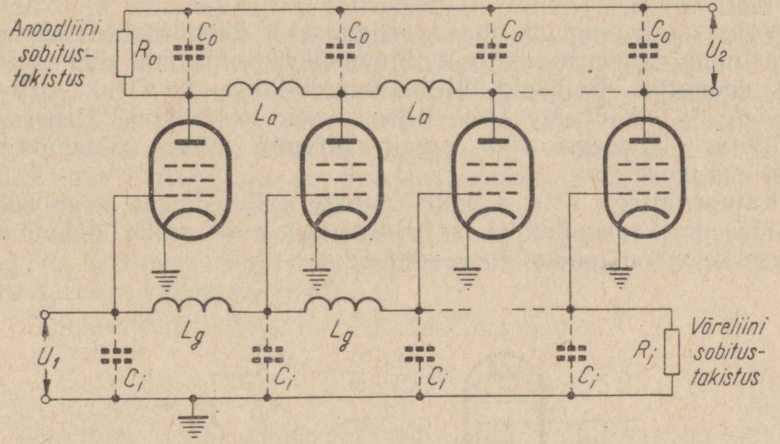
kus $e = R_a/R_k$.

Varivõre lahtisidestus põhjustab võimenduse vähenemist ja faasitunnusjoone tõusu.

See on seletatav järgmiselt. Takistit R_{sg} (joon. 8-52) läbib varivõrevool. See takisti moodustab varivõre koormustakistuse, mis põhjustab varivõrepinge muutumist vastasfaasis võrepingega. Varivõrepinge muutumine moduleerib anoodi vastasfaasis võrepingega, põhjustades seega varivõre negatiivset tagasisidestust anoodiga ja väljepinge alanemist. Kondensaator C_{sg} vähendab neid pingemuutusi, mistõttu tagasisidestus suureneb, põhjustades väljepinge alanemist. Nimetatud tagasisidestus põhjustab ka faasinihet.

Tagasisidestus viideovõimendajas ei erine tagasisidestusest tavalises madalsagedusvõimendajas. Seepärast ei kuulu tema tekitamise teoreetiline käsitlemine käesoleva teose raamidesse. Teda käsitlevad mitmedki varemilmunud eestikeelsed raadiotehnikaalased teosed.

Rööbiti ühendatud lampidega võimendaja. Lampide lihtsal ühendamisel rööbiti suurenevad tõus S ja mahtuvus C_0 ühevõrra, mistõttu võimendaja sagedustunnusjoon jääb muutumatuks. Kui aga lambid ühendada võimendajas rööbiti nii, et nende tõusud liituvad, kuid mahtuvused on teineteisest eraldatud, siis võib rööbitiste lampidega võimendaja võimendada väga laia sagedusriba. Selliselt rööbiti ühendatud lampidega võimendaja skeem on toodud joonisel 8-61.



Joon. 8-61. Rööbiti ühendatud lampidega võimendaja skeem.

Lampide võredega on ühendatud poolid L_g selliselt, et nendest ja lampide kriipsjoonega kujutatud sisendmahtuvustest C_i moodustub pikkliin. Lampide anoodid on ühendatud rööbiti poolide L_a kaudu, mis koos samuti kriipsjoontega kujutatud väljemahtuvusega C_0 moodustavad teise pikkliini. Anoodpikkliini lainetakistus $Z_a = \sqrt{L_a/C_0} = R_0$. Võrepikkliini lainetakistus

$$Z_g = \sqrt{\frac{L_g}{C_i}} = R_i. \qquad (8\text{-}79)$$

Sellise võimendaja võimendus arvutatakse järgmise valemiga:

$$K = \frac{nSR_i}{2}, \qquad (8\text{-}80)$$

kus n on lampide arv.

Sellisel viisil rööbiti ühendatud lampidega võimendaja abil on võimalik võimendada sisendsignaali sagedusriba kuni 200 MHz, kasutades selleks lampe, mis hariliku lülituse puhul annaksid võimenduse sagedusriba kuni 50 MHz.

Võimendaja arvutamiseks kasutatakse järgmisi valemeid:

$$L_a = \frac{1}{\pi f_c^2 C_0} \text{ H}, \tag{8-81}$$

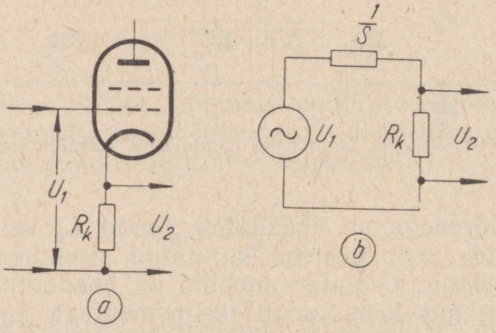
$$L_g = \frac{1}{\pi^2 f_c^2 C_i} \text{ H}, \tag{8-82}$$

kus f_c on võre- ja anoodpikkliini lõikesagedus.

Võimendaja sagedustunnusjoon on sirge kuni sageduseni $f = 0{,}8 f_c$.

Võimendaja sagedusriba avardamiseks ühendatakse võimendusastmete vahele induktiiv-mahtuvuslikud lülid, mis vähendavad faasimoonutusi. Selliseid lülitusi nimetatakse faasikorrektoriteks. Viimaste teoreetilisi aluseid käesolevas teoses ei käsitleta. Nendega võib lugeja tutvuda mõne võimendajaid käsitleva teose abil.

Katoodväljega aste. Lairibalülituste väljeastmena leiab kõige laialdasemat rakendamist katoodväljega aste, mille põhimõtte- ja aseskeem on toodud joonisel 8-62.



Joon. 8-62. Katoodväljega võimendaja põhimõtteskeem (*a*) ja aseskeem (*b*).

Katoodväljega aste õigupoolest võimendusastmeks ei olegi, sest tema väljepinge on sisendpingest tavaliselt madalam. Küllaldase täpsusega võib tema võimendusteguri arvutada valemiga

$$K = \frac{SR_k}{1 + SR_k} \tag{8-83}$$

ja väljetakistuse valemiga

$$R_0 = \frac{1}{S} K. \tag{8-84}$$

Väikse väljetakistuse tõttu võib katoodväljega astet koormata tunduva mahtuvusega, ilma et seejuures tekiks sagedusmoonutusi,

See katoodväljega astme omadus on teinud ta täiesti asendamatuks vahelüliks viideovõimendajate ja igasuguste ühendusliinide vahel.

Võimendajas tekkiv müra ja tema nõutav sisendpinge. Müra võib pärineda mitmetest allikatest. Nii võivad seda tekitada lambi küttejuhtmed, mis teatavasti on ühenduses toitevõrguga. Tema põhjustajaks võib olla lampide mikrofoniefekt, mis tekib mehaaniliste põrutuste korral. Sellised mürad kõrvaldatakse võimendaja hoolika ja läbimõeldud konstruktsiooni valikuga. Müra tekib aga ka elektronide soojuslikust liikumisest (nn. Johnsoni müra) ja nende kaootilisest langemisest võimenduslambi anoodile.

Soojusliku liikumise tõttu kujuneb elektronide liikumine juhtmes ebaühtlaseks, mistõttu juhtme otste vahel tekivad ebaühtlased pinged. Selliste ebaühtlaste pingete võimendamisel tekibki müra, mis näiteks helisagedusvõimendajate puhul avaldub valjuhääldajast kostuva sisinana või kahinana.

Selline soojuslik müra suureneb temperatuuri tõusuga. Soojusliku liikumise tagajärjel tekkiva mürapinge efektiivväärtus arvutatakse valemiga (8-8).

Temperatuuril 17° C, mil $T = 290°$ K, saame:

$$U_m = 1{,}25 \cdot 10^{-10} \sqrt{R\Delta f}\,\text{V}. \qquad (8\text{-}85)$$

Valemist (8-85) näeme, et mürapinge antud sagedusribas on võrdeline ruutjuurega takistusest R. Näiteks kui anoodtakistus on 10 kΩ ja võimendatav sagedusriba $\Delta f = 3$ MHz, siis mürapinge efektiivväärtus

$$U_m = 1{,}25 \cdot 10^{-10} \sqrt{(10^4 \cdot 3 \cdot 10^6} = 21{,}65\ \mu\text{V}.$$

Mürapinge tippväärtus aga võib üksikutel hetkedel ületada valemiga (8-85) arvutatud efektiivväärtuse kolme- kuni neljakordselt.

Vool elektronlampides ei püsi rangelt jäävana, vaid jäävana püsib ainult tema keskväärtus. Voolu hetkväärtus seevastu allub lakkamatule kaootilisele muutusele, mida nimetatakse *fluktuatsiooniks*. Mida nõrgem on vool, seda väiksem arv tema koostisosi — elektrone — läbib ajaühikus vooluringi ristlõike ja seda märgatavam on voolu fluktuatsioon. Kirjeldatud nähtust nimetatakse *haavelefektiks*.

Saatetorude väljevool, eriti just nõrga valgustustiheduse puhul, muutub kaootiliselt, mis on tingitud voolu fluktuatsioonist. Seetõttu pole pildipunkti üleandmise kestel väljepinge konstantne, vaid koosneb kahest komponendist: signaalivoolust i_s ja fluktuatsioonivoolust i_f. Viimase efektiivväärtus

$$i_f = \sqrt{2 i_s e \Delta f}, \qquad (8\text{-}86)$$

kus e on elektroni laeng C,

Δf — sagedusriba laius Hz,

i_s — signaalivool A.

Signaali ja häire suhte Ψ all mõeldakse televisioonikujutise kõige heledamale punktile vastava kujutisesignaali maksimaalväärtuse ja kujutisesignaalis sisalduvate häirete efektiivväärtuse suhet.

Vastavalt valemile (8-86) on signaali ja häire suhe:

$$\Psi = \frac{i_s}{i_f} = \sqrt{\frac{i_s}{2e\Delta f}}, \qquad (8\text{-}87)$$

kus i_s on üleantava kujutise kõige heledama punkti vool.

Kvaliteetse pildi puhul on Ψ kuni 50.

Valemite (8-86) ja (8-87) põhjal on signaalivoolu minimaalne väärtus teatud Ψ puhul

$$i_{s\,min} = 2e\Psi^2\Delta f. \qquad (8\text{-}88)$$

Olgu näiteks signaalivoolu ja häirevoolu suhe $\Psi = 30$ ja võimendatava sagedusriba laius $\Delta f = 5 \cdot 10^6$ Hz. Elektroni laeng on $1{,}6008 \cdot 10^{-19}$ C. Siis minimaalne signaalivool

$$i_{s\,min} = 2 \cdot 1{,}6008 \cdot 10^{-9} \cdot 30^2 \cdot 5 \cdot 10^6 = 0{,}144 \cdot 10^{-8}\,A.$$

Sellele lisanduvad mitmesugused võimendajas tekkivad lisamürad, mis veelgi halvendavad signaali ja häire suhet. Seepärast on vaja hoida võimendaja sisendpinge nii kõrge kui võimalik. Näiteks tuleb saatetoru väljepinge tõstmiseks tõsta üleantava eseme valgustustihedust.

Peamisteks saatja eelvõimendajas tekkivateks müradeks on saatetoru koormustakistis tekkiv Johnsoni müra ja esimese võimenduslambi või saatetoru elektronkordistaja haavelefekt. Nimetatud mürade vähendamiseks valitakse sobiv koormustakistus ja alandatakse anoodpinget.

Võimenduslambi anoodtakistis haavelefekti tõttu tekkiva mürapinge arvutamiseks antakse käsiraamatuis üksikute lambitüüpide kohta nende müratakistus R_m. Lambi müratakistuse all mõeldakse takistust, mis lambi võreringi ühendatuna põhjustab oma soojuslikust liikumisest tingitud mürapingega lambi anoodringis sama suure fluktuatsiooni nagu haavelefekt. Selle põhjal on mürapinge tingituna haavelefektist lambi anoodtakistil R_a temperatuuril 17° C:

$$U_m = 1{,}25 \cdot 10^{-10} S R_a \sqrt{R_m \Delta f}, \qquad (8\text{-}89)$$

kus S on lambi tõus,
Δf — võimendatav sagedusriba.

Trioodi müratakistus on arvutatav valemiga:

$$R_m = 0{,}89 \frac{T}{T_0} \cdot \frac{1}{S}, \qquad (8\text{-}90)$$

kus T on lambi katoodi temperatuur °K,
T_0 — toatemperatuur °K,
S — lambi tõus mA/V.

Pentoodide ja tetroodide müratakistus on suurem kui trioodidel, sest neis tekivad lisamürad katoodvoolu kaootilisest jagunemisest varivõre ja anoodi vahel. Ta on ligikaudselt arvutatav järgmise valemiga:

$$R_m = \frac{I_{a_0}}{I_{a_0} + I_{g_0}} \left(\frac{2{,}5}{S} + \frac{20 I_{g_0}}{S^2} \right). \qquad (8\text{-}91)$$

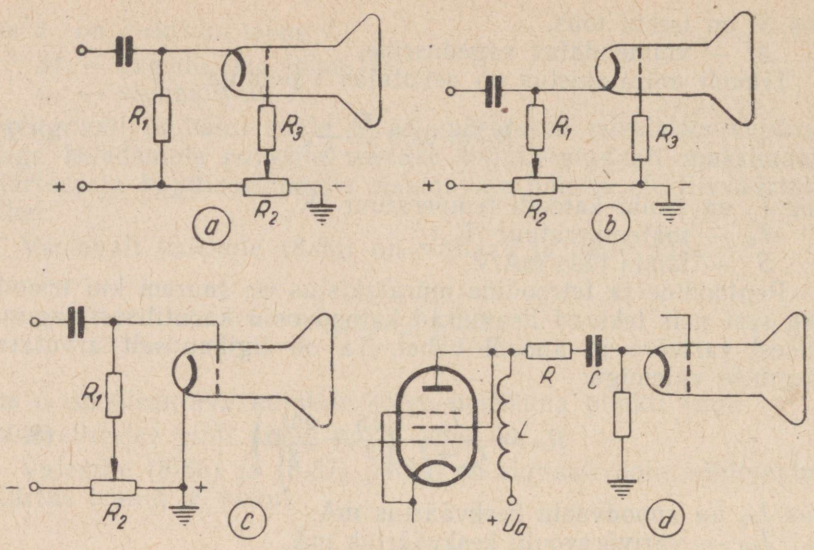
kus I_{a0} on anoodvoolu keskväärtus mA,
I_{g0} — varivõrevoolu keskväärtus mA,
S — lambi tõus mA/V.

Valemist on näha, et lambi müra on seda väiksem, mida nõrgem on tema anoodvool ja mida suurem tema tõus. Suure tõusu saavutamine nõrga anoodvoolu korral ongi lairibavõimendajate lampide konstrueerimisel üheks peanõudeks.

Kujutise keskmise heleduse reguleerimine. Kineskoobi ekraanile antakse keskmine heledus elektronkiire intensiivsuse ehk elektronkiire voolu tugevuse reguleerimise teel. Põhimõtteliselt seisab heleduse reguleerimine kineskoobi juhtelektroodile sellise negatiivse eelpinge andmises, et kiire tagasikäigu kestel katkeks nii kineskoobi elektronkiire vool kui ka ekraani helendumine. Sellega välditakse horisontaalsete joonte tekkimine ekraanile sellel ajavahemikul. Elektronkiire kustutamiseks on vaja sõltuvalt kineskoobi tüübist ja ekraanile antavast kiirenduspingest keskmiselt 40...60 V. Eelpinge reguleerimiseks muudetakse kas juhtelektroodile antavat alalispinget, jättes katoodi vastava pinge muutumatuks (joon. 8-63, *a* ja *c*), näiteks televiisorites «Znamja» (joon. 8-64, *a*), «Rubin A» (joon. 8-64, *b*) jt., või reguleeritakse kineskoobi katoodi alalispinget (joon. 8-64, *b*), nagu televiisoris «Temp 3» (joon. 8-64, *c*).

Sageli kasutatakse heleduse reguleerimist, milles eelpinge seadmine toimub pildikustutusimpulsi järgi. Selleks lülitatakse kineskoobi sisendringi diferentseeriv *RC*-lüli (joon. 8-63, *d*), millega saavutatakse kiire kustutamiseks paras negatiivne eelpinge kiire tagasikäigu ajaks.

Nagu nähtub jooniselt 8-63, saab vahelduvat kujutisesignaali pinget rakendada kas juhtelektroodile (lülitused *a* ja *c*) või katoodile (lülitused *b*, *d*). See sõltub ainuüksi kineskoobi sisendisse



Joon. 8-63. Heleduse reguleerimine:

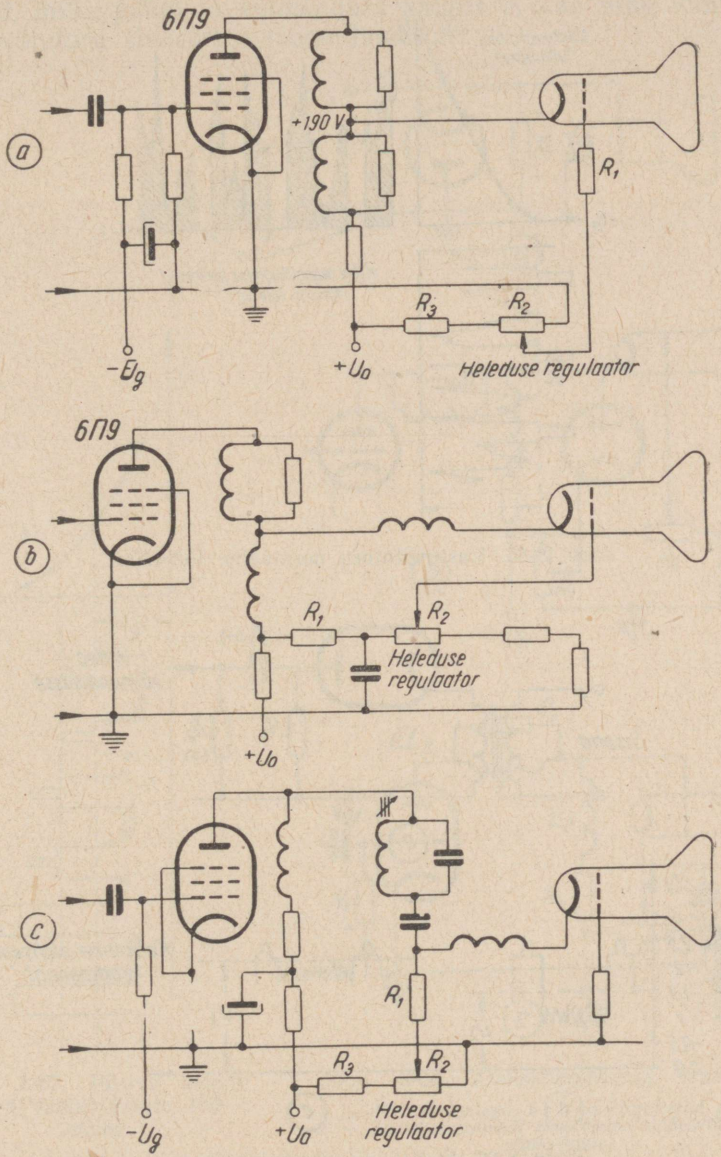
a — võrepinge muutmisega, *b* — katoodpinge muutmisega, *c* — võrepinge muutmisega, *d* — pildikustutusimpulsi järgi.

rakendatava viideopinge polaarsusest, viimane aga detekteeritud pinge polaarsusest ja viideovõimendaja astmete arvust. Levinum on viimati mainitud lülitus.

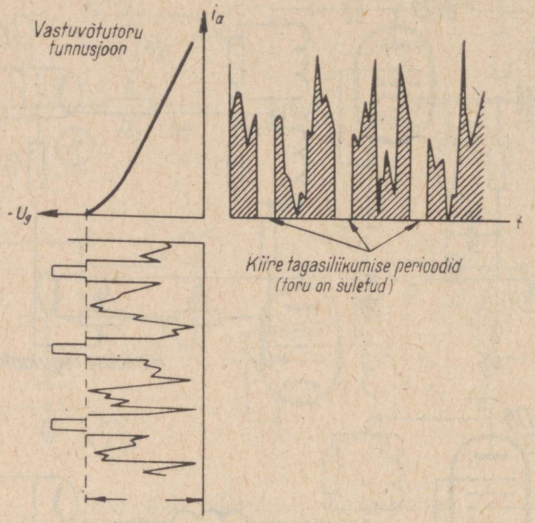
Alaliskomponendi taastamine. Vastuvõetava kujutise kõikide elementide suhtelise heleduse õigeks taastamiseks peab vastuvõtutoru katoodi ja juhtelektroodi vahele rakendatav signaal omama sellist polaarsust ja eelpinget, et kustutusimpulsside tippude tase vastaks toru kiire sulgemisvoolule (joon. 8-65).

Viideovõimendajate võimenduse madalamaks sageduspiiriks on 25 Hz. Seega kujutisesignaali võimendamisel alaliskomponenti üle ei kanta, mistõttu kujutisesignaali kuju jääb endiseks, kuid tema keskmine tase nullpinge suhtes on muutunud (joon. 8-66, *a* ja *b*). Pildi tausta õigeks ülekandmiseks aga on vaja säilitada must-valge tausta õige nivoo.

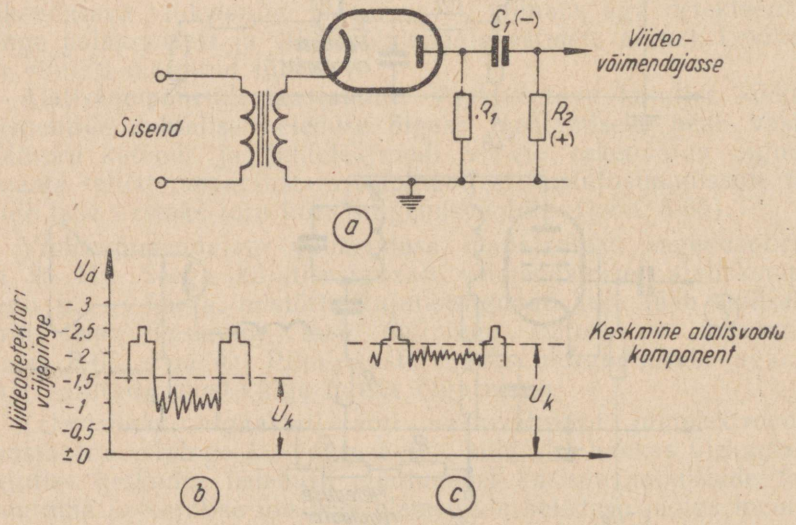
Televisiooni algaastail anti vastuvõtutoru juhtelektroodile konstantne eelpinge E_g (joon. 8-67), kuid siis hakkas ülekantava kujutise keskmise heleduse muutumisel kustutusimpulsside tase muutuma ja kujutise üksikute elementide heleduse jaotus moonutus. Selleks aga, et säilitada toru normaalset töörežiimi, peab eelpinge E_g muutuma vastavalt ülekantava kujutise keskmise heleduse muutumisele. Selline eelpinge muutumine on samaväärne signaali alaliskomponendi taastamisega, mis läks kaduma üleminekumahtuvuste olemasolu tõttu võimendaja astmete vahel.



Joon. 8-64. Pildi heleduse reguleerimise lülitusi televiisorites «Znamja» (*a*), «Rubin» (*b*) ja «Temp 3» (*c*).



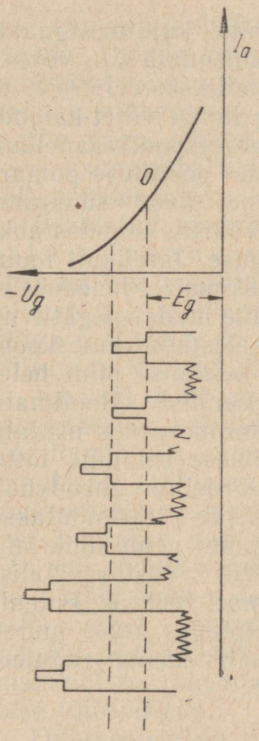
Joon. 8-65. Vastuvõtutoru normaalne töörežiim.



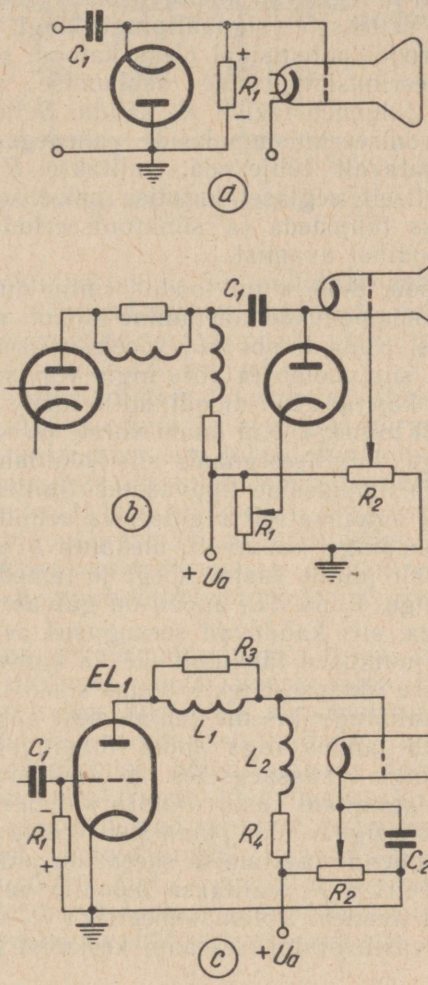
Joon. 8-66. Alaliskomponendi taastamine:

a — lülitusskeem, *b* — kujutisesignaali keskmine tase on muutunud, *c* — kujutise õige keskmise heleduse tase.

Kaasaja televisioonivastuvõtjates kasutatakse kujutisesignaalide alaliskomponendi automaatset taastamist või luuakse tingimused, mille puhul ta võimenduse käigus ei kao ning kantakse vastuvõtutoru sisendisse moonutamatult.



Joon. 8-67. Püsiva eelpingega vastuvõtutoru töörežiim.



Joon. 8-68. Alaliskomponendi taastamine: *a* — dioodpiirajatega, *b* — eelpingestatud dioodiga, *c* — alaliskomponendi taastamine viideovõimendaja võnkeringis.

Joonisel 8-68, *a* on kujutatud lülitus, kus signaali alaliskomponendi taastamiseks kasutatakse dioodi. Dioodi katood on lülitatud vastuvõtutoru juhtelektroodiga ja töötab piirajana. Diood avaneb,

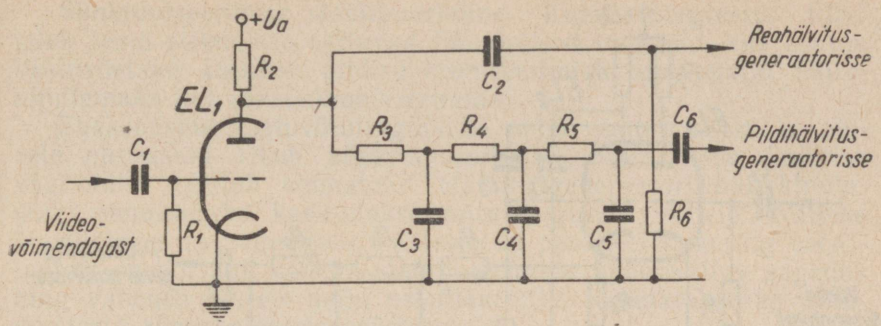
kui tema katood muutub negatiivseks, võrreldes anoodiga — maaga. Seepärast ei saa vastuvõtutoru juhtelektroodi potentsiaal langeda allapoole katoodi potentsiaali. Sünkroniseerimisimpulsid kui signaali kõige negatiivsemad väärtused avavad perioodiliselt dioodi ja tekitavad mahtuvusel C_1 positiivse laengu, mis on küllaldane selleks, et signaalipinge kõigi teiste väärtuste puhul juhtelektroodi potentsiaal oleks katoodi potentsiaalist kõrgem. Sünkroniseerimisimpulsside saabumise vaheaegadel mahtuvus C_1 osalt tühjeneb takisti R_1 kaudu. Selleks et üksteisele järgnevate sünkroniseerimisimpulsside vaheaegadel mahtuvus C_1 ei jõuaks märgatavalt tühjeneda, valitakse R_1C_1 ajakonstant selline, et suhteliselt aeglasel kujutise heleduse vähenemisel mahtuvus C_1 jõuaks tühjeneda ja sünkroniseerimisimpulsid jätkaksid dioodi perioodilist avamist.

Joon. 8-68, *c* on toodud lihtne lülitus, mille kujutisesignaali alaliskomponendi taastamine toimub viideovõimendaja EL_1 võnkeringis. Kuna lambi EL_1 võrele välisest vooluallikast eelpinget ei anta, siis voolab ta võreringis võrevool ning lambi võret-katoodi tuleb käsitada kui dioodi, mille toime sarnaneb eespool vaadeldud dioodi toimega. Kui lambi võrele on rakendatud positiivse polaarsusega kujutisesignaal, siis alaldab säärane diood sünkroniseerimisimpulsside tippväärtusi, millede keskväärtus moodustabki lambi automaatselt reguleeriva eelpinge kõrguse. Järelikult muutub eelpinge vastavalt ülekantava pildi keskmisele heledusele: heledale pildile vastab kõrge ja tumedale pildile madal negatiivne eelpinge. Kuna EL_1 anood on galvaaniliselt sidestatud kineskoobi võrega, siis kanduvad seesugused aeglased, keskmise pildi heleduse muutused täielikult üle ka kineskoobi sisendisse. Hoolimata lülituse lihtsusest tekib temas siiski teatav ebalineaarsus madala signaalipinge taseme puhul, sest liigselt väikese eelpinge tõttu areneb lambis liiga suur võrepingega ebavõrdeline anoodvool.

Kõigis kaasaegsetes televisioonivastuvõtjais rakendatakse kujutisesignaal vastuvõtutoru katoodile. Sel juhul peab sünkroniseerimissignaalide polaarsus olema positiivne. Vastav alaliskomponendi taastamise skeem on antud joonisel 8-68, *b*. Potentsiomeetriga R_1 valitakse dioodile vajalik eelpinge, mille juures diood avaneb. Potentsiomeetriga R_2 on võimalik käsitsi reguleerida vastuvõtutoru ekraani keskmist heledust.

8-9. Sünkroniseerimiskanal

Amplituuderaldaja. Pärast detekteerimist televisioonisignaal võimendatakse ja eraldatakse sünkroniseerimissignaalid viideosignaalidest. Sünkroniseerimissignaalide eraldamine võib toimuda mistahes punktis detektori ja vastuvõtutoru vahel. Kuid tavaliselt toimub eraldamine viideovõimendaja lõppastme väljelt,



Joon. 8-69. Trioodi ja kahe filtriga amplituuderaldaja skeem.

kus signaali amplituud on küllalt suur. Sel puhul langeb ära vajadus nende täiendavaks võimendamiseks. Lülitust, mis on määratud sünkroniseerimissignaalide eraldamiseks kujutisesignaalist, nimetatakse amplituuderaldajaks.

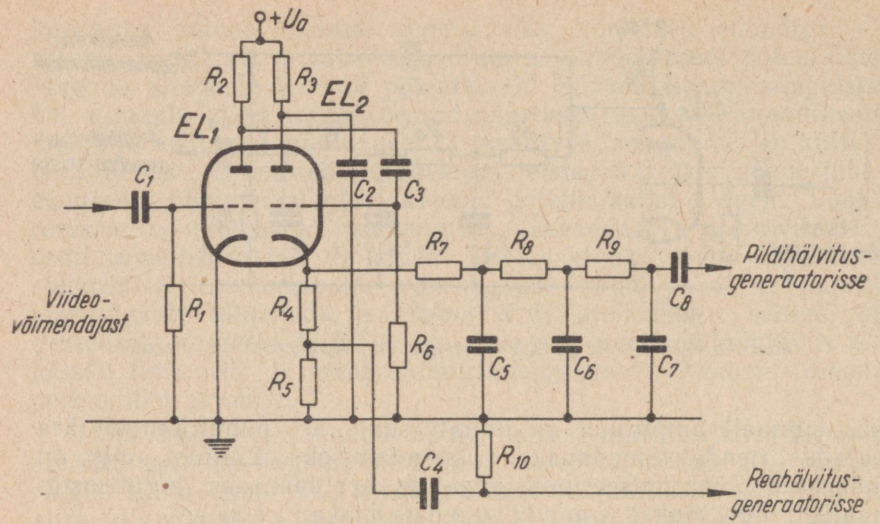
On väga oluline, et amplituuderaldajast saadavad sünkroniseerimisimpulsid omaksid ristküliku kuju ja et nende kõrgus ei sõltuks ülekantava kujutise iseloomust ega juhuslikest häiretest

Eraldatud sünkroniseerimissignaalid tuleb lahutada rea- ja pildisünkroniseerimisimpulssideks. Sel otstarbel ühendatakse amplituuderaldaja väljesse (joon. 8-69) kaks filtrit, millest üks eraldab reasünkroniseerimisimpulsse diferentseeriva lüliga C_2R_6 ja teine — pildisünkroniseerimisimpulsid integreeriva lülitusega $R_3C_3R_4C_4R_5C_5$.

Joonisel 8-70 on näidatud amplituuderaldaja lülitus, milles rakendatakse kaksiktrioodi mõlemat poolt. Vasakpoolne triood EL_1 toimib siin samuti kui eelmises lülituseski sünkroniseerimisimpulsside eraldajana üldisest viideosignaalist, kuid rea- ja pildisünkroniseerimisimpulsside lahutamise hõlbustamiseks teineteisest juhitakse nad eelnevalt kaksiktrioodi parempoolsesse ossa EL_2, mis töötab katoodjärgijana. Mõlemad sünkroniseerimisimpulsid lahutatakse teineteisest katoodjärgija koormustakististe R_4R_5 väljel diferentseerimisfiltri C_4R_{10} ja integreerimisfiltri $R_7C_5R_8C_6R_9C_7$ kaudu. Sel teel saadud rea- ja pildisünkroniseerimisimpulsse rakendatakse vastavate hälvitusgeneraatorite sageduse tüürimiseks.

Diferentseeriva filtri ajakonstant valitakse umbes neli korda väiksem reasünkroniseerimisimpulsside kestusest, integreeriva filtri ajakonstant aga neli korda väiksem pildisünkroniseerimisimpulsside kestusest.

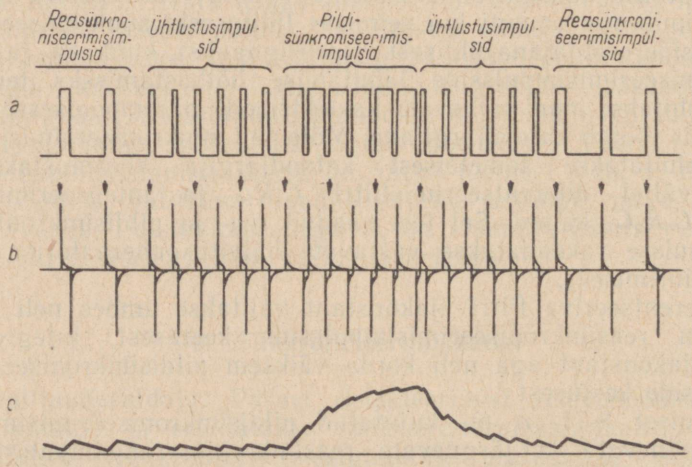
Joonisel 8-71, *a* on kujutatud pildisünkroniseerimisimpulss koos eelnevate ja järgnevate reasünkroniseerimisimpulssidega. Joonisel 8-71, *b* on näidatud vastav pinge diferentseeriva filtri väljes, joonisel 8-71, *c* aga integreeriva filtri väljes.



Joon. 8-70. Kaksiktrioodi ja kahe filtriga amplituuderaldaja skeem.

Nagu näha jooniselt 8-71, *c*, ei tekita reaimpulsid integreeriva filtri väljal nimetamisväärset pinget, kuid pildisünkroniseerimisimpulsside mõjul tõuseb väljepinge tunduvalt, sest nende impulsside kestus on pikem ja vaheaeg lühem.

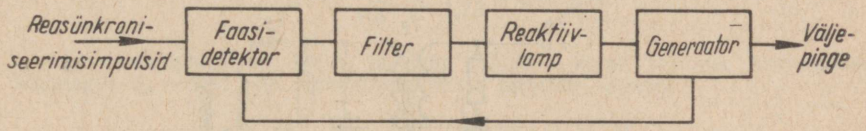
Jääkhambakeste paremaks silumiseks lülitatakse mitu integreerivat lüli järjestikku. Selline mitmelüliline integreeriv filtreerimislülitus on kujutatud joonisel 8-70.



Joon. 8-71. Pingete kõverad eraldusvooluringide sisendis ja väljes.

Sünkroniseerimise stabiliseerimine. Kuna integreeriv filter silub tema sisendisse sattuvad lühiajalised impulsid, siis osutub vastuvõetava kujutise pildisünkroniseerimine alati palju häirekindlamaks kui reasünkroniseerimine.

Ebasoodsate vastuvõtutingimuste puhul juhtub siiski, et häirete olemasolu rikub sünkroniseerimise, mille tõttu kujutise vaatamine muutub võimatuks. Hälvitusgeneraatori häirekindlamaks muutmiseks kasutatakse mitmesuguseid võtteid. Näiteks ühendatakse reasagedusele häälestatud paralleelvõnkering ostsillaatori anoodringi; sellega stabiliseeritakse genereeritav sagedus ning väheneb häirete mõju ostsillaatorile. Kasutatakse ka automaatseid sünkroniseerimissüsteeme.



Joon. 8-72. Sageduse automaatse reguleerimise lülitusskeem.

Joonisel 8-72 on antud üks sünkroniseerimise stabiliseerimise lahterskeem.

Joonisel antud lahterskeemi kohaselt toimub realaotuse voolu genereerimine väga stabiilse generaatori abil, mis töötab laotussagedusel. Selle generaatori võnked satuvad koos saabuvate sünkroniseerimisimpulssidega faasidetektorisse, mis toodab alalispinget, mille väärtus ja märk olenevad erinevusest generaatori võngete faasi ja sünkroniseerimisimpulsside faasi vahel. Faasidetektori pinge suunatakse pärast madalpääsfiltrit reaktiivlampi, mis korrigeerib sõltuvalt selle pinge väärtusest generaatori omavõngete sagedust ja faasi.

Peale vaadeldute leidub veel rida teisi lülitusi televisioonivastuvõtjate sünkroniseerimise stabiliseerimiseks.

Hälvitusseadmete lõppaste. Elektronkiire magnetilise hälvituse puhul on vaja, et elektronkiirele mõjuks magnetväli, mis tekitatakse hälvituspoole läbiva lineaarse saehamba-kujulise voolu poolt (vt. VI ptk.).

Hälvituse lineaarsuse saavutamiseks peab väljeastme võimenduslamp töötama A-klassi võimendajana. Trioodi kasutamisel peab moonutuste vähendamiseks lambi koormustakistus olema kaks korda suurem lambi sisetakistusest. Hälvitustransformaatori mähiste keerdude suhe arvutatakse valemiga

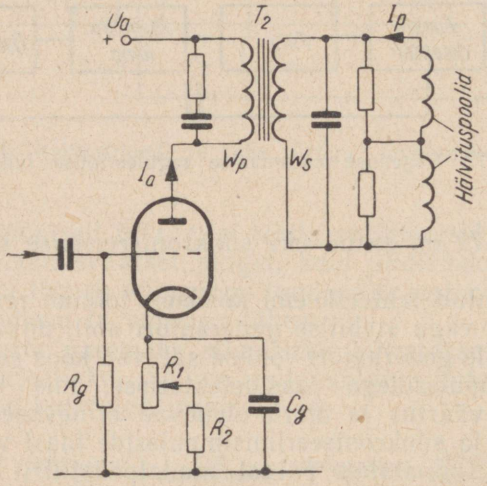
$$\frac{w_p}{w_s} = \sqrt{\frac{2R_i}{Z_a \eta_t}}.$$

kus w_p on primaarmähise keerdude arv,
w_s — sekundaarmähise keerdude arv,
R_i — lambi sisetakistus Ω,
Z_a — vertikaalhälvituspoolide näivtakistus,
η_t — trafo kasutegur.

Pentoodi või jugatetroodi puhul arvutatakse hälvitustransformaatori mähiste keerdude suhe

$$\frac{w_p}{w_s} = \sqrt{\frac{R_{a\,opt}}{Z_a \eta t}},$$

kus $R_{a\,opt}$ on lambi soodsaim anoodkoormustakistus, muud tähised endised.



Joon. 8-73. Pildihälvitusseadme lõppastme lülitusskeem.

Näide 8-5. Joonisel 8-73 kujutatud vertikaalhälvitusgeneraatori lõppastmes kasutatakse trioodina lülitatud jugatetroodi 6П6С, mille sisetakistus $R_i = 1700$ Ω; vertikaalhälvituspoolide $L = 40$ mH ja $R = 45$ Ω; poolpildi sagedus $f = 50$ Hz. Määrata väljetrafo ülekandesuhe.

Hälvituspoolide näivtakistus

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{45^2 + (2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 40 \cdot 10^{-3})^2} = 46{,}7\ \Omega.$$

Trafo ülekandesuhe, eeldusel et trafo kasutegur $\eta_t = 0{,}9$,

$$\frac{w_p}{w_s} = \sqrt{\frac{2R_i}{Z\eta_t}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 1700}{46{,}7 \cdot 0{,}9}} = 9.$$

Transformaatori keerdude arv peab olema võimalikult suur, sest väikese suhte L/R korral tekib pildi ülemisel ja alumisel serval lineaarsuse moonutused.

Lambi tööpunkt viiakse tunnusjoone sirge osa keskele eelpinge muutmise teel katoodringi ühendatud reostaadiga R_1 (joon. 8-73) või võre-eelpinge muutmise teel. Takistiga R_2 piiratakse katoodvoolu lubatava maksimaalväärtuseni. Sageli ei taga eelpinge hammasvoolu lineaarsust; sel puhul muudetakse vastavalt hälvituspoolide induktiivsuse ja takistuse suhet.

Väljeastme lamp peab olema küllalt võimas, et tekitada vajalikku hälvitusvoolu. Kui näiteks väljetrafo ülekandesuhe on 9 ning vajalik voolu tippväärtus vertikaalhälvituspoolides $I_p = 400$ mA, siis lambi anoodvoolu amplituudväärtus

$$I_{a\,max} = \frac{I_p}{\ddot{u}} = \frac{400}{9} = 44{,}5 \text{ mA}$$

ning anoodvoolu efektiivväärtus

$$I_a = \frac{I_{a\,max}}{\sqrt{3}} = \frac{44{,}5}{1{,}73} = 25{,}6 \text{ mA}.$$

Kui anoodpinge on 300 V ja lamp töötab A-klassi režiimis, kus anoodi kasutegur $\eta_a = 25\%$, siis anoodtoiteallikast tarbitav võimsus

$$P_a = U_a I_a = 300 \cdot 25{,}6 \cdot 10^{-3} = 7{,}7 \text{ W}.$$

Hälvituspoolidele antav võimsus

$$P_p = P_a \eta_a = 7{,}7 \cdot 0{,}25 = 1{,}9 \text{ W},$$

lambi anoodil soojuseks muunduv võimsus

$$P_0 = P_a - P_p = 7{,}7 - 1{,}9 = 5{,}8 \text{ W}.$$

Käesoleval juhul on pinge maksimaalväärtus hälvituspoolidel

$$U_{p\,max} = I_p Z = 400 \cdot 10^{-3} \cdot 46{,}7 = 18{,}7 \text{ V}$$

ja trafo primaarmähisel

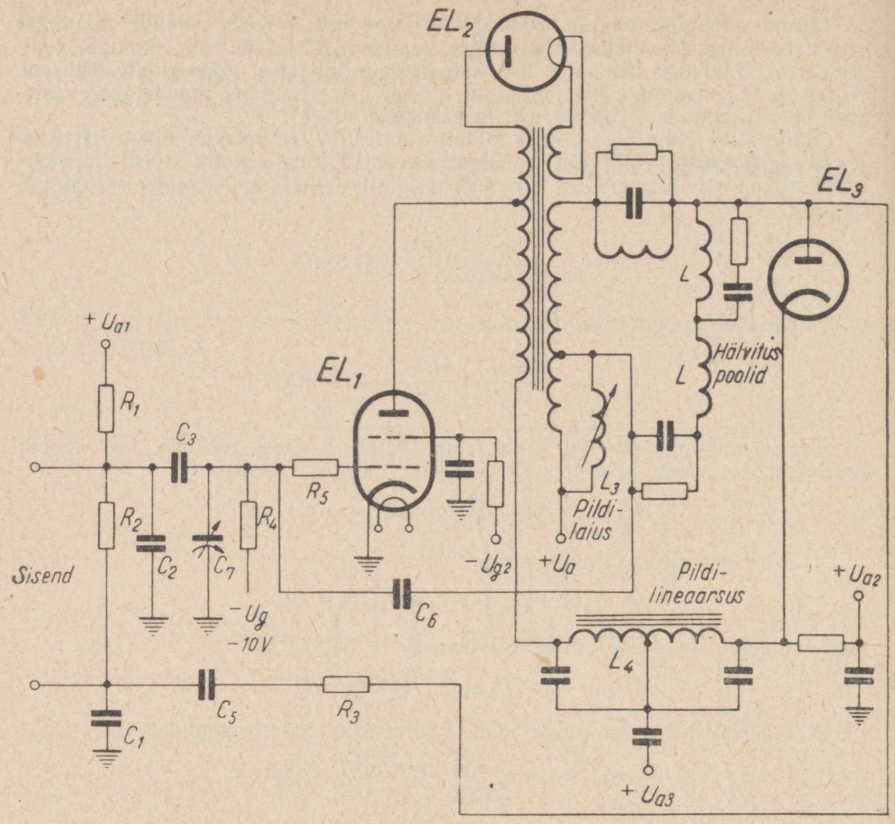
$$U_a = U_{p\,max} \frac{w_p}{w_s} = 18{,}7 \cdot 9 = 168 \text{ V}.$$

Joonisel 8-74 on toodud horisontaalhälvituse lõppastme lülitusskeem.

Horisontaalhälvituseks vajalik vool juhitakse läbi horisontaalhälvituspoolide, mille magnetvälja mõjul elektronkiir hälvitatakse. Horisontaalhälvitusgeneraatori lõppastme transformaatori ülesandeks on anda voolu, mis on vajalik horisontaalseks hälvitamiseks ja ühtlasi tekitada kõrget pinget, mida pärast alaldamist kasutatakse kineskoobi anoodil kiirenduspingena.

Horisontaalhälvituspoolide induktiivsus on harilikult 10 mH ja takistus 12 Ω. Induktiivne reaktiivtakistus reasagedusel 15 625 Hz on ligikaudu 1000 Ω ja X_L ning R suhe 83 : 1.

Mahtuvus C_2 ja takistus R_1 on impulsside formeerimise vooluringis, kus saadakse lambi EL_1 võrele juhitav saehamba-kujuline pinge. Mahtuvuse C_6 kaudu juhitakse väljetrafost nõrk negatiivne pingeimpulss lõpplambi EL_1 võrele. Tagasijuhitud impulss tekitab



Joon. 8-74. Reahälvitusseadme lõppastme skeem.

väga järsu negatiivse võrepinge. See negatiivne pinge sulgeb lambi EL_1 kiire tagasikäigu ajaks.

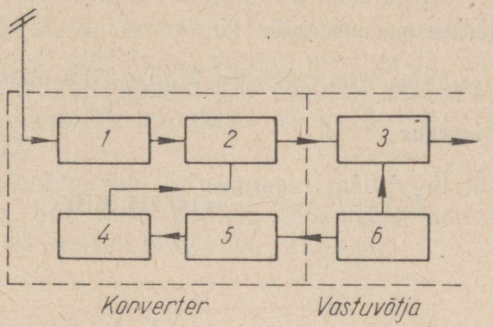
Lambi EL_1 võrele antakse negatiivne eelpinge —10 V, et juhul, kui saehamba-kujuline sisendpinge puudub, ei läbiks lampi ohtlikult tugev vool. Hälvitusimpulsi kestust muudetakse pooliga L_3 ja tema lineaarsust pooliga L_4.

8-10. Konverterid

Üldmõisteid. Vanemad televiisorid omavad kolme kuni viit kanalit, mis võimaldavad vastu võtta saateid ainult sagedusel kuni 100 MHz.

Kui tekib vajadus televiisoriga vastu võtta saateid, mida levi-

tatakse kõrgemal sagedusel, kui antud aparaadi tüüp seda vastu võtta võimaldab, siis tuleb televiisor vastavalt ümber ehitada või ühendada televiisoriga lisaseade, mis võimaldab vastuvõttu teostada soovitud sagedusel. Esimesel juhul häälestatakse kõrgsagedusblokis mõne vaba kanali võnkeringid soovitud kõrgemale sagedusele.



Joon. 8-75. Konverteri lahterskeem.

Teisel juhul (joon. 8-75) kasutatakse lisaseadet — konverterit. Vastuvõtja ostsillaatorist *6* juhitakse ostsillaatorisagedus harmooniliste kristallgeneraatorisse *5*, mis töötab sageduse kordistajana. Soovitud harmooniline filtreeritakse välja resonantsvõnkeringi *4* abil ja juhitakse segustisse *2* ja sealt vastuvõtjasse *3*. Konverteril on veel sisendvõnkeringid *1* ühes antenniga.

Kõrgsagedusastme kaudu vastuvõetud signaali ja kristallgeneraatori sageduse toimel tekib segustis *2* vahesagedus (f_{kt}), mida nimetatakse konverteri vahesageduseks. Konverteri vahesagedus juhitakse televiisori kõrgsagedusosa või segusti sisendisse.

Ühekordne sageduse muundamise meetod. Seda meetodit kasutatakse peamiselt sagedusel üle 300 MHz töötavate televisioonisaadete vastuvõtuks. Sel puhul vastuvõtjas muundatakse sagedust ainult üks kord: nimelt ultrakõrgsagedusliku signaali sagedus muundatakse konverteriga võrdseks vastuvõtja vahesagedusega. Kõrgsagedus segustatakse kohaliku ostsillaatori võnkumisega, mille sagedus on kõrgem kui vastuvõetav kõrgsagedus, kusjuures saadakse vastuvõtjas kujutise ja heli vahesagedus.

Joonisel 8-76 on antud ühekordne sagedusmuundajaga vastuvõtja lahterskeem. Selgitame selle tööpõhimõtet näitega.

Näide 8-6. Milline peab olema ostsillaatori põhisagedus (f_{os}), et vastu võtta saadet, mille kujutise kandesagedus $f_{uk} = 537{,}25$ MHz ja heli kandesagedus $f_{uh} = 543{,}75$ MHz, vastuvõtja kujutise vahesagedus on $f_{ik} = 34{,}25$ MHz

ning heli vahesagedus $f_{ih} = 27{,}75$ MHz; kasutatakse ühekordset sageduse muundamist ja ostsillaatori neljandat harmoonilist f_{os4}.

Ultrakõrgsagedusliku ostsillaatori sagedus on kõrgem kui vastuvõetava signaali sagedus. Seega kujuneb ostsillaatori väljesagedus kujutise kandesageduse muundamiseks

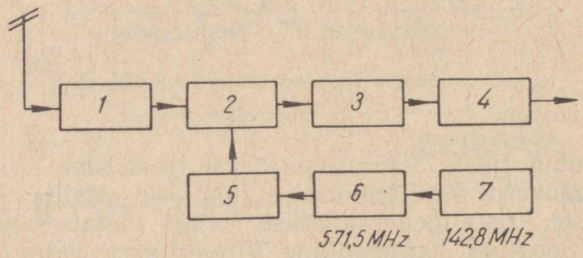
$$f_{os4} = f_{uk} + f_{ik} = 537{,}25 + 34{,}25 = 571{,}5 \text{ MHz}$$

ja heli kandesageduse muundamiseks

$$f_{os4} = f_{uh} + f_{ih} = 543{,}75 + 27{,}75 = 571{,}5 \text{ MHz}.$$

Ostsillaatori põhisagedus

$$f_{os} = \frac{f_{os4}}{4} = \frac{571{,}5}{4} = 142{,}875 \text{ MHz}.$$



Joon. 8-76. Ühekordse sageduse muundamisega konverteri lahterskeem.

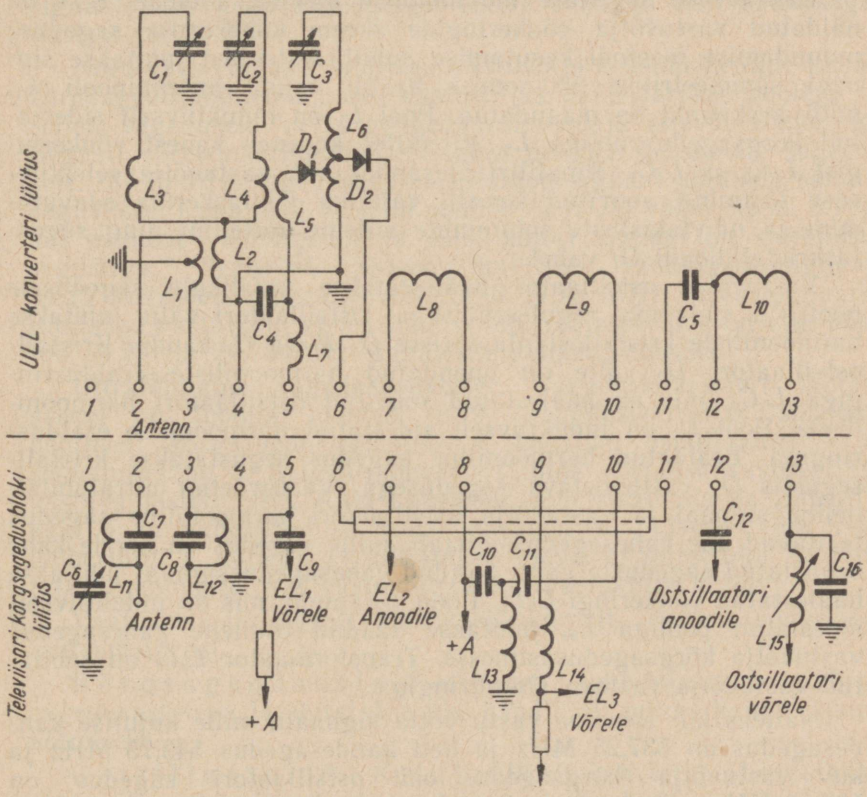
Eelmise näite selgitamiseks vaatame lähemalt lahterskeemi, mis on antud joonisel 8-76. Ultrakõrgsagedus võetakse vastu eelastme *1* abil, mis on häälestatud kujutise kandesagedusele $f_{uk} = 537{,}25$ MHz ja heli kandesagedusele $f_{uh} = 543{,}75$ MHz. Nimetatud signaalid juhitakse kristallsegustisse *2*. Vastuvõtja ostsillaator *7* võngub sagedusega 142,875 MHz, milline sagedus tõstetakse kristallostsillaatori *6* poolt neljanda harmooniliseni $f_{os4} = 571{,}5$ MHz. Eraldusvõnkering *5* on häälestatud kohaliku ostsillaatori neljandale harmoonilisele. Seega juhitakse 571,5-MHz ostsillaatori harmooniline koos vastuvõetud kujutise- (537,25 MHz) ja heli- (543,75 MHz) signaaliga kristallsegustisse, kus tekitatakse kaks vahesagedust — kujutise vahesagedus 34,25 MHz ja heli vahesagedus 27,75 MHz. Need kaks signaali võimendatakse kõrgsagedusvõimendajas *3* ja segustis *6* kui vahesagedusvõimendajates. Selline lülitus võimaldab vastu võtta ultrakõrgsagedust $f = 537{,}25$ MHz, mis muundatuna madalamaks sageduseks 34,25 MHz on kohane võimendamiseks.

Joonisel 8-77 on näidatud trummeltüüpi pöördlüliti kohandamine ultralühilaine vastuvõtuks ja vajalik poolide asetus ühekordse sageduse muundamise meetodi korral.

Ultralühilaineline signaal juhitakse antennist pooli L_1. Häälestatud võnkeringe $L_{11}C_7$ ja $L_{12}C_8$ kasutatakse sisenevate häiresignaalide tõkestamiseks sagedusel 30 MHz. Ultralühilaine pool L_1 on induktiivselt sidestatud esimese võnkeringiga L_3C_1.

Poolid L_3 ja L_4 on omavahel sidestatud pooli L_2 kaudu. Pool L_4 on induktiivselt sidestatud segusti pooliga L_5, mis toidab ultrakõrgsageduse kristallsegustit D_1. Segusti stabiilsuse tõstmiseks juhitakse kõrgeoomilise eeltakisti R_1 kaudu nõrk alalisvool läbi kristalldioodi D_1.

0,5-mA voolust piisab, et panna kristalldiood tööle ta tunnusjoone põlvikus. See vool säilitab võnkeringi koormuse jäävana, millega paraneb kristalldioodi töö stabiilsus.



Joon. 8-77. Trummellülitiga konverteri skeem.

Pooliga L_{10} häälestatakse ostsillaatori võnkering soovitud põhisagedusele. Ostsillaatorist väljuv signaal läbib kondensaatori C_5, klemmi *11* ja suundub koaksiaalkaabli kaudu läbi klemmi *6* harmooniliste kristallgeneraatorisse D_2. Häälestatud võnkering L_6C_3 eraldab soovitud harmoonilise ja juhib ta kristallsegustisse D_1.

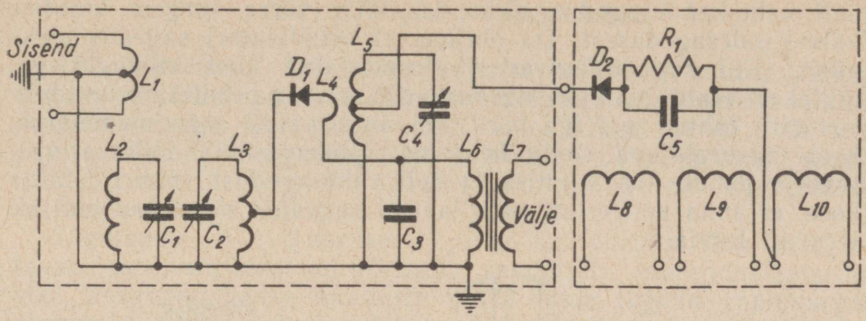
Segustamisprotsessis areneb poolis L_5 vahesagedussignaal keskmise sagedusega 30 MHz. Kondensaator C_4, pool L_7 ja televiisori esimese lambi EL_1 sisendmahtuvus moodustavad Π-filtri, millest läbib ainult 30-MHz vahesagedussignaal kõrgsageduslambi EL_1 võrele. Kondensaator C_9 on eralduskondensaatoriks.

Lambid EL_1 ja EL_2 moodustavad kaskoodvõimendaja, mis nüüd toimib vahesagedusvõimendajana. Võimendaja häälestatakse võnkeringiga L_8 sagedusele 30 MHz. Kuna ultrakõrgsagedussignaal on muundatud 30-MHz vahesagedussignaaliks, siis segustuslampi EL_3 ei ole enam vaja kasutada sageduse muundamiseks, mistõttu seda lampi rakendatakse vahesageduse võimendamiseks ning pool L_9 häälestatakse vahesagedusele 30 MHz.

Kahekordse sageduse muundamise meetod. Joonisel 8-78 on näidatud vastuvõtja võnkeringide skeem kahekordse sageduse muundamise meetodi kasutamise puhul. Antennist juhitakse signaal sümmeetrilise 300-oomise kaabli kaudu antennipooli L_1, mille keskpunkt on maandatud. Pool L_1 on induktiivselt sidestatud kõrgsageduspooliga L_2. Ribafilter koosneb kahest võnkeringist L_2C_1 ja L_3C_2. Ribafiltri ülesandeks on vastuvõtja selektiivsuse tõstmine, soovitud kanalil vajaliku läbilaskeriba saavutamine ja näivtakistuste sobitamine antenni toiteliini ning segustuskristalldioodi D_1 vahel.

Vastuvõtja ostsillaator häälestatakse vajalikule sagedusele pooli L_{10} südamiku reguleerimisega. Ostsillaatori välje juhitakse harmooniliste kristallostsillaatorisse D_2 R_1 ja C_5 kaudu. Kristallostsillaatori D_2 välje on ühendatud harmooniliste eraldusringiga L_5C_4, mis on häälestatud soovitud ostsillaatori harmoonilisele. Pool L_4 on induktiivselt sidestatud harmoonilise eraldusringiga. Eraldatud harmooniline sagedus segustatakse kristallsegustis D_1 vastuvõetava sagedusega. Vastuvõetud ultralühilaineline signaal ja vastuvõtja ostsillaatori harmooniline sagedus tekitavad uue vahesagedussignaali, mille sagedus on nende kahe segustatud sageduste vahe. Saadud vahesagedussignaal juhitakse häälestatud võnkeringi C_3L_6. Pooli L_7 kaudu, mis on induktiivselt sidestatud pooliga L_6, juhitakse saadud esimene vahesagedus vastuvõtja kõrgsagedusastmesse. Transformaator L_6L_7 on sobitatud vastuvõtja vastava sisendringiga.

Näiteks kui soovime vastu võtta signaali, mille kujutise kandesagedus on 537,25 MHz ja heli kandesagedus 543,75 MHz ja kui vastuvõtja kõrgsagedusbloki ostsillaatori sagedus on 187,75 MHz, siis tuleb pooliga L_{10} vastuvõtja ostsillaator häälestada sellele sagedusele 187,75 MHz. Harmooniliste eraldusvõnke-



Joon. 8-78. Kahekordse sageduse muundamisega konverteri skeem.

ring L_5C_4 tuleb häälestada teisele harmoonilisele (375,5 MHz). See 375,5 MHz signaal on sidestatud segustiga D_1 ja koos vastuvõetud kõrgsagedusega (537,25 MHz) tekitatakse vahesagedussignaal pildi kandesagedusega 161,75 MHz ja heli kandesagedusega 168,25 MHz.

Need kaks signaali juhitakse vastuvõtja sisenduspoolide kaudu kõrgsagedusvõimendajasse. Vastuvõtjas häälestatakse pooliga L_8 sellele sagedusele ka kõrgsagedusvõimendaja anoodi võnkering. Segusti võrevõnkering häälestatakse pooliga L_9 samale sagedusele. 187,75-MHz sagedusega ostsillaatori signaal juhitakse samuti segustisse. Kuna pool L_9 asub poolide L_8 ja L_{10} vahel (joon. 8-78), siis esimene vahesagedus ja ostsillaatori signaal on sidestatud segustiga. Segustist saame kujutise vahesagedussignaali 34,25 MHz heli vahesagedussignaali 27,75 MHz. Need signaalid juhitakse vastuvõtja vahesagedusvõimendajasse, mis on ette nähtud 34,25- ja 27,75-MHz signaalide võimendamiseks.

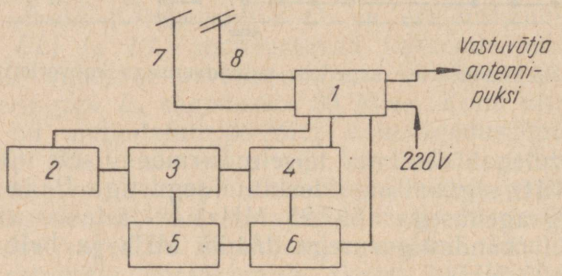
Ultralühilaine sageduskonverter. Sageduskonverteri lahterskeem on toodud joonisel 8-79. Sageduskonverter sisaldab põhiliselt kõrgsagedus-eelastme *2*, kohaliku ostsillaatori *5* ja segustusastme *3*. Sageduskonverteri toide võetakse vastuvõtjast vastava pistiku abil. Kuid konverter võib sisaldada ka toitealli-kaid *6* ja vahesageduse võimendusastet *4*. Lisada võib veel ümberlüliti *1*, millega a) lülitatakse konverter toitevõrku, b) lülitatakse konverter või vastuvõtuantenn vastuvõtja külge.

Vaatleme järgnevalt üksikasjalikumalt sageduskonverteri tähtsamaid osi.

K õ r g s a g e d u s a s t e *2* sarnaneb vastuvõtja esimese kõrgsagedusastmega ja ehitatakse ühe kanali või mitme kanali vastuvõtmiseks.

O s t s i l l a a t o r *5*. Kuna harilikult konverter ühendatakse vastuvõtja antennipuksidega, siis ostsillaatori sagedus peab olema madalam kui vastuvõetav ultralühilaine signaal, et kujunev

heli vahe-kandesagedus oleks 6,5 MHz võrra kõrgem kujutise vahe-kandesagedusest. On oluline, et ostsillaatori sagedus oleks püsiv. Kui sageduskonverterit kasutatakse koos vastuvõtjaga, millel on eraldi helivahesageduskanal, siis on ostsillaatori stabiilsus eriti tähtis, sest iga kord, kui ostsillaatori sagedus muutub, kaob vastuvõetava saate helitaust. Tuikemeetodil töötava vastuvõtja puhul, kus kujutise ja heli vahesagedust võimendatakse koos, ei anna konverteri ostsillaatori sageduse muutused end nii teravalt tunda.



Joon. 8-79. Ultralühilaine sageduskonverter.

Segusti *3* ülesandeks on muundada vastuvõetav sagedus sageduseks, mida on võimalik olemasoleva vastuvõtjaga vastu võtta. Siin tekitatakse vastuvõetud signaali sageduse ja kohaliku ostsillaatori sageduse vahel vahesagedus, millele on häälestatud televisioonivastuvõtja. Kasutatakse harilikult kristallsegustit, sest ta omab väikest mürataset ja on lihtne ning odav.

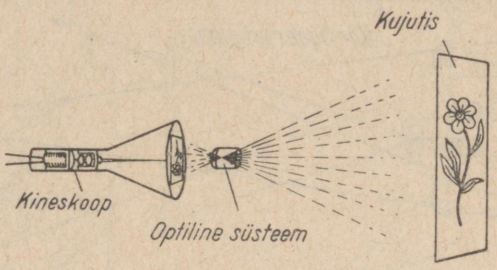
Vahesageduse võimendusastet *4* kasutatakse harva. Vahesageduseks on tavaliselt 3. või 4. televisioonikanali sagedus. Tavaliselt annavad vastuvõtja kõrgsagedus- ja segustuslamp küllaldaselt võimendust neil sagedusil.

Võib tekkida vajadus vastu võtta televisioonisaatjat, mis töötab teistsugusel televisioonistandardil kui see, millele vastuvõtja on ehitatud. Sel juhul on televiisori ümberehitus märksa raskem. Näiteks kui standardid erinevad reasageduselt, siis peab muutma vastavalt rea hälvitusgeneraatori sagedust. Pildisagedus on Euroopas enamasti 25 pilti sekundis. Erinevus esineb veel vastuvõetava televisioonisignaali heli ja kujutise kandesageduste sagedusriba laiuses (vt. lisa 3). Sel puhul on vaja lisaostsillaatorit, mis muudab helivahesageduse soovitud sagedusele.

8-11. Projektsioonisüsteemid

Üldpõhimõtted. Televisioonikujutise mõõtmete suurendamine teatava määrani on võimalik vastuvõtutoru mõõtmete vastava suurendamisega. Kuid kineskoobid läbimõõduga üle 40...50 cm kujutavad endast väga kogukaid ja raskesti paigaldatavaid seadmeid. Lamekineskoopide kasutuselevõtmisega on saavutatud märksa paremaid tulemusi.

Ligikaudu 1,5...2-kordset kujutise suurenemist ilma märgatavate moonutusteta on võimalik saavutada suurenduslääatsede abil. Suurenduslääatse puuduste hulka tuleb lugeda vaatenurga ahenemist, mille ulatuses võib toimuda kujutise jälgimine.



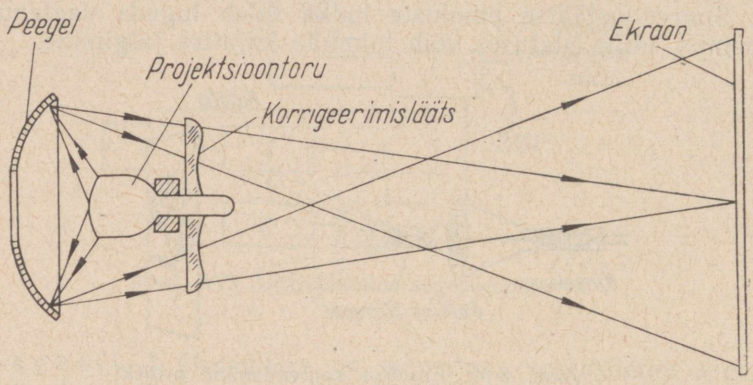
Joon. 8-80. Kujutise suurendamine projektsioonioptika abil.

Kujutise mõõtmete tunduvat suurendamist on võimalik saavutada projektsioonisüsteemi kasutamisel. Rakendatakse peamiselt kahte projektsioonisüsteemi: 1) projektsioonioptika ja 2) peegeldusoptika süsteemi.

Projektsioonioptika kasutamisel projektsioonisüsteemis saadakse suurem kujutis, kuid kujutise mõõtmeid piiravaks peamiseks teguriks on kujutise väike heledus. Seda põhjustavad järgmised asjaolud. Kineskoobi ekraanil saadud kujutise mingi elemendi projitseerimisel satub tema poolt väljakiiratavast kogu valgusvoost objektiivi ainult umbes 10%. Objektiivi mittetäieliku läbipaistvuse tõttu läbib teda vaid veidi üle poole sellest valgusvoost. Ekraanile sattuvast valgusvoost neeldub ekraani materjalis 20...30%, ülejäänud osa aga peegeldub, tekitades kujutise. Seega ei ületa projektsioonisüsteemi kasutegur 4...6%. Projektsioonioptika kasutamise põhimõte on kujutatud joonisel 8-80.

Edasi tuleb arvestada, et antud valgusvoo puhul on heledus pöördvõrdeline valgustava pinna mõõtmetega. Järelikult kujutise lineaarsete mõõtmete kümnekordsel suurendamisel väheneb tema heledus (valgusvoo 100% ärakasutamisel) 100 korda, valgusvoo mittetäielikku ärakasutamist arvestades aga koguni kuni 2500 korda esialgse väärtusega võrreldes.

Toodud arvud näitavad ilmekalt raskusi, mis tekivad projektsioonisüsteemide rakendamisel. Suurendatud kujutise normaalse heleduse saamiseks tuleb kujutise heledust toru ekraanil palju kordi suurendada. Selleks otstarbeks on välja töötatud projektsioonitorud, mis omavad suhteliselt väikseid ekraani mõõtmeid, kuid seejuures suure heleduse. See saadakse eriliste ekraani luminofooride kasutamisega, samuti kiirenduspinge ja elektronkiire voolu suurendamisega.



Joon. 8-81. Kujutise suurendamine peegeldusoptika abil.

Edukalt kasutatakse ka peegeldusoptikaga projektsiooniseadmeid. Joonisel 8-81 on kujutatud sellise projektsiooniseadme tööpõhimõte. Siin kasutatakse nõguspeeglit, mis projitseerib kujutise vastassuunas asuvale ekraanile.

Selle süsteemiga on võimalik saada ekraanil mõnevõrra heledam kujutis, eriti kui kasutada erilisi hõbedatud projektsiooniekraane. Kujutist vaadatakse siin läbi mattklaasi. Siin on võimalik kogu valgusest ära kasutada 25%, seega eelmise süsteemiga võrreldes tunduvalt rohkem. Sfäärilise peegli keskosa harilikult kõrvaldatakse, sest temalt peegeldunud valguskiired langeksid tagasi kineskoobi ekraanile.

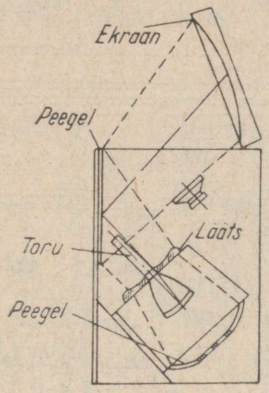
Küllalt suuremõõtmelise reflektori kasutamisel on võimalik saada kujutist, mis oma suuruselt vastab kinoekraani mõõtmetele. Enamik konsooltüüpi vastuvõtjaid ongi varustatud reflektortüüpi projektsiooniseadmetega. Üks taoline seade on kujutatud joonisel 8-82.

Nõukogude Liidus on akadeemik A. N. Tšernõšovi poolt välja töötatud suure ekraani süsteem, mida nimetatakse valgusklappide süsteemiks. Seal elektronkiir ise ei tekita valgusvoogu, vaid ainult tüürib kõrvalise valgusallika valgusvoogu.

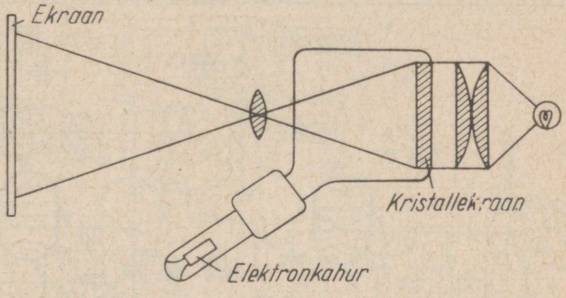
Inglismaal on kasutusel skiatronsüsteem, milles kujutise hele-

dus ei olene projektsioonitoru heledusest. Valgus saadakse kaarlambist või mõnest muust valgusallikast, kuid valguse intensiivsust muudetakse vastava seadmega, mis reguleerib valgusallika poolt langevat valgust viideosignaali rütmis.

Skiatrontüüpi projektsiooniseadme põhimõtet kujutab joonis 8-83. Siin on põhielemendiks skiatrontoru. Ta on ikonoskoobi kujuga, kuid tema mosaiik on asendatud kristallekraaniga, mis elektronidega pommitamisel muutub läbipaistmatuks.



Joon. 8-82. Peegeldusoptika süsteemi paigutus vastuvõtja sees.



Joon. 8-83. Skiatrontüüpi projektsiooniseadme skeem.

Elektronkiir joonestab vastuvõetud kujutise kristallekraanile. Elektronkiirega mõjustatud ekraan laseb läbi rohkem või vähem valgust vastavalt ekraani optilisele takistusele. Seega oleneb kujutise kontrastsus elektronkiire tugevusest.

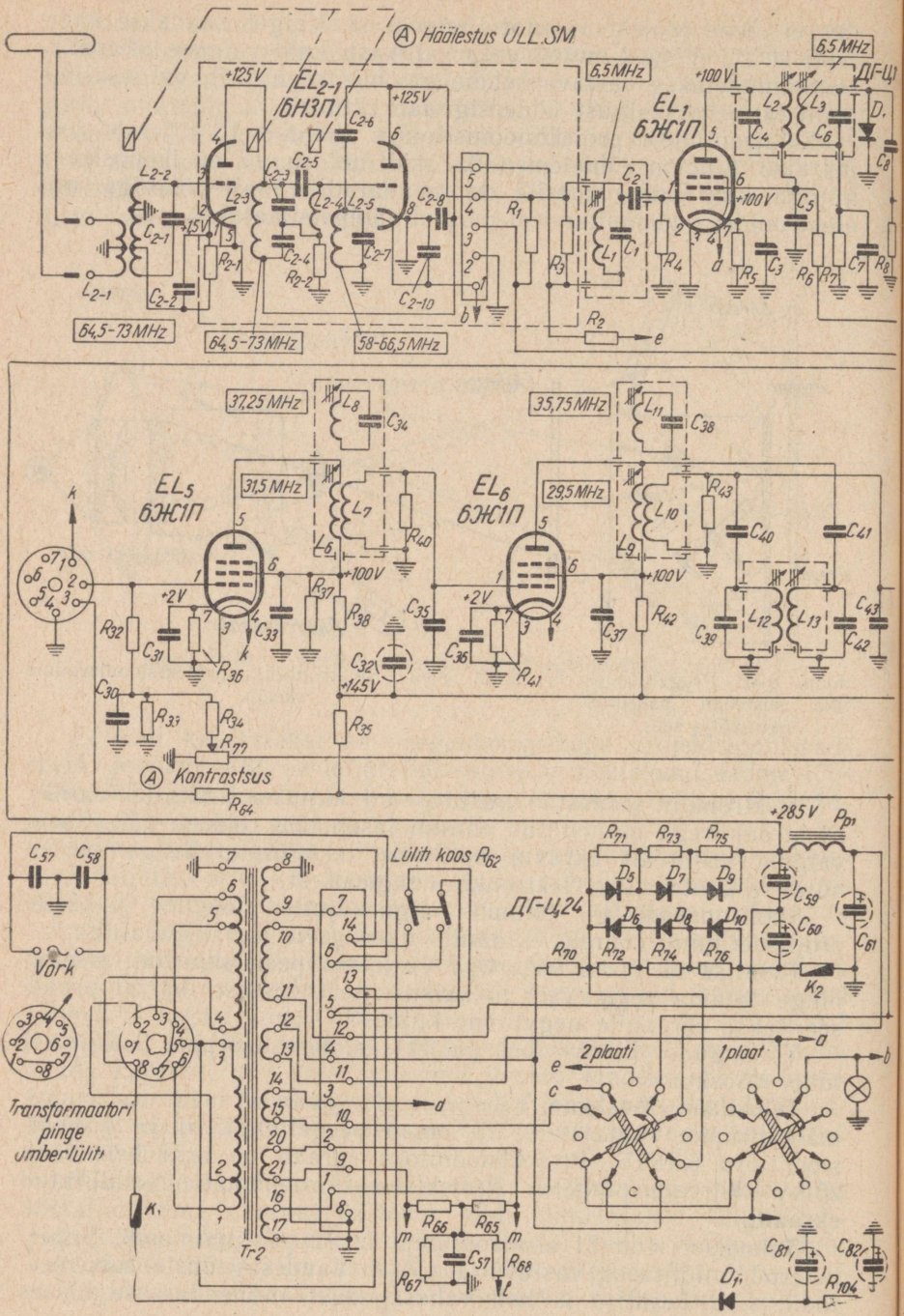
Skiatronseadmega toimub valguskujutise loomine ja selle projitseerimine suurele ekraanile üheaegselt ja lakkamatult.

Tavalise elektronkiiretoruga võrreldes peab skiatroni sisendpinge omama negatiivset polaarsust, sest vastasel korral projitseeritakse ekraanile negatiivne kujutis.

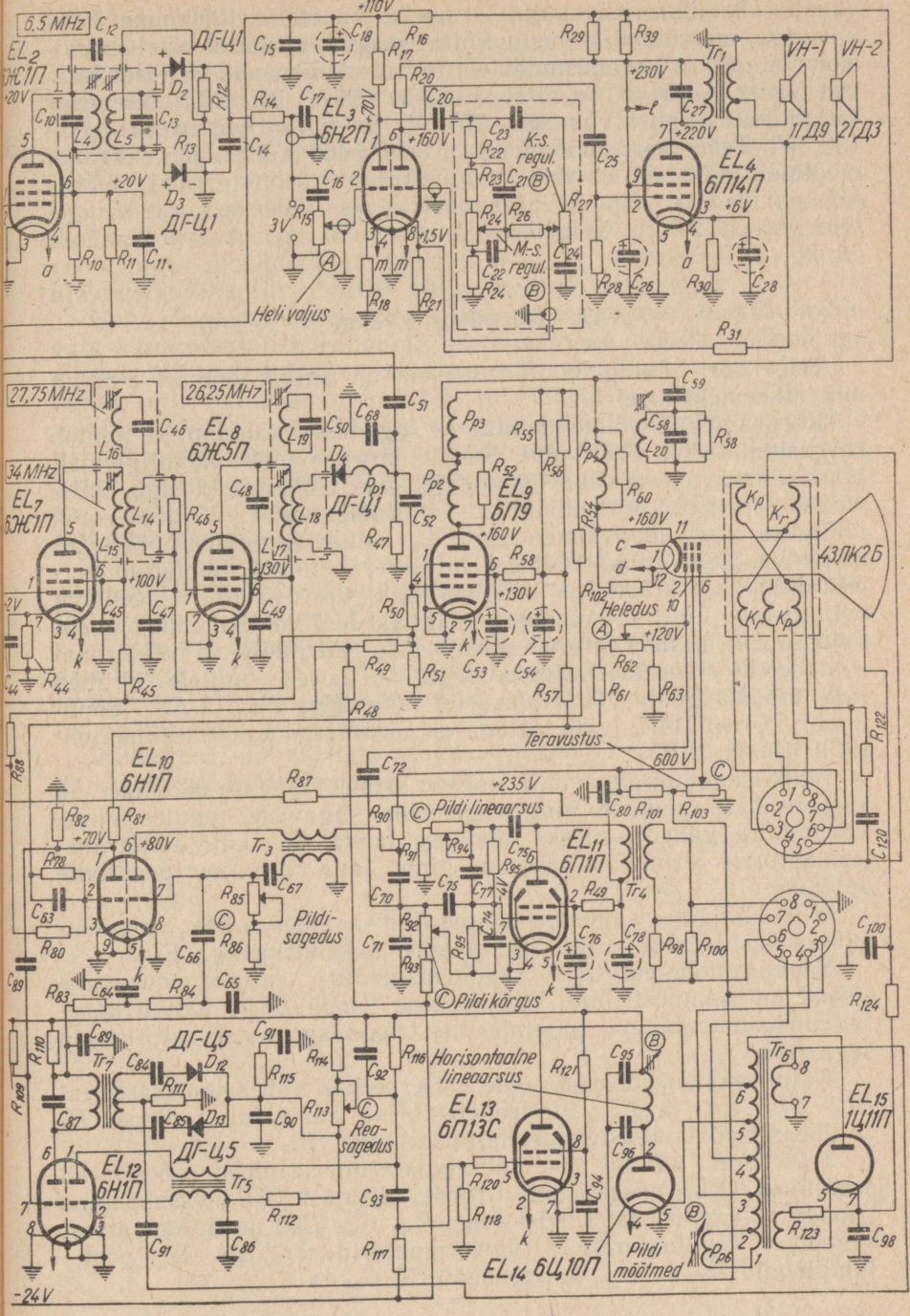
Nõukogude Liidus on projektsioonivastuvõtjaist kasutusel tüüp «Moskva».

Televiisor «Moskva». Televiisor «Moskva» on määratud suuremale grupile vaatajatele. Ta omab peegelreflektori ja projektsioonitoru 6ЛК1Б. Projektsioonitoru ekraan on eriti hele tänu 25-kV kiirenduspingele. Projektsioonitoru omab metallitatud ekraani.

Televiisoris on 31 elektronlampi ja 12 pooljuhtdioodi. Superheterodüünlülitusès vastuvõtja töötab kandesageduste tuikemeetodil, s. o. kujutise ja heli vahesagedust võimendatakse ühises



Joon. 8-84. Televiisori


6,5 MHz
EL2
6Ж1П
ДГ-Ц1
EL3
6Н2П
+110V
+70V
+160V
+1,5V
3V
Heli valjus
K.-s. regul.
M.-s. regul.
EL4
6П14П
+230V
+220V
+6V
Tr1
VH-1
VH-2
1ГД9
2ГД3
27,75 MHz
26,25 MHz
34 MHz
EL7
6Ж1П
EL8
6Ж5П
EL9
6П9
+100V
+130V
+120V
Heledus
43ЛК2Б
Teravustus
600 V
EL10
6Н1П
+235 V
Pildi lineaarsus
EL11
6П1П
Tr3
Tr4
Pildi-sagedus
Pildi kõrgus
ДГ-Ц5
Tr7
Tr5
Tr6
Rea-sagedus
Horisontaalne lineaarsus
EL12
6Н1П
EL13
6П13С
EL14
6Ц10П
Pildi mõõtmed
EL15
1Ц11П
-24V

«Temp 3» skeem.

kanalis. Projitseeritud kujutise suurus on 500 × 1200 mm. Televiisoriga on võimalik vastu võtta saateid esimesel viiel televisioonikanalil ja sagedusmoduleeritud raadiolevisaateid. Pildi teravus horisontaalsihis on pildi keskosas 600 ... 500 rida. Televiisor tarbib toitevõrgust võimsust 275 W, raadiolevi vastuvõtu puhul 135 W. Televiisori mõõtmed on 560 × 460 × 820 mm, ekraani mõõtmed 1300 × 1060 × 30 mm. Ekraan tuleb riputada seinale nii, et ülaääre kaugus põrandast oleks 1900 mm ja kaugus televiisorist 2,5 m. Televiisori kaal on 70 kg, ekraani kaal — 30 kg.

8-11. Televiisor «Temp 3»

Televiisori «Temp 3» lülitusskeem on antud joonisel 8-84 ja lahterskeem joonisel 8-2.

Kõrgsageduse võimendamine ja sageduse muundamine toimub kõrgsagedusbloki ПТК abil. Sellele järgneb ühise kanaliga neljaastmeline vahesagedusvõimendaja koos viideodetektoriga, mille väljelt eraldatakse helisignaal viideosignaalist. Viideosignaal juhitakse viideolõppvõimendaja EL_9 kaudu kineskoobi 43ЛК2Б katoodile. Helisignaal juhitakse lülitisse, mille abil toimub ümberlülitamine ultralühilaine ringhäälingu vastuvõtult televisiooni helitaustale. Lülitist suundub helisignaal heli vahesagedusvõimendajasse EL_1, millele järgneb piiraja EL_2. Siit juhitakse helisignaal suhtedetektorisse kristalldioodidega D_1 ja D_2, millele järgneb kaks madalsagedus-võimendusastet lampidega EL_3 ja EL_4. Lõpplambi EL_4 (6П14П) väljetrafoga on ühendatud kaks valjuhääldajat 1ГД9 ja 2ГД3.

Madalsagedusvõimendaja teises astmes toimub madalate ja kõrgete helisageduste ning tagasiside sügavuse reguleerimine. Võrgumüra vähendamiseks võetakse lambi EL_3 küte toitetransformaatorist erimähise kaudu ning talle antakse positiivne potentsiaal.

Ultralühilaine sagedusmoduleeritud raadiosaadete vastuvõtmiseks kasutatakse eraldi sisendplokki kaksiktrioodiga EL_{2-1}.

Sagedusmoduleeritud raadiovastuvõtu kõrgsagedusastme sisend on sümmeetriline. Vasakpoolne triood EL_{2-1} töötab kõrgsagedusvõimendajana, parempoolne triood aga ostsillaatorina ja segustina.

Kujutisekanal koosneb peale ПТК neljast vahesagedusastmest EL_5, EL_6, EL_7 ja EL_8. Viideodetektorina kasutatakse dioodi D_4 ja üheastmelist viideovõimendajat lambiga EL_9.

Televiisori «Temp 3» sünkroniseerimisseadmed koosnevad eraldajast (EL_{10} vasakpoolne triood), piirajast (EL_{12} vasakpoolne triood), integreerivast filtrist (R_{83}, R_{84}, C_{64}, C_{65}) ja automaatsest sageduse regulaatorist (transformaatorid Tr_6 ja Tr_7, pooljuhtdioodid D_{12} ja D_{13}, kondensaatorid C_{84} ja C_{85}).

Sünkroniseerimisseadmeid on käsitletud eespool, seetõttu puudutame siin ainult reasageduse automaatset reguleerimist.

Reasageduse automaatse sünkroniseerimise puhul rakendatakse dioodidele D_{12} ja D_{13} reahälvitustransformaatori sekundaarmähisest selline pinge, et dioodid juhivad impulsi maksimaalväärtuse puhul. Samaaegselt juhitakse transformaatori Tr_6 erimähisest C_{91} kaudu reasagedusega hammaspinge dioodile D_{12} ja D_{13}. Sünkroniseerimisimpulsside ja hammaspinge toimel laetakse dioodide vooluringis kondensaatorid C_{84} ja C_{85}. Reasageduse vooluringis moodustavad takistus R_{115} ja mahtuvus C_{91} suure ajakonstandiga filtri, millel pinge muutub aeglaselt.

Selle pinge polaarsus (positiivne või negatiivne) oleneb saabuvate sünkroniseerimispinge ja hammaspinge faasist. Väljepinge võrdub nulliga, kui sünkroniseerimisimpulsid saabuvad ajavahemikul, mil hammaspinge läbib nullväärtuse. Pinge võib olla positiivne või negatiivne, kui sünkroniseerimisimpulsid saabuvad hammaspinge positiivse või negatiivse perioodi kestel. Positiivne pinge tõstab hammaspinge generaatori (blokeeriva generaatori) sagedust, kuna aga negatiivse polaarsusega pinge vähendab selle generaatori sagedust.

Pildi hälvitusgeneraatorina töötab kaksiktrioodi EL_{10} parempoolne osa ning reahälvitusgeneraatorina EL_{12} parempoolne osa. Väljeastmeks on lamp EL_{13} ja piirajaks EL_{14}.

Toitepinge alaldajana kasutatakse transformaatorit Tr_2 ühes dioodidega $D_5 \ldots D_{10}$. Anoodpinge saamiseks kasutatakse transformaatori Tr_2 ühte mähist, mille pinge kahekordistatakse vastava lülitusega.

Kineskoobi anoodpinge saadakse trafost Tr_5. Kõrgepinge alaldajaks kasutatakse lampi EL_{15} (1Ц11П).

IX PEATÜKK

TELEVISIOONI VASTUVÕTUANTENNID

9-1. Üldmõisted

Televisiooni vastuvõtuantennide tundmaõppimisel on vaja kõigepealt käsitleda ultralühilainete levimist ja toiteliine, mille abil antenn ühendatakse vastuvõtjaga.

On teada, et pikkade ja keskmiste raadiolainete vastuvõtul (näiteks ringhäälingu sagedusastmikus 150 ... 415 kHz ja 550 ... 1600 kHz) ei oma antenni mõõtmed ja tüüp erilist tähtsust. Televisioonitehnikas aga oleneb kujutise ja heli kvaliteetne vastuvõtt peamiselt küll vastuvõtja omadustest, kuid suurel määral ka vastuvõtuks kasutatava antenni tüübist, konstruktsioonist, sobitusest ja paigutusest. Antenni õige valikuga on võimalik vältida kujutises peegeldusmoonutusi ja teostada kaugvastuvõttu, mis juhusliku antenniga pole võimalik.

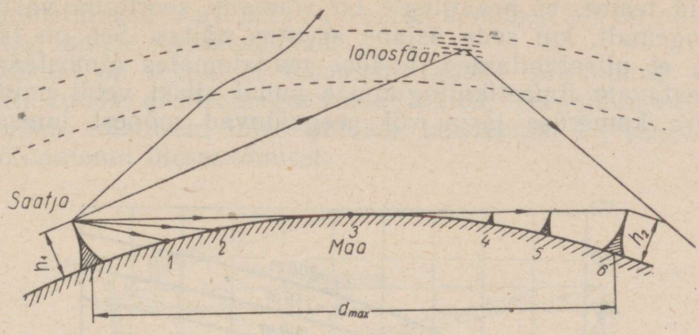
Televisioonileviks kasutatavad sagedusribad. Rahvusvaheliste konventsioonidega on eraldatud televisioonilevisaadeteks lisades 1 ja 2 näidatud sagedusribad. Sealt näeme, et televisioonilevisaateid teostatakse sagedusalas 48 kuni 890 MHz. Nimetatud sagedusala on jaotatud 83 sagedusribaks ehk televisioonikanaliks.

Käesoleval ajal kantakse NSV Liidus televisioonisaateid üle sagedusalas 48 kuni 230 MHz. See sagedusala on jaotatud 12 televisioonikanaliks, millede sagedusribade laius on igaühel 8 MHz.

Sagedusriba 66 ... 73 MHz on määratud kohalike ringhäälingusaadete kõrgekvaliteediliseks leviks sagedusmoduleeritud saatjate kaudu.

Praegu kasutavad esimest kanalit näiteks Leningradi, teist kanalit Tallinna ja Kiievi ning kolmandat Riia ja Harkovi televisioonisaatjad. Kohtla-Järvel töötav televisioonisaatja teostab saateid 11 kanalil. Tartus alustatakse saateid 8 kanalil.

Televisioonivastuvõtjates kasutatakse nii kujutise kui ka heli vastuvõtuks ühist antenni. Seepärast peavad nimetatud antennid



Joon. 9-1. Ultralühilainete levimine.

võimaldama vastuvõttu 8-megahertsises sagedusribas ilma tunduva sageduskarakteristiku muutumiseta.

Ultralühilaine levimine. Raadiolainete levimise kohta on üldiselt teada, et mida lühem on laine, seda rohkem sarnanevad tema füüsikalised omadused (levimine, peegeldumine, murdumine jne.) valguslainete omadustele.

Samuti on raadiotehnikast teada, et kandelaine (saatja poolt kiiratava sageduse) ja moduleeriva signaali sageduse (televisioonisignaali sageduse) vahel kehtib seos: kõrgema moduleeriva signaalisageduse puhul on vajalik ka suurem kandelaine sagedus. Seepärast on televisiooni madalamaks kanalisageduseks 48,5 MHz (1. televisioonikanal). Sellised raadiolained levivad sirgjooneliselt, nagu joonisel 9-1 on näidatud. Kuna meeter- ja detsimeeterlained võivad peegelduda mõnelt kehalt ja erakordsetel juhtudel ka ioniseeritud kihilt, siis on nende levimine võimalik tuhandete kilomeetrite kaugusele.

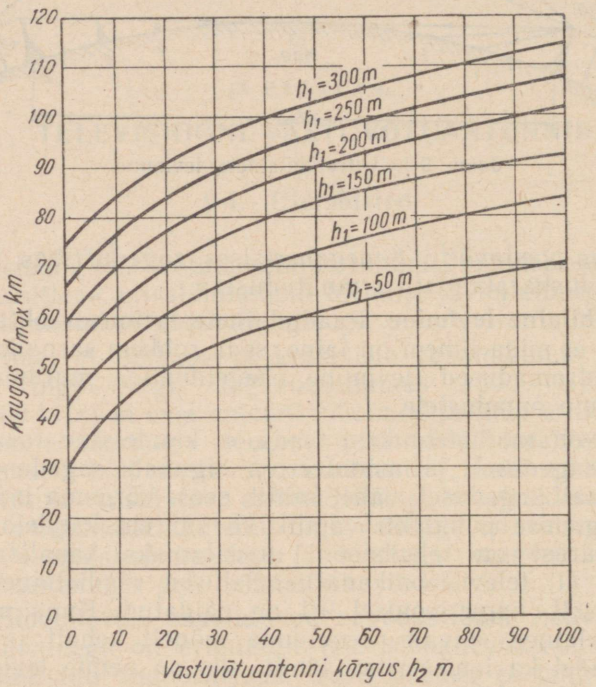
Vaatleme ultralühilaine levimist saatja antennist, kui viimane asub maapinnast kõrgusel h_1 (joon. 9-1) ja vastuvõtuantennid asuvad punktides *1*, *2*, *3*, *4*, *5* ja *6*. Punktides *1*, *2* ja *3* toimub vastuvõtt ilma vastuvõtuantenni tõstmata kõrgemale Maa tasapinnast (merepinnast).

Kuid tingituna ultralühilaine sirgjoonelisest levimisest on punktides *4*, *5* ja *6*, mis asuvad maakera kumeruse taga, vaja vastuvõtuantenn tõsta teatud kõrgusele, et signaali oleks võimalik vastu võtta. Suurim kaugus (d_{max}), kus ultralühilainet antud kõrguste puhul saab veel vastu võtta, on arvutatav valemiga:

$$d_{max} = 4{,}3(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \text{ km}, \qquad (9\text{-}1)$$

kus h_1 — saateantenni kõrgus m;
h_2 — vastuvõtuantenni kõrgus m.

Kuid teame, et praktiliselt on võimalik sooritada vastuvõttu ka kaugemalt, kui seda äsjane arvutus näitas. See on tingitud sellest, et ultralühilained, levides madalamates atmosfäärikihtides, teatavate ilmastikutingimuste puhul siiski veidi painduvad maakera kumeruse järgi või peegelduvad mõnest ioniseeritud kihist.



Joon. 9-2. Televisioonisignaali vastuvõtu kauguse sõltuvus saate- ja vastuvõtuantennide kõrgustest.

Joonisel 9-2 on antud kõverad, mille abil on võimalik määrata kaugust d_{max} sõltuvalt saate- ja vastuvõtuantennide kõrgustest. Andmed on saadud valemi (9-1) põhjal.

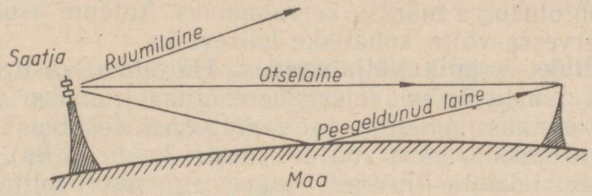
Saatja antennist kiirgav energia võib jõuda vastuvõtuantennini peamiselt kahel viisil: vahetult või peegeldumise teel.

Saatja antennist kiirgavat elektromagnetilist lainet, mis vahetult jõuab vastuvõtuantennini, nimetatakse otselaineks. Lainet aga, mis peegeldub maapinnalt (või mõnelt esemelt) ning, muutnud oma faasi ja suunda, jõuab vastuvõtuantenni, nimetatakse peegeldunud laineks.

Peale selle kiirgab saatja antenn lainet, mis levib sirgjooneliselt, läbib Maa atmosfääri ja suundub maailmaruumi. Seda

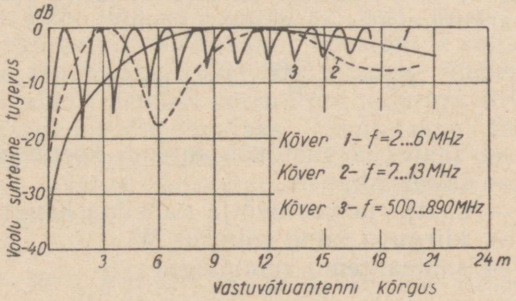
lainet nimetatakse r u u m i l a i n e k s. Joonisel 9-3 on näidatud nimetatud lainete levimissuunad.

Füüsikast on teada, et lühemate lainete piirkonnas annab end eriti tunda elektromagnetiliste lainete peegeldumine, mistõttu sellele nähtusele tuleb pöörata tähelepanu ka televisiooni vastuvõtuantenni ülesseadmisel.



Joon. 9-3. Otselaine, peegeldunud laine ja ruumilaine.

Jooniselt 9-3 näeme, et peegeldunud laine levimisteekond vastuvõtuantennini on pikem kui otselaine teekond. Seetõttu võib juhtuda, et otse- ja peegeldunud lainete faasid vastuvõtuantennis enam ei ühti ja vastuvõtt osutub sel juhul nõrgemaks. Paigutanud aga vastuvõtuantenni kõrgemale nii, et otse- ja peegeldunud



Joon. 9-4. Vastuvõtuantennis indutseeritud voolu suhtelise tugevuse sõltuvus antenni kõrgusest.

lained on faasis, osutub vastuvõtt tugevamaks. Kui paigutame vastuvõtuantenni veelgi kõrgemale, siis jällegi pole otse- ja peegeldunud lained enam faasis ning antennis indutseeritav vool nõrgeneb. Kui aga paigutame antenni veel kõrgemale, võime saavutada antennis jällegi maksimaalse tugevusega voolu. Neid voolu maksimaalseid väärtusi antennis nimetatakse esimeseks maksimumiks, teiseks maksimumiks jne. Nimetatud maksimumid esinevad siis, kui vastuvõtuantenn asub kohas, kus otse- ja peegeldunud lained on faasis.

Joonisel 9-4 on toodud vastuvõtuantennis indutseeritud voolu suhteline tugevus, võrreldunа esimese maksimumiga, sõltuvalt antenni kõrgusest meetrites.

Sellelt jooniselt näeme, et mida kõrgem on sagedus (kõver *3*), seda sagedamini voolu maksimumid esinevad.

Kui vastuvõtuantenni läheduses asub suuri objekte (mitmekorruselisi hooneid vms.), võib esineda mitu peegeldunud lainet. See muudab olukorra märksa keerukamaks. Antenni asukoha valikul tuleb arvesse võtta kohalikke häirevälju.

Vastuvõtuks vajalik väljatugevus. Häireteta vastuvõtuks on vajalik, et vastuvõetav televisioonisignaal omaks väljatugevuse, mis ületaks kohaliku ja vastuvõtjas tekkiva häirevälja. Väljatugevust mõõdetakse voltides meetri kohta (V/m) või millivoltides meetri kohta (mV/m), sageli aga mikrovoltides meetri kohta (μV/m). Elektromagnetilise välja puhul mõõdetakse ainult elektrivälja tugevust efektiivühikutes.

Antennis indutseeritav elektromotoorne jõud avaldub järgmiselt:

$$E_a = E_v h_{ef}, \tag{9-2}$$

kus E_a — signaali tugevus μV, mis juhitakse vastuvõtjasse,
h_{ef} — antenni efektiivne kõrgus,
E_v — väljatugevus μV/m.

Akadeemik V. A. Vvedenski on andnud ultralühilainete väljatugevuse E_v arvutamiseks järgmise valemi:

$$E_v = \frac{75\, h_1 h_2}{\lambda d^2} \sqrt{P_k D}\ \mu\text{V/m}, \tag{9-3}$$

kus h_1 ja h_2 — saate- ja vastuvõtuantenni kõrgused m,
λ — lainepikkus m,
d — saatja ja vastuvõtja vaheline kaugus km,
P_k — kiirguva laine võimsus W,
D — saateantenni suunategur.

Näide 9-1. Leida väljatugevus, kui saate- ja vastuvõtuantennide vahekaugus $d = 65$ km, lainepikkus $\lambda = 4{,}85$ m, kiirguva laine võimsus $P_k = 5000$ W ja $D = 1{,}63$;

$$E_v = \frac{70 \cdot 198 \cdot 16}{4{,}85 \cdot 65^2} \sqrt{5000 \cdot 1{,}64} = 980\ \frac{\mu\text{V}}{\text{m}}.$$

Teatavasti kantakse televisioonisaate helitaust üle sagedusmoduleerituna, mis tagab suure häirevabaduse. Seetõttu on helitausta rahuldavaks vastuvõtmiseks vajalik väljatugevus ühesugune niihästi maal kui ka linnades, kuigi viimastes alati on rohkem kohalikke häirevälju. Sagedusmoduleeritud helitausta rahuldavaks vastuvõtmiseks vajalik väljatugevus on toodud tabelis 9-1.

Tabel 9-1

f MHz	λ m	E_v μV/m
60	5	50
75	4	80
100	3	100

Kujutise vastuvõtmiseks vajalik väljatugevus sõltub eelkõige vastuvõtja omakahinast. Nimelt peab rahuldava vastuvõtu saavutamiseks televisioonisignaali pinge vastuvõtja sisendis ületama vastuvõtja endamüra pinge 20 ... 50 korda. Endamüra on põhiliselt tingitud fluktuatsioonist vastuvõtja sisendtakistuses ja haavelefektist esimese võimendusastme lambis.

Kui vastuvõtja sisendtakistus on 75 Ω, tekib selles fluktuatsioonist tingitud müra, mille pinge ruutkeskmine väärtus valemi (8-8) järgi

$$U_s = 2\sqrt{kTR\Delta f} = 1{,}28 \cdot 10^{-4}\sqrt{R\Delta f} = 1{,}28 \cdot 10^{-4}\sqrt{75 \cdot 6{,}0 \cdot 10^6} =$$

$$= 2{,}71 \ \mu V.$$

Siin tegur $1{,}28 \cdot 10^{-4}$ on saadud sel teel, et avaldisse $2\sqrt{kT}$ on asetatud väärtused: Boltzmanni konstant $k = 1{,}37 \cdot 10^{-23}$ J/°C ja absoluutne temperatuur $T = 300°$ K, ning ümberarvutamiseks μV-dele on saadud tulemust korrutatud teguriga 10^6.

Kui kõrgsagedusvõimendajaks kasutatakse televisioonipentoodi 6Ж4, mille müratakistus $R_e = 720$ Ω, siis on esimeses võimendusastmes tekkiva mürapinge ruutkeskmine väärtus, taandatuna lambi võrele:

$$U_l = 1{,}28 \cdot 10^{-4}\sqrt{R\Delta f} = 1{,}28 \cdot 10^{-4}\sqrt{720 \cdot 6{,}0 \cdot 10^6} = 9{,}92 \ \mu V.$$

Mürapingete väärtuste korrapäratu iseloomu tõttu liituvad nende ruutkeskmised väärtused geomeetriliselt, mistõttu kogu mürapinge

$$U_k = \sqrt{U_s^2 + U_l^2} = \sqrt{2{,}71^2 + 9{,}92^2} = 10{,}24 \ \mu V.$$

Vajalik televisioonisignaali pinge kõrgsagedusvõimendaja võrel on seega

$$U_{sis} = 50U_k = 50 \cdot 10{,}24 = 512 \ \mu V.$$

Leiame selle pinge tekitamiseks vajaliku väljatugevuse. Vas-

tuvõtja sisendtakistusel R_{sis} tekkiv pinge, arvestamata kadusid toiteliinis (vt. joon. 9-21):

$$U_{sis} = E_a \frac{R_{sis}}{R_k + R_{sis}}, \qquad (9\text{-}4)$$

kus R_k on antenni kiirgustakistus.

Kui asendada valemis (9-4) $E_a = E_v h_{ef}$, saamegi avaldada vajaliku väljatugevuse

$$E_v = U_{sis} \frac{R_k + R_{sis}}{R_{sis} \cdot h_{ef}}. \qquad (9\text{-}5)$$

Seega kui vastuvõtuantenniks kasutatakse saatjale suunatud poollainedipooli ($h_{ef} = \lambda/\pi$; $R_k = 73{,}2\ \Omega$); on näiteks lainepikkusel $\lambda = 4{,}85$ m vastuvõtuks vajalik väljatugevus

$$E_v = U_{sis} \frac{R_k + R_{sis}}{R_{sis}} \cdot \frac{\pi}{\lambda} = 512 \frac{73{,}2 + 75}{75} \cdot \frac{\pi}{4{,}85} = 654\ \mu\text{V/m}.$$

Mürade mõju täpsemal käsitlemisel tuleb arvestada, et mürapinge juhuslikud tipud ületavad valemiga (8-8) arvutatava ruutkeskmise väärtuse 3 ... 4-kordselt.

Kohalike häireväljade olemasolu puhul peab televisioonisignaal vastuvõtja sisendis ületama peale vastuvõtja endamüra ka häirepinge, mistõttu rahuldavaks vastuvõtuks vajalik väljatugevus võib osutuda palju suuremaks.

Võrdluseks olgu mainitud, et kvaliteetseks ringhäälinguvastuvõtuks kesklaineil loetakse vajalikuks väljatugevuseks linna töötusrajoonides 10 ... 50 mV/m, elamurajoonides 2 ... 10 mV/m, maal aga, kus häired praktiliselt puuduvad, on vajalik väljatugevus 100 μV/m.

Joonisel 9-5 on antud televisioonisaatjate väljatugevuse kaart.

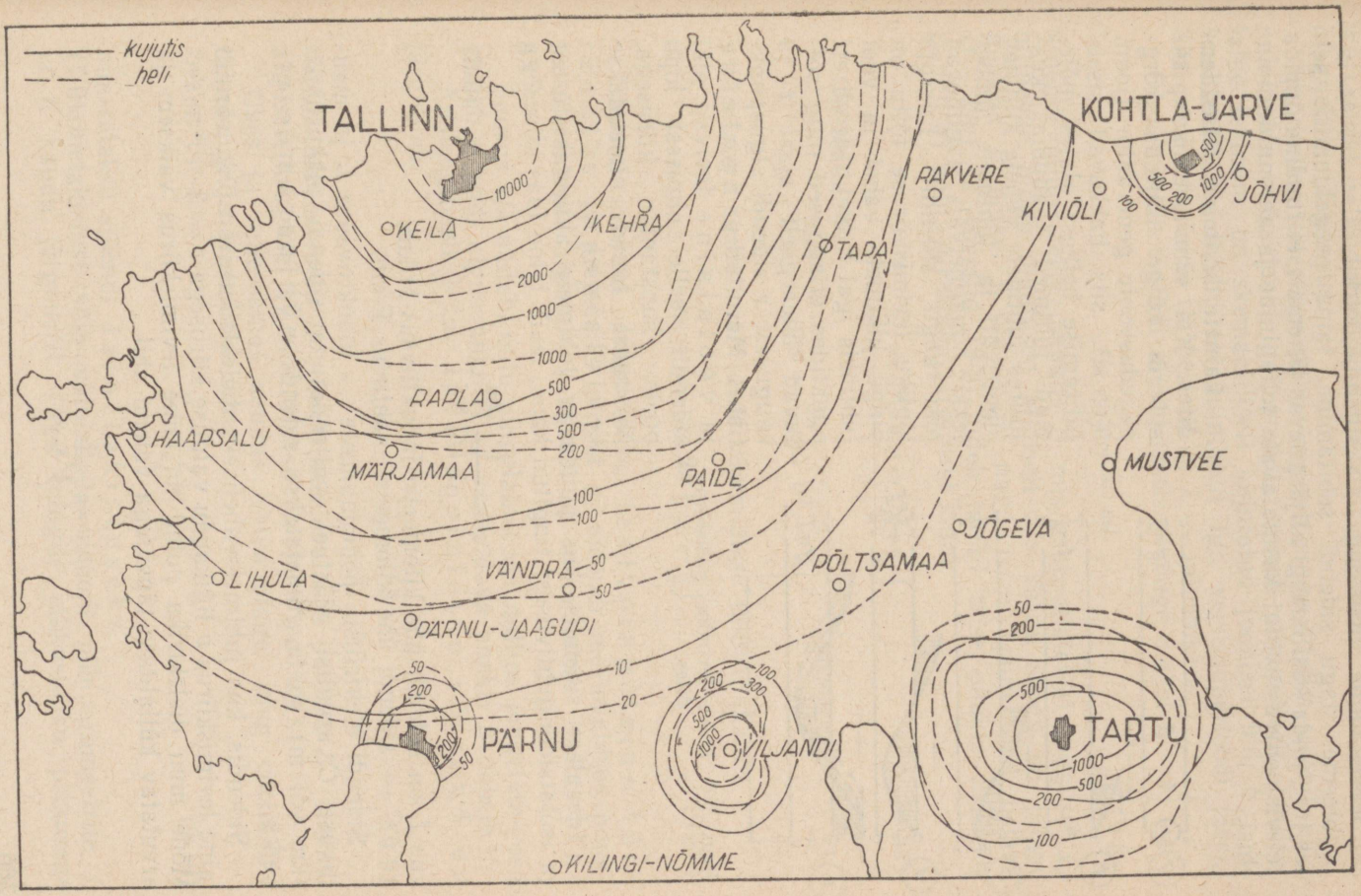
9-2. Lainete levimine sidendites

Televisioonivastuvõtul ei asu antenn tavaliselt vastuvõtja vahetus läheduses. Antenni ühendamiseks vastuvõtjaga kasutatakse harilikult kahejuhtmelist liini, nn. t o i t e l i i n i.

Kuna televisioonis kasutatakse ultralühilaineid pikkusega 0,33 ... 5 m, siis on antenni toiteliin tavaliselt mitu korda pikem kui selles leviv laine.

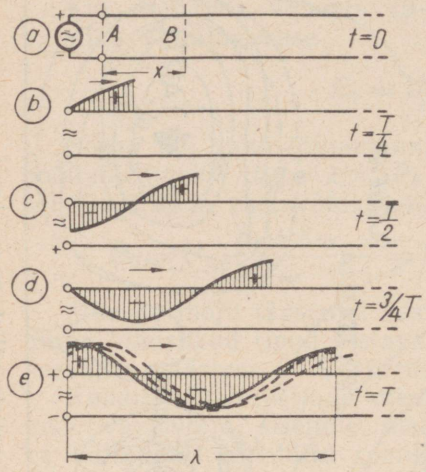
Liini juhtmetest moodustuvat vooluringi osa, mis asetseb liini alg- ja lõppklemmide vahel, nimetatakse s i d e n d i k s[1]. Taolisi sidendeid, mis on pikemad kui neis leviv laine või millede pikkus moodustab tunduva osa leviva laine pikkusest, nimetatakse p i k k s i d e n d i t e k s.

[1] Täiendavat materjali sidenditest on toodud teoses A. Isotamm. Raadioamatööri käsiraamat. Eesti Riiklik Kirjastus, 1958, lk. 40—62.



Joon. 9-5. Eesti NSV televisioonisaatjate väljatugevuse kaart.

Seoses laine levimisega pikksidendis kerkib üles terve rida probleeme, nagu sidendi sobitamine, laine peegeldumine selles jne., mida käsitlemegi alljärgnevas lähemalt, et tundma õppida televisioonivastuvõtul kasutatavate toiteliinide ja antennide omadusi.



Joon. 9-6. Laine levimine pikksidendites.

Lainete levimine pikksidendites. Kui sümmeetrilise pikksidendi külge lülitada kõrgsagedusvoolu generaator (joon. 9-6, *a*), siis hakkavad sisselülitamise hetkest alates mõlemad juhtmed laaduma, kusjuures juhtmete vahele kujunev elektriväli ja juhtmete ümber tekkiv magnetväli jagunevad piki kogu sidendit. Energia lõpliku levimiskiiruse tõttu on pinge juhtmete vahel ja vool juhtmeis igal hetkel sidendi eri punktides erisugused ning sõltuvad üheaegselt ajast t ja kaugusest x sidendi alguspunktist A. Mainitud pingelaine ja voolulaine levivad piki sidendit, selle algusest lõpu poole, konstantse kiirusega. Niisugust lainet nimetatakse levivlaineks.

Ideaalses sidendis, kus puuduvad juhtmete aktiivtakistusest ja isolatsioonijuhtivusest tingitud kaod, levib laine faas kiirusega

$$v = \frac{1}{\sqrt{LC}} \frac{\text{km}}{\text{sec}}, \qquad (9\text{-}6)$$

kus L on sidendi ühe kilomeetri induktiivsus H/km,
C — sidendi ühe kilomeetri mahtuvus F/km.

Sidendi elektriliste põhiomaduste — induktiivsuse L ja mahtuvuse C arvulisi väärtusi, väljendatuna sidendi pikkusühiku (km või m) kohta, nimetatakse sidendi põhiparameetriteks.

Sidendis, kus juhtmetevaheliseks dielektrikuks on õhk, võrdub laine levimiskiirus v ligikaudu valguse kiirusega $c = 3 \cdot 10^8$ m/sec. Mõne muu dielektriku puhul on laine levimiskiirus väiksem ja arvutatav küllaldase täpsusega valemi abil

$$v = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon_r \mu_r}}, \qquad (9\text{-}7)$$

kus ε_r ja μ_r on sidendi dielektriku suhteline dielektriline ja magnetiline läbitavus.

Siinuselise toitepinge puhul muutub pinge ülipika sidendi ehk nn. lõputu pikksidendi igas punktis samuti siinuseliselt. Sellise laine levimine on skemaatiliselt kujutatud joonisel 9-6, *b* ... *e*, kus levivlaine faasid on kujutatud iga veerandperioodi järel. Siin on T levivlaine täisperiood ja λ — lainepikkus.

Olgu näiteks sidendi alguspunktis A pinge hetkel t

$$u_a = U_m \sin \omega t. \tag{9-8}$$

Sidendi mingis teises punktis B, mis asub esimesest kaugusel x, hilinevad pinge muutused ajaliselt x/v võrra, seega on pinge punktis B hetkel t niisugune, nagu ta oli punktis A hetkel $(t - x/v)$ ja võrrand (9-8) tuleb mingi teise punkti (näiteks punkti *b*) kohta kirjutada järgmisel kujul:

$$u_x = U_m \sin \omega \left(t - \frac{x}{v}\right). \tag{9-8a}$$

On teada, et

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \text{ ja } vT = \lambda.$$

Asetanud saadud väärtused võrrandisse (9-8a), saame:

$$u_x = U_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right). \tag{9-8b}$$

Saadud avaldist nimetatakse levivpingelaine võrrandiks ja pingelaine pinget u_x sidendi meelevaldses punktis B (sidendi algusest kaugusel x) nimetatakse lainepingeks.

Suurus x/λ näitab, mitu pingelainet või milline pingelaine osa mahub sidendi alguspunkti A ja vaadeldava punkti B vahele.

Analoogiliselt leitav levivvoolulaine võrrand on järgmine:

$$i_x = I_m \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right). \tag{9-9}$$

Voolulaine voolu i_x sidendi meelevaldses punktis B (sidendi algusest kaugusel x) nimetatakse lainevooluks.

Ühes ja sellessamas suunas leviva pinge- ning voolulaine lainepinge ja lainevoolu suhet

$$Z = \frac{u_x}{i_x} = \frac{U_m}{I_m} \tag{9-10}$$

nimetatakse sidendi lainetakistuseks.

Lainetakistust võib väljendada sidendi põhiparameetrite L ja C kaudu järgmiselt. Olgu mingile pikkusühiku pikkusega

sidendi lõigule, mille mahtuvus on C, rakendatud pinge U_m; siis on tema ümber kujunenud elektrivälja energia

$$A_C = \frac{CU_m^2}{2}. \tag{9-11}$$

Omagu sama sidendilõik induktiivsust L ja läbigu teda vool I_m. Magnetvälja energia sellises sidendilõigus on siis

$$A_L = \frac{LI_m^2}{2}. \tag{9-12}$$

Kuna kõrgetel sagedustel sidendi aktiivtakistusest ja isolatsioonijuhtivusest tingitud energiakadu on väike, võib lugeda elektrivälja ja magnetvälja energiat omavahel võrdseteks:

$$\frac{CU_m^2}{2} = \frac{LI_m^2}{2}, \tag{9-13}$$

millest

$$\frac{U_m^2}{I_m^2} = \frac{L}{C} \text{ ehk } Z^2 = \frac{L}{C} \text{ ja } Z = \sqrt{\frac{L}{C}}, \tag{9-14}$$

kus C on sidendi mahtuvus pikkusühiku kohta,

L — sidendi induktiivsus pikkusühiku kohta.

Nagu selgub, sõltub sidendi lainetakistus ainult tema põhiparameetritest, ei sõltu aga sidendi pikkusest, ja on seega suurus, mis iseloomustab mitte mingit teatud sidendit, vaid ühe- või teistsuguse ehitusega sidendit üldse, sõltumata selle pikkusest.

Näide 9-2. Arvutada sidendi lainetakistus, kui $C = 6$ pF/m ja $L = 2$ µH/m.

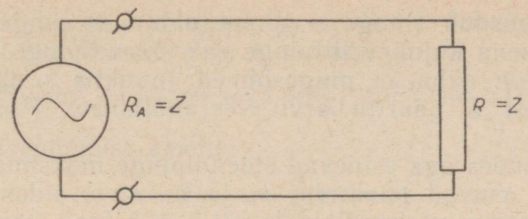
$$Z = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-6}}{6 \cdot 10^{-12}}} = 575\ \Omega.$$

Pinge ja voolu suhet sidendi alguses (sisendklemmidel) nimetatakse sidendi s i s e n d t a k i s t u s e k s R_A. See on takistus, mis saadakse, kui mõõta takistust sidendi sisendklemmide vahel. See takistus juba sõltub ka sidendi pikkusest.

Lõputu pikksidendi sisendtakistus võrdub tema lainetakistusega. Lõpliku pikkusega sidendi sisendtakistus aga sõltub lõppu (väljeklemmidega) ühendatud koormuse takistusest. Kui aga lõpliku pikkusega sidend on koormatud aktiivtakistusega R, mis võrdub sidendi lainetakistusega Z (joon. 9-7), siis on ka lõpliku pikkusega sidendi sisendtakistus võrdne tema lainetakistusega:

$$R_A = Z.$$

Niisugust olukorda nimetatakse s o b i t a t u d seisundiks ja selle saavutamist — sidendi s o b i t a m i s e k s.

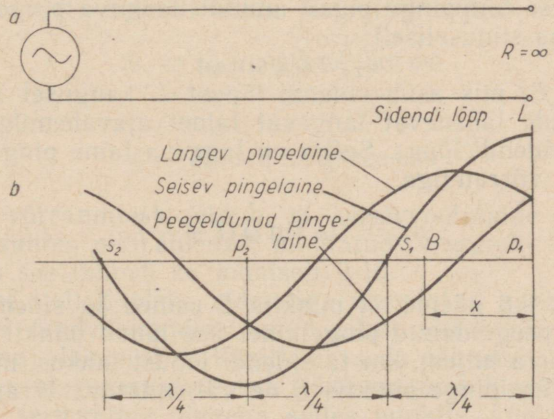


Joon. 9-7. Sobitatud sidendi skeem.

Sidend seisevlainega. Kui piki sidendit levivad lained — nn. l a n g e v v o o l u - ja p i n g e l a i n e — jõuavad sidendi koormamata lõppu (joon. 9-8), peab seal vool muutuma võrdseks nulliga, mis on võimalik vaid seetõttu, et langeva voolulaine jõudmisel sidendi lõppu tekib seal temaga väärtuselt võrdne, kuid märgilt vastupidine peegeldunud voolulaine, mis hakkab levima tagasi sidendi alguse poole. Koos voolu kadumisega kaob ka sidendi lõpus juhtmeid ümbritsenud magnetväli. Kaduva magnetvälja energia muundub elektrivälja energiaks. Elektrivälja tugevnemine sidendi lõpus põhjustab seal pinge tõusu. See omakorda kutsub esile sidendi lõpust tagasi alguse poole leviva peegeldunud pingelaine.

Seda nähtust nimetatakse laine p e e g e l d u m i s e k s.

Koormamata ehk v a l l a l i oleva sidendi lõpust tagasi peegeldunud pingelaine omab sama märki ja väärtust nagu langev pingelaine (joon. 9-8, *b*). Langeva ja peegeldunud pingelaine liitumisel tekivad sidendis nn. pingesõlmed ja pingepaisud. Pin-

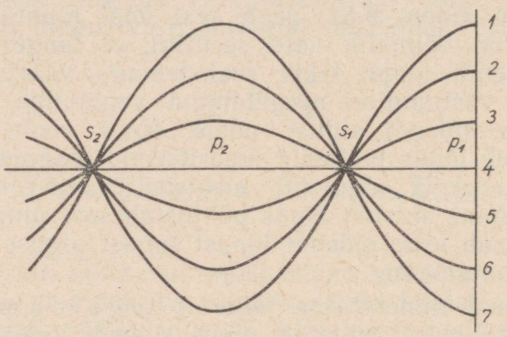


Joon. 9-8. Pingelaine peegeldumine vallalioleva sidendi lõpust.

gesõlmedes võrdub (langeva ja peegeldunud) pingelainete liitumise tulemusena kujunev liitpinge ehk sidendipinge nulliga. Joonisel 9-8, *b* on näha, et pingesõlmed (punktis s_1 ja s_2) asuvad sidendi lõpust L paaritu arvu veerandlainete ($^1/_4\lambda$, $^3/_4\lambda$ jne.) kaugusel.

Pingepaisudes aga esinevad sidendipinge maksimaalväärtused. Pingepaisud asuvad punktides p_1 ja p_2, s. o. sidendi lõpus või sellest paarisarvu veerandlainete ($^2/_4\lambda$, $^4/_4\lambda$ jne.) kaugusel.

Sidendipinge maksimaalväärtus ajaliselt muutub, kuid paisude asukoht piki sidendit ei muutu, vaid jääb alati punktidesse p_1 ja p_2. Samuti jäävad ka pingesõlmed paigale — punktidesse s_1 ja s_2, nagu on näidatud joonisel 9-9.



Joon. 9-9. Seisevpingelaine.

Et siin laine pingesõlmed ja -paisud paigal püsivad, siis nimetatakse sellist lainet s e i s e v l a i n e k s.

Siinuselise toitepinge puhul muutub langeva pingelaine pinge sidendi lõpus siinuseliselt:

$$u_1 = U_m \sin \omega t. \qquad (9\text{-}15)$$

Punktis B, mis asub sidendi lõpust L kaugusel x, märkame sidendi lõpule lähenevat langevat lainet ajavahemiku x/v võrra varem kui sidendi lõpus. Seega on langeva laine pinge punktis B väljendatav võrrandiga

$$u_x' = U_m \sin \omega \left(t + \frac{x}{v}\right). \qquad (9\text{-}16)$$

Jooniselt 9-8 näeme, et punktis B esineb ka sidendi lõpust L tagasileviv peegeldunud pingelaine. See jõuab punkti B ajavahemiku x/v võrra hiljem, kui ta sidendi lõpust lahkus, mistõttu peegeldunud laine pinge punktis B on väljendatav võrrandiga

$$u_x'' = U_m \sin \omega \left(t - \frac{x}{v}\right). \qquad (9\text{-}16a)$$

Punktis B kujunev sidendipinge u_x võrdub langeva ja peegeldunud pingelaine lainepingete summaga:

$$u_x = u_x' + u_x'' = U_m \sin \omega \left(t + \frac{x}{v}\right) + U_m \sin \omega \left(t - \frac{x}{v}\right).$$

Pärast teisendamist saame:

$$u_x = 2U_m \cos \frac{\omega}{v} x \sin \omega t. \qquad (9\text{-}16b)$$

Saadud seost nimetatakse vallali oleva sidendi seisevpingelaine võrrandiks.

Analoogiliselt on tuletatav, et voolu i_x sidendi lõpust L kaugusel x saab väljendada langeva ja peegeldunud voolulaine lainevoolude summana:

$$i_x = i_x' + i_x'' = I_m \sin \omega \left(t + \frac{x}{v}\right) = I_m \sin \omega \left(t - \frac{x}{v}\right), \qquad (9\text{-}17)$$

sest peegeldunud voolulaine on langevale voolulainele märgilt vastupidine.

Pärast teisendamist saame:

$$i_x = 2I_m \sin \frac{\omega}{v} x \cos \omega t. \qquad (9\text{-}17a)$$

Saadud seost nimetatakse vallali oleva sidendi seisevvoolulaine võrrandiks.

Kuna

$$\frac{\omega}{v} = \frac{2\pi f}{v} = \frac{2\pi}{\lambda}$$

ning tähistanud sidendivoolu ja -pinge maksimaalväärtused

$$2I_m = I_{ms} \quad \text{ning} \quad 2U_m = U_{ms},$$

saame sidendipinget ja -voolu väljendavad seisevlaine võrrandid ideaalse, kadudeta sidendi kohta järgmisel kujul:

$$u_x = U_{ms} \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} \sin \omega t$$

ja

$$i_x = I_{ms} \sin 2\pi \frac{x}{\lambda} \cos \omega t.$$

Saadud võrranditest selgub, et seisevvoolulaine on seisevpingelaine suhtes piki sidendit nihutatud veerandi lainepikkuse võrra, nagu see ilmneb ka jooniselt 9-10.

Niisuguse vallali oleva sidendiga ühendatud generaator tekitab sidendis sundvõnkumisi. Antud juhul sõltub sidendi sisendtakistus tema pikkusest l. Käsitleme seda lähemalt.

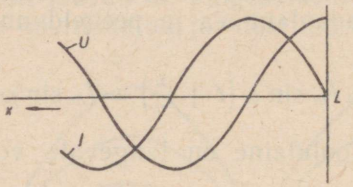
On ilmne, et generaator peab tekitama oma klemmidel pinge, mis võrdub seisevlaine pingega selles punktis, kuhu generaator on ühendatud, sest generaatorist saadav pinge on alati võrdne pingelanguga välisvooluringis. Seega on generaatori klemmipinge

maksimaalväärtus U_{mg} võrdne sidendipinge maksimaalväärtusega sidendi alguses (lõpust kaugusel l):

$$U_{mg} = U_{ms} \cos 2\pi \frac{l}{\lambda}. \qquad (9\text{-}18)$$

Analoogiliselt saame, et generaatori koormusvoolu maksimaalväärtus I_{mg} peab võrduma sidendivoolu maksimaalväärtusega sidendi alguses:

$$I_{mg} = I_{ms} \sin 2\pi \frac{l}{\lambda}. \qquad (9\text{-}19)$$



Joon. 9-10. Faasinihe voolu- ja pingelaine vahel vallaliolevas sidendis.

Sidend pikkusega l omab seega reaktiivtakistusliku iseloomuga sisendtakistust

$$X_A = \frac{U_{mg}}{I_{mg}} = \frac{U_{ms}}{I_{ms}} \operatorname{ctg} 2\pi \frac{l}{\lambda} = \frac{2U_m}{2I_m} \operatorname{ctg} 2\pi \frac{l}{\lambda}. \qquad (9\text{-}20)$$

Kuna teatavasti $U_m/I_m = Z$, siis

$$X_A = Z \operatorname{ctg} 2\pi \frac{l}{\lambda}. \qquad (9\text{-}20a)$$

Vallali oleva sidendi sisendtakistuse muutus sõltuvalt sidendi pikkusest on kujutatud joonisel 9-11.

Jooniselt näeme, et teatud pikkuste puhul võrdub vallali oleva sidendi sisendtakistus nulliga. Sisendtakistuse esimene nullväärtus esineb siis, kui $l = \lambda/4$.

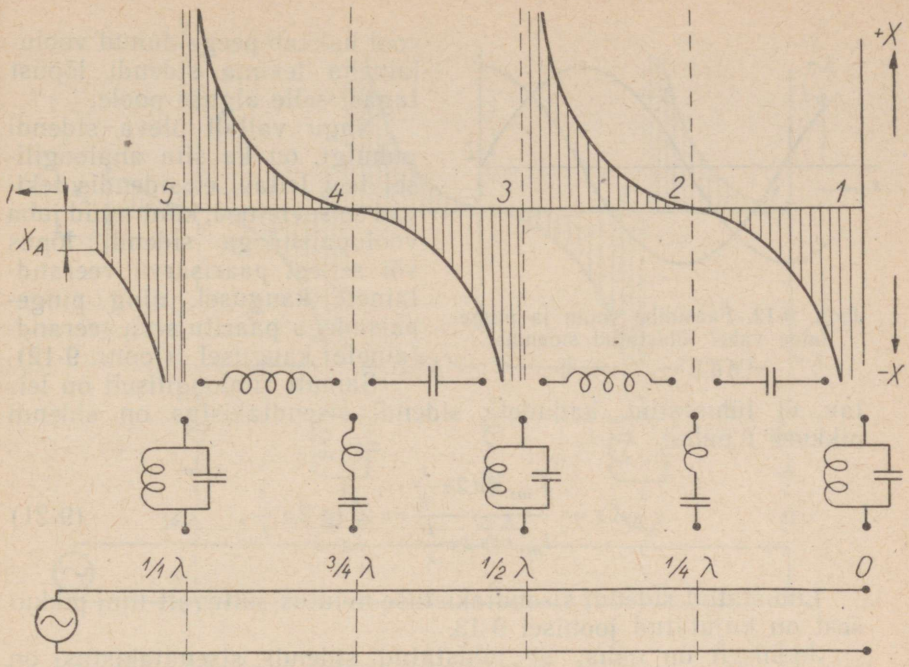
Tõepoolest

$$X_A = Z \operatorname{ctg} \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{4} = Z \operatorname{ctg} \frac{\pi}{2} = 0.$$

Üldjuhul võib öelda, et vallali oleva sidendi sisendtakistus võrdub nulliga, kui tema pikkus on paaritu arvu veerandlainete kordne (näit. $^1/_4\lambda$, $^3/_4\lambda$, $^5/_4\lambda$ jne.).

Kui vallali oleva sidendi pikkus on $^1/_2\lambda$, siis on sidendi sisendtakistus lõpmatult suur. Tõepoolest, kui $l = \lambda/2$, siis

$$X_A = Z \operatorname{ctg} \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{2} = Z \operatorname{ctg} \pi = \infty.$$



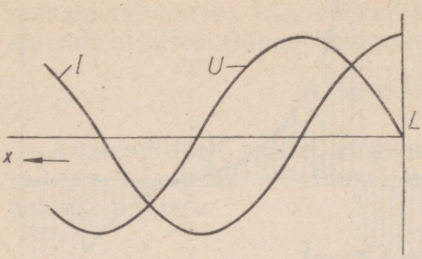
Joon. 9-11. Vallali oleva sidendi sisendtakistuse muutumine sõltuvalt sidendi pikkusest.

Üldjuhul võib öelda, et vallali oleva sidendi sisendtakistus on lõpmatult suur, kui tema pikkus on poollainete kordne (näit. $^1/_2\lambda$, $^2/_2\lambda$, $^3/_2\lambda$ jne.).

Samuti muutub koos sidendi pikkusega ka sisendtakistuse iseloom. Kui $^1/_4\lambda > l > 0$, siis on sisendtakistus mahtuvusliku iseloomuga. Kui $^1/_2\lambda > l > {}^1/_4\lambda$, siis on sisendtakistus induktiivse iseloomuga. Kuna punktides *1*, *3* ja *5* on sisendtakistus lõpmatult suur, on vastava pikkusega sidend võrreldav resonantsi häälestatud rööbitise võnkeringiga. Punktides *2* ja *4* on sisendtakistus võrdne nulliga ja niisuguse pikkusega sidend käitub resonantsi häälestatud järjestikuse võnkeringina.

Edasi käsitleme ideaalset, kadudeta sidendit, mis on lõpus lühistatud.

Kui piki sidendit leviv langev laine jõuab sidendi lühistatud lõppu, muutub seal pinge võrdseks nulliga. Pinge kadumine on võimalik seetõttu, et langeva pingelaine jõudes sidendi lõppu tekib seal temaga väärtuselt võrdne, kuid märgilt vastupidine peegeldunud pingelaine, mis hakkab levima tagasi sidendi alguse poole. Koos pinge kadumisega kaob ka sidendi lõpus juhtmete vahel esinenud elektriväli. Kaduva elektrivälja energia muundub magnetvälja energiaks. Magnetvälja tekkimine aga on tingitud voolu tugevnemisest. Sellega seoses tekkiv lisa-



Joon. 9-12. Faasinihe voolu ja pingelaine vahel lühistatud sidendis.

vool hakkab peegeldunud voolulainena levima sidendi lõpust tagasi selle alguse poole.

Nagu vallali oleva sidendi puhulgi, on ka siin analoogilisel teel leitav, et sidendis tekivad seisevlained, kuid nüüd juba voolupaisudega sidendi lõpus või sellest paarisarvu veerandlainete kaugusel, ning pingepaisudega paaritu arvu veerandlainete kaugusel (joon. 9-12).

Samuti analoogiliselt on leitav, et lühistatud, kadudeta sidendi sisendtakistus on sidendi pikkuse l puhul

$$X_A = \frac{U_{ms} \sin 2\pi \frac{l}{\lambda}}{I_{ms} \cos 2\pi \frac{l}{\lambda}} = Z \operatorname{tg} 2\pi \frac{l}{\lambda}. \qquad (9\text{-}21)$$

Lühistatud sidendi sisendtakistuse muutus sõltuvalt liini pikkusest on kujutatud joonisel 9-13.

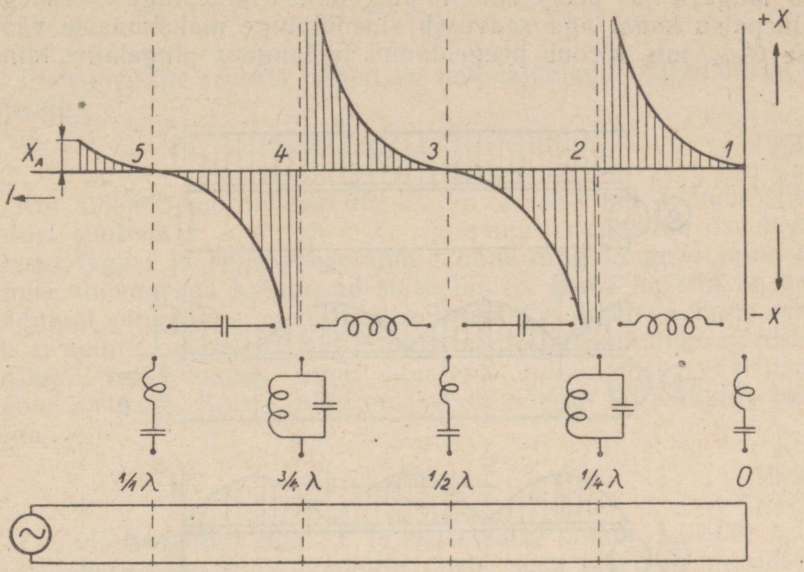
Jooniselt on näha, et lühistatud sidendi sisendtakistus on sidendi teatud pikkuse puhul lõpmatult suur. Kui näiteks $l = \lambda/4$, siis

$$X_A = Z \operatorname{tg} \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{4} = Z \operatorname{tg} \frac{\pi}{2} = \infty.$$

Üldjuhul võib öelda, et lühistatud sidendi sisendtakistus võrdub nulliga, kui tema pikkus on poollainete kordne ($^1/_2\lambda$, $^2/_2\lambda$, $^3/_2\lambda$ jne.), ja on lõpmatult suur, kui sidendi pikkus on paaritu arvu veerandlainete kordne ($^1/_4\lambda$, $^3/_4\lambda$, $^5/_4\lambda$ jne.). Seega on punktidele *1*, *3* ja *5* vastava pikkusega sidend samaväärne resonantsi häälestatud järjestikuse võnkeringiga. Punktidele *2*, *4* ja *6* vastava pikkusega sidend aga on samaväärne resonantsi häälestatud rööbitise võnkeringiga.

Samuti muutub sidendi pikkuse muutmisega tema sisendtakistus vaheldumisi induktiivseks ja mahtuvuslikuks, näiteks kui $0 < l < {}^1/_2\lambda$, siis on sisendtakistus induktiivne, kui aga $^1/_4\lambda < l < {}^1/_2\lambda$, siis mahtuvuslik, jne.

Kui sidend on lõpus s o b i t a t u d, s. t. koormatud aktiivtakistiga R, mille takistus võrdub sidendi lainetakistusega Z, siis piki sidendit leviv langev laine tema lõpust tagasi ei peegeldu, vaid neeldub jäägitult koormustakistis R. Sidendis mingeid seisevlaineid ei teki, ja sidendi igas punktis muutuvad pinge ning vool siinuseliselt nagu lõputu pikksidendi puhulgi. Niisugust seisundit, mil sidendis levib ainult laine, kandes generaatori energiat koormustakistisse, nimetatakse l e v i v l a i n e režiimiks. Näiteks



Joon. 9-13. Lühistatud sidendi sisendtakistuse muutumine sõltuvalt sidendi pikkusest.

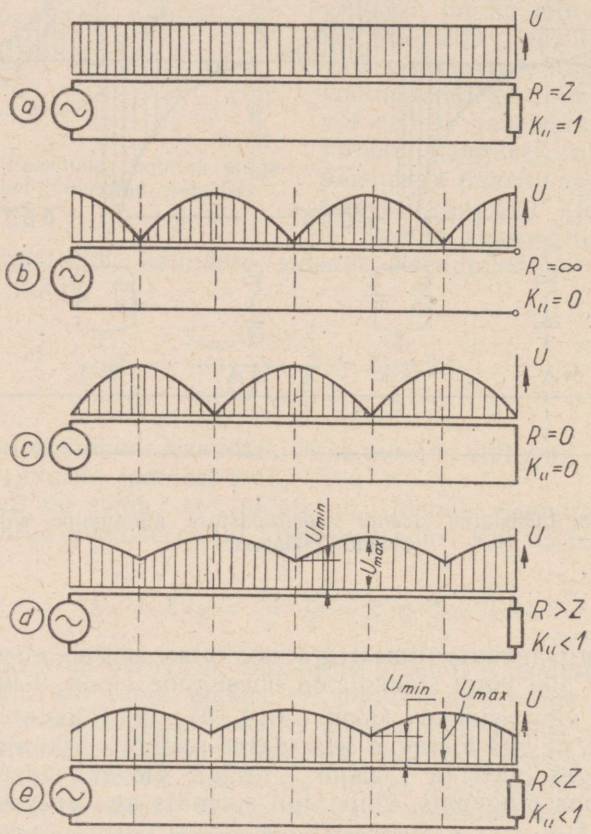
tavalise kõrgsagedusvoltmeetriga mõõtmisel selgub, et pinge efektiivväärtus piki kogu sidendit on ühesugune (joon. 9-14, *a*).

Vallali olev sidend (joon. 9-14, *b*) ja lühistatud sidend (joon. 9-14, *c*) aga töötavad seisevlaine režiimis. Piki sidendit esinevad pingesõlmed ja -paisud. Vallali olevas sidendis asub sidendi lõpus pingepais, lühistatud sidendis aga pingesõlm.

Kuna sõlmed ja paisud seisavad paigal, siis saadakse näiteks sidendipinge mõõtmisel tavalise kõrgsagedusvoltmeetriga paisude kohal voltmeetri maksimaalne hälve, sõlmede kohal aga osutab voltmeeter nulli (vrd. vastavalt jooniseid 9-14, *b* ja *c*).

Joonisel 9-14, *d* on kujutatud olukord, mil koormustakistus R on suurem kui lainetakistus Z, kuid ei ole siiski lõpmatult suur. Sellisel juhul on sidendi talitlusrežiim levivlaine ning seisevlaine seisundite vahepealne ja seda nimetatakse segarežiimiks. Siin kandub sidendi lõpus koormustakistisse ainult osa levivlaine energiast. Ülejäänud osa energiat peegeldub tagasi ja, liitudes langeva lainega, tekitab seisevlaine (vt. joon. 9-14). Kuna peegeldunud pingelaine amplituud on väiksem kui langeva laine amplituud, siis selles kohas, kus peab asuma pingesõlm, ei võrdu sidendipinge nulliga, vaid omab teatavat väärtust U_{min}, mis võr-

dub langeva ja peegeldunud pingelaine lainepingete vahega. Lainepaisu kohal aga saavutab sidendipinge maksimaalse väärtuse U_{max}, mis võrdub peegeldunud ja langeva pingelaine laine-



Joon. 9-14. Pinge jagunemine piki sidendit mitmesuguste talitlusseisundite puhul.

pingete summaga, kuid on ikkagi madalam kui kahekordne langeva laine pinge. Mida rohkem koormustakistus R läheneb lainetakistusele Z, seda rohkem sarnaneb sidendi seisund levivlaine seisundile ning seda väiksem on pingepaisu U_{max} ja pingesõlme U_{min} vahe.

Sidendi talitlusseisundi iseloomustamiseks kasutatakse levivlainetegurit K_u, mis väljendab sidendipinge minimaalse väärtuse U_{min} ja maksimaalse väärtuse U_{max} suhet:

$$K_U = \frac{U_{min}}{U_{max}}. \qquad (9\text{-}22)$$

Pikksidendite teooria põhjal on levivlainetegur väljendatav ka valemiga

$$K_U = \frac{Z}{R}. \qquad (9\text{-}23)$$

Kui sidendi koormustakistus R on väiksem kui Z, kuid siiski nullist suurem, s. o. $0 < R < Z$, siis samuti peegeldub osa levivlainest tagasi ja selle peegeldunud laine ning langeva laine liitumise tulemusena kujunevad seisevlained. Kuna ka siin on peegeldunud pingelaine amplituud väiksem kui langeva laine oma, siis ei muutu ka antud juhul pingesõlmedes sidendipinge võrdseks nulliga, vaid alaneb ainult teatava minimaalse väärtuseni (joon. 10-14, *e*). Antud juhul on levivlainetegur väljendatav valemiga

$$K_U = \frac{U_{min}}{U_{max}} = \frac{R}{Z}. \qquad (9\text{-}24)$$

Levivlaine puhul $K_U = 1$ ja seisevlaine puhul $K_U = 0$, s. t., mida lähedam on levivlainetegur ühele, seda lähedam on sidendi talitlusseisund levivlaine seisundile.

Pikksidendite iseloomustamiseks kasutatakse ka seisevlainetegurit K_{sl}, mis väljendub levivlaineteguri pöördväärtusena:

$$K_{sl} = \frac{U_{max}}{U_{min}}. \qquad (9\text{-}25)$$

Pingelainete kohta selgitatud seostega on analoogilised ka seosed langeva ja peegeldunud voolulainete ning neile vastavate lainevoolude vahel.

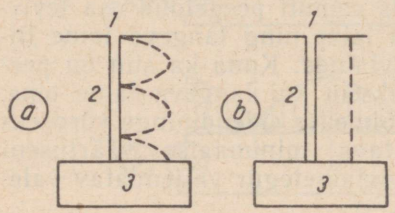
9-3. Toiteliinid

Joonisel 9-15 on kujutatud antenni *1* ja vastuvõtjat *3* ühendav toiteliin *2*. Samas on graafiliselt kujutatud pinge jagunemine piki sobitamata (*a*) ja sobitatud (*b*) liini.

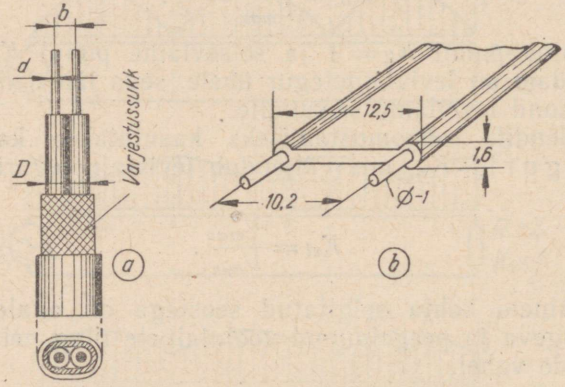
Liini sisendisse juhitud signaali võimsus väheneb pikkamööda piki liini, kusjuures sumbuvus suureneb võrdeliselt liini pikkusega. Kui näiteks 50 m pikkuse liini sumbuvus on 1 dB, siis 100 m pikkuse liini sumbuvus on 2 dB jne. Sumbuvust põhjustavad juhtme takistus ja juhtme soonte vaheline isolatsioonitakistus. Juhtme takistuse vähendamiseks suurendatakse juhtme ristlõiget. Juhtmetevahelise kao vähendamiseks rakendatakse järgmisi mooduseid: 1) kasutatakse väikse kaovõimsusega isoleermaterjali, 2) kasutatakse võimalikult vähe isoleermaterjali, 3) asetatakse

kaks juhet teineteisest võimalikult eemale ja 4) hoitakse ära suure kaovõimsusega ainete (vihm, lumi jne.) sattumine juhtmete vahele.

Sidendi lainetakistust Z ei tohi segi ajada tema üldise sumbuvusega, sest lainetakistus oleneb ainult sidendi parameetritest (C ja L väärtustest), kuid sidendi sumbuvus oleneb sidendi konstruktsioonist ja pikkusest.



Joon. 9-15. Pinge jagunemine antenni ja vastuvõtja vahel sobitamata (*a*) ja sobitatud (*b*) olukorras.



Joon. 9-16. Kahesoonelise varjestatud kaabli (*a*) ja kahesoonelise kaabli KATB (*b*) ehitus.

Televisiooni vastuvõtuantennide toiteliinidena kasutatakse peamiselt kahte tüüpi liine:

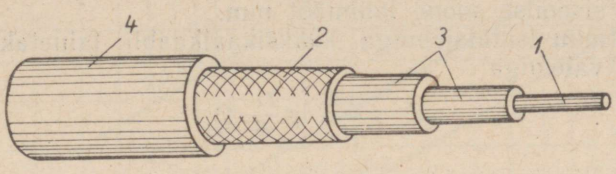
1) rööbitiste juhtmetega ehk sümmeetrilisi liine (joon. 9-16),

2) kontsentriliste juhtmetega ehk koaksiaalliine (joon. 9-17).

Sümmeetriline toiteliin koosneb kahest rööbitisest juhtmest, millede vahekaugus säilitatakse jäävana isolatsioonikihi või üksteisest teatava vahemaa taga asetsevate vaheisolaatorite abil. Selliste liinide hulka kuuluvad toiteliinid tüüp РД-18, РД-10, KATB jt.

Sümmeetrilise liinina võib kasutada ka iga heade isoleerivate ja dielektriliste omadustega elektrijuhet.

Toiteliini valiku põhitingimuseks on nõue, et tema lainetakistus Z võrduks antenni sisendtakistusega R_{sis} ja televisioonivastuvõtja sisendtakistusega R_{vv}, s. t., et $R_a = Z = R_{vv}$.



Joon. 9-17. Koaksiaalkaabli ehitus.

V a r j e s t a m a t a sümmeetrilise toiteliini (joon. 9-16, *b*) lainetakistuse Z arvutamiseks kasutatakse valemit

$$Z = 276 \lg \frac{b}{r} \ \Omega, \qquad (9\text{-}26)$$

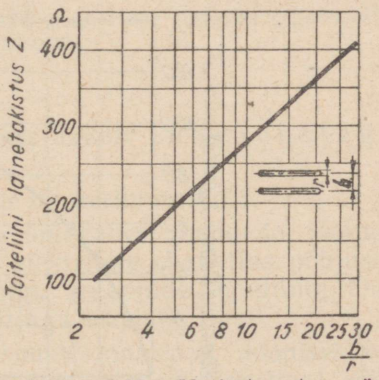
kus b on toiteliini juhtmete telgede vahekaugus mm,
r — juhtme raadius mm.

Joonisel 9-18 on graafiliselt kujutatud varjestamata sümmeetrilise toiteliini lainetakistuse sõltuvus suhtest b/r.

Sageli kasutatakse antenni toiteliini valmistamiseks kahejuhtmelist v a r j e s t a t u d kaablit (joon. 9-16, *a*). Sellise kaabli lainetakistust saab arvutada valemiga

$$Z = \frac{276}{\sqrt{\varepsilon_r}} \lg \frac{2b}{d} \frac{D^2 - b^2}{D^2 + b^2} \ \Omega, \qquad (9\text{-}27)$$

kus d on soone läbimõõt mm,
b — soonte telgede vahekaugus mm,
D — varjestussuka siseläbimõõt mm,
ε_r — kaabli isoleermaterjali suhteline dielektriline läbitavus.



Joon. 9-18. Varjestamata sümmeetrilise toiteliini lainetakistuse sõltuvus suhtest b/r.

K o a k s i a a l k a a b l i ehitus selgub jooniselt 9-17. Tema ühe soone moodustab kaabli teljel paiknev ümartraat *1*, teise soone ülesannet täidab varjestussukk *2*, soonte vahel on isoleerkiht *3*. Isoleermaterjalina kasutatakse tavaliselt polüetüleeni. Varjestussukk on kaetud polüvinüülkloriidist isoleerkihiga *4*.

Ideaalse isolatsiooniga koaksiaalkaabli lainetakistus on arvutatav valemiga (joon. 9-19)

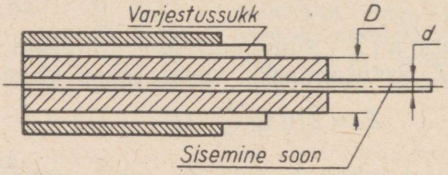
$$Z = 138 \lg \frac{D}{d} \ \Omega, \qquad (9\text{-}28)$$

kus D on varjestussuka siseläbimõõt mm,
d — sisemise soone läbimõõt mm.

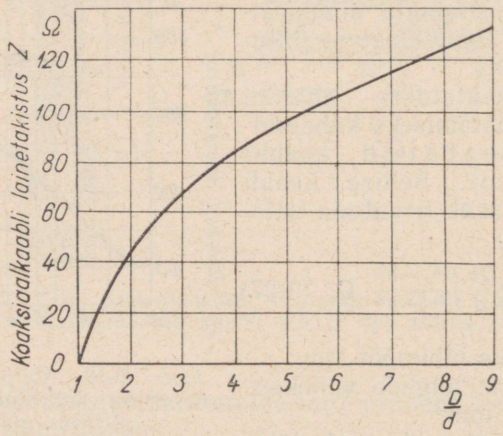
Mingi muu isolatsiooniga koaksikaalkaabli lainetakistus on arvutatav valemiga:

$$Z = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon_r}} \lg \frac{D}{d} \ \Omega, \qquad (9\text{-}29)$$

kus ε_r on kaabli isoleermaterjali suhteline dielektriline läbitavus, muud tähised on samad mis valemis (9-28).



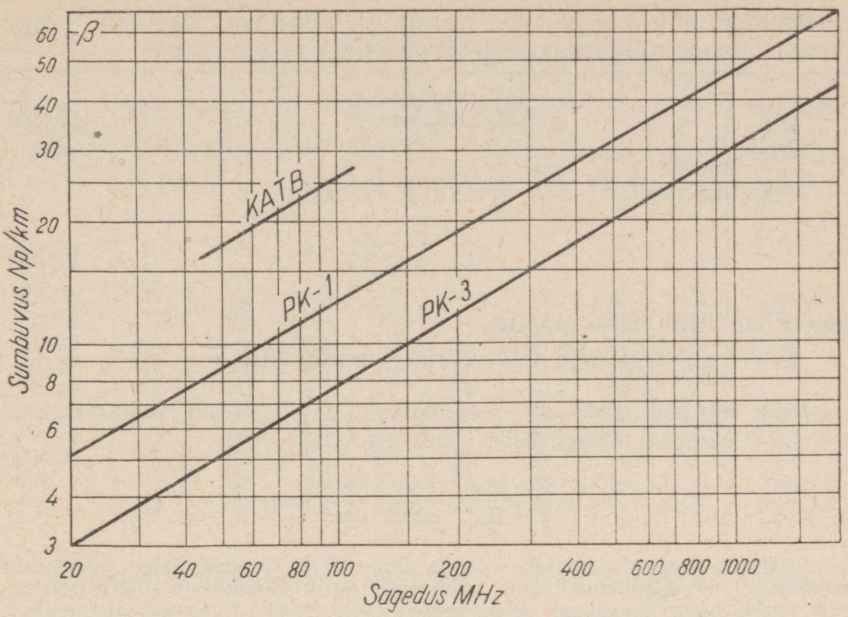
Joon. 9-19. Koaksiaalkaabli lõige.



Joon. 9-20. Õhkisolatsiooniga koaksiaalkaabli lainetakistuse sõltuvus suhtest D/d.

Joonisel 9-20 on graafiliselt kujutatud õhkisolatsiooniga koaksiaalkaabli lainetakistuse sõltuvus suhtest D/d.

Et kaablite isoleermaterjalide dielektriline läbitavus ületab õhu dielektrilise läbitavuse (polüetüleenil $\varepsilon_r = 2{,}3$, polüvinüülkloriidil $\varepsilon_r = 3{,}5$), siis on sellise koaksiaalkaabli lainetakistus ja ühtlasi ka seisevlaine pikkus $\sqrt{\varepsilon_r}$ korda väiksem kui õhkisolatsiooniga



Joon. 9-21. Kaablite PK-1, PK-3 ja KATB sumbuvuse sõltuvus sagedusest ja kaabli pikkusest.

kaablil. Tegurit $\xi = \sqrt{\varepsilon_r}$ nimetatakse kaabli lühendustegu-riks.

Koaksiaalkaablite lühendustegur on keskmiselt 1,5.

Koaksiaalkaableid ei soovitata omavahel ühendada jootmise teel, sest jootekohas tekkiv kaabli elektriline ebaühtlus põhjustab lainete peegeldumist. Seepärast olgu antennide toiteliinid ühest tükist ja nad ühendatagu vastuvõtjaga eripistiku abil.

Liini sumbuvus sageduse tõusmisel suureneb. Joonisel 9-21 on kujutatud mitmesuguste liinide sumbuvused neeprites[1] sõltuvalt sagedusest.

Energia ülekandmisel antennist liini, mis ei ole omavahel sobitatud, või kahe erineva lainetakistusega liini ühendamisel läheb teatud hulk energiat kaduma. Vaatleme juhtu, kus on kokku ühendatud erisuguste lainetakistustega liinid.

Kui sisenev signaal pingega E_s ja vooluga I_s jõuab liini vastasotsa, siis see peegeldub, kusjuures pinge ja vool liini lõpul on vastavalt E_v ja I_v.

---

[1] Sumbuvuse saamiseks detsibellides tuleb sumbuvus neeprites korrutada teguriga 8,7.

Peegeldunud pinge (või voolu) ja siseneva signaali pinge (voolu) suhet nimetatakse peegeldusteguriks:

$$K_p = \frac{E_v}{E_s} = \frac{I_v}{I_s}. \qquad (9\text{-}30)$$

Peegeldustegurit saab arvutada valemiga

$$K_p = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0}, \qquad (9\text{-}31)$$

kus Z on liini lainetakistus,

Z_0 — antenni (või teise liini) lainetakistus.

Näide 9-3. Kui suur on peegeldustegur K_p, kui liin lainetakistusega $Z = 300\ \Omega$ ühendada liiniga, mille lainetakistus $Z_0 = 70\ \Omega$.

$$K_p = \frac{Z - Z_0}{Z + Z_0} = \frac{300 - 70}{300 + 70} = 0{,}621.$$

Seega on peegeldunud laine vool ja pinge 62,1% siseneva laine vastavatest väärtustest. Peegeldunud laine võimsus aga moodustab $0{,}621^2 = 0{,}385$, s. o. 38,5% kogu sisenevast võimsusest.

Tabelites 9-2 ja 9-2a on toodud laialdasemalt kasutatavate sümmeetriliste ja koaksiaalkaablite andmed.

Tabel 9-2

Sümmeetrilised kaablid

Kaabli tüüp	Lainetakistus Ω	Mahtuvus pF/m	Sumbuvustegur Np/km sagedusel MHz					Talituspinge kV	Kiudude arv ja läbimõõt mm
			10	100	300	1000	3000		
РД-13	85	58	5	20	33	64	123	3	1×0,79
РД-17	100	50	2	8	15	30	60	10	7×0,85
РД-18	100	45	5	20	33	64	123	—	—
РД-14	130	40	2	8	15	30	60	—	—
РД-15	150	34	2,5	10	17	38	78	10	7×0,37
РД-16	200	25	2,5	10	17	38	78	10	1×0,68
РД-26	200	25	2,5	10	17	38	78	—	1×0,68
КАТВ	300	13	14	—	—	—	—	—	7×0,3

Tabel 9-2a

Koaksiaalkaablid

Kaabli tüüp	Lainetakistus Ω	Mahtuvus pF/m	Sumbuvus Np/km sagedusel MHz					Talitluspinge	Kiudude arv ja läbimõõt mm
			10	100	300	1000	3000		
PK-29	50	100	3,5	13	23	46	100	—	—
PK-48	50	105	2,0	8	15	—	—	—	—
PK- 6	52	96	1,9	6	14	31	67	4,5	7×0,85
PK-19	52	96	6,5	23	37	69	130	1,0	1×0,68
PK-28	52	101	2,5	10	17	—	—	—	—
PK-47	52	96	2,5	10	17	38	78	—	—
PK-49	72	70	4,0	15	26	53	103	—	—
PK- 3	75	68	2,0	8	15	30	60	5,5	1×1,37
PK- 4	75	68	2,0	8	15	30	60	—	—
PK-20	75	68	2,5	10	17	38	78	—	—
PK- 1	77	66	3,5	13	23	46	100	3	1×0,68
PK- 2	92	55	2,5	10	17	38	78	4,5	1×0,68

Toiteliinide valmistamiseks võib teatava eduga tarvitada ka valgustusjuhtmeid, telefonikaableid või montaažijuhtmeid. Selliste juhtmete lainetakistused on toodud tabelis 9-3.

Tabel 9-3

Toiteliinide asendusmaterjalid

Toiteliini asendusmaterjali nimetus	Lainetakistus Z Ω
Telefonikaabel polüvinüülkloriidisolatsiooniga $2 \times 0{,}5$ mm²	140...150
Valgustusjuhe 2×1 mm²	130...140
Montaažijuhe АОЛ 1×1 mm²	140
Montaažijuhe ШРПЛ $2 \times 1{,}5$ mm²	75

Koormatud toiteliini kasutegur (välje- ja sisendvõimsuse suhe) on arvutatav valemiga:

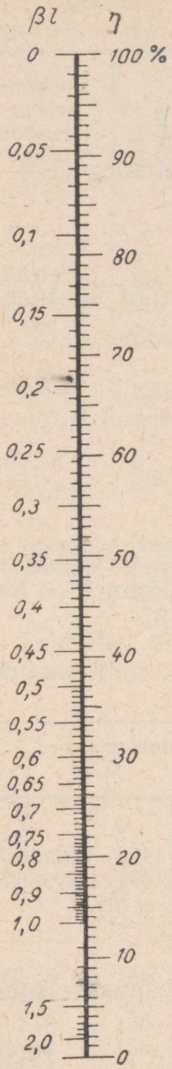
$$\eta = e^{-2\beta l}, \tag{9-32}$$

kus $e = 2{,}718$ on naturaallogaritmide alus,
β — liini sumbuvus Np/m,
l — liini pikkus meetrites.

Juhul kui $2\beta l < 0{,}4$ võib küllaldase praktilise täpsusega kasutada valemit

$$\eta = 1 - 2\beta l. \tag{9-33}$$

Joonisel 9-22 on toodud nomogramm kasuteguri leidmiseks, kui on teada toiteliini sumbuvuse ja liini pikkuse korrutis βl.

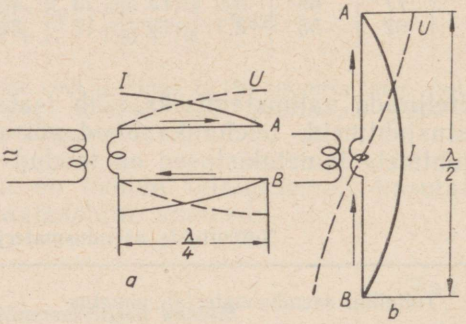


Joon. 9-22. Nomogramm toiteliini kasuteguri leidmiseks.

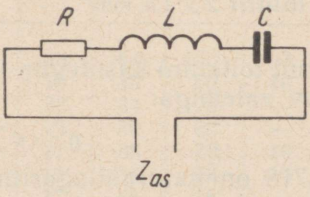
9-4. Antennide põhiomadused

Vastuvõtuantenni põhiliseks ülesandeks on vastuvõtjale vajaliku energia ammutamine ruumist. Selleks ülesandeks kasutatakse hajutatud parameetritega (R, L ja C) avatud võnkeringi.

Veerandlaine-pikkusest sidendist (joon. 23, *a*) saame hõlpsasti avatud võnkeringi, kui tema otsad A ja B viia teineteisest eemale (joon. 9-23, *b*). Sellist avatud võnkeringi



Joon. 9-23. Veerandlainepikkune sidend (*a*) ja avatud võnkering (*b*).



Joon. 9-24. Dipooli aseskeem.

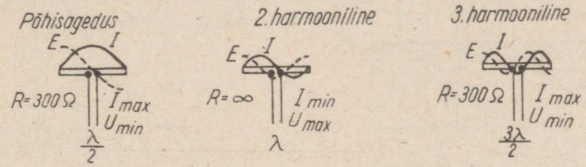
nimetatakse sümmeetriliseks poollainedipooliks.

Samal joonisel on näidatud vastavad seisevlaine pinge- ja voolupaisud, mida käsitleti juba eespool.

On teada, et antud väljatugevuse puhul indutseeritakse anten-

nis maksimaalne pinge siis, kui antenn on resonantsis vastuvõetava signaali sagedusega. Antenn omab teatavasti induktiivsust, mahtuvust ja takistust, seega kujutab ta endast võnkeringi (joon. 9-24), mille R, L ja C on hajutatud kogu antenni pikkusele. Poollainedipool on vastuvõetava lainega resonantsis, kui tema pikkus on täisarvu poollaine pikkuste kordne. Nii on ta resonantsis juhtme pikkuste puhul $^1/_2\lambda$, 1λ, $1^1/_2\lambda$, 2λ jne. (joon. 9-25). Kui näiteks soovitakse vastu võtta signaali, mille sagedus on 50 MHz ehk lainepikkus 300 : 50 = 6 m, siis peab poollainedipooli pikkus olema 3 m ja dipooli ühe haruvarda pikkus ligikaudu 1,5 m.

Tutvume poollainedipooli elektriliste omadustega.



Joon. 9-25. Poollainedipooli sisendtakistus mitmesugustel sagedustel.

Sümmeetrilise poollainedipooli sisendtakistus. Sidendite käsitlemisel selgus, et vallali oleva sidendi sisendtakistus sõltub tema pikkusest ja jooniselt 9-11 nähtub, et kui sidendi pikkus $l = \lambda/4$ siis kujutab sidend endast järjestikust võnkeringi, mille sisendtakistus võrdub nulliga. Niisugune olukord esineb ideaalsel juhul, mil sidend ei oma kaotakistust R_0 ega kiirgustakistust R_k. Poollainedipool omab aga niihästi kiirgustakistust R_k kui ka kaotakistust R_0 ja peale selle, kui tema pikkus ei võrdu resonantspikkusega, omab tema sisendtakistus veel ka reaktiivkomponenti X.

Jooniselt 9-26 nähtub, et kui teha dipool resonantspikkusest pikemaks, siis omab ta induktiivtakistust, kui aga dipool on resonantspikkusest lühem, siis on tema sisendtakistus mahtuvusliku iseloomuga.

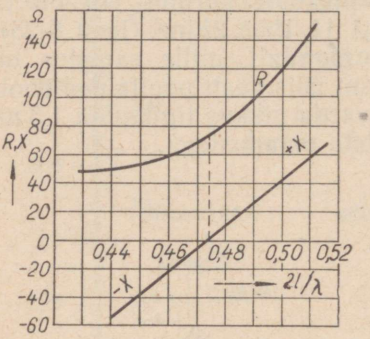
Tähistanud $R_0 + R_k = R_{sis}$, võib antenni sisendtakistuse avaldada järgmiselt

$$Z_{sis} = \sqrt{R^2_{sis} + X^2}. \qquad (9\text{-}34)$$

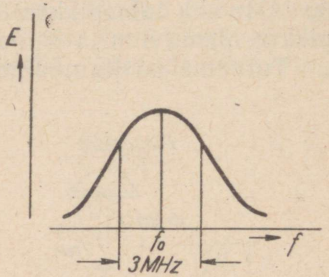
Resonantsi korral, mis tekib siis, kui dipooli pikkus võrdub ligikaudu poolega vastuvõetava laine pikkusest, $X = 0$. Küllaldaselt jämedate varraste puhul läheneb kaotakistus R_0 nullile ja dipooli sisendtakistus $Z_{sis} = R_{sis} = R_k$. Seega moodustab poollainedipooli sisendtakistuse resonantsisagedusel peamiselt kiirgustakistus, mis on ligikaudu 73 kuni 75 Ω (joon. 9-26).

Antenni kiirgustakistuse mõiste pärineb saateantennide teoo-

riast, kus ta iseloomustab antenni võimet kiirata ruumi elektromagnetilist energiat. Antennide asendatavuse printsiibi põhjal võrdub vastuvõtuantenni sisendtakistus sama antenni kiirgustakistusega tema toimides saateantennina.



Joon. 9-26. Sümmeetrilise poollainedipooli sisendtakistuse sõltuvus dipooli pikkusest.



Joon. 9-27. Poollainedipoolis indutseeritud elektromotoorse jõu sõltuvus sagedusest.

Poollainedipooli sagedustunnusjoon. Nagu eespool selgus, on dipool häälestatud vaid ühele lainepikkusele. Vastuvõetava sageduse erinemisel sellele lainepikkusele vastavast sagedusest dipooli sisendtakistus lisanduva induktiivse või mahtuvusliku komponendi tõttu muutub, mille tulemusena vastuvõtuantennis indutseeriv elektromotoorne jõud alaneb. Dipoolis indutseeritava elektromotoorse jõu E sõltuvus sagedusest meenutab võnkeringi resonantsikõverat ja on toodud joonisel 9-27.

Kui sellise dipooli kui võnkeringi hindetegur Q on suur, siis on dipooli resonantsikõver väga terav ja kitsas. Kitsas sagedusriba piirab sellise dipooli kasutamist televisioonivastuvõtuks. Laiema sagedusriba vastuvõtuks on vaja, et dipooli hindetegur Q oleks väiksem.

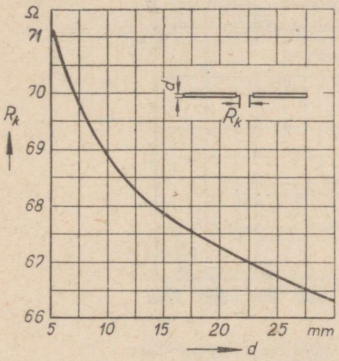
Dipooli hindetegur Q oleneb dipooli haruvarraste läbimõõdu ja pikkuse suhtest. Kui antenni haruvarraste läbimõõt teha suur, siis osutub pikkusühiku induktiivsus väiksemaks, mahtuvus aga suuremaks. Selle tagajärjel tekkiv suhte L/C vähenemine põhjustab dipooli hindeteguri Q vähendamist, nii et tema resonantsikõver kujuneb lamedamaks. Seepärast on antenni ehitamisel vaja valida haruvardad võimalikult jämedad. Joonisel 9-28 on kujutatud graafiliselt dipooli kiirgustakistuse R_k sõltuvus teatud pikkusega haruvarraste läbimõõdust d.

Poollainedipooli suunatunnusjoon. Poollainedipoolis indutseeritav elektromotoorne jõud sõltub dipooli sihist ja on maksi-

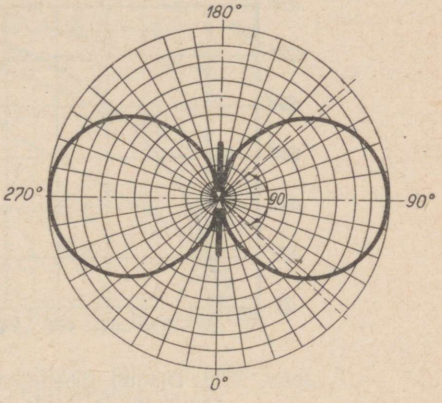
maalne, kui dipool on risti laine levimise sihiga. Sel juhul saabub vastuvõtjasse maksimaalne pinge U, mida arvutatakse järgmise valemiga:

$$U = \frac{E_v h_d}{2} K \sqrt{\frac{R_{vv}}{R_a}} e^{-\beta l}, \qquad (9\text{-}35)$$

kus E_v on väljatugevus μV/m,
$h_d = 2\lambda_k/\pi$ — antenni efektiivne kõrgus m,
K — antenni pingevõimendustegur,
R_{vv} — vastuvõtja sisendtakistus (antenni koormustakistus) Ω,
R_a — antenni sisendtakistus Ω,
β — liini sumbumistegur Np/km,
l — liini (kaabli) pikkus km.



Joon. 9-28. Poollainedipooli kiirgustakistuse sõltuvus tema haruvarraste läbimõõdust.



Joon. 9-29. Poollainedipooli suunatunnusjoon.

Kui pöörata dipool sellest asendist välja, nii et tema telg on suunatud piki levivat lainet, siis temas indutseeritud elektromotoorne jõud väheneb kuni nullini.

Dipoolis indutseeritud elektromotoorse jõu E sõltuvus dipooli telje ja laine levimissihi vahelisest nurgast Θ on järgmine:

$$E = E_{max} \frac{\cos\left(\frac{\pi}{2}\cos\Theta\right)}{\sin\Theta}. \qquad (9\text{-}36)$$

Graafiliselt on see poollainedipooli suunatunnusjoon kujutatud joonisel 9-29.

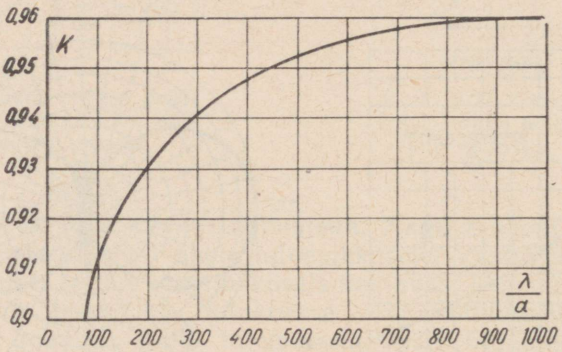
Antenni pikkuse arvutamine. Nagu eespool selgus, saavutatakse vastuvõtul maksimaalne signaali tugevus siis, kui antenn on resonantsis vastuvõetava sagedusega. Poollainedipooli teoreetiliseks resonantspikkusteks on poollaine pikkus ja tema kordsed (joon. 9-25).

Kuid dipooli tegelik pikkus peab olema poollaine pikkusest väiksem, sest väli dipooli otstes deformeerub.

Poollainedipooli tegelik pikkus l arvutatakse järgmise valemi abil:

$$l = \frac{\lambda_k}{2} k, \qquad (9\text{-}37)$$

kus λ_k on televisioonikanali keskmine lainepikkus (lisa 1),
k — antenni lühendustegur.



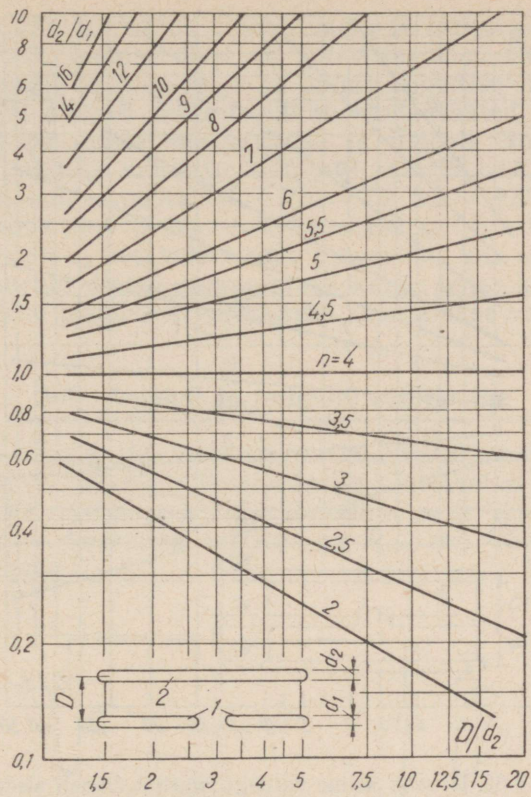
Joon. 9-30. Dipooli lühendusteguri sõltuvus tema lainepikkuse ja varda läbimõõdu suhtest.

Lühendusteguri väärtus oleneb haruvarda läbimõõdu ja keskmise lainepikkuse vahekorrast. Joonisel 9-30 on antud kõver, mis kujutab k väärtusi sõltuvalt suhtest λ_k/d.

Dipooli varraste otste vahekauguseks võetakse 50 ... 80 mm.

Vastuvõtuantenni võimendustegur näitab, mitu korda suurem võimsus suunatakse toiteliini vastuvõtu puhul antud antenniga, võrreldes selle võimsusega, mida võib saada poollainedipooli kasutamisel, eeldusel, et väljatugevus antenni asukohas on jääv suurus.

Antenni polariseeritus. Teatavasti moodustub raadiolaine vahelduvatest elektri- ja magnetväljadest, millede teljed asetsevad teineteisega risti. Raadiolainete polariseerituse all mõeldakse vahelduvelektrivälja sihti maapinna suhtes. Kui elektrivälja siht on vertikaalne, siis loetakse raadiolainet v e r t i k a a l s e l t



Joon. 9-31. Graafik kahe vardaga murtud dipooli sisendtakistuse arvutamiseks.

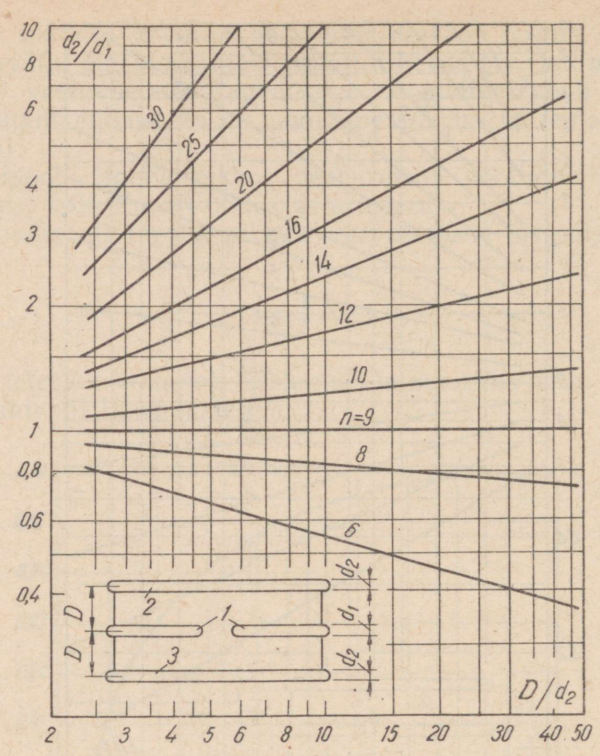
polariseerituks. Kui aga elektrivälja siht on horisontaalne, siis loetakse lainet horisontaalselt polariseerituks. Laine vertikaalse polariseerituse puhul peab vastuvõtudipool asetsema vertikaalselt ja horisontaalse polariseerituse puhul — horisontaalselt. On tähele pandud, et horisontaalse polariseeritusega vastuvõtuantenn on vähem tundlik elektriliste häirete suhtes. Nõukogude Liidus kasutatakse televisiooniülekandeks horisontaalset polariseeritust.

Poollainedipooli efektiivne kõrgus arvutatakse valemiga

$$h_{ef} = \frac{\lambda}{\pi}, \tag{9-38}$$

kus λ on vastuvõetava laine pikkus meetrites.

Sellest valemist selgub, et lainepikkuse vähenemisel poollainedipoolis indutseeritav elektromotoorne jõud väheneb. Seetõttu



Joon. 9-32. Graafik kolme vardaga murtud dipooli sisendtakistuse arvutamiseks.

lühemate lainete vastuvõtuks ei piisa enam lihtsast poollainedipoolist, vaid tuleb kasutada paraboolsete reflektoritega või ühisfaasseid antenne, et saada antennis küllaldast elektromotoorset jõudu vastuvõtja omakahinate ületamiseks.

Murtud dipool. Murtud ehk silmusdipool koosneb kahest või kolmest rööbiti paigutatud lineaarsest poollainedipoolist (*1* ja *2* joonisel 9-31 ning *1*, *2* ja *3* joonisel 9-32), millede otsad on kokku ühendatud. Dipool *1* on keskelt katkestatud ja ühendatud toiteliiniga.

Tingituna dipoolide rööbiti ühendamisest ja antennis tekitava indutseeritava voolu jagunemisest dipoolide vahel on murtud dipooli kiirgustakistus (R_k) lineaarse poollaine dipooli kiirgustakistusest tunduvalt suurem. Eespool selgus, et lineaarse poollainedipooli sisendtakistus on 73 Ω. Murtud dipooli sisendtakistus R_{sis} on aga n korda suurem:

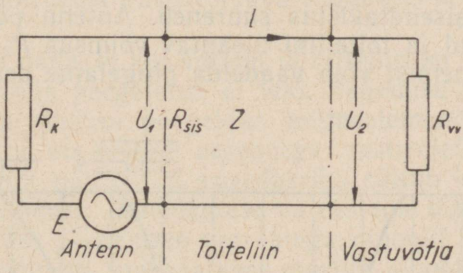
$$R_{sis} = 73n.$$

Teguri n väärtus sõltub dipooli varraste läbimõõdust ja nende vahekaugustest. Joonisel 9-31 on antud teguri n väärtused kahe rööbitise dipooli ja joonisel 9-32 kolme rööbitise dipooli puhul. Vertikaalteljel asuvad varraste läbimõõtude suhted (d_2/d_1), horisontaalteljel on nende vahekauguse ja dipooli läbimõõdu suhe (D/d_2). Kui näiteks varraste $d_2/d_1 = 2$ ja $D/d_2 = 4$, siis $n = 5{,}5$ ja murtud dipooli sisendtakistus $R_{sis} = 73 \cdot 5{,}5 = 400\ \Omega$. Juhul kui $d_2/d_1 = 1$, siis $n = 4$ ja $R_{sis} = 73 \cdot 4 = 292\ \Omega$.

Kuna dipooli d_2 keskkohas asub pingesõlm, siis on otstarbekas kinnitada murtud dipool antennimasti külge selles kohas. Murtud dipooli tegeliku pikkuse arvutamiseks kasutatakse valemit (9-35).

9-5. Antenni ja toiteliini sobitamine

Nüüd käsitleme lähemalt vastuvõtuantennis tekitatud võimsuse üleandmist toiteliini. Pikksidendite käsitlemisel oli näidatud, et peegelduste vältimiseks tuleb toiteliini selle lõpus — vastuvõtja juures — koormata takistusega R_{vv}, mis võrdub toiteliini lainetakistusega Z.



Joon. 9-33. Antenni ja toiteliini sobitamine.

Tavaliselt on toiteliin ühendatud vastuvõtjaga selle sisendvõnkeringi väljavõtte külge sellise arvestusega, et võnkeringi resonantsisagedusel oleks toiteliin koormatud oma lainetakistusega võrduva takistusega.

Teatavasti võib vastuvõtuantenni kujutada generaatorina, mille elektromotoorne jõud võrdub antennis indutseeritud elektromotoorse jõuga $E = E_v h_{ef}$ ja sisendtakistus võrdub kiirgustakistusega R_k. Vastav antenni ja toiteliini aseskeem on toodud joonisel 9-33.

Aseskeemilt on näha, et antenni poolt elektromagnetilisest väljast ammutatavast võimsusest

$$P_0 = \frac{E^2}{R_k + Z}$$

kandub toiteliini võimsus

$$P_2 = I^2 Z = \left(\frac{E}{R_k + Z}\right)^2 Z = P_0 \frac{Z}{R_k + Z}. \qquad (9\text{-}39)$$

Teatavasti on generaatorist koormusele üleantav võimsus maksimaalne, kui koormustakistus võrdub generaatori sisendtakistusega. Antud juhul peab seega olema rahuldatud tingimus:

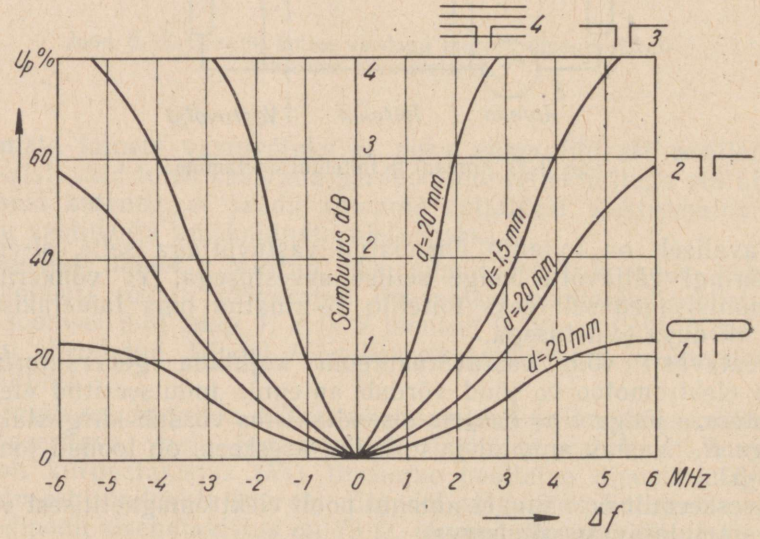
$$R_{sis} = R_k = Z$$

ja toiteliini kanduv maksimaalne võimsus

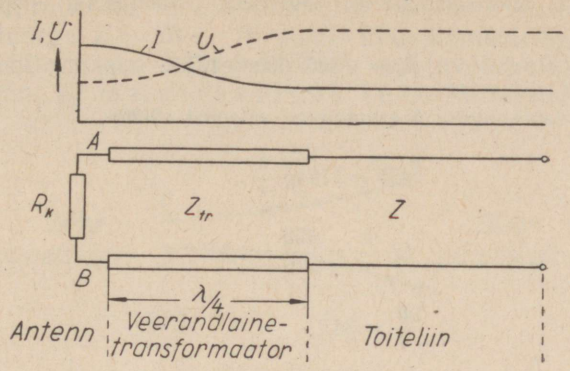
$$P_{2\,max} = P_0 \frac{Z}{R_k + Z} = \frac{P_0}{2} \qquad (9\text{-}40)$$

moodustab poole antenni poolt elektromagnetilisest väljast ammutatavast võimsusest. Teise poole võimsusest P_0 kiirgab antenn oma kiirgustakistuse R_k tõttu ruumi tagasi.

Kui vastuvõetav sagedus erineb antenni resonantsisagedusest, siis lisandub kiirgustakistusele R_k veel reaktiivkomponent, mille tõttu antenni sisendtakistus suureneb. Antenn pole enam toiteliiniga sobitatud ja toiteliini üleantav võimsus P_2 väheneb. Seda võimsuse vähenemist võib vaadelda pingelaine osalise tagasipee-



Joon. 9-34. Peegeldunud lainepinge sõltuvus vastuvõetava sageduse ja resonantsisageduse vahest Δf mitmesuguste antennide puhul (d on dipooli haruvarraste läbimõõt).



Joon. 9-35. Antenni sobitamine toiteliiniga veerandlainetransformaatori abil.

geldumisena selle pingelaine üleminekul antennist toiteliini. Joonisel 9-34 on toodud kõverad mitmesuguste antennide kohta, mis näitavad peegeldunud lainepinge U_p (protsentides langevast pingelainest) sõltuvust vastuvõetava sageduse ja resonantsisageduse vahest Δf.

Jooniselt on näha, et kui antenn ja toiteliin on sobitatud kanali kesksagedusel, siis peegeldust ei teki. Sageduse kõrvalekaldumisel tekib kõige suurem peegeldus mitmeelemendilise antenni *4* puhul. Seetõttu on sellise antenniga vastuvõetav sagedusriba kitsas. Graafikult nähtub, et sagedusriba sõltub ka dipooli haruvarraste läbimõõdust: jämedamate varrastega dipooli *2* sagedusriba on laiem kui peenemate varrastega dipoolil *3*. Kõige laiema sagedusriba vastuvõtt saavutatakse murtud dipooli *1* kasutamisel.

Veerandlainetransformaator. Kui kasutatava antenni kiirgustakistus R_k ei võrdu toiteliini lainetakistusega Z, siis tuleb selleks, et anda toiteliini üle maksimaalset võimsust, sobitada antenn toiteliiniga veerandlainetransformaatori abil, mis ühendatakse antenni ja toiteliini vahele (joon. 9-35).

Veerandlainetransformaator kujutab endast veerandlainepikkust liinilõiku, mille lainetakistus Z_{tr} peab võrduma sobitatavate takistuste geomeetrilise keskmisega:

$$Z_{tr} = \sqrt{R_k Z}. \qquad (9\text{-}41)$$

Veerandlainetransformaatori abil saab sobitada ka vastuvõtja sisendit toiteliiniga ja samuti erineva lainetakistuse liine.

Näide 9-4. Sobitada kaks liini, mille lainetakistused on $Z_1 = 600\ \Omega$ ja $Z_2 = 300\ \Omega$. Leida sidestusliinilõigu pikkus ning juhtmete vahekaugus. Liini

kasutatakse 2. televisioonikanali sagedusel. Sobitusliini juhtmé raadius $r = 10$ mm.

$$Z_0 = \sqrt{300 \cdot 600} = 425\ \Omega.$$

Juhtmete vahekauguse b arvutamine valemist (9-26):

$$425 = 276 \lg \frac{b}{r},$$

$$lg\ \frac{b}{r} = \frac{425}{276} = 1{,}54;$$

$$\frac{b}{r} = 34{,}7;$$

$$b = 5 \cdot 34{,}7 = 173{,}5\ \text{mm}.$$

2. televisioonikanali puhul $\lambda_k = 4{,}82$ ja veerandlainetransformaatori pikkus

$$l = \frac{\lambda_k}{4} = \frac{4{,}82}{4} = 1{,}2\ \text{m}.$$

Olgu märgitud, et veerandlainetransformaator toimib vaid ühel sagedusel, mistõttu sageduse kõrvalekaldumisel kanali keksagedusest vastuvõetav sagedusriba aheneb peegeldumiskadude tõttu.

Veerandlainetransformaatori pikkuse arvutamisel tuleb võtta arvesse ka laine lühenemist igal antud juhul kasutatavas kaablis tema lühendustegurit $\sqrt{\varepsilon_r}$ võrra.

Liinilõik-transformaator. Erineva lainetakistusega liine on võimalik sobitada ka painutatud liinilõik-transformaatori abil, mis on kujutatud joonisel 9-36, *a*. Eespool nägime, et liinilõigu lainetakistus sõltub liinijuhtmete vahelisest kaugusest. Kirjeldatav transformaator kujutab endast liinilõiku, mille juhtmete vahekaugus on muutuv. Sellise liinilõigu lainetakistus suureneb koos juhtmetevahelise kauguse suurenemisega. Seejuures on vajalik, et painutatud liini pikkus oleks suurem kui $^1/_4$ sagedusriba suurimast lainepikkusest.

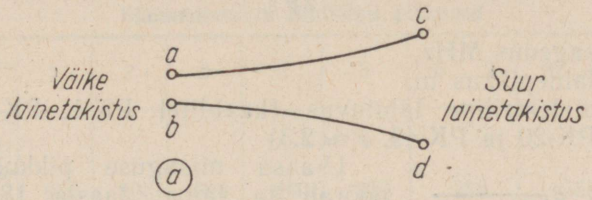
Selline sirge veerandlaine-pikkune lõik oleks praktiliseks kasutamiseks liiga pikk. Sellepärast keeratakse painutatud liinilõik ümber silindrilise aluse, nagu näidatud joonisel 9-36, *b*.

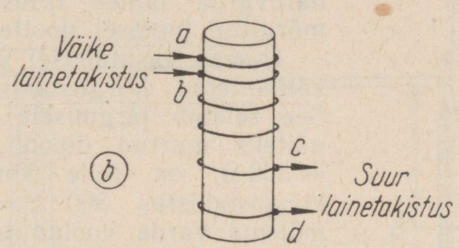
Mähkimisel tuleb jälgida, et keerud ei asuks tihedalt üksteise lähedal.

Väga kõrgetel sagedustel (üle 300 MHz) on võimalik transformaatoriks kasutada sümmeetrilist liinilõiku, mis on kujutatud joonisel 9-37. Siin on ka tingimuseks asjaolu, et liinilõigu pikkus oleks vähemalt $^1/_4$ lainepikkust.

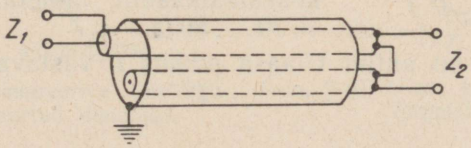
Sümmetreerivad lülid. Enamik meie kodumaal toodetavaid televiisoreid omab ebasümmeetrilise sisendi, sisendtakistusega

70 . . . 75 Ω, mistõttu toiteliinina tuleb kasutada koaksiaalkaablit, lainetakistusega $Z = 70 \ldots 75$ oomi. Ebasümmeetrilise koaksiaalkaabli sobitamiseks sümmeetrilise vastuvõtuantenniga tuleb kasutada nn. s ü m m e t r e e r i v a t l ü l i. Mitmesugustest kasu-





Joon. 9-36. Liinilõik-transformaator.



Joon. 9-37. Väga kõrgetel sagedustel kasutatav liinilõik-transformaator.

tuselolevatest sümmetreerivatest lülidest on oma lihtsuse ja töökindluse tõttu leidnud suurimat levikut nn. U - a a s (joon. 9-38).

Nagu jooniselt 9-38 nähtub, kujutab U-aas endast koaksiaalkaabli lõiku, mille sisemise soone üks ots on ühendatud dipooli ühe haruvardaga ja teine ots teise vardaga. Antenni toiteliini soon on ühendatud ühe haruvardaga. U-aasa ja antenni toiteliini varjestussukad aga on omavahel kokku ühendatud.

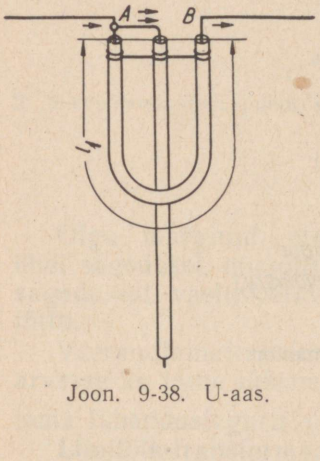
U-aasa pikkuseks l valitakse pool kanali keskmisest lainepikkusest, võttes arvesse kaabli lühendustegurit $\sqrt{\varepsilon_r}$. U-aasa pikkus arvutatakse valemiga

$$l_1 = \frac{150}{\sqrt{\varepsilon_r} f} \text{ m} \qquad (9\text{-}42)$$

või

$$l_1 = \frac{\lambda}{2\sqrt{\varepsilon_r}} \text{ m}, \qquad (9\text{-}43)$$

kus f on sagedus MHz,
λ — lainepikkus m,
ε_r — dielektriline läbitavus (kaablitel PK-1, PK-3, PK-4, PK-20 ja PK-49, $\varepsilon \approx 2{,}3$)



Joon. 9-38. U-aas.

U-aasa niisuguse pikkuse puhul pöörab ta lainet faasis 180° võrra, mistõttu toiteliini sisendis kummagi haruvarda lained liituvad, nagu on märgitud joonisel nooltega.

U-aasa kasutamisel väheneb vastuvõtuantenni kiirgustakistus 4 korda. See seletub järgmiselt. Kui kasutada näiteks murtud dipooli, mille $R_k = 300\ \Omega$, on selle kummagi varda kiirgustakistus $300 : 2 = 150\ \Omega$. Kuna mõlema varda voolud toiteliinis liituvad, on nad toiteliini suhtes ühendatud rööbiti, avaldades resulteerivat takistust $R = 150 : 2 = 75\ \Omega$. Antud juhul tuleb seega toiteliinina kasutada koaksiaalkaablit lainetakistusega $Z = 70 \ldots 80\ \Omega$.

Tabelis 9-4 on antud U-aasa pikkus l_1 vastavalt televisioonikanalile.

Tabel 9-4

U-aasa pikkused

Televisioonikanal	Murtud dipooli pikkus mm	U-aasa pikkus mm	Televisioonikanal	Murtud dipooli pikkus mm	U-aasa pikkus mm
1	2760	1900	5	1510	1030
2	2340	1600	6...7	780	560
3	1790	1240	8...9	710	500
4	1620	1120	10...12	650	460

Sümmetreerimiseks võib kasutada ka liinilõiku (joon. 9-40), mille alumises otsas on soon ühendatud varjestussukaga. Liinilõigu pikkus

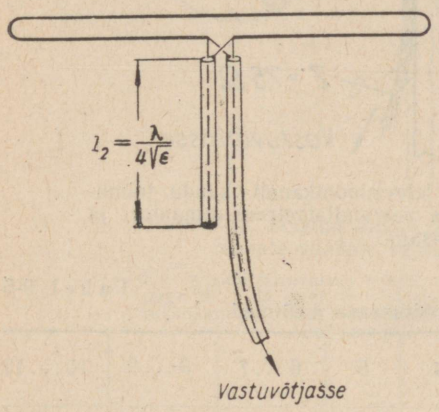
$$l_2 = \frac{\lambda_k}{4\sqrt{\varepsilon_r}} \qquad (9\text{-}44)$$

Seega on sümmetreeriva liinilõigu pikkus l_2 kaks korda väiksem U-aasa pikkusest (tabel 9-5).

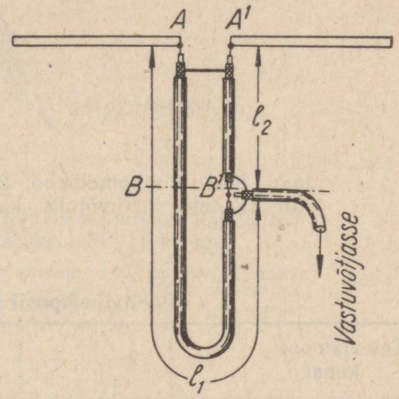
Tabel 9-5

Sümmetreeriva liinilõigu pikkused

Televisioonikanal	1	2	3	4	5	6...7	8...9	10...12
Sobitatud liinilõigu pikkus l_2	950	800	620	560	520	280	250	230



Joon. 9-39. Sümmetreeriva liinilõigu ühendamine murtud dipooliga.



Joon. 9-40. U-aas koos liinilõik-transformaatoriga.

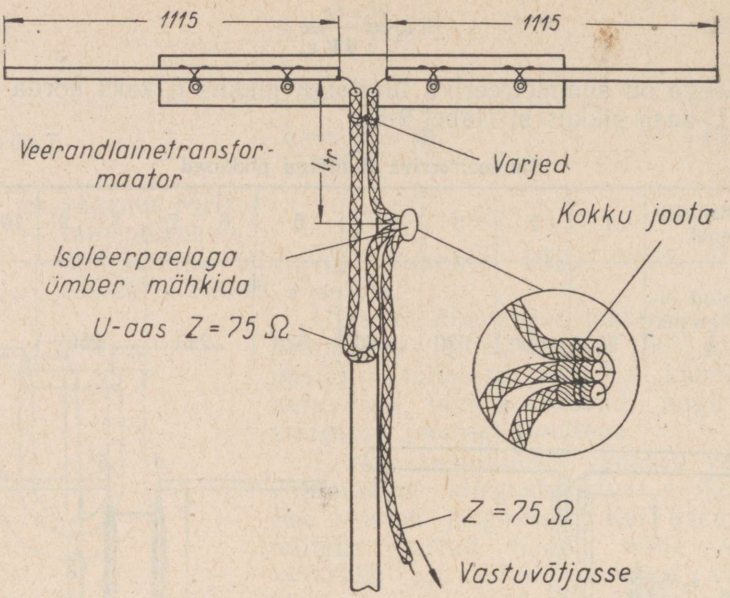
Sümmeetrilise poollainedipooli sobitamine koaksiaalkaabliga. Sümmetreerimiseks tuleb kasutada U-aasa (tabel 9-4). Kuna koaksiaalkaabliga ühendatud U-aasa sisendtakistus on 300 Ω, siis selle sobitamiseks poollainedipooliga ($R_k = 73\ \Omega$) kasutatakse veerandlainetransformaatorit pikkusega $l_{tr} = \lambda/4\sqrt{\varepsilon_r}$, mille lainetakistus valemi (9-41) kohaselt

$$Z_{tr} = \sqrt{300 \cdot 73} = 148\ \Omega.$$

Kui kasutada transformaatori kummagi juhtmena 75-oomist koaksiaalkaablit, siis kujuneva kahejuhtmelise liini lainetakistus

$$Z = 2 \cdot 75 = 150\ \Omega,$$

s. o. küllalt lähedane nõutavale 148 oomile.



Joon. 9-41. Poollainedipool 2. televisioonikanali kaudu toimuvate saadete vastuvõtuks koos veerandlainetransformaatori ja U-aasaga.

Tabel 9-6

Poollainedipooli sobitusaasa mõõtmed

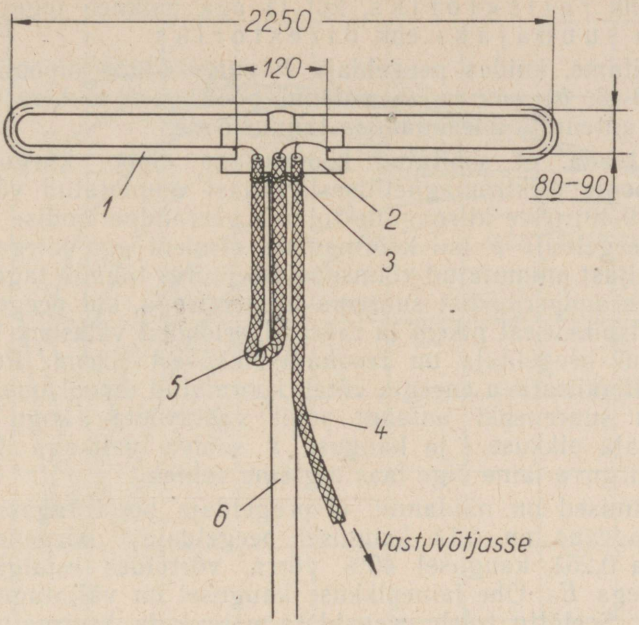
Televisioonikanal	1	2	3	4	5	6...7	8...9	10...12
l_1 mm	2850	2400	1860	1860	1545	840	750	690
l_2 mm	950	800	620	560	515	280	250	230

U-aas koos veerandlaine transformaatoriga moodustavad sobitusaasa (joon. 9-40), mille mõõtmed on toodud tabelis 9-6.

Joonisel 9-41 on kujutatud lihtne poollainedipool 2. kanalil toimuvate saadete vastuvõtuks. Toiteliin on koaksiaalkaablist PK-1, mille $Z = 75\ \Omega$. Sobitusaasa pikkus on tabeli 9-6 järgi 2,4 + 0,8 m.

Dipooli haruvardad on valmistatud 15...25 mm läbimõõduga vask- või alumiiniumtorust ja kinnitatud portselanist rullisolaatorite abil isoleerituina puitalusele.

Joonisel 9-42 on kujutatud murtud dipool 2. televisioonikanalil toimuvate saadete vastuvõtuks. Toiteliin on koaksiaalkaablist PK-1, mille $Z = 75$ oomi. Toiteliin on sobitatud antenniga U-aasa abil, mille pikkus tabeli 9-4 järgi on 1,6 m.



Joon. 9-42. Murtud dipool 2. televisioonikanali kaudu toimuvate saadete vastuvõtuks koos U-aasaga:

1 — dipooli haruvarras (vask-, alumiinium- või terastoru läbimõõduga 20 . . . 25 mm), *2* — kinnitusplaat pertinaksist, *3* — varjete kokkujootmise koht, *4* — toiteliin $Z = 75\ \Omega$, *5* — U-aas, *6* — kandemast läbimõõduga 30 . . . 60 mm.

9-6. Ridaantennid

Nõrga elektromagnetilise välja puhul ei piisa poollainedipooli poolt ammutatavast energiast normaalsete vastuvõtutingimuste loomiseks.

Üks lihtsamaid ja ühtlasi levinumaid viise vastuvõetava signaali võimendamiseks seisab ühesuunalise ridaantenni kasutamises, millega ühtlasi vastuvõttu segavad kõrvalised häired nõrgenevad, sest antenn oma ühesuunalise toime tagajärjel kõrvalistest suundadest saabuvaid häireid vastu ei võta.

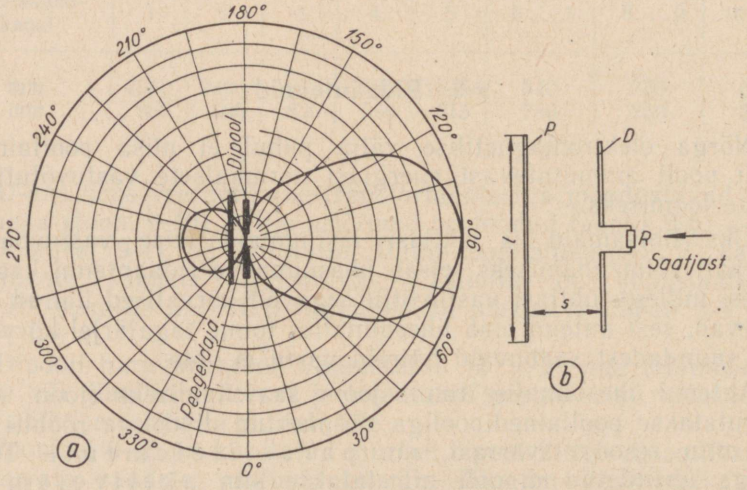
Antenni ühesuunalise tunnusjoone saavutamiseks (joon. 9-43) paigutatakse poollainedipooliga või murtud dipooliga rööbiti üks või mitu resonantsvarrast, nn. *parasiitelementi*. Toiteliiniga ühendatud dipooli nimetatakse siin *aktiivelemendiks*. Kui parasiitelement paikneb aktiivelemendi taga (laine levimissuunas arvatuna), siis nimetatakse teda *peegelda-*

jaks ehk reflektoriks, kui ta aga paikneb tegevelemendi ees, siis suunajaks ehk direktoriks.

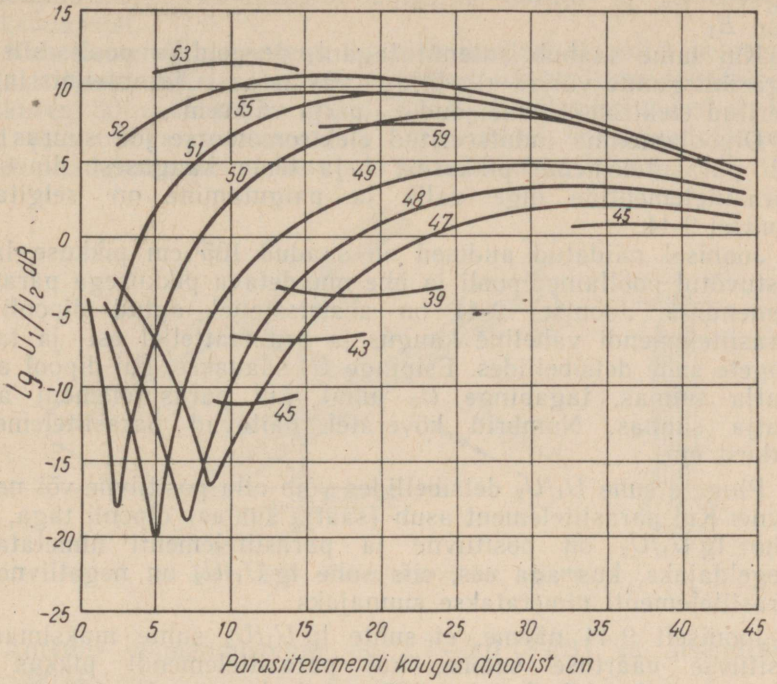
Selgitame, kuidas peegeldaja P paigutamine dipooli D taha (joon. 9-43, *b*) suurendab antenni poolt vastuvõetavat energiat ja loob antennile ühesuunalise tunnusjoone.

On teada, et sobitatud koormusega dipool kiirgab tagasi ruumi poole elektromagnetilisest väljast ammutatud võimsusest (valem 9-40). See kiirgamine toimub veerandperioodise hilinemisega. Peegeldaja P kui koormamata element aga kiirgab tagasi kogu väljast ammutatud võimsuse. Seejuures toimub tagasikiirgamine veerandperioodist suurema hilinemisega, kui peegeldaja on resonantspikkusest pikem ja veerandperioodist väiksema hilinemisega, kui peegeldaja on resonantspikkusest lühem. Peegeldaja poolt väljakiiratava energia võtab koormatud dipool uuesti vastu, mistõttu suurenebki antenni poolt vastuvõetav kogu energia. Peegeldaja pikkuse l ja kauguse s sobiva valikuga tagatakse tagasikiirguva laine õige faas alglaine suhtes.

Mõõtmised on näidanud, et peegeldaja poolt tagasikiiratava välja tugevus on $0{,}1\lambda$ kaugusel peegeldajast nõrgenenud 5% võrra ja $0{,}25\lambda$ kaugusel 40% võrra, võrreldes esialgse väljatugevusega E_v. Ühe lainepikkuse kaugusel on väljatugevus vaid 0,15 E_v. Seetõttu tuleb peegeldaja paigutada koormatud dipoolist $(0{,}1—0{,}25)\lambda$ kaugusele. Lähemale kui $0{,}1\lambda$ ei ole parasiitelemente soovitav paigutada, sest tugeva sidestuse tõttu väheneks liialt dipooli kiirgustakistus ja tekiks raskusi toiteliini sobitamisega.



Joon. 9-43. Antenni suunatunnusjoon (*a*) ja poollainedipool koos peegeldajaga (*b*).



Joon. 9-44. Suhte U_1/U_2 sõltuvus parasiitelemendi pikkusest ja kaugusest dipoolist.

Käsitleme nüüd sellise antenni toimet järkude kaupa, eeldades, et peegeldaja kaugus $s = 0{,}2\lambda$. Peegeldaja pikkus olgu resonantspikkusest suurem, nii et tagasikiirgamine toimub viivitusega $t = 0{,}3T$.

1. Hetkel $t_0 = 0$ neeldugu energia koormatud dipoolis D.

2. Hetkel $t_1 = 0{,}2T$ on saatjast saabuv laine jõudnud peegeldajani P, mis asub vahemaa $s = 0{,}2\lambda$ võrra dipoolist kaugemal.

3. Hetkel $t_2 = 0{,}25T$ kiirgub osa energiat dipoolist tagasi.

4. Hetkel $t_3 = 0{,}2T + 0{,}3T = 0{,}5T$ kiirgub energia peegeldajast tagasi; see energia jõuab dipoolini hetkel $0{,}5T + 0{,}2T = 0{,}7T$.

5. Hetkel $t_4 = 0{,}25T + 0{,}2T = 0{,}45T$ jõuab dipoolist tagasikiirgunud energia peegeldajani, kiirgub sellest uuesti välja hetkel $t = 0{,}45T + 0{,}3T = 0{,}75T$ ja jõuab dipoolini tagasi hetkel $t = 0{,}75T + 0{,}2T = 0{,}95T$.

Dipooli juures liituvad punktides 4 ja 5 mainitud tagasikiirgunud väljad vektoriaalselt algväljaga, mistõttu suureneb välja-

tugevus E_v ja tõuseb antennis indutseeritav elektromotoorne jõud E_1.

Kui laine saabub antenni tagant, peegeldaja poolt, siis on tagasikiirgunud väljad algväljaga vastasfaasis ja antennis indutseeritud elektromotoorne jõud E_2 palju väiksem.

Dipoolantennis indutseeritud elektromotoorse jõu suurus oleneb parasiitelemendi pikkusest l ja tema kaugusest dipoolist. Parasiitelementide õige valik ja paigutamine on selgitatud joonisel 9-44.

Joonisel näidatud andmed on saadud 105 cm pikkuse laine vastuvõtul poollainedipooli ja ühe muudetava pikkusega parasiitelemendiga. Joonisel 9-44 on abstsisteljel antud dipooli ja parasiitelemendi vaheline kaugus ja ordinaatteljel esi- ja tagapingete suhe detsibellides. Esipinge U_1 saadakse, kui dipool asub saatja suunas, tagapinge U_2 juhul, kui parasiitelement asub saatja suunas. Numbrid kõveratel näitavad parasiitelemendi pikkust cm.

Pingete suhe U_1/U_2 detsibellides võib olla positiivne või negatiivne. Kui parasiitelement asub (saatja suhtes) dipooli taga, siis suhe $\lg U_1/U_2$ on positiivne ja parasiitelementi nimetatakse peegeldajaks, kus aga ees, siis suhe $\lg U_1/U_2$ on negatiivne ja parasiitelementi nimetatakse suunajaks.

Jooniselt 9-44 näeme, et suhte $\lg U_1/U_2$ suhte maksimaalse positiivse väärtuse saame, kui parasiitelemendi pikkus on 53 cm, s. o. $l = \lambda/2$ (kui $\lambda = 105$ cm) ja kaugus $d = 10$ cm, s. o. $d = 0{,}1\,\lambda$.

Suurima negatiivse ($\lg U_1/U_2$) väärtuse saame siis, kui parasiitelemendi pikkus on 49 cm, s. o. $l = 0{,}47$ ja kaugus $d = 5$ cm, s. o. $d = 0{,}05\,\lambda$.

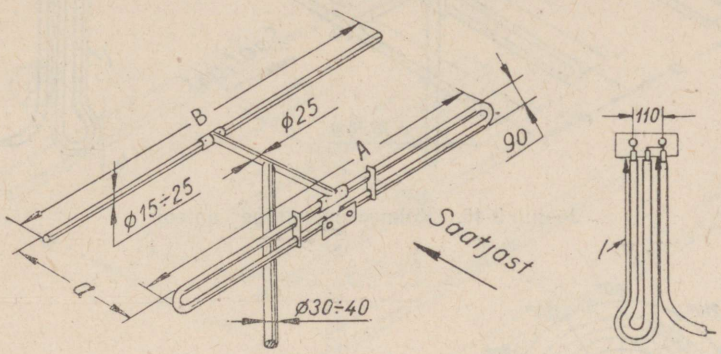
Kirjeldatud ühesuunaliste antennide sagedusriba muutub seda kitsamaks, mida suurem on antenni võimendus. Nii on peegeldaja ja kolme suunajaga antenni võimendus umbes 10 dB, kuid sagedusriba laiuseks on vaid 2,5...3% resonantsisagedusest. Seega on resonantsisageduse puhul 53 MHz sagedusriba laiuseks umbes 1,5 MHz. Sagedusriba saab avardada 3 MHz-ni, kui suurendada peegeldaja ja suunajate pikkust 5...10% võrra. Seejuures väheneb aga antenniga saavutatav võimendus. Niisuguse kitsa sagedusriba tõttu võib jääda helisignaali vastuvõtt kujutisele häälestatud antenniga nõrgaks ja helisignaali tuleb vastu võtta iseseisva antenniga.

Tuleb lisada, et mitme elemendi kasutamine antenni süsteemis vähendab antenni sisendtakistust.

Allpool on toodud mitmeelemendiliste antennide mõõtmed, kui dipoolid on valmistatud alumiiniumist (neid võib ka valmistada tsingitud rauast või vasest) läbimõõduga 10...20 mm. Toiteliiniks kasutatakse koaksiaalkaablit, mis sobitatakse U-aasa

kaudu. Toiteliini klemmplaadid on valmistatud getinaksist või pleksiklaasist.

Kaheelemendiline antenn koosneb murtud dipoolist ja peegeldajast (joon. 9-45) ning on määratud vastuvõtuks televisioonikeskusest 50 ... 70 km kaugusel. Kui vastuvõtutingimused on halvad (ees on varjavad metsad, kõrgendikud või teised tõkked), tuleb niisugust antenni kasutada ka väiksematel kaugustel.



Joon. 9-45. Kaheelemendiline antenn.

Antenni võimendustegur on 1,7—2,0 (3 dB) ja sisendtakistus 200 Ω.

Tema mõõtmed on toodud tabelis 9-7.

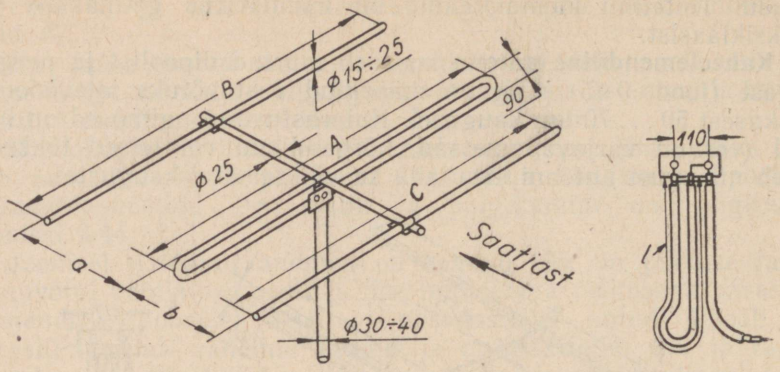
Tabel 9-7

Kaheelemendilise antenni mõõtmed [1]

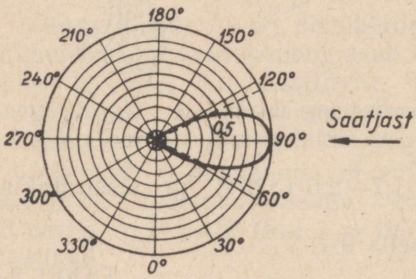
Kanal	Mõõtmed mm			U-aasa pikkus mm	Kanal	Mõõtmed mm			K-aasa pikkus mm
	A	*B*	*a*			*A*	*B*	*a*	
1	2560	3140	900	1900	7	730	890	255	535
2	2180	2680	760	1600	8	700	850	240	515
3	1700	2060	590	1240	9	670	815	230	495
4	1530	1870	535	1120	10	640	785	225	475
5	1400	1710	490	1030	11	620	760	220	455
6	760	930	270	560	12	595	730	215	440

Kolmeelemendiline antenn koosneb murtud dipoolist, peegeldajast ja suunajast (joon. 9-46) ning on määratud vastuvõtuks televisioonikeskusest 70 ... 100 km kaugusel. Tema võimendustegur on 2,1 ... 2,4 (3,5 dB) ja sisendtakistus 100 Ω; suunatun-

[1] Antennide elementide mõõtmed on võetud С. Е. Загик и Л. М. Калчинский raamatust «Приемные телевизионные антенны», Госэнергоиздат, 1958.



Joon. 9-46. Kolmeelemendiline antenn.



Joon. 9-47. Kolmeelemendilise antenni suunatunnusjoon.

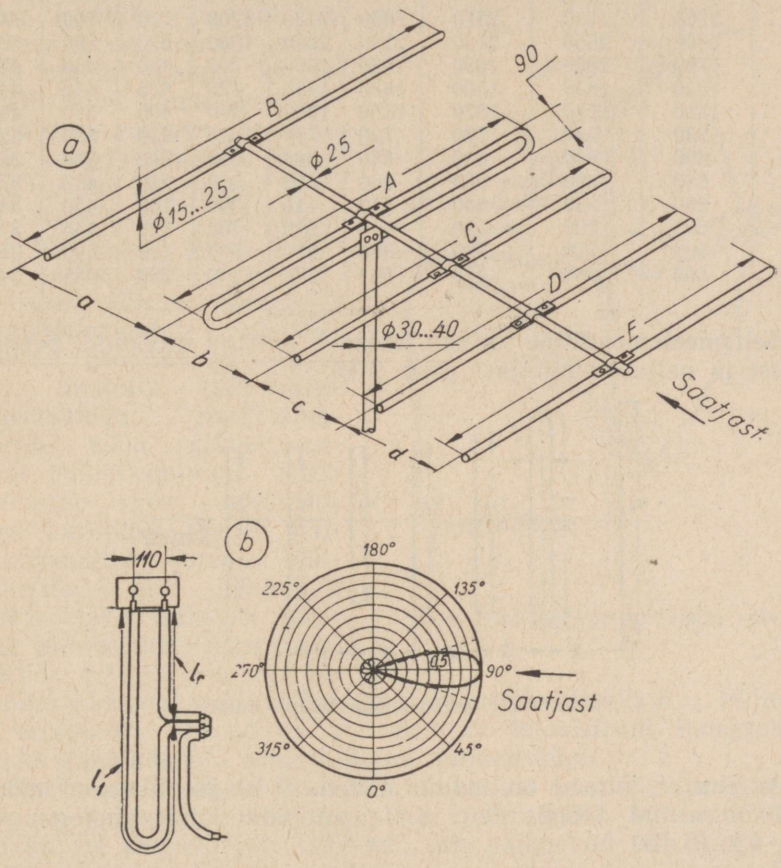
nusjoon (joon. 9-47) on teravam kui kaheelemendilisel antennil. Mõõtmed on toodud tabelis 9-8.

Tabel 9-8

Kolmeelemendilise antenni mõõtmed mm

Kanal	*A*	*B*	*C*	*a*	*b*	U-aasa pikkus mm
1	2760	3350	2340	900	600	1900
2	2340	2840	2000	760	510	1600
3	1790	2200	1550	590	395	1240
4	1620	2000	1400	535	355	1120
5	1510	1830	1290	490	330	1030
6	815	990	690	270	180	560
7	780	950	660	255	170	535
8	745	905	630	240	160	515
9	720	870	610	230	155	495
10	690	840	585	225	150	475
11	665	805	560	220	145	455
12	640	780	545	215	140	440

Viieelemendiline antenn koosneb murtud dipoolist, peegeldajast ja kolmest suunajast (joon. 9-48, *a*). Tema suunatunnusjoon (9-48, *b*) on veelgi teravam kui kolmeelemendilisel antennil. See antenn on määratud vastuvõtuks televisioonikeskusest üle 100 km



Joon. 9-48. Viieelemendiline antenn.

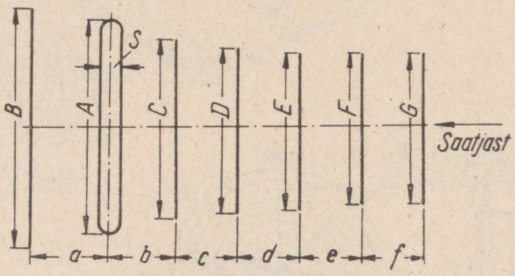
kaugusel. Tema võimendustegur on 2,9—3,2 (5 dB). Suure arvu parasiitelementide tõttu on siin murtud dipooli sisendtakistus 50 . . . 60 Ω, mistõttu tema sobitamine U-aasaga toimub veerandlainetransformaatori abil, mis siin koosneb kahest koaksiaalkaablilõigust, pikkusega n ja omab lainetakistuse $Z = 2 \cdot 70 = 140\ \Omega$. Selliste sobitusliinilõikude mõõtmed on antud tabelis 9-6. Antenni mõõtmed on toodud tabelis 9-9.

Tabel 9-9

Viieelemendilise antenni mõõtmed mm

Kanal	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*a*	*b*	*c*	*d*
1	2760	3130	2510	2490	2430	1200	730	700	740
2	2340	2650	2130	2100	2060	1030	620	590	625
3	1790	2060	1650	1630	1600	790	480	460	485
4	1620	1870	1500	1485	1450	720	435	420	440
5	1510	1710	1370	1360	1330	660	400	380	400
6	730	840	720	720	700	325	210	500	420
7	690	840	680	680	660	310	210	530	365
8	680	800	660	660	650	300	210	490	370
9	660	760	640	610	610	290	160	450	380
10	605	700	610	610	610	260	190	445	315
11	580	710	580	580	570	260	190	390	350
12	550	680	560	560	530	240	250	385	340

Seitsmeelemendiline antenn koosneb murtud dipoolist, peegeldajast ja neljast suunajast joon. 9-49.



Joon. 9-49. Seitsmeelemendiline antenn.

Antenni mõõtmed on toodud tabelis 9-10. Sobitusaasa mõõtmed on antud tabelis 9-6. Selle antenni võimendustegur on 3,7—4,1 (6 dB)

Tabel 9-10

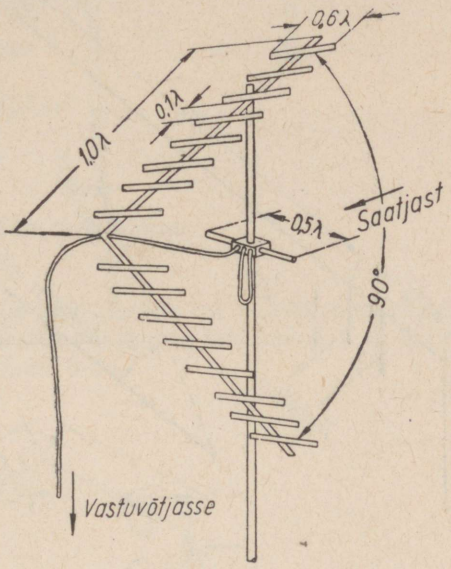
Seitsmeelemendilise antenni mõõtmed mm

Kanal	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*
6	700	840	695	710	695	685	670	500	295	420	400	265	280
7	670	800	660	670	660	650	640	475	280	400	380	250	270
8	645	770	640	650	640	625	615	455	270	385	370	245	260
9	620	740	615	620	615	600	590	435	260	370	355	235	250
10	595	710	585	595	585	575	565	420	250	355	340	225	240
11	575	685	570	580	570	560	550	405	240	345	330	220	230
12	555	660	550	560	550	540	530	490	230	335	315	210	225

9-7. Televisiooni kaugvastuvõtu antennid

Televisiooni kaugvastuvõtu all mõeldakse vastuvõttu nägemisulatusest (silmapiirist) suurematel kaugustel.

Et saada võimalikult suurt kasuliku signaali ja televiisori omakahina suhet, peab antenn omama küllaldaselt suurt võimendustegurit ja suunategurit. Seetõttu võib kaugvastuvõtuks kasutada eespool kirjeldatud murtud dipooli koos suunajate ja peegeldajaga (joon. 9-49). Kuid sellise antenni võimendustegur sõltub tunduvalt parasiitelementide vastastikusest asendist ja pikkusest, mistõttu väiksemate kogemustega raadioamatööridel tekib raskusi antenni häälestamisega. Koos suunajate arvu suurenemisega harilikult aheneb paljuelemendilise antenni läbilaskeriba, mis põhjustab vastuvõetava kujutise teravuse vähenemist. Suure elementide arvuga antennid on seepärast kasutatavad kõrgematel sagedustel (kanalis 6 ... 12 jne.).



Joon. 9-50. Nurkpeegeldajaga antenn.

Arvestades eeltooduga on soovitav televisiooni kaugvastuvõtuks kasutada üht allkirjeldatud antennitüüpi.

Nurkpeegeldajaga antenn kujutab endast murtud dipooli, mille taha on paigutatud nurkpeegeldaja (joon. 9-50). Viimane koosneb kahest peegeldajate rühmast, mis paiknevad 90° nurga all. Antenni toiteliin tuuakse nurkpeegeldaja nurga tipu juurest läbi ja ühendatakse dipooliga U-aasa abil. Sellise antenni võimendustegur on umbes 10.

Pikajuhtmeline antenn kujutab endast juhet pikkusega $(5 \ldots 10)\lambda$, mis paikneb vastuvõtusihi suhtes teatud nurga Θ all (joon. 9-51).

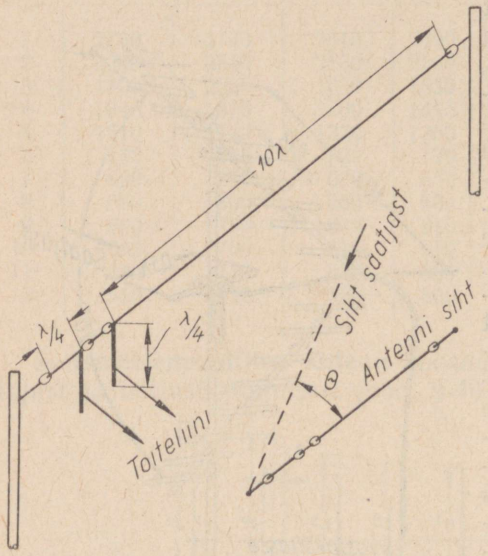
Nurga Θ väärtus sõltub juhtme pikkusest ja on arvutatav valemiga

$$\cos \Theta = \frac{N - \frac{1}{2}}{N} \qquad (9\text{-}44)$$

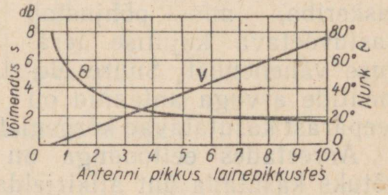
kus N on juhtme pikkus lainepikkustes.

Joonisel 9-52 on toodud nurga Θ ja antenni võimenduse sõltuvus antenni pikkusest.

Pikajuhtmeline antenn tuleb paigutada maapinnast võima-



Joon. 9-51. Pikajuhtmeline antenn.

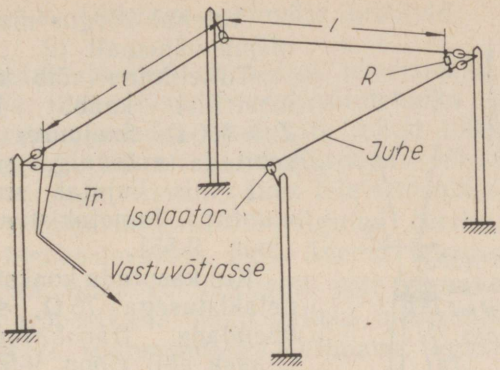


Joon. 9-52. Pikajuhtmelise antenni nurga Θ ning võimenduse V sõltuvus antenni pikkusest.

likult kõrgele ja tema saatjapoolne ots tõsta teise otsa suhtes veidi kõrgemale. Antenn sobitatakse toiteliiniga veerandlainepikkuse sobituslõigu abil, kusjuures toiteliini ja sobituslõigu ühenduspunkt selgitatakse proovimise teel, kuni saadakse maksimaalse tugevusega vastuvõtt.

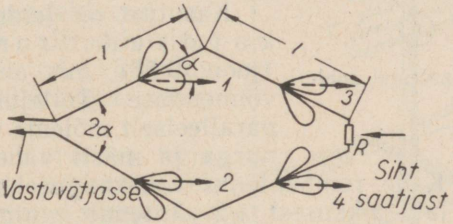
Rombantenn kujutab endast horisontaalselt paiknevat rombikujulist kahejuhtmelist liini (joon. 9-53).

Rombi ühe teravnurga külge ühendatakse toiteliin, teise külge aga aktiivtakisti R, mille takistus peab võrduma rombantenni kiirgustakistusega, s. o. 700 oomiga. Selle tulemusena tekib antennis levivlaineseisund. See omakorda tagab antenni kiirgustakistuse sõltumatuse sagedusest ja järelikult hea sobituse toiteliiniga televisioonikanali spektri kõigil sagedustel, s. t. tagab laia läbilaskeriba.



Joon. 9-53. Rombantenn.

Antenni hea võimendus- ja suunategur on saavutatud sellega, et siin antenni juhtmete suunatunnusjoonte lehekesed 1 ... 4 liituvad, nagu on näidatud joonisel 9-54.



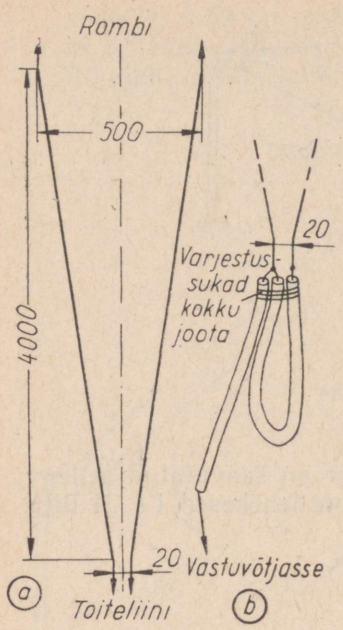
Joon. 9-54. Rombantenni suunatunnusjooned.

Rombi külgede pikenemisel väheneb nurk 2α suunatunnusjoonte lehekeste vahel, mistõttu tuleb vähendada ka rombantenni teravnurka 2α. Rombantenni külje pikkus valitakse $(2 \ldots 7)\lambda$. Vastav nurk 2α ja võimendustegur on toodud tabelis 9-11.

Tabel 9-11

Rombantenni andmeid

Külje pikkus l lainepikkustes	Teravnurk 2α	Võimendustegur
2	90	4
3	70	7
4	60	9
5	50	13
7	40	20



Joon. 9-55. Rombantenni sobitusaas.

Antenni kõrgus maapinnast peab olema vähemalt $(2 \ldots 3)\lambda$.

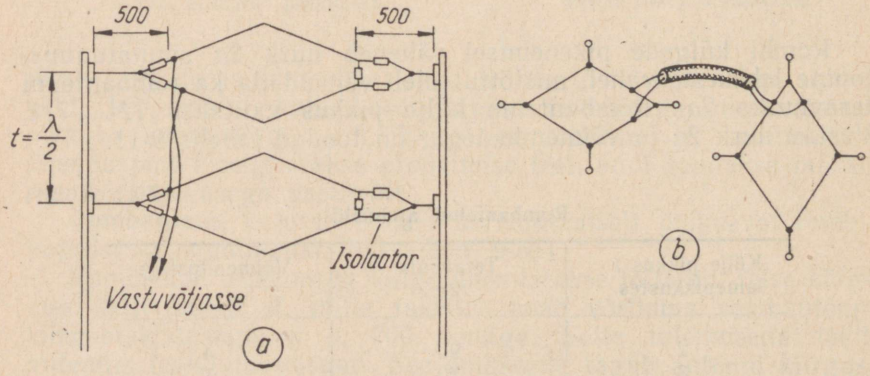
Toiteliinina võib kasutada sümmeetrilist kaablit KATB, mille $Z = 300\ \Omega$. Seejuures tuleb toiteliin sobitada antenniga sobitusaasa *Tr* abil, mis kujutab endast pidevalt muutuva lainetakistusega liinilõiku (joon. 9-55).

Kui kasutada koaksiaalkaablit lainetakistusega 75 Ω, siis tuleb see ühendada transformaatori külge U-aasa abil (joon. 9-55, *b*).

Antenni ja sobitustransformaatori juhtmena tuleb kasutada vasktraati läbimõõduga 2 ... 3 mm.

Koormustakistiks sobib 700-oomine masstakisti, mis tuleb hermeetiliselt sulgeda klaas- või keraamilisse torusse.

Kasutust on leidnud ka kahekordsed rombantennid (joon. 9-56), mis annavad suurema võimenduse. Toitejuhe ühendatakse paralleelselt mõlema rombiga. Rombi nurga ja masti vahele peab jääma 500 mm vahe. Kahe rombantenni vahekauguseks võetakse pool vastuvõetavast lainepikkusest $\lambda/2$. Antenni minimaalseks kõrguseks on $1{,}5\lambda$.



Joon. 9-56. Kahekorruseline rombantenn (*a*) ja üksikute rombide ühendamine (*b*).

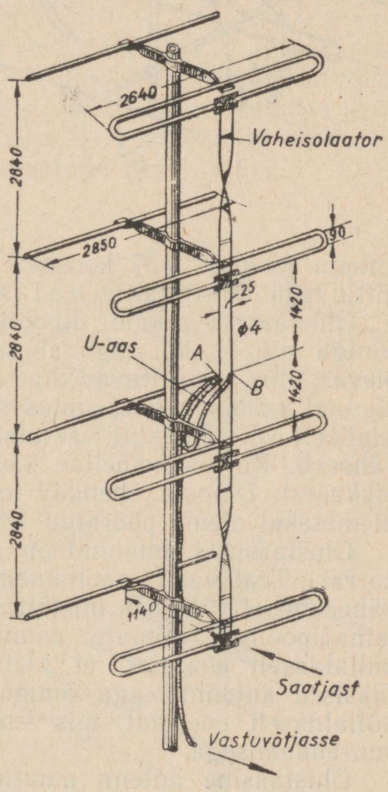
9-8. Ülikauge vastuvõtu antennid

Viimaste aastate jooksul on seoses televisioonisaatjate arvu suurenemise ja televisiooni vastuvõtutehnika arenemisega sagenenud televisioonisaadete vastuvõtu juhud 1000 ja rohkema kilomeetri kauguselt. Nii on Lääne-Euroopas võetud suveõhtuti tavaliste televiisoritega vastu Moskva televisioonikeskuse saateid ja nõukogude raadioamatöörid on jälginud Itaalia, Saksamaa, Prantsusmaa, Tšehhoslovakkia ning Šveitsi televisioonikeskuste saateid. Niisugune ülikauge vastuvõtt pole enam tingitud ajutistest nähetest troposfääris, nagu näiteks murdumisnäitaja suurenemisest kõrguse suurenemisega. Viimane tagaks vastuvõttu kuni paarisaja kilomeetri ulatusel. Ülikauget vastuvõttu põhjustab lainete peegeldumine ionosfäärist. Nimelt asub 90 ... 140 km kõrgusel ioniseeritud kiht *E*. Selles kihis kujunevad suvekuudel aeg-ajalt tugevamalt ioniseeritud ebapüsivad «pilved», mis moodustavad nn. sporaadilise kihi. Tingituna selle kihi tugevast ioniseerumisest peegelduvad sellistelt «pilvedelt» ultralühilained pikkusega 5 ... 6 m, võimaldadeski aeg-ajalt ülikauget vastuvõttu.

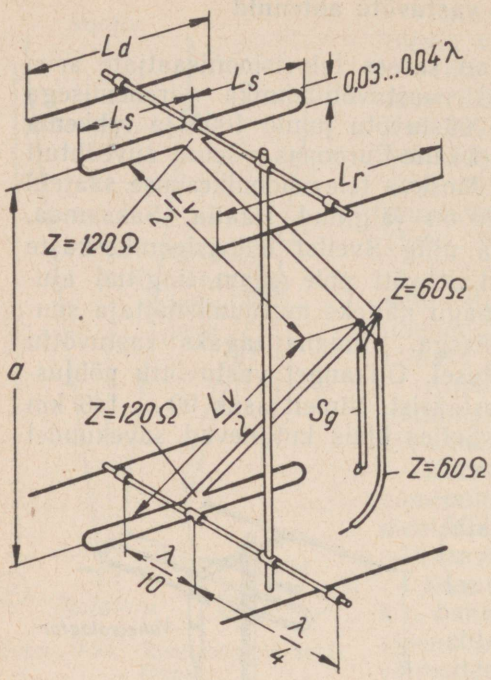
Ülikaugeks vastuvõtuks vajatakse pööratavat antenni, mis peab omama suurt võimendustegurit, et ammutada küllaldaselt energiat võimendaja omakahinate ületamiseks. Samuti peab antenn olema ühesuunaline ja omama teravat suunatunnusjoont, et vähendada kõrvalsuundadest saabuvate häirete mõju. Selleks on sobiv kasutada mitmekorruselist ühisfaasist antenni koos antennivõimendajaga.

Ühisfaasised antennid kujutavad endast poollainedipoolidest koosnevaid süsteeme, kus dipoolid paiknevad ridade kaupa ühes tasapinnas (joon. 9-57).

Kui antenn koosneb ühest horisontaalsest dipoolide reast, nimetatakse teda ühekorruseliseks antenniks. Kuid



Joon. 9-57. Neljakorruseline ühisfaasine antenn.



Joon. 9-58. Kolmeelemendilise kahekorruselise antenni sobitamine toiteliiniga.

antenn joonisel 9-57 koosneb neljast horisontaalsest reast, mistõttu teda nimetatakse neljakorruseliseks.

Ühisfaasise antenni dipoolid on ühendatud omavahel ja toiteliiniga nii, et kui signaal saabub dipoolide tasapinnaga risti olevas sihis, siis liituvad dipoolides indutseeritud voolud. Kui aga signaal saabub mõnes muus sihis, siis on voolud dipoolides kas osaliselt või täielikult vastufaasis, mistõttu vastuvõetav võimsus väheneb. Korrustevaheline kaugus peab võrduma poolega lainepikkusest. Dipoole ühendav toiteliin peab ühelt korruselt teisele üleminekul olema pööratud 180°, nagu nähtub jooniselt 9-57.

Ühisfaasised antennid on asendamatud just lühemate lainete korral. Teatavasti poollainedipooli efektiivkõrgus lainepikkuse vähenemisel väheneb, mistõttu lühematel lainetel on üksiku poollainedipooliga võimatu ammutada elektromagnetilisest väljast küllaldaselt energiat, et ületada vastuvõtja endamüra. Ühisfaasised antennid aga ammutavad elektromagnetilisest väljast küllaldaselt energiat, mis suureneb võrdeliselt antenni pindala suurendamisega.

Ühisfaasine antenn muutub ühesuunaliseks, kui iga dipooli taha umbes veerandi lainepikkuse kaugusele paigutada parasiitelement — peegeldaja. Veelgi lühemate lainete puhul asendatakse

peegeldajad terviklikust metallvõrgust või isegi metall-lehest peegliga.

Televisiooni vastuvõtuks kasutatavad ühisfaasised antennid on kahe- kuni neljakorruselised.

Ühisfaasise antenni võimendus K_p oleneb üksikantenni võimendusest K, antennide korruste arvust n ja nende vahekaugustest. Juhul kui antennide vahe on üks lainepikkus (λ), arvutatakse ühisfaasise antenni võimendus valemiga

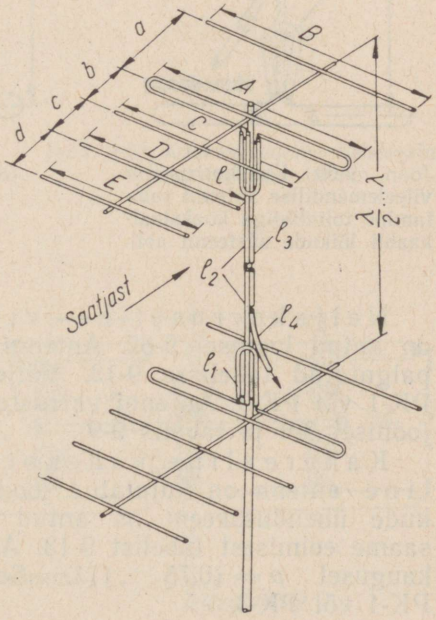
$$K_p = K\sqrt{n}. \qquad (9\text{-}45)$$

Kui antennide korruste vahe on pool lainepikkust ($\lambda/2$), siis on ühisfaasise antenni võimendustegur 20% võrra väiksem.

Joonisel 9-58 on näidatud kahekorruseline kolmeelemendiline ühisfaasine antenn.

Antennivarraste pikkused ja vahekaugused on antud tabelis 9-8.

Kahekorruseline viieelemendilise antenni süsteem on antud joonisel 9-59. Murtud dipool on ühendatud koaksiaalkaabli lõikude süsteemiga, mis on näidatud joonisel 9-60. Liinilõikude mõõtmed on antud tabelis 9-12. Antennide sobituseks võib kasutada ka liinilõik-transformaatorit (joon. 9-61).



Joon. 9-59. Kahekorruseline viieelemendiline antenn.

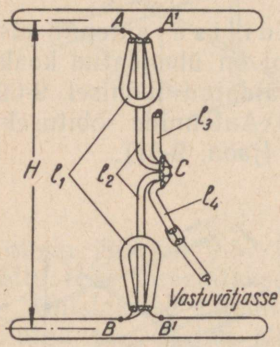
Antenni varraste paigutus ja mõõtmed on antud joonisel 9-8 ja tabelis 9-9.

Tabel 9-12

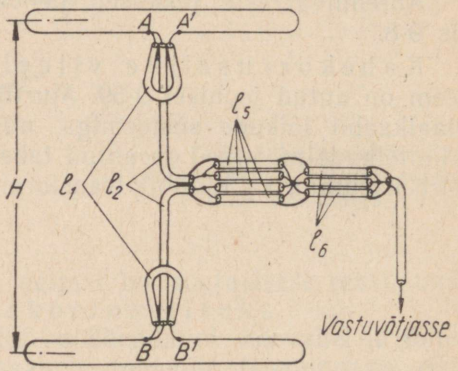
Kahekorruselise viieelemendilise antenni kaablilõikude pikkused

Kanal	Mõõtmed mm				Kanal	Mõõtmed mm			
	l_1	l_2	l_3, l_4	l_5, l_6		l_1	l_2	l_3, l_4	l_5, l_6
1	1900	1900	950	950	7	535	535	270	270
2	1600	1600	800	800	8	515	515	260	260
3	1240	1240	620	620	9	495	495	250	250
4	1120	1120	560	560	10	475	475	240	240
5	1030	1030	515	515	11	455	455	230	230
6	560	560	280	280	12	440	440	220	220

Liinilõigud l_1, l_2 ja l_3 on kaablist PK-1 või PK-3, l_4 kaablist PK-6, PK-19 või PK-47.



Joon. 9-60. Kahekorruselise viieelemendilise antenni sobitamine toiteliiniga koaksiaalkaabli lõikude süsteemi abil.

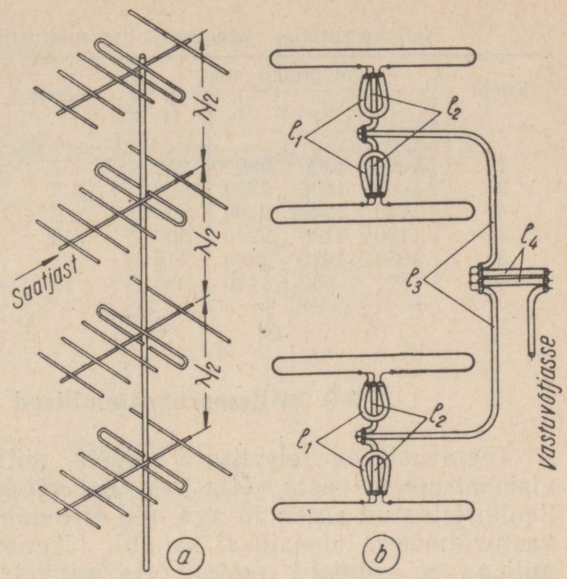


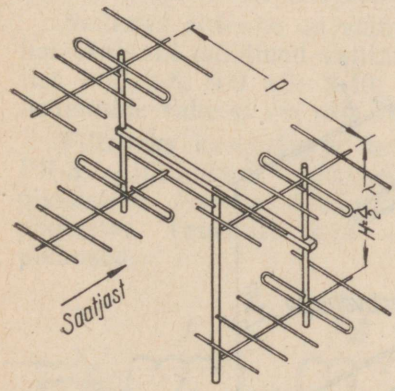
Joon. 9-61. Antenni sobitamine lainelõiktransformaatoriga.

Neljakorruseline viieelemendiline antenn on antud joonisel 9-62. Antenni sobitusliinilõikude pikkused on paigutatud tabelisse 9-13. Väljeühendused on tehtud kaabliga PK-1 või PK-3. Antenni varraste mõõtmed ja paigutus on antud joonisel 9-8 ja tabelis 9-9.

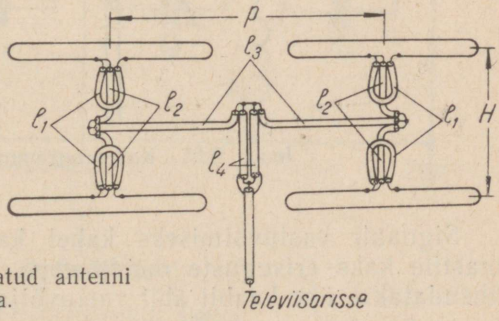
Kaherealine kahekorruseline viieelemendiline antenn on kujutatud joonisel 9-63. Kaabli sobitusliinilõikude ühendusskeem on antud joonisel 9-64, nende mõõtmed saame eelmisest tabelist 9-13. Antennide read asuvad üksteisest kaugusel $p = (0{,}75 \ldots 1)\lambda$. Sobitusliinilõikudeks kasutatakse PK-1 või PK-3.

Joon. 9-62. Viieelemendiline neljakorruseline antenn (*a*) ja tema sobitamine toiteliiniga (*b*).





Joon. 9-63. Kahekorruselise kaherealine viieelemendiline antenn.



Joon. 9-64. Joonisel 9-63 kujutatud antenni sobitamine toiteliiniga.

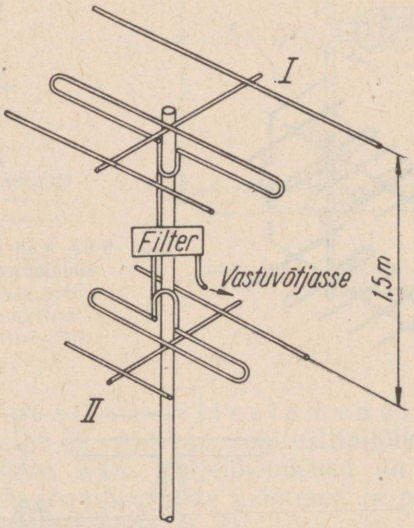
Tabel 9-13

Neljakorruselise viieelemendilise sobitusliinilõikude pikkused

Kanal	Mõõtmed mm				Kanal	Mõõtmed mm			
	l_1	l_2	l_3	l_4		l_1	l_2	l_3	l_4
1	1900	1900	3800	950	7	535	535	1070	270
2	1600	1600	3200	800	8	515	515	1030	260
3	1240	1240	2480	620	9	495	495	990	250
4	1120	1120	2240	560	10	475	475	950	240
5	1030	1030	2060	515	11	455	455	910	230
6	560	560	1120	280	12	440	440	880	220

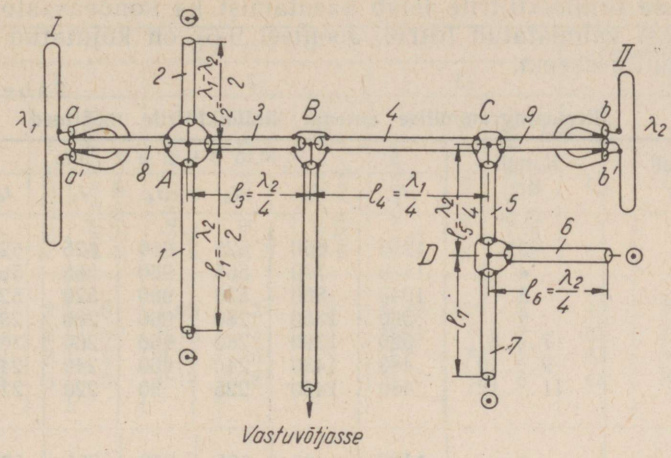
9-9. Mitmeprogrammilised antennid

Teatavasti on televiisoril eelaste, millega on võimalik televisioonisaateid vastu võtta kas viiel või kaheteistkümnel kanalil. Senikirjeldatud antennid aga olid ette nähtud televisioonisignaali vastuvõtmiseks ühelainsal kanalil. Järgnevalt käsitleme antenne, millega on võimalik vastu võtta mitmel kanalil töötavaid televisioonisaatjaid.



Joon. 9-65. Kaheprogrammiline antenn.

Signaali vastuvõtmiseks kahel kanalil paigaldatakse ühele mastile kaks erisuguste mõõtmetega dipoolantenni (I, II), mis ühendatakse ühe kaabli abil vastuvõtjaga (joon. 9-65). Antennide

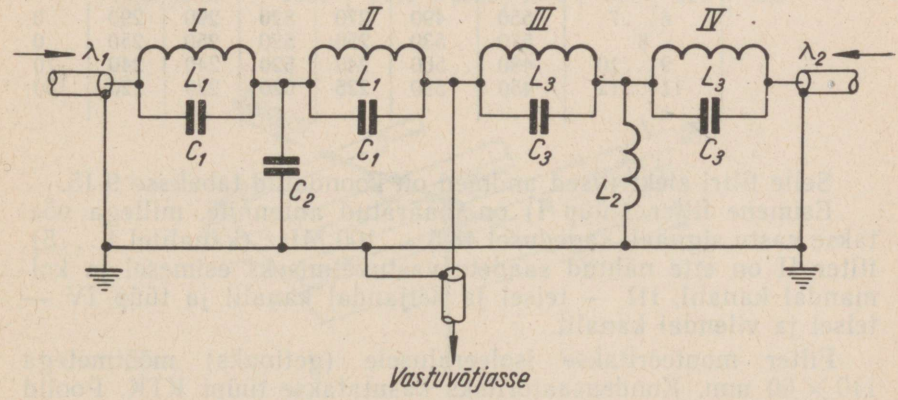


Joon. 9-66. Eraldusfiltrite paigutus.

vastastikuse mõju vähendamiseks kasutatakse kahte filtrit, mille vahele ühendatakse toitekaabel.

Selliseid antenne on võimalik ehitada ühe või mitmeelemendilisi. Antenni mõõtmed valitakse sõltuvalt elementide arvust tabelist 9-7, 9-8, 9-9 või 9-10, U-aasa mõõtmed aga tabelist 9-4. Antennide vahe ei või olla väiksem kui $^1/_4\lambda$.

Filtriteks kasutatakse koaksiaalkaablilõike kaablist PK-1 või PK-3. Liinilõikude pikkused sõltuvad vastuvõetavatest lainepikkustest. Joonisel 9-66 on antud liinilõikude pikkused lainepikkustes. Tabelisse 9-14 on koondatud vastavad liinilõikude pikkused.



Joon. 9-67. Eraldusfiltri skeem.

Peale liinilõikfiltrite leiab kasutamist ka kondensaatoritest ja poolidest valmistatud filtrid. Joonisel 9-67 on kujutatud vastava filtri lülitusskeem.

Tabel 9-14

Mitmeprogrammilise antenni liinilõikfiltrite mõõtmed

Kanali nr.	Kanali nr.	Mõõtmed, mm						
		l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	l_7
1	3	1250	650	625	960	625	625	455
	4	1130	770	565	960	565	565	615
	5	1040	860	520	960	520	520	770
	6	560	1350	280	960	280	280	590
	7...8	520	1390	260	960	260	260	630
	9...10	480	1430	240	960	240	240	670
	11...12	450	1460	225	90	220	220	700
2	4	1130	480	565	810	565	565	295
	5	1040	570	520	810	520	520	405
	6	560	1050	280	810	280	280	410
	7...8	520	1090	260	810	260	260	250
	9...10	480	1130	240	810	240	240	490
	11...12	450	1160	225	810	220	220	530
3	5	1040	210	520	620	520	520	275
	6	560	690	280	620	280	280	90
	7...8	520	730	260	620	260	260	190
	9...10	480	770	240	620	240	240	250
	11...12	450	800	220	620	220	220	310
4	6	560	270	280	560	280	280	0
	7...8	520	610	260	560	260	260	90
	9...10	480	650	240	560	240	240	160
	11...12	450	680	225	560	220	220	230
5	6...7	550	490	270	520	290	290	0
	8	510	530	250	520	250	250	0
	9...10	480	560	240	520	240	240	70
	11...12	450	590	225	520	220	220	150

Selle filtri elektrilised andmed on koondatud tabelisse 9-15.

Esimene filter (tüüp I) on määratud antennile, millega võetakse vastu signaali sagedusel 48,5...100 MHz (kanalitel 1...5), filter II on ette nähtud saadete vastuvõtmiseks esimesel ja kolmandal kanalil, III — teisel ja neljandal kanalil ja tüüp IV — teisel ja viiendal kanalil.

Filter monteeritakse isoleeralusele (getinaks) mõõtmetega 110 × 60 mm. Kondensaatoriteks kasutatakse tüüpi KTK. Poolid mähitakse traadiga ПЭЛ 0,6 ühekihilistena keerd keeru kõrvale.

Tabel 9-15

Filtri tüüp	Poolid									Kondensaatorid pF		
	L_1			L_2			L_3					
	Induktiivsus µH	Keerdude arv	Poolialuse läbimõõt mm	Induktiivsus µH	Pooli keerdude arv	Poolialuse läbimõõt mm	Induktiivsus µH	Keerdude arv	Poolialuse läbimõõt mm	C_1	C_2	C_3
I	0,05	2	5	0,08	3	5	0,39	11	5	12	20	12
II	0,09	3	6	0,16	5	6	0,23	7	6	47	33	39
III	0,08	3	5	0,14	5	5	0,2	7	5	47	30	36
IV	0,08	3	5	0,16	6	5	0,14	5	5	43	30	43

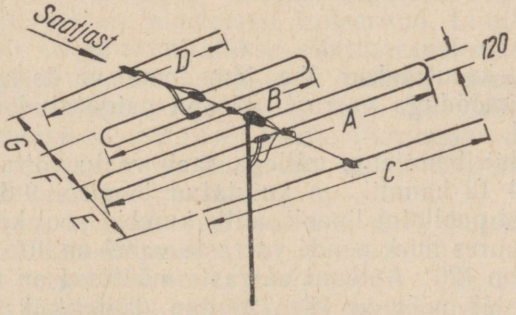
Poolid L_1 ja L_3 mähitakse ühisele alusele, L_2 aga eraldi alusele ja paigutatakse risti L_3-ga. Filter suletakse veekindlasse karpi ja kinnitatakse masti külge.

Joonisel 9-68 on toodud eri konstruktsiooniga kaheprogrammiline antenn. See antenn koosneb neljast elemendist — kahest murtud dipoolist ja kahest juhtelemendist. Tema geomeetrilised mõõtmed on antud tabelis 9-16.

Tabel 9-16

Kaheprogrammilise antenni mõõtmed mm

Kanal	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*
1. ja 3.	2740	1730	2880	1570	1150	680	620
2. ja 4.	2360	1620	2580	1420	960	600	570
2. ja 5.	2360	1440	2580	1300	960	570	520

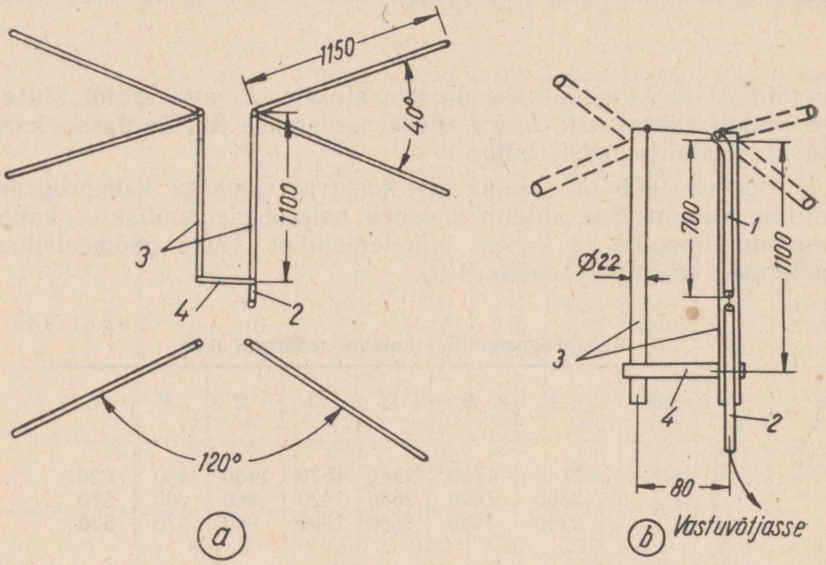


Joon. 9-68. Kaheprogrammiline antenn.

Murtud dipooli U-aasad arvutatakse eespool kirjeldatud viisil. Eraldusfiltriks kasutatakse joonisel 9-66 või 9-67 antud eeskujusid.

9-10. Lairibaantennid

Dipooli sagedusriba käsitlemisel (joon. 9-34) nägime, et mida suurema läbimõõduga on dipooli vardad, seda laiemal sagedusribal on võimalik signaale vastu võtta. Kui näiteks soovitakse vastu võtta 1 ... 5 televisioonikanalil (48,5 ... 100 MHz) toimuvaid saateid, siis sel juhul peaksid dipooli varraste läbimõõdud olema vähemalt 120 mm.



Joon. 9-69. Lihtsaim lairibaantenn (*a*) ja selle sümmetreeriv lüli (*b*).

Tegelikult kasutatakse ühe jämedama varda asemel mitut väiksema läbimõõduga varrast, mis on paigutatud üksteise suhtes nurga all.

Lihtsaim lairibaantenn, millega saab vastu võtta televisioonisaateid kõigil 12 kanalil, on kujutatud joonisel 9-69, *a*. Antenn kujutab endast poollainedipooli, mille kumbki pool koosneb kahest vardast, kusjuures nurk nende varraste vahel on 40°. Nurk dipooli poolte vahel on 120°. Antenni varraste mõõtmed on toodud joonisel. Varraste läbimõõt on 12 ... 20 mm. Toiteliiniks *2* on kaabel PK-3. Sümmetreeriv lüli (joon. 9-69, *b*) koosneb kahest metall-

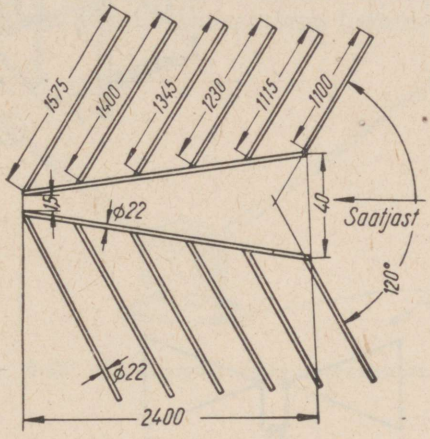
torust *3*, mis on alt omavahel ühendatud metall-liistuga *4*. Viimast võib ühtlasi kasutada antenni kinnitamiseks masti külge. Sobitustransformaatoriks on lõik *1* koaksiaalkaablist PK-2, mis paikneb sümmetreeriva lüli ühes torus. Selle liinilõigu pikkus

$$l = \frac{\lambda_1}{4\sqrt{\varepsilon_r}} = \frac{3\lambda_2}{4\sqrt{\varepsilon_r}} = 0{,}7 \ldots 0{,}75 \text{ m},$$

kus λ_1 on esimese laineastmiku (49 ... 100 MHz) keskmine lainepikkus m,

λ_2 — teise laineastmiku (175 ... 230 MHz) keskmine lainepikkus m.

Lairibaline kaugvastuvõtuantenn on näidatud joonisel 9-70, kus on antud ka antenni mõõtmed.



Joon. 9-70. Laiaribaline suundantenn.

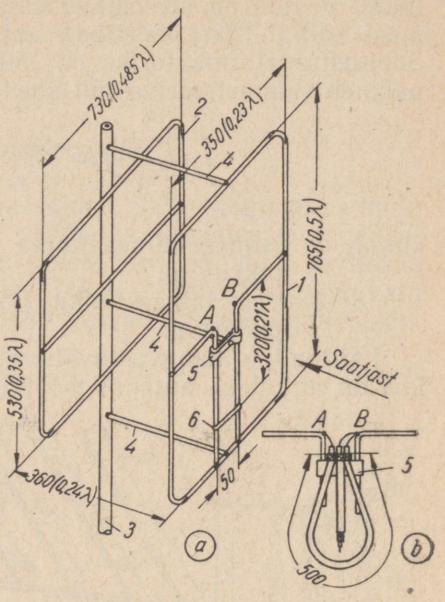
Selline antenn koosneb kahest sümmeetriliselt paigutatud varraste reast, mis on teineteisest isoleeritud. Liinilõigu kitsama otsa (1,5 mm) külge kinnitatakse sobitustransformaator, mis on valmistatud 50-Ω kaablist (PK-19). Antenni võimendus oleneb vastuvõetavast sagedusest ja ulatub kuni 2,5. Antennil on ühesuunaline tunnusjoon: põhilises vastuvõtusuunas saabuv signaal indutseerib antennis kolm kuni viis korda kõrgema pinge kui vastassuunast saabuv signaal.

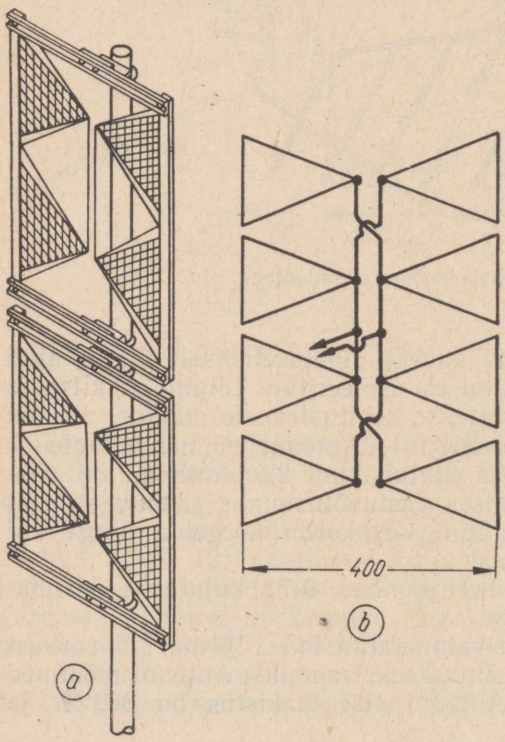
Kasutust on leidnud veel joonisel 9-71 kujutatud lairibaantenn 6 ... 12. kanali jaoks.

Antenn ja peegeldaja on valmistatud 14 ... 16 mm jämedusest torust, mis on painutatud nelinurkseks raamiks. Antenni mõõtmed on toodud joonisel 9-71. Antenni sisendtakistus on 300 Ω ja

Joon. 9-71. Täisnurkne antenn:

1 — aktiivne element, *2* — peegeldaja, *3* — mast, *4* — distantsvarras, *5* — isoleerainest sild, *6* — lühistav sild.





Joon. 9-72. Võrkantenn.

seepärast on vaja koaksiaalkaabel ühendada antenniga U-aasa vahendusel punktides *A* ja *B*.

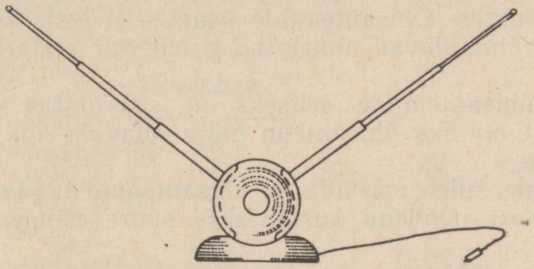
Joonisel 9-72 kujutatud antenniga on võimalik televisioonisignaali vastu võtta väga kõrgetel sagedustel ja laias sagedusribas (400 . . . 900 MHz).

Nimetatud antenn on valmistatud metallvõrgust, mis on paigutatud isoleeritud raamile.

9-11. Tüüpantennid

Tehaste poolt toodetakse komplektsetena nii sise- ehk toaantenne kui ka välisantenne.

Siseantennid. Tüüpsiseantennidest on leidnud suurimat levikut teleskoopvarrastega toaantennid (tüübid KTTA-1, KPTA-54, ATKP-1 jt.). Niisugune teleskoopvarrastega toaantenn (joon. 9-73)



Joon. 9-73. Teleskoopvarrastega toaantenn.

kujutab endast dipooli, mille haruvardad koosnevad 2 . . . 4 torust, mis on haruvarraste pikkuse muutmiseks teleskoobitaoliselt üksteise sisse ja üksteisest välja nihutatavad. Samuti on ka haruvarraste vaheline nurk muudetav.

Kuna toaantenn kasutab vastuvõtuks peamiselt peegeldunud lainet, tuleb katselisel teel leida toas antennile sobivam asukoht ja siht. Antenni võib paigutada televiisorile, lauale või kinnitada seinale. Haruvarraste pikkus tuleb reguleerida vastavaks vastuvõtuks kasutatava televisioonikanali lainepikkusele (vt. lisa 1). Samuti katselisel teel tuleb leida ka sobivaim nurk haruvarraste vahel. Antenni saab kasutada vastuvõtuks maksimaalselt 5 . . . 7 km kaugusel televisioonisaatjast.

Välisantennid. Tehaste poolt toodetakse peamiselt järgmisi tüüpvälisantenne: АТУ1 vastuvõtuks I kanalil, АТУ2 — II kanalil ja АТУ3 — III kanalil.

Iga kanali jaoks valmistatakse antenne kolmes variandis. Sellele vastavalt tähistatakse näiteks II kanali antenne:

a) АТУ2-1 — murtud dipool,
b) АТУ2-2 — murtud dipool peegeldajaga,
c) АТУ2-3 — murtud dipool peegeldaja ja suunajaga.

Neid kasutatakse vastuvõtuks vastavalt kuni 20, 40 või 60 km kaugusel televisioonikeskusest, raskete vastuvõtutingimuste puhul ka väiksematel kaugustel.

9-12. Ühisantennid

Ühisantennid on vajalikud suurte majade radiofitseerimiseks ja televisioniseerimiseks. Käesoleval ajal, kus ühes majas leidub veel vähe televiisoreid, ei mõjuta televisioonivastuvõtuantennid üksteist kuigi tunduvalt, kuid tulevikus kujuneb juba tõsiseks probleemiks, kuidas vältida televiisorite segavat toimet üksteisele. Olgu märgitud, et raadiovastuvõtu suhtes ei kerki see probleem pikemate lainete kasutamise tõttu nii teravalt esile kui just televisiooni suhtes. Ühisantennide peamiseks eeliseks ongi asjaolu, et nad võimaldavad nimetatud probleemi otstarbekat lahendamist.

Teiseks ühisantennide eeliseks on saavutatav majanduslik sääst. Nimelt on üks ühisantenn palju odavam kui hulk individuaalantenne.

Kolmandaks tuleb märkida, et ühisantennid tagavad ka kaugvastuvõttu, sest nendena kasutatakse suure võimendusteguriga antenne.

Neljandaks ühisantennide kasutamise eeliseks on linnade välisilme parandamine. On selge, et üks korralik antenn hoone katusel on palju nägusam kui korrapäratult katust kattev antennide rägastik.

Eeltoodut arvestades tuleks iga suurema hoone projektis ette näha ühisantenn nii televisiooni- kui ka ringhäälingusaadete vastuvõtuks.

Ühisantenn koosneb hoone katusele paigaldatavast antennist, ühest või mitmest toiteliinist, koridorides paiknevatest jaotuskarpidest ja abonendiliinidest, mis lõpevad abonendipistikutega, kuhu lülitatakse televisioonivastuvõtjad.

Televisioonisaatjast suuremal kaugusel, kus väljatugevus on niivõrd nõrk, et antenn ei suuda toita kõiki tarbijaid (vastuvõtjaid), tuleb ühisantenn varustada veel lairibavõimendaja ehk nn. antennivõimendajaga. Katkematu vastuvõtu tagamiseks kasutatakse kahte võimendajat koos vastava ümberlülitiga (joon. 9-74), kusjuures teine võimendaja on reservis.

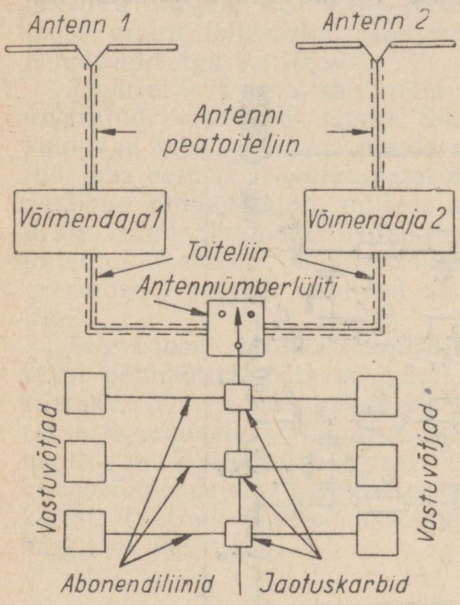
Iga abonendiliin ühendatakse toiteliini külge jaotuskarbi kaudu (joon. 9-75), mis sisaldab lahtisidestus- ja korrigeerimiselemente.

Kasutatakse reaktiivtakistuslikke lahtisidestuselemente L_1 ja C,

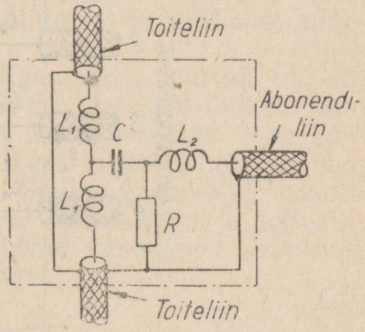
mis vähendavad miinimumini peegeldumisi ja säilitavad kaod väikestena. Kondensaator C väldib abonendiliini tagasitoimet toiteliinile ja määrab abonendiliini pinge. Jaotusvõrgu soodsaima talitlusseisundi saavutamiseks kogu nõutava sagedusriba (umbes 48...85 MHz) ulatuses peab mahtuvus C olema selline, et sagedusel 50 MHz omaks abonendiliini tõttu tekkiv toiteliini aktiivtakistus väärtust

$$R_{ab} = 2nZ, \tag{9-46}$$

kus n on toiteliinist hargnevate abonendiliinide arv,
Z — kaabli lainetakistus Ω.



Joon. 9-74. Ühisantenniseade.



Joon. 9-75. Ühisantenni jaotuskarbi skeem.

Induktiivsus L_1 tuleb valida selline, et jaotuskarbi aselainetakistus

$$Z_{ekv} = 900 \sqrt{\frac{2L_1}{C}} \ \Omega \tag{9-47}$$

võrduks kaabli lainetakistusega (kui induktiivsust L_1 avaldada mikrohenrides ja mahtuvus C pikofaradites). Siis on jaotuskarbi poolt tekitatavad peegeldumised minimaalsed.

75-oomise kaabli kasutamise puhul on C ja L_1 arvutatavad järgmiste valemitega:

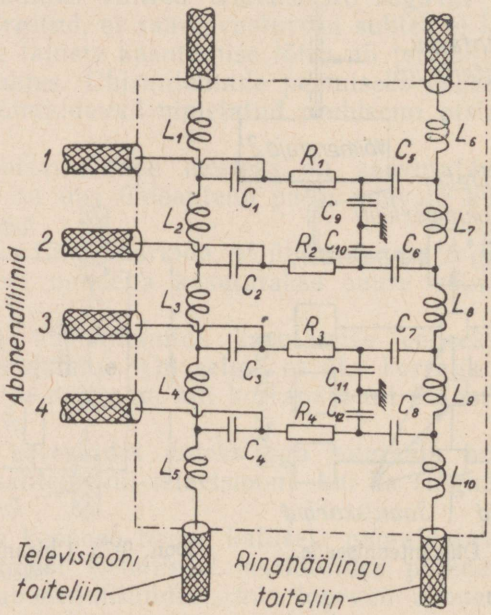
$$C = \frac{30}{n} \text{ pF} \tag{9-48}$$

ja

$$L_1 = \frac{87}{1000\, n} \mu\text{H}, \tag{9-49}$$

kus n on abonentide arv.

Abonendiliiniga on ühendatud rööbiti takisti R, et sobitada abonendiliini toiteliiniga ja vältida süsteemis resonantsi- ning peegeldumisnähtusi, mis võivad halvendada kujutise kvaliteeti. Samuti vähendab see takisti televiisori külge- ja lahtilülitamise mõju. Takisti R takistus valitakse võrdne kaabli lainetakistusega (75 Ω).



Joon. 9-76. Televisiooni- ja ringhäälingu-vastuvõtu ühisantennile nelja abonendiliini külgeühendamiseks määratud jaotuskarbi skeem.

Induktiivsus L_2 on ühendatud abonendiliini selleks, et seda sobitada toiteliiniga. Induktiivsus L_2 peab olema ligikaudu kaks korda suurem kui L_1. Induktiivsused L_1 ja L_2 osutuvad niivõrd väikesteks, et nendena kasutatakse traadilõike, arvestades, et 0,6 mm läbimõõduga traadi 20 mm pikkune lõik omab induktiivsust 0,015 μH.

Et abonendiliinide otstest peegeldunud lained ei liituks, ei tohi jaotuskarpidevaheline kaugus võrduda poole lainepikkusega või olla selle kordne.

Televisiooni- ja ringhäälinguvastuvõtu ühisantenn. Suuremates hoonetes tekivad ringhäälinguvastuvõtul samad raskused nagu televisioonivastuvõtulgi. Toaantennid omavad väikest efektiivkõrgust ja asetsevad sageli tugevas häireväljas, mistõttu kvaliteetne vastuvõtt osutub võimatuks. Suur arv mitmesuguseid välisantenne rikub hoonete välisilmet. Seepärast tuleb ka ringhäälingu-vastuvõtuks kasutada ühisantenne. Kulutuste vähendamiseks on otstarbekas kasutada televisiooni ühisantenni ühtlasi ka ringhäälingu vastuvõtuks. Parimaid tulemusi on andnud kombineeritud lülitus, kus kasutatakse televisiooni ja ringhäälingu jaoks eraldi toitevõrku, jaotuskarbid ning neist väljuvad abonendiliinid aga on ühised.

Joonisel 9-76 on toodud nelja abonendiliini külgeühendamiseks määratud jaotuskarbi skeem. Siin $L_1 \ldots L_5$, $C_1 \ldots C_4$ ja $R_1 \ldots R_4$ kuuluvad televisiooniosa juurde ning nende otstarvet on selgitatud juba eespool. Kondensaatorid $C_5 \ldots C_{12}$ moodustavad mahtuvuslikud pingejagajad, millede kaudu suunatakse abonendiliinidesse ringhäälingu-vastuvõtuks vajalikku pinget. Ringhäälingutoiteliini ühendatud induktiivsused $L_6 \ldots L_{10}$ on vajalikud korrigeerimiseks ja nad väldivad abonendiliinide tagasitoimet toiteliinile.

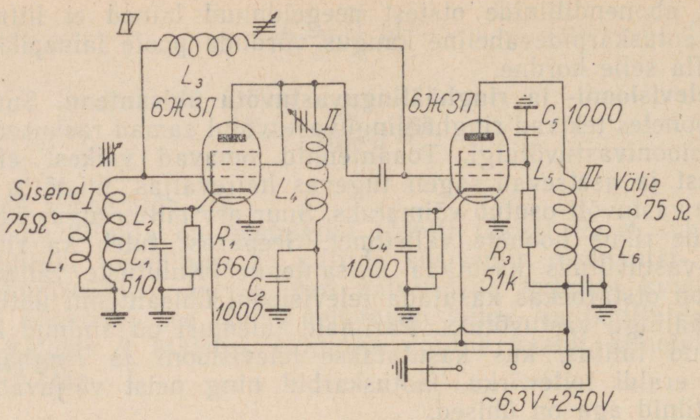
Televisiooni translatsioonivõrk. Kasutamist leiavad ühisantenni põhimõttel töötavad televisiooni-translatsioonisõlmed. Siin võetakse televisioonisignaal antenniga vastu, seejärel võimendatakse ja muudetakse kujutisesageduslikuks vooluks, mis siis abonentide poolt kasutatakse vastuvõtjas. Selline vastuvõtja koosneb viideovõimendajast, hälvitusseadmetest, kineskoobist ja toiteallikatest. Taolised televisioonisõlmed leiavad kasutamist asutustes, haiglates jne.

9-13. Antennivõimendajad

Kui televisiooni kaugvastuvõtu puhul osutub suundantenniga saadav televisioonisignaali pinge mitteküllaldaseks, siis tuleb antenni ja vastuvõtja vahele ühendada eelvõimendaja. Viimane peab paiknema võimalikult antenni lähedal.

Sellise eelvõimendaja võimendusastmete arv oleneb väljatugevusest antenni juures ja antenni külge lülitatud televiisorite arvust — antenni koormusest. Kasutatakse kahe- kuni seitsmeastmelisi võimendajaid, mille läbilaskeriba laius peab olema 6 ... 8 MHz. Võimendaja valmistamisel tuleb arvestada eespool lairibavõimendajate kohta toodud nõudeid.

Ühe televisioonivastuvõtja tundlikkuse suurendamiseks võib



Joon. 9-77. Kaheastmelise antennivõimendaja УПТ skeem.

kasutada kaheastmelist tüüpvõimendajat УПТ. Selliseid võimendajaid toodetakse tehaste poolt eraldi esimese (УПТ-1), teise (УПТ-2) ja kolmanda (УПТ-3) kanali jaoks. Nende erinevus seisab ainult poolide keerdude arvus.

Võimendajat toidetakse televiisorist, kusjuures võimendaja vajab anoodvoolu 18 mA ja küttevoolu 0,6 A.

Võimendaja esimeses astmes EL_1 (joon. 9-77) sisaldub lairibavõimenduspentood 6Ж3П trioodlülituses, et vähendada võimendaja endamüra. Pool L_3 on trioodi võre ja anoodi vahelise mahtuvuse neutraliseerimiseks. Võimendaja võnkeringid moodustuvad poolidest L_2, L_4 ja L_5 ning vastavatest parasiitmahtuvustest. Võimendaja teises astmes EL_2 sisaldub samuti pentood 6Ж3П, mis on talle järgneva koormusega (koaksiaalkaabli või televiisoriga) sidestatud induktiivselt. Sidestuspool L_6 on arvutatud 75-oomise koormuse jaoks. Poolialuste läbimõõt on 9 mm ja poolide pikkus 20 mm. Häälestamine toimub poolide vasksüdamike asukoha reguleerimise teel. Poolide andmed on toodud tabelis 9-17.

Tabel 9-17

Televisiooni-lairibavõimendaja poolide andmed 2. kanali kohta

Pool	Keerdude arv 2. kanalis	Juhe
L_1	12,5	ПЭЛ-1 0,93
L_2	5	ПЭЛШО 0,27
L_3	19	ПЭЛШО 0,27
L_4	9	ПЭЛ-1 0,93
L_5	14	ПЭЛ-1 0,93
L_6	8,5	ПЭЛШО 0,27

Võimendaja läbilaskeriba laius on 6,5 MHz, ebaühtlusega —3 dB, võimendus 1. kanalil vähemalt 15, 2. ja 3. kanalil vähemalt 20.

Kogemused on näidanud, et sellise eelvõimendaja abil võib saavutada rahuldavat vastuvõttu televisioonikeskusest kuni 200 km kaugusel.

Raskete vastuvõtutingimuste ja samuti ülikauge vastuvõtu korral tuleb kasutada antennivõimendajaid, mis sisaldavad suuremat arvu astmeid ja iseseisvat toiteosa. On olemas ka hermeetiliselt suletud kujundusega antennivõimendajaid, mida võib paigutada masti otsa, antenni vahetusse lähedusse. Selliste antennivõimendajate ehituskirjeldusi võib leida vastavast erialasest kirjandusest.

9-14. Antennide paigaldamine ja piksekaitse

Antenni ehitusmaterjaliks võib kasutada vaske, alumiiniumi või konstruktsiooniterast. Antenni paigutamisel hoone katusele peab jälgima, et ehitatav antenn ei kiirgaks olemasolevaile antennidele või vastupidi.

Teatavasti paranevad antenni kõrguse suurenemisel tema vastuvõtuomadused. Eriti kõrgeid antenne kasutatakse kaugvastuvõtul, sest kaugvastuvõtuantenn peab ulatuma kõrgemale tema piirkonnas leiduvatest esemetest. Harilikult kinnitatakse kaugvastuvõtuantenn 10 ... 15 m pikkuse masti külge, mis omakorda paigutatakse hoone katusele.

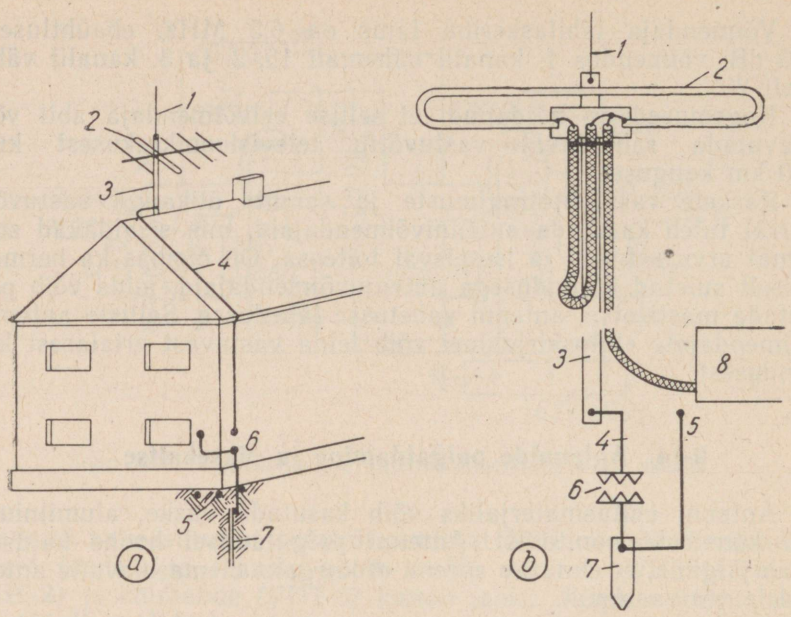
Antenniseadme kinnitamisel hoone katusele tuleb silmas pidada, et ta oleks mehaaniliselt vastupidav ka ilmastikutingimustele. Aeg-ajalt on vaja teha antenni tõmbitsate ja masti kinnituste profülaktilist ülevaatust, et vältida antenni riknemist.

Peale nimetatud abinõude peab antenn olema kaitstud pikselöökide eest.

Dipoolantenn ühes televiisorisse siseneva juhtmega on mastist isoleeritud. Juhul kui kasutatakse metallmasti, on vaja masti alumine ots maandada. Soovitav on kinnitada vertikaalselt antennimasti ülemise otsa külge piksekaitseks vaskvarras, mille pikkus on 0,5 ... 1 m ja läbimõõt 10 mm.

Kui antenni hoidjaks kasutatakse puitmasti, on vaja maandamisjuhe kinnitada piksekaitse külge. Soovitav on kasutada maandamisjuhtmeks vähemalt 8 mm läbimõõduga vask- või terastraati. Alumiiniumist maandamistraadi läbimõõt peab olema 10 ... 15 mm. Peenema maandamisjuhtme kasutamise puhul võib pikselöök ta purustada.

Mõnikord kasutatakse maandamiseks juhuslikke esemeid, nagu keskkütteseadmeid, veetorustikku jne. Vastavalt ohutustehnika



Joon. 9-78. Murtud dipooli varustamine piksekaitsega:

Antenni ja piksekaitse asetus (*a*) ja skeem (*b*); *1* — piksekaitse, *2* — antenn *3* — antennimast, *4* — maandusjuhe, *5* — maanduskontakt, *6* — ülelöögikontaktid, *7* — maandusvarras, *8* — televiisor.

nõuetele pole soovitav niisuguseid maandusi kasutada, sest neil on sageli suur maandustakistus.

Soovitav on antenni maandamiseks kasutada 1,5...2 m pikkust metallvarrast (joon. 9-78), mis lüüakse maasse. Kuiva liivase pinnase puhul ei saavutata ühe varda kasutamisel küllalt head maandust. Parema maanduse saamiseks lüüakse maasse neli varrast ja ühendatakse nad omavahel juhtmega, mille läbimõõt võrdub maandamisjuhtme läbimõõduga. Pinnase juhtivuse suurendamiseks kaetakse maandusvarda ümbrus vaheldumisi keedusoola ja liiva kihtidega. Heaks loetakse maandust, mille maandustakistus on 2,5...3 Ω.

Maandusjuhet ei ole soovitav kinnitada vahetult süttivate materjalide (puit, papp jne.) külge. Maandusjuhe tuleb neist eemaldada isolaatorite või metallvarrastega. Vastasel korral võib pikselöögi puhul juhe sedavõrd kuumeneda, et hoone süttib.

Murtud dipooli kasutamise puhul on dipoolantenni keskpunkt mastiga ühendatud. Kui kasutatakse metallist antennimaste ja antennijuhtmena koaksiaalkaablit, on televiisori šassii masti kaudu ühendatud maaga. Sageli aga ei ole soovitav televiisori šassiid maandada. Nendes televiisorites, kus esineb see oht, pai-

gutatakse maandusjuhtmesse ülelöögikontaktid, mis on näidatud joonisel 9-78.

Äikese ajaks tuleb antennijuhe televiisorist lahutada ja asetada selleks ettenähtud maanduspessa. Maandusjuhe keevitatakse või joodetakse maandusvarda külge ja ühenduskoht kaetakse asfaltlakiga.

9-15. Televisioonivastuvõtul esinevad häired

Televisioonisaadete laitmatut vastuvõttu takistavad sageli häired. Häirete tekitajaks on mitmesugused seadmed — häireallikad, mida võib jaotada kolme rühma.

Esimesse rühma kuuluvad trammid, mitmesugused elektrimootorid, kõrgsagedusahjud, vigased elektrikontaktid jne.

Teise rühma kuuluvad peegeldunud signaalid, mis põhjustavad vastuvõtja ekraanil mitmekordse kujutise.

Kolmandasse rühma kuuluvad ringhäälingusaatjad (eriti sagedusmoduleeritud saatjad), mis tekitavad vastuvõtja ekraanile mustadest ribadest koosneva võrgu.

Esimese häireallikate rühma häirete ärastamiseks tuleb suurendada signaali ja häire suhet. Selleks tuleb toaantenn asendada välisantenniga ja viimane täpselt suunata saatjale. Raskematel juhtudel tuleb kasutada mitmeelemendilisi antenne, mis omavad ühesuunalist tunnusjoont.

Teise häireallikate rühma häireid — peegeldunud signaale — saab vältida antenni õige sobitamise ja suunamisega. Kui ainult suuna muutmistega ei saavutata häirevaba vastuvõttu, siis tuleb muuta antenni asukohta katusel, misjärel katsetada uuesti antenni suuna muutmisega, kuni saavutatakse häirevaba vastuvõtt.

Kolmanda häireallikate rühma häirete esinemisel, kui nende ärastamine ühesuunalise antenni kasutamise teel ei õnnestu, tuleb antenni toiteliini ühendada ribafilter, mis laseb läbi televisiooni sagedusriba, tõkestab aga häiresagedusi.

Lisad

Lisa 1

NSV Liidu televisiooni saatekanalid

Kanali nr.	Sagedusriba MHz	Kanali keksagedus MHz f_k	Kanali keskmine lainepikkus λ_k m	Kujutise kandesagedus MHz	Heli kandesagedus MHz
1	48,5 ... 56,5	52,5	5,72	49,75	56,25
2	58 ... 66	62	4,84	59,25	65,75
3	76 ... 84	80	3,75	77,25	83,75
4	84 ... 92	88	3,41	85,25	91,75
5	92 ... 100	96	3,13	93,25	99,75
6	174 ... 182	178	1,68	175,25	181,75
7	182 ... 190	186	1,61	183,25	189,75
8	190 ... 198	194	1,55	191,25	197,75
9	198 ... 206	202	1,48	199,25	205,75
10	206 ... 214	210	1,43	207,25	213,75
11	214 ... 222	218	1,37	215,25	221,75
12	222 ... 230	226	1,32	223,25	229,75

Lubatud on kasutada peale 12 kanali veel 72 televisioonikanalit, mis haarab sagedusriba 222 kuni 890 MHz.

Välismaised televisiooni saatekanalid

Kanali nr.	Kujutise kandesagedus MHz	Heli kandesagedus MHz	Sageduskanali (MHz)		
			madalaim sagedus MHz	kõrgeim sagedus MHz	kesksagedus MHz
			Ida-Euroopa		
1	41,75	48,25	40,50	48,50	44,50
2	49,75	56,25	48,50	56,50	52,50
3	59,25	65,75	58,00	66,00	62,00
4	145,25	151,75	144,00	152,00	148,00
5	153,25	159,75	152,00	160,00	156,00
6	161,25	167,75	160,00	168,00	164,00
7	169,25	175,75	168,00	176,00	172,00
8	177,25	183,75	176,00	184,00	180,00
9	185,25	191,75	184,00	192,00	188,00
10	193,25	199,75	192,00	200,00	196,00
11	201,25	207,75	200,00	208,00	204,00
12	209,25	215,75	208,00	216,00	212,00
			Lääne-Euroopa		
1	42,25	46,75	41,00	47,00	44,00
2	48,25	53,75	47,00	54,00	50,50
3	55,25	60,75	54,00	61,00	57,50
4	62,25	67,75	61,00	68,00	54,50
5	175,25	180,75	174,00	181,00	177,50
6	182,25	187,75	181,00	188,00	184,50
7	189,25	194,75	188,00	195.00	191,50
8	196,25	201,75	195,00	202,00	198,50
9	203,25	208,75	202,00	209,00	205,50
10	210,25	215,75	209,00	216,00	212,50
11	217,25	222,75	216,00	223,00	219,50
			Inglismaa		
1	45,00	41,50	41,20	46,25	43,75
2	51,75	48,25	48,00	53,00	50,50
3	56,75	53,25	53,00	58,00	55,50
4	61,75	58,25	58,00	63,00	60,50
5	66,75	63,25	63,00	68,00	65,50

Televisioonistandardid

Standard	NSV Liidu monokroom	Euroopa monokroom	Ameerika monokroom	Briti monokroom	Prantsuse monokroom	Ameerika värviline
Ridade arv	625	625	525	405	819	525
Ridade arvu tegurid	5×5×5×5	5×5×5×5	3×5×5×7	3×3×3×3×5	3×3×7×13	3×5×5×7
Pildiväljade arv sekundis	50	50	60	50	50	59,94
Ridade arv sekundis	15625	15625	15750	10125	20475	15734,26
Piltide arv sekundis	25	25	30	25	25	29,97
Pildi formaat	4 : 3	4 : 3	4 : 3	4 : 3	4 : 3	4 : 3
Pildikustutusimpulsi kestus (p—ühe pildivälja kestus)	$(0{,}075 \pm 0{,}005)\,p$	$(0{,}06 \ldots 0{,}1)\,p$	$(0{,}05 \ldots 0{,}08)\,p$	$(14 \ldots 0{,}069)\,p$	$0{,}1\,p$	$(0{,}07 \ldots 0{,}08)\,p$
Vertikaalne sulgimpulss		18,8 ... 31,1 rida	13,1 ... 21,0 rida		41 rida	18,4 ... 21,0 rida
Kanali laius MHz	8	7	6	5	14	5
Kujutise ja helikandesageduste vahe MHz	+ 6,5	+ 5,5 ja + 4,25	+ 4,5	— 3,5	+ 11,15	+ 4,5
Reakustutusimpulsi kestus (H—ühe rea kestus)	$0{,}14\,H$	$(0{,}17 \ldots 0{,}195)H$	$(0{,}16 \ldots 0{,}18)H$	$(0{,}162 \ldots 0{,}187)H$	$0{,}164\,H$	$(0{,}165 \ldots 0{,}18)H$
Horisontaalne teravus	—	80 rida MHz/sec	80 rida MHz/sec	123 rida MHz/sec	61 rida MHz/sec	80 rida MHz/sec
Pildi aktiivridade arv	—	589 ... 563	499 ... 483	377	737	488 ... 483

Lisa 4

Televisioonistandardite rakendamine

NSVL	Euroopa	Ameerika	Briti	Prantsuse
NSVL	Argentiina	Ameerika Ühendriigid	Inglismaa	Prantsusmaa
Poola	Venezuela	Kanada	Iirimaa	Belgia
Ungari	Belgia	Mehhiko	Uus-Meremaa	Monako
Rumeenia	Taani	Kesk-Ameerika		Vatikan
Bulgaaria	Saksa FV	Guatemala		Alžeeria
Tšehhoslovakkia	Saksa DV	Kuuba		Tuneesia
Hiina	Itaalia	Haiti		
	Holland	Brasiilia		
	Norra	Tšiili		
	Hispaania	Kolumbia		
	Austria	Uruguai		
	Rootsi	Filipiinid		
	Soome	Jaapan		
	Šveits			
	Jugoslaavia			
	Türgi			
	Lõuna-Aafrika			
	Austraalia			

Lisa 5

Lääne-Euroopa televisioonisaatjaid

Televisiooni saatja asukoht	Kujutise kandesagedus MHz	Heli kandesagedus MHz	Ridade arv
London (Inglismaa)	45,0	41,5	405
Bern (Šveits)	48,25	53,75	625
Antverpen (Belgia)	48,25	53,75	625
Lüttich (Belgia)	48,25	53,75	625
Viin (Austria)	49,75	56,25	625
Praha (Tšehhoslovakkia)	49,75	56,25	625
Bratislava (Tšehhoslovakkia)	49,75	56,25	625
Cannes (Prantsusmaa)	52,4	41,21	819
Monte-Carlo (Monako)	52,4	41,25	819
Zürich (Šveits)	55,25	60,75	625
Berliin (Saksa DV)	59,25	66,75	625
Varssavi (Poola)	59,25	66,75	625
Ostrava (Tšehhoslovakkia)	59,25	66,75	625
Bukarest (Rumeenia)	59,25	66,75	625
Budapest (Ungari)	59,25	66,75	625
Leipzig (Saksa DV)	59,25	66,75	625
Stokholm (Rootsi)	62,25	67,75	625
Oslo (Norra)	62,25	67,75	625
Kopenhaagen (Taani)	62,25	67,75	625
Innsbruck (Austria)	62,25	67,75	625
Torino (Itaalia)	82,25	87,75	625
Norrköping (Rootsi)	175,25	180,75	625
Helsingi (Soome)	182,25	187,75	625
Helsingi (Soome)	196,25	201,75	625

Kineskoobi tüüp	Elektronkiire teravustus-viis	Elektronkiire hälvitusviis	Ioonipüüdja tüüp	Küttepinge V	Küttevool A	Anoodpinge kV
18ЛК4Б	Magnetiline	Magnetiline	Sektoriline	6,3	0,6	4...6
18ЛК5Б	„	„	Korrigeeriva magnetiga	6,3	0,55	4...6
18ЛК15	„	„	—	6,3	0,55	4...6
18ЛК15	„	„	—	6,3	0,55	4...6
18ЛО40Б	Elektro-staatiline	Elektro-staatiline	—	6,3	0,6	1,6...2,1
23ЛК1Б	Magnetiline	Magnetiline	—	6,3	0,55	7...9
31ЛК1Б	„	„	Korrigeeriva magnetiga	6,3	0,6	8...12
31ЛК2Б	„	„	Vajatakse korrigeerivat magnetit	6,3	0,6	8...12
40ЛК1Б	„	„	Korrigeeriva magnetiga	6,3	0,53	12...13
10ЛК2Б	„	„	—	1,5	2,5	22
35ЛК2Б	Elektriline	„	Korrigeeriva magnetiga	6,3	0,6	12
43ЛК2Б	„	„	„	6,3	0,6	14
43ЛК3Б	„	„	„	6,3	0,6	14
53ЛК2Б	„	„	„	6,3	0,6	16
53ЛК3Б	„	„	„	6,3	0,6	16
53ЛК5Б	„	„	„	6,3	0,6	16

Maksimaalne kiire vool µA	Modulaatori negatiivne pinge V	Kujutise mõõtmed ekraanil mm	Suurim piklus mm	Suurim läbimõõt mm	Kaela läbimõõt mm	Märkused
150	15...60	100×135	355	172	33,5	
100	25...75	100×135	355	172	33,5	
100	15...60	100×135	355	172	33,5	
100	15...60	100—135	355	172	33,5	
—	72...168	105×140	378	181	—	
100	35...75	135×180	395	235	36,5	
150	30...80	180—240	485	310	36,5	
150	30...80	180×240	485	310	36,5	
100	40...100	240—320	485	406	37,5	
200	50...120	54×72	320	100	35	Projektsioonitoru
100	30...90	260×325	435	350	36,5	
—	30...90	313×398	495	430	36,5	
—	30...90	313×398	495	430	36,5	
—	30...90	395×515	595	530	36,5	
—	30...90	395×515	595	530	36,5	Hälvitusnurk 110°
—	—	—	—	—	—	Hälvitusnurk 110°

NSV Liidu televisioonisaatjaid

Alma-Ata
Andžero
Arhangelsk
Astrahan
Ašhabad
Bakuu
Barnaul
Dnepropetrovsk
Frunze
Gomel
Gorki
Groznõi
Habarovsk
Harkov
Irkutsk
Iževsk
Ivanov
Jalta
Jaroslav
Jerevan
Kaasan
Kalinin
Kaliningrad
Kalitša
Karaganda
Kaunas
Kemerovo
Kiiev
Kirov
Kišinjov
Kohtla-Järve
Kostroma
Krasnodar
Krasnojarsk
Krivoi Rog
Kuibõšev
Kursk
Kuznetsk
Leningrad
Leninsk
Lvov
Magnitogorsk
Minsk
Molotov
Moskva
Murmansk
Narva
Nižni Tagil
Norilsk
Novgorod
Novosibirsk
Odessa
Omsk
Orjol
Petrozavodsk
Pjatigorsk
Prokopjevsk
Pärnu
Riia
Rjazan
Rostov
Saraatov
Smolensk
Sotši
Stalinabad
Stalingrad
Stalino
Stalinogorsk
Stalinsk
Stavropol
Sverdlovsk
Zaporožje
Tallinn
Tambov
Tartu
Taškent
Tbilisi
Tomsk
Tšeljabinsk
Tšernigov
Tšita
Ufaa
Viljandi
Vilnius
Vladimir
Vladivostok
Vologda
Voronež

KASUTATUD KIRJANDUS

N. K. Ignatjev. Televisioon. Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn, 1956.

A. Isotamm. Raadioamatööri käsiraamat. Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn, 1958.

С. А. Ельяшкевич. Справочник по телевизионным приемникам. Госенергоиздат, Москва, 1958.

С. Е. Загик и Л. М. Капчинский. Приемные телевизионные антены. Госэнергоиздат, Москва, 1958.

В. К. Зворыкин и Д. А. Мортон. Телевидение. Изд-во иностр. лит., Москва, 1956.

А. Я. Клопов. Основы техники телевидения. «Советское Радио», Москва, 1953.

Л. А. Меерович, Л. Г. Зеличенко. Импульсная техника. «Советское Радио», Москва, 1953.

А. М. Халфин, Основы телевизионной техники, «Советское Радио», Москва, 1955.

D. G. Fink. Television Engineering Handbook. McGraw-Hill Book Company, New York, 1957.

Ajakiri «Радио». 1957—1958.

Ajakiri «Electronic and Radio Engineer». 1957—1958.

SISUKORD

Eessõna 3

I peatükk. Valgus 5
1-1. Valguse tajumine 5
1-2. Visuaalsed ja fotomeetrilised põhisuurused 8
1-3. Silm ja tema omadused 11
1-4. Fotoefekt ja fotoelektrilised seadised 14
1-5. Fotokordistaja 20
1-6. Luminestsents 22

II peatükk. Televisiooni üldpõhimõte 25
2-1. Televisioonitrakt 25
2-2. Televisioonisignaal 29
2-3. Televisioonistandard 36
2-4. Televisioonisignaali sagedusriba 39
2-5. Pildilaotusseadmed 47
2-6. Värviline ja ruumiline televisioon 54

III peatükk. Elektronoptika 57
3-1. Põhimõisted 57
3-2. Elektroni liikumine ühtlases magnetväljas 60
3-3. Elektroni liikumine ühtlases elektriväljas 63
3-4. Elektri- ja magnetvälja üheaegne toime elektronile 65
3-5. Elektron- ja valguskiire vaheline analoogia 67
3-6. Elektrostaatilised läätsed 69
3-7. Elektromagnetilised läätsed 76
3-8. Elektronkiire hälvitamine 82
3-9. Elektriline ja magnetiline hälvitus pikimagnetväljas 88

IV peatükk. Vastuvõtutorud 91
4-1. Töötamise põhimõte ja ehitus 91
4-2. Hälvituspoolide arvutus ja konstruktsioon 95
4-3. Elektronkiiretoru ekraan 100
4-4. Ioonipüüdjad 101
4-5. Metallitatud ekraan 103
4-6. Projektsioonikineskoobid 105
4-7. Lamekineskoobid 106

V peatükk. Saatetorud 112
5-1. Töötamise põhimõte 112
5-2. Ikonoskoop 113
5-3. Superikonoskoop 127
5-4. Ortikon 129
5-5. Superortikon 131
5-6. Vidikon 137
5-7. Monoskoop 140

VI peatükk. Impulsi tekitamine ja hälvitusgeneraatorid 142
6-1. Hälvitusseadme põhimõte 142
6-2. Impulsi tunnused 143
6-3. Impulsside tekitamine takistus-mahtuvuslikus lülituses . . . 147
6-4. Impulsside tekitamine piiramismeetodil 154
6-5. Multivibraator 163
6-6. Blokeeriv generaator 173
6-7. Hammaspinge generaator päästiklülituses. 179
6-8. Paraboolpinge generaator 184
6-9. Hälvitusgeneraatori väljeaste 186
6-10. Kõrgepinge-toitesüsteem 202

VII peatükk. Televisioonisignaali tekitamine ja saatmine 206
7-1. Kujutisekanal 206
7-2. Filmisaadete üleandmine 212
7-3. Vaatelevisaadete korraldamine 215
7-4. Sünkroniseerimisimpulsside tekitamine 216
7-5. Televisioonisaadete salvestamine 221
7-6. Liikuv ülekandejaam 226
7-7. Raadioreleeliin 228
7-8. Kujutisesignaalide saatja 230
7-9. Helikanal 232
7-10. Tööstuslik televisioon 234

VIII peatükk. Televisioonivastuvõtjad 237
8-1. Televisioonivastuvõtja lahterskeem 237
8-2. Televisioonivastuvõtja kõrgsagedusosa 241
8-3. Helitausta vastuvõtt 273
8-4. Kujutise vahesagedusvõimendajad 284
8-5. Viideodetektorid 298
8-6. Heli vahesagedusvõimendajad 299
8-7. Automaatne tundlikkuse regulaator 303
8-8. Viideovõimendaja 306
8-9. Sünkroniseerimiskanal 332
8-10. Konverterid 338
8-11. Projektsioonisüsteemid 345
8-12. Televiisor «Temp 3» 350

IX peatükk. Televisiooni vastuvõtuantennid 352
9-1. Üldmõisted 352
9-2. Lainete levimine sidendites 358
9-3. Toiteliinid 371
9-4. Antennide põhiomadused 378
9-5. Antenni ja toiteliini sobitamine 385
9-6. Ridaantennid 393
9-7. Televisiooni kaugvastuvõtu antennid 401
9-8. Ülikauge vastuvõtu antennid 405
9-9. Mitmeprogrammilised antennid 410
9-10. Lairibaantennid 414
9-11. Tüüpantennid 417
9-12. Ühisantennid 418
9-13. Antennivõimendajad 421
9-14. Antennide paigaldamine ja piksekaitse 423
9-15. Televisioonivastuvõtul esinevad häired 425

Lisad

Lisa 1. NSV Liidu televisiooni saatekanalid 42
Lisa 2. Välismaised televisiooni saatekanalid 42
Lisa 3. Televisioonistandardid 42
Lisa 4. Televisioonistandardite rakendamine 42
Lisa 5. Lääne-Euroopa televisioonisaatjaid 42
Lisa 6. Kineskoobid 43
Lisa 7. NSV Liidu televisioonisaatjaid 43
Kasutatud kirjandus 43

Силларт Александер Юханович
ТЕЛЕВИЗИОННАЯ ТЕХНИКА

На эстонском языке

Эстонское Государственное Издательство
Таллин, Пярнуское шоссе, 10

*

Toimetaja L. Abo
Kunstiline toimetaja R. Tungla
Tehniline toimetaja H. Kohu
Korrektor A. Sisas

Ladumisele antud 10. XI 1960. Trükkimisele antud 17. IV 1961. Paber 60 × 90, 1/16. Trükipoognaid 27,25. Arvutuspoognaid 25,63. Trükiarv 7000. MB-03503. Tellimise nr. 10461.

Hans Heidemanni nimeline trükikoda, Tartu, Ülikooli 17/19. II

Hind rbl. 1.60

3—5

38085

Rbl. 1.60

A-23786

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00366262 6