

---

---

# RAADIOTEHNIKA ÕPPERAAMAT

A. KALMUS    V. ISSAKO

TALLINNAS 1937

---

---

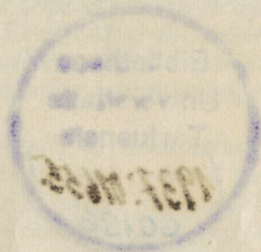
A- 10481





A. KALMUS V. ISSAKO

# RAADIOTEHNIKA ÕPPERAAMAT



24622

AUTORITE KIRJASTUS  
TALLINNAS 1937

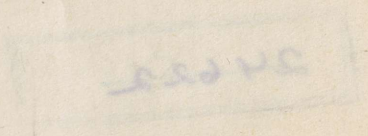
A. KALMUS Y. ISSAKO

RADIODIOTEHNIKA  
ÕPPEKÄAMAT

2



A-10481



## Saateks

Käesolev töö, mille käsikirjaga oli minul võimalus tutvuda enne selle irükkiandmist, on õieti esimene kapitaalne töö selles ulatuses raadiotehnika alal eesti keeles. Autorid annavad teoses lugejale selge pildi raadiotehnika füüsikalisest küljest, selgitades tehnilisi ja teoreetilisi valemeid arvukate praktiliste näidetega.

Vastuvõtjate ehituskirjeldused puuduvad raamatust hoopis. Sellega pole sugugi öeldud, et raadioamatööril poleks kasu raamatuga tutvumisest, hoopis selle vastu — raamat sisaldab palju praktilisi andmeid teadlikule raadioaparaadi ehitajale, kes mitte ei kopeeri orjalikult antud ehituskirjeldust, andmata aru endale raadioaparaadi sisemiste organite koostööst, vaid „loob“ endale vastuvõtja selge teadmise, mida ta selle võimetest ootab.

Pole vähimatki kahtlust, et käesolevat raamatut ootab lugejaskonna soe vastuvõtt, sest autorid on koostanud oma töö suure armastusega aine vastu ja rakendanud selle küllalt keerulise tehnika seletussisse oma suured pedagoogilised kogemused ning lugejaskonna nõrkade külgede tundmise.

Ligi poolteist aastat kestnud viimistlustöö teose kallal on igati tunnustusväärne, kuigi kolmesajal leheküljel on raske kokku võtta tervet teadusharu, mida 40 aasta eest veel polnud olemas, kuid tänapäev annab leiba kümnetele miljonitele inimestele ning rakendab viljakale tööle miljardeisse ulatuvaid kapitale.

Eriti tänulik peaks olema autoreile meie teadushimuline noorsugu, kes senini on pidanud oma teadusjahu kustutama võõrkeelseist allikaist, mis võivad olla küll laiema sisulise ulatusega, kuid siis ka rohkem laiali valgunud aine käsitlemisega, sest seda võimaldab aine rikkalikkus.

F. Olbrei, I K.

## Eessõna

Käesoleva teose koostamisele on autoreid tiivustanud puudus eestikeelse raamatu järele, mis käsitaks raadiotehnikat tervikuliselt ja oleks kasutatav õpperaamatuna nii raadiotehnika kui õppeaine õpetamisel kui ka iseõppimisel nende poolt, keda huvitab maailma populaarseim ja salapärasem tehnikaharu — raadio.

Raamatu algul on meenutatud neid elektrotehnilisi üldmõisteid, millede teadmine on hädavajalik raamatu põhiosa käsitlemisel. Kuna raadiotehnika aine on väga laialdane ja peenustesse kalduv, siis tuli mõningate üldsusele vähemtähtsate ja erikirjandusse kuuluvate küsimuste käsitlust kärpida, et raamat jääks sisult ülevaatlikuks.

Raskusi tekitas eestikeelse tehnilise terminoloogia puudulikkus ja ebaühtlus. Võimaluste piirides on kinni peetud Eesti Entsüklopeedia vastavast terminoloogiast.

Paratamatult võib käesolevas õpperaamatus esineda mõningaid konarusi, mida palutakse lugupeetavat lugejat heatahtlikult vabandada.

Siinkohal avaldame kõigile tänu, kes käesoleva raamatu ilmumisele on kaasa aidanud. Erilist tänu võlgname Riigi Ringhäälingu direktorile härra kol. ins. F. Olbreile — käsikirja läbivaatamisel tehtud oluliste paranduste eest ja härra kapten A. Isotammele — tehnilise korrektuuri ja väärustlike kude täienduste eest.

November 1937

Autorid

# SISUKORD

<b>I. Elektriväli ja selle omadused.</b>	
§ 1.	Üldmõisteid elektronteooriast ..... 1
§ 2.	Elektrijuhid ..... 3
§ 3.	Elektripotentsiaal ja -vool ..... 4
§ 4.	Alalis- ja vahelduvvool ..... 7
§ 5.	Elektriväli ..... 9
§ 6.	Mahtuvus ..... 10
§ 7.	Kondensaator ..... 12
§ 8.	Kondensaator alalis- ja vahelduvvoolu ringis ..... 14
§ 9.	Elektrivälja energia ..... 19
<b>II. Magnetiväli ja selle omadused.</b>	
§ 10.	Elektrivoolu magnetiline mõju ..... 19
§ 11.	Elektromagnetiline induksioon ..... 22
§ 12.	Vastastikune induksioon ..... 23
§ 13.	Endainduksioon ..... 24
§ 14.	Endainduksioonpoolid ..... 26
§ 15.	Endainduksioon vahelduvvooluringis ..... 30
§ 16.	Magnetivälja energia ..... 32
§ 17.	Transformaatorid ..... 33
<b>III. Võnkeringid.</b>	
§ 18.	Pingeresonants ..... 35
§ 19.	Vooluresonants ..... 38
§ 20.	Kinnine võnkering ..... 41
§ 21.	Kustuv ja kustumatu võnkumine ..... 44
§ 22.	Võnkeringi kaod ja nende vähendamine.
1.	Pinna- ehk skin-efekt ..... 48
2.	Pooli sisemahtuvus ..... 50
3.	Pöörisvoolud ja magnetiline hüsterees ..... 51
4.	Ferrocarrt-südamikuga poolid ..... 52
§ 23.	Võnkeringide sidestusviise ..... 54
§ 24.	Kõrgesageduslike võngete tekitamine ..... 59
<b>IV. Elektromagnetiline kiirgumine.</b>	
§ 25.	Lahtine võnkering ..... 63
§ 26.	Elektromagnetiline võnkumine.
1.	Näide füüsikalisest võnkumisest ..... 68
2.	Üldaluseid võnkumiste levimisel ..... 69
3.	Elektromagnetiline kiirgumine ..... 70
4.	Lainepikkus ..... 73
§ 27.	Elektromagnetiliste lainete levimine ..... 74

<b>V. Antenn, vastukaal ja maandus.</b>	
§ 28. Antennidest üldse .....	78
§ 29. Antenni elektrilisi omadusi.	
1. Endalaine (-sagedus) .....	82
2. Endalaine (-sageduse) muutmine .....	83
3. Antenni oomiline takistus .....	84
4. Antenni kiirgumistakistus .....	86
5. Põhi- ja harmoonilised lained .....	88
§ 30. Maandus ja vastukaal .....	88
§ 31. Saatejaama üldmõiste .....	90
<b>VI. Vastuvõtt kristalldetektoriga.</b>	
§ 32. Vastuvõtu üldpõhimõtteid .....	92
§ 33. Kristalldetektor .....	94
§ 34. Lülitusi kristalldetektoriga .....	98
<b>VII. Elektronlambid.</b>	
§ 35. Üldpõhimõtteid .....	102
§ 36. Diood .....	107
§ 37. Triood .....	110
§ 38. Kahe võrega elektronlamp .....	118
§ 39. Tetroom. Pentoom .....	119
§ 40. Otsene ja kaudne küte .....	123
<b>VIII. Elektronlambi kasutamine.</b>	
§ 41. Elektronlamp võimendajana .....	124
<b>IX. Elektronlamp generaatorina.</b>	
§ 42. Võõrergutusega lampgeneraator .....	136
§ 43. Endaergutusega lampgeneraator.	
1. Heterodüün .....	142
2. Kolmpunktlülitus .....	144
3. Huth-Kühni lülitus .....	147
§ 44. Neutraliseerimisest ja lühilaine-lülitusist .....	148
<b>X. Lampsaatjad.</b>	
§ 45. Endaergutusega saatja .....	152
§ 46. Võõrergutusega saatja.	
1. Üldpõhimõtteid .....	156
2. Kristallergutus .....	158
3. Sageduse mitmekordistamine .....	162
<b>XI. Modulatsioon.</b>	
§ 47. Üldpõhimõtteid .....	165
§ 48. Võrepinge-modulatsioon .....	174
§ 49. Võrevoolu-modulatsioon .....	176
§ 50. Anoodmodulatsioon .....	179
§ 51. B-klass-modulatsioon .....	184
§ 52. Summutusvõre-modulatsioon .....	185
§ 53. Toonmodulatsioon .....	186
§ 54. Moduleeritud saatja üldlülitus .....	187
<b>XII. Lampvastuvõtjad.</b>	
§ 55. Üldpõhimõtteid .....	189

§ 56.	Demodulatsioon.	
	1. Diooddetektsioon .....	191
	2. Anooddetektsioon .....	193
	3. Võredetektsioon .....	195
§ 57.	Lampide eelpingestamine ja automaatne eelpinge ..	197
§ 58.	Tagasisidestusega vastuvõtjad.	
	1. Heterodüünvastuvõtja .....	200
	2. Tagasisidega audion .....	202
	3. Induktiivne tagasiside .....	202
	4. Induktiiv-mahtuvusliku tagasisidestusega lülitusi	205
	5. Tagasisidelülitisi kõrgesagedustetroodiga .....	208
§ 59.	Kõrgesagedusvõimendajad.	
	1. Üldpõhimõtteid .....	209
	2. Kõrgesagedusvõimendaja häälestatud anoodringiga	211
	3. Kõrgesagedusvõimendaja transformaatorsidestusega	214
	4. Neutraliseerimine. Varjestamine .....	217
	5. Kõrgesagedusvõimendaja k.-s.-tetroodiga ja k.-s.-pentoodiga	220
	6. A- ja C-klassi võimendajad .....	222
§ 60.	Filtrid.	
	1. Selektiivsusest .....	225
	2. Ribafilter .....	226
	3. Sõel- ja tõkestusfilter .....	228
§ 61.	Madalsagedusvõimendajad.	
	1. Üldpõhimõtteid .....	230
	2. Madalsagedusvõimendajad transformaatorsidestuses	231
	3. Madalsagedusvõimendajad takistussidestuses .....	235
	4. Madalsagedusvõimendaja paispoolisidestuses .....	238
	5. Madalsagedusvõimendaja eelastmed. Lülitusi dioodiga	239
	6. Madalsagedusvõimendaja lõppaste .....	241
	7. A-klassi ja vasttaktivõimendajad .....	244
	8. B-klassi-võimendajad .....	248
§ 62.	Superheterodüün-vastuvõtja.	
	1. Üldpõhimõtteid .....	252
	2. Ostsillaator-modulaator. Heksod. Oktod .....	255
	3. Vaheagedus .....	259
	4. Eelastmed .....	259
§ 63.	Ekspponentsiaallamp. Automaatne tundlikkuse kontroll. Lülitusi duodiodiga .....	265
§ 64.	Helitugevuse ja helitämbri reguleerimine .....	272
§ 65.	Ühenupuhäälestus .....	276

### XIII. Mikrofonid.

§ 66.	Üldpõhimõtteid .....	281
§ 67.	Mikrofonide tüüpe.	
	1. Reissi-mikrofon .....	282
	2. Kondensaator-mikrofon .....	283
	3. Dünaamiline mikrofon .....	284
	4. Kristall-mikrofon .....	284
§ 68.	Elektriline helikarp (pick-up) .....	285

#### XIV. Valjuhääldajad.

§ 69. Valjuhääldaja tüüpe.	
1. Peatelefonid .....	286
2. Elektromagnetilised valjuhääldajad .....	286
3. Elektrodünaamiline valjuhääldaja .....	287

#### XV. Raadioseadmete toitmise.

§ 70. Üldpõhimõtteid .....	290
§ 71. Alalisvooluvõrk .....	290
§ 72. Pinge stabiliseerijad .....	294
§ 73. Vahelduvvooluvõrk.	
1. Ögvendajad .....	296
2. Silumisfilter .....	299
3. Elektrolüüt-kondensaatorid .....	301
4. Transformaatorid ja paispoolid .....	302
§ 74. Vahelduv-alalisvooluga toidetavad vastuvõtjad .....	307

#### XVI. Suundsaatmine.

§ 75. Saateantennide suunaline mõju .....	308
---	-----

#### XVII. Raadiogoniomeetria.

§ 76. Üldpõhimõtteid .....	310
§ 77. Peilimine .....	312
§ 78. Suuna määramine .....	314
§ 79. Peilimise vead .....	316
§ 80. Peilerite süsteemid .....	318

# I. ELEKTRIVÄLI JA SELLE OMADUSED.

## § 1. Üldmõisteid elektronteooriast.

Keemia õpetab, et kõik ained, olgu nad tahkes, vedelas või gaasilises olekus, koosnevad paljudest väga väikesist osakesist, mida nimetatakse **molekuleks**. Molekul, väikseim aine kujuteldav osake, evib veel kõiki sama olluse füüsikalisi ja keemilisi omadusi.

Molekulid omakorda jaguvad veel väiksemaiks, keemiliste elementide algosiks — **aatomeiks**. Iga aine molekulis on kindel arv teatavaid aatomeid; nii näiteks koosneb vee molekul kahest vesiniku ja ühest hapniku aatomist ( $H_2O$ ), keedusoola molekul ühest naatriumi ja ühest kloori aatomist ( $NaCl$ ) jne.

Uuema aja uurimused on näidanud, et aatomid pole veel materia lihtsamad algosakesed, vaid et aatomid omakorda koosnevad negatiivse ja positiivse elektri algaenguist — **elektronest ja prootoneist**.

Elektron on seega negatiivne elektrilaengu algosake, mille laengu suurus arvatakse olevat  $1,5904 \cdot 10^{-19}$  kulonit ja mass  $8,98 \cdot 10^{-28}$  grammi ( $1/1839$  vesiniku aatomi massist).

Prooton on positiivse elektrilaengu algosake, mille laengu suurus on samuti  $1,5904 \cdot 10^{-19}$  kulonit ja mass 1839 korda raskem elektroni massist ( $1,6608 \cdot 10^{-24}$  g), kuid kogult tunduvalt väiksem elektronist.

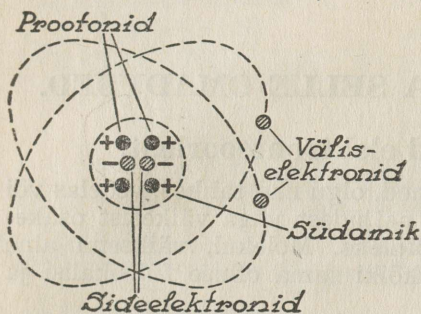
Kõik aatomid koosnevad neist kahest algosast ja neutraalses aatomis peab elektronide arv võrduma prootonite arvuga. Kõik prootonid asetsevad koondunult aatomi keskmikus, moodustades aatomi tuuma ehk südamikku\*.

Aatomi koosseisu kuuluvad elektronid jaotuvad välis- (planetaarseiks) ja sideelektroneks. Sideelektronid asuvad koos prootoneiga aatomi tuumas ja nende ülesanne on

---

\* Küsimuse lihtsustamise mõttes jätame vaatlemata **neutronid** ja **positronid**; neutroni käsitletakse kui neutraalset elektroni-prootoni paari, positroni — kui positiivset elektroni.

prootoneid omavahel seondada. Väliselektronid on alalises liiklemises aatomi tuuma ümbritsevail elliptilisel orbiitidel. Jooniselt nr. 1, kus on skemaatiliselt kujundatud heeliumi aatomi struktuur, näeme, et selle aatomi koosseisu kuulub 4 prootonit, 2 side- ja 2 väliselektroni.



Joon. 1.

Elektronide ja prootonite arv aatomis määrab aatomi kaalu ja muud aatomi füüsikalised omadused. Mida raskem on metall, seda rohkem sisaldab ta aatom elektrone ja prootoneid, seda keerukam on südamiku ehitus ja väliselektronide süsteem. Nii näiteks sisaldab kulla aatom 197 prootonit, 118 side- ja 79 väliselektroni;

alumiiniumi kui kergeima metalli aatom koosneb 27 prootonist, 14 side- ja 13 väliselektronist.

Kuna aatom koosneb kahenimelisest elektrilaenguist, siis evivad elektronid elektronide ja prootonid prootonite suhtes (samanimelised laengud) tõuketungi ja elektronid prootonite suhtes (isenimelised laengud) — tõmbetungi. Normaaloalukorras on nimetatud tungid tasakaalustatud.

Orbiitidel liiklevad väliselektronid evivad erinevat energiahulka — energiakvantumit. Väheenergiahulgaga elektronide liikumisorbiidid asetsevad südamikule lähemal, suuremaga — kaugemal. Kui elektroni sunnitakse oma liiklemis-suunda muutma või tõkestatakse tema liiklemist, siis ta kaotab osa oma energiast. Vähenenud energiakvantumi juures asub ta oma orbiidiga südamikule lähemale. Väljastpoolt mingil viisil lisaenergiat saanud väliselektron nihkub oma orbiidiga südamikust kaugemale. Kui lisaenergia ületab üldise energia tasakaalu, siis säärane elektron võib aatomi koosseisust täielikult lahkuda, jäädes vaba elektronina aatomite vahele hõljuma, kuni teda seob mõni teine tasakaalutu aatom.

On aatomis rohkem elektrone, kui tema ehituse koosseisu normaalselt kuulub, siis nimetatakse säärast olukorda aatomi negatiivse elektrilaengu nähtuseks. Sel juhul on aatomi tasakaal rikutud, kuna südamik ei suuda kõiki elektrone seondada ja vabad elektronid lahkuvad aatomist esimesel soodsal juhul.

Olukorda, kus aatom on mingil põhjusel kaotanud osa normaalolukorras oma koostisse kuuluvaist väliselektronest, nimetatakse aatomi positiivseks elektrilaengu nähtuseks. Oma seesmiste tungide tasakaalustamiseks püüab selline aatom soodsal juhul juurde saada puuduvaid elektrone.

Nii võivad tasakaalustamata aatomis avalduda negatiivse või positiivse elektrilaengu omadused, olenedes sellest kas aatomis valitseb elektronide küllus või nende vähesus. Elektronid võivad praktiliselt aatomeist eraldada näiteks olluse hõõrumise või kuumendamise teel, elektromagnetiliste kiirtega ja elektrostaatiliselt või -magnetiliselt väljaga mõjutamisel jne. Sääraselt käsitletud aine ehk ollus võib omandada positiivselt või negatiivselt laetud keha tunnused, vastavalt mõjutise iseloomule.

Elektronteooria järgi on liikuvad vaid elektronid (väliselektronid), milliseid kas eraldatakse aatomist või tuuakse juurde, kuna protonid selle vastu on seondatud kindlalt aine külge.

## § 2. Elektrijuhid.

Elektronteooria järgi on elektronid kõikjal seal, kus meil on tegemist ainete ehk ollustega. Katsetega on selgitatud, et mõnedes ainetes on elektronid aatomis (seega ka molekulis) lõdvalt seondatud, teistes ainetes seevastu väga tugevasti seondatud. Esimest liiki aineid, kus elektronid võivad vabalt ühest aatomist teise paiguneda, nimetatakse **elektrijuhtideks**, teist liiki aineid — **isolaatoreiks**, **mittejuhtideks** ehk **dielektriikuis**.

Kui elektrijuhile mõjuda mingi välise elektrilise jõuga, siis hakkavad vabad elektronid juhtmes liikuma. Seda elektronide liikumist tuntakse elektrivooluna.

Elektrivoolule juhtmes ei tule vaadata kui teatavale elektronide hulgale, mis liigub piki juhet ühtlase kiirusega. Elektrilise jõu mõjutusel alustab elektron otsesuunalist liikumist teatava kiirusega, kuid satub teekonnal peagi naaberaatomi mõju piirkonda, muutudes seal planetaarseks elektroniks. Aatom, muutudes seetõttu ebastabiilseks, paiskab endast eemale elektroni, mis sugugi ei tarvitse olla endine vastliitunud elektron.

Tahkes aines on elektrivool puhtelektroniline.

Häid elektrijuhtivuse omadusi evivad peamiselt kõik metallid, mistõttu neid nimetataksegi esimese liigi juhtideks.

Elektrijuhtideks on ka vedelikud, näit. hapete, metallisoolade vesilahused jne. Neis ilmneb ionide vool, milledeks on lii-

kuvad tasakaalustamata aatomid. Aatomit, mille normaalsest koosseisust on puudu mõni elektron, nimetatakse positiivseks iooniks (katiooniks). Aatom, mis evib normaalsest rohkem elektrone, nimetatakse negatiivseks iooniks (aniooniks). Negatiivsed ja positiivsed ioonid, moodustades vedelikes elektrivoolu, liiguvad vastupidistes suundades. Üldiselt nimetatakse elektrit juhtivaid vedelikke **elektrolüütideks**.

Elektrijuhtideks on veel gaasid ioniseeritud olekus. Neutraalolekus on gaasid tavaliselt isolaatorid. Kui gaasi näiteks kuumendada, mõjutada elektrisädemega jne., siis vabanevad gaasi aatomeist mõned elektronid, mis jäävad hõljuma gaasi aatomite vahele. Käesoleval juhul aatomit, millel on mõni elektron normaalkoosseisust puudu, nimetatakse gaasi-iooniks. Gaaside juures negatiivseteks ioonideks on tavaliselt üksikud elektronid ja positiivseteks — puuduliku elektronide koosseisuga aatomid.

Liikuvad elektronid võivad läbida ka tühja ruumi. Säärane elektrivool tühjas ruumis oma iseloomult erineb elektrivoolust ainetes, kuna siin puudub juhtiv keskkond — ioniseeritud aatomid.

Mittejuhtides on elektronid oma asukohtadega elastselt seonduvad, mistõttu nad ei saa liikuda ühest aatomist teise, küll aga võivad ümber paiguneda sama aatomi koosseisus. Seepärast ei leidu isolaatoreis vabu elektrone. Neis on küll võimalik elektrone oma asukohast ainult kõrvale nihutada.

Isolaatoreiks on näiteks destilleeritud vesi, kontsentreeritud happed, vaakuum, kuiv õhk, portselan, vilgukivi, parafiin, kummi jne.

Praegu tuntavate ainete hulgas ei leidu absoluutset isolaatorit, sest tugevate elektriliste jõududega on ka neis võimalik elektrone liikuma panna, mis on harilikult seotud materjali mehaanilise purunemisega.

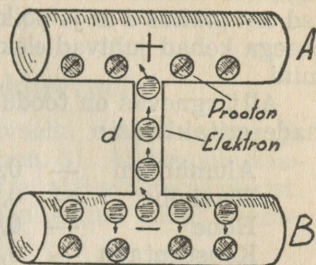
### § 3. Elektripotentsiaal ja -vool.

Kehal, mis evib ülearuseid elektrone, valitseb elektriline ülirohke, kuna kehal, millel puudub osa normaalsest elektronide arvust — elektriline alarohke. Sellise kahe keha vahel valitseb elektriline **potentsiaalide vahe** ehk **pinevus**. Tavaliselt nimetatakse elektrilist pinevust **pingeks** ( $U$ ).

Elektrilise tasakaalu saavutamiseks püüavad kehalt  $B$  (joon. 2) ülearused elektronid pääseda kehale  $A$ . Keha  $A$  ja  $B$

ühendamisel mingi elektrit juhtiva kehaga voolavad ülearused elektronid kehalt *B* kehale *A*, kuni on kadunud kehadevaheline pinevus ja mõlemad kehad evivad jälle normaalse arvu elektrone.

Elektronide liikumist ühelt kehalt teisele nimetatakse elekt-rivooluks. Kui kehadevaheline potentsiaal on kõrge, siis tung voolutekkimiseks on ka suur. Jõudu, mis põhjustab kehade vahel elektrilise pinevuse tekkimise ja voolu voolates — pinevuse alalhoidu, nimetatakse **elektromotoorseks jõuks**\* (*E*), s. o. jõud, mis vabastab elektronid



Joon. 5.

aatomeist ja sunnib neid liikuma.

Pinge mõõduühikuks on **volt (V)**. Suuremaid pingeid mõõdetakse **kilovoltides (kV)** ja vähemaid — **milli- (mV)** ning **mikrovoltides (µV)**.

$$1 \text{ V} = 1000 \text{ mV}$$

$$1 \text{ V} = 0,001 \text{ kV}$$

$$1 \text{ V} = 1000000 \text{ µV}$$

$$1 \text{ kV} = 1000 \text{ V}$$

Elektrivoolu mõõduühikuks on **amper (A)**. Rahvusvaheliselt on võetud ampri aluseks voolutugevus, mis läbides hõbenitraadi ( $\text{AgNO}_3$ ) vesilahuse, sellest ühe sekundi jooksul eraldab 1,118 mg hõbedat. Peale amprite mõõdetakse voolutugevust veel vähemais mõõduühikuis: **milliampreis (mA)** ja **mikroampreis (µA)**.

$$1 \text{ A} = 1000 \text{ mA}$$

$$1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A}$$

$$1 \text{ A} = 1000000 \text{ µA}$$

$$1 \text{ µA} = 0,000001 \text{ A}$$

Elektritakistuse mõõduühikuks on **oom (Ω)**. Oomi aluseks on võetud 106,3 cm pikkuse ja 1 mm<sup>2</sup> ristlõikepinnaga ühtlase elavhõbedasamba elektriline takistus. Sellega võrdlemisel on määratud teiste ainete eritakistused.

Oomist tuhat korda suuremaid takistusi mõõdetakse **kiloomides (kΩ)** ja miljon korda suuremaid — **megoomides (MΩ)**. Seega

$$1000 \text{ Ω} = 1 \text{ kΩ}$$

$$1000000 \text{ Ω} = 1 \text{ MΩ}$$

Kehade omadused elektri juhtimisel on erinevad. Ühed juhivad elektrit hästi, teised halvasti; seega ühed evivad suu-

\* Lühendatult — EMJ.

remat, teised vähemat elektrilist takistust. Elektri juhtide takistusi iseloomustatakse eritakistusega. **Eritakistus** ( $\rho$ ) on arv, mis näitab aine takistust oomides, kui aine samba mõõted on: pikkus 1 m ja põiklõikepind 1 mm<sup>2</sup>. Suurema eritakistusega kehad juhivad elektrit halvemini, väiksemaga — paremini.

Alljärgnevas on toodud praktikas enamkasutatavate kehade eritakistusi:

Alumiinium	—	0,04	Nikeliin	—	0,42
Elavhõbe	—	0,95	Raud	—	0,11
Hõbe	—	0,017	Teras	—	0,20
Konstantaan	—	0,5	Tina	—	0,22
Manganiin	—	0,42	Tsink	—	0,06
Süsi	—	100—1000	Vask	—	0,018
Nikkel	—	0,15			

Juhtme takistus määratakse valemiga:

$$R = \frac{l \cdot \rho}{q}$$

kusjuures  $R$  on juhtme takistus oomides,  $l$  juhtme pikkus meetreis,  $\rho$  juhtme aine eritakistus ja  $q$  juhtme ristlõikepind ruutmillimeetris.

Peale materjali sõltub juhtme takistus veel temperatuurist. Metallide takistus kasvab temperatuuri tõustes. On aga ka üksikuid aineid, näiteks süsi, räni, toorium jt., millede takistus väheneb temperatuuri tõustes. Mõningate metallisulamide juures ei too temperatuuritõus kaasa peaaegu mingit nimetamisväärset takistuse juurdekasvu. Sääraseiks metallisulameiks on konstantaan, manganiin, kroomnikkel jt.

Ampri ja oomi suurus on täpselt määrateldud ja need on aluseks ka kõigi teiste elektriliste mõõduühikute tuletamisel. Nende suuruste kaudu on võimalik avaldada ka voldi suurust. Nii on üks volt pinget ( $U$ ) suurus, mis suudab 1-oomilise takistusega juhtmes tekitada 1-amprilise tugevusega voolu.

Voolutugevuse, pinget ja takistuse suhet väljendatakse Ohmi seadusega järgmiste valemiliste kujudena:

$$I = \frac{U}{R}; \quad (\text{Voolutugevus} = \frac{\text{Pinget}}{\text{Takistus}})$$

$$U = I \cdot R; \quad (\text{Pinget} = \text{Voolutugevus} \times \text{Takistus})$$

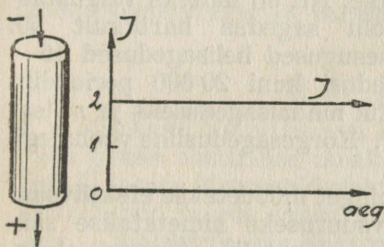
$$R = \frac{U}{I}; \quad (\text{Takistus} = \frac{\text{Pinget}}{\text{Voolutugevus}})$$

$I$  — on voolutugevus amprites,  $U$  — pinge voltides ja  $R$  — takistus oomides.

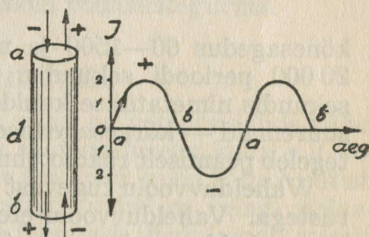
Toodud valemite abil on võimalik, teades kaht suurust, leida kolmandat.

#### § 4. Alalis- ja vahelduvvool.

**Alalisvooluks** nimetatakse elektrivoolu, mille tugevus ja suund on juhtmes aja kestel püsiv (joon. 3). Alalisvoolu saadakse elementidest, akumulaatoreist ja alalisvoolumasinaist. Alalisvoolu suurusi arvutatakse eespooltoodud Ohmi seadusega.



Joon. 3.



Joon. 4.

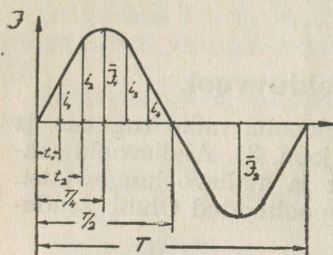
**Vahelduvvooluks** nimetatakse elektrivoolu, mis aja suhtes muutub nii tugevuselt kui ka suunalt, voolates juhtmesse kord ühest, kord teisest juhtmeotsast (joon. 4), kusjuures ta tugevus muutub nullväärtusest maksimaal- ja uuesti nullväärtuseks.

Voolu graafilisel äratähendamisel, kokkuleppe kohaselt kantakse positiivsesuunaline vool horisontaalteljest ülespoole, negatiivsesuunaline — horisontaalteljest allapoole, horisontaalteljele — aeg ( $t$ ).

Vahelduvvoolu suurusi igal üksikul hetkel nagu  $t_1$ ,  $t_2$  jne. nimetatakse **hetksuurusteks** ja kõige suuremat neist **maksimaalamplituudiks** või lihtsalt amplituudiks ( $\bar{I}$ ). Joonisel nr. 5 näidatud  $i_1$ ,  $i_2$  jne. on hetksuurused,  $\bar{I}_1$  ja  $\bar{I}_2$  maksimaalamplituudid.

Ajaväldet  $T$ , mille kestel vool kasvab nullist positiivse maksimaalamplituudini, langeb nullini, kasvab negatiivse

maksimaalamplituudini ja langeb uuesti nullini, nimetatakse **perioodiks**. Iga periood koosneb negatiivsest ja positiivsest poolperioodist ( $T/2$ ).



Joon. 5.

kõnesagedus 60—1500 ja mitmesugused helisagedused 16—20 000 perioodi sekundis. Sagedusi kuni 20 000 perioodini sekundis nimetatakse **kuulde-** ehk **madalsageduseks** ja sellest suuremaid — **kõrgesageduseks**\*. Kõrgesageduslike vooludega tegeleb peamiselt raadiotehnika.

Vahelduvvoolu tugevust ja pinget mõõdetakse **efektiivsuurustega**. Vahelduvvoolu efektiivsuuruseks nimetatakse sää-  
rast vahelduvvoolu suurust, mis on suuteline tegema alalis-  
vooluga võrdset tööd. Efektiivsuurusi näitavad ka kõik prak-  
tikas kasutatavad mõõteriistad.

Sinusoidsete voolude efektiivväärtus

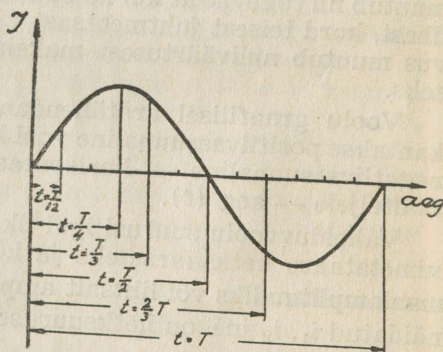
$$I = \frac{\bar{I}}{\sqrt{2}} = \bar{I} \cdot 0,707 \text{ ja}$$

efektiivne pinge

$$U = \frac{\bar{U}}{\sqrt{2}} = \bar{U} \cdot 0,707,$$

kusjuures  $\bar{I}$  ja  $\bar{U}$  on mak-  
simaalsed suurused.

Vahelduvvoolude kä-  
sitlemisel evib erilist  
tähtsust **voolufaas**, mis  
näitab graafiliselt voolu  
või pinge või voolude  
ja pingete hetkelisi are-  
nemisastmeid (joon. 6).



Joon. 6.

\* Ka raadiosagedus.

Alalis-, samuti vahelduvvoolu võimsust mõõdetakse **vattides (W)**. Vatt on üheampriilise voolu korrutis ühevoldilise pingega. Seega **võimsus**

$$N = I \cdot U$$

kusjuures  $N$  on võimsus vattides,  $I$  voolutugevus amprites ja  $U$  pinge voltides. Vahelduvvoolu juures  $I$  ja  $U$  on efektiivsuurused. Kui vahelduvvooluringis esinevad peale oomilise takistuse veel mahtuvuslikud või induktiivsed takistused või mõlemad korraga, siis ei lange voolu ja pinge faasid enam kokku ja vahelduvvoolu võimsus

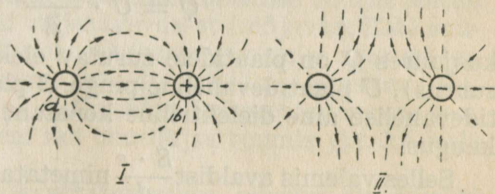
$$N = I \cdot U \cdot \cos \varphi$$

Siin tähistab  $\varphi$  voolu- ja pingefaaside vahelist nihkenurka.  $\cos \varphi$  nimetatakse ka vahelduvvoolu võimsusteguriks.

## § 5. Elektriväli.

Kui kahe kõrvutiseisva keha vahel on potentsiaalide vähe, siis püüab elektrilise tasakaalu saavutamiseks keha  $a$  (joonis 7, I) oma ülearuseid elektrone ära anda, kuna keha  $b$  püüab puuduvaid juurde saada. Kui kehade vahel on mingi isolaator — dielektrik, siis elektronide üleminek ühelt kehalt teisele on takistatud ja kehade vahele jääb püsima potentsiaalide vähe. Nii mõjuvad need kehad teineteisele tõmbetungi tekitavalt. Kehadevahelise pinevuse suurus sõltub puuduvate ja ülearuste elektronide hulgast ehk nn. laengu suurusest. Suuremate laengute puhul on ka pinevus suurem.

Kui mõlemad kehad evivad elektrilist ülirohku või alarohku, s. o. kui neil on ühenimelised laengud, siis mõjuvad nad teineteisele tõuketungi tekitavalt (joonis 7, II).

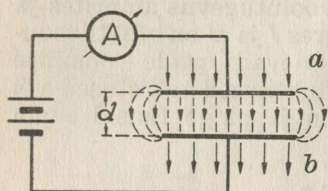


Joon. 7.

Laetud keha mõju ruumilist ulatust nimetatakse **elektriväljaks**. Elektrijuhi aines on elektrivälja mõju 0.

Kõige lihtsamalt on võimalik tekitada elektrivälja, kui ühendada kaks lähestikku asetsevat metallplaati, mis teineteisest õhuga on isoleeritud, alalisvooluallikaga (joon. 8).

Voolu allika pinge mõjul surutakse siis vooluallikast teatav hulk elektrone plaadile  $a$ , kuna sama hulk tuuakse neid plaadilt  $b$  vooluallikasse tagasi. Elektronide liikumine kestab kuni



Joon. 8.

plaatidevaheline pinge võrdub vooluallika pingega. Praktiliselt avaldatakse elektrivälja tugevus ( $H$ ) voltides ühesentimeetrilisele kaugusele. Kui pinge on  $U$  volti, siis elektrivälja tugevus

$$H = \frac{U}{d}$$

kusjuures  $U$  on pinge voltides ja  $d$  plaatide kaugus sentimeetris.

## § 6. Mahtuvus.

Elektronide liikumist plaadile  $a$  võib jälgida vooluringi lülitatud ampermeetriga  $A$  (joon. 8). Voolu sisselülamise hetkel näitab mõõteriist suurt voolutugevust, mis lühikese aja kestel väheneb nullini. Seega ampermeeter näitab plaadile  $a$  surutavat elektronide hulka, mille suurus on võrdeline vooluallika pingega; mida suurem on pinge, seda rohkem elektrone paiguneb ümber plaatidel, vooluallika pingele võrdse vastupinge tekitamiseks. Laengu  $Q$  arvuline suurus sõltub peale pinge veel plaatide  $a$  ja  $b$  suurusest, nende kaugusest ja nende vahel asetsevast dielektriku omadusist.

Matemaatiline arvutus näitab, et

$$Q = U \cdot \frac{S \cdot \epsilon}{d}$$

kusjuures  $Q$  on plaatidele surutav elektronide hulk (laengu suurus),  $U$  plaatidevaheline pinge,  $S$  plaatide pindala,  $\epsilon$  plaatidevahelise aine dielektriline konstant ja  $d$  plaatidevaheline kaugus.

Selles valemis avaldist  $\frac{S \cdot \epsilon}{d}$  nimetatakse mahtuvuseks, sest ta näitab, kui palju antud pinge juures koguneb plaadile  $a$  elektrone, s. o. kui palju plaat  $a$  neid mahutab. Avaldis  $\frac{S \cdot \epsilon}{d}$  tähistatakse  $C$ -ga.

$$Q = C \cdot U, \text{ kust } U = \frac{Q}{C} \text{ ja } C = \frac{Q}{U}$$

Sellest nähtub, et pinge suurenedes suureneb ka laeng.

Mahtuvuse põhimõõduühikuks on farad (F)\*. Praktikas kasutatakse miljon korda väiksemat mõõduühikut — mikrofaradit ( $\mu\text{F}$ ) ja mikrofaradist miljon korda väiksemat mõõduühikut — mikromikrofaradit ( $\mu\mu\text{F}$ ) ehk pikofaradit (pF). Sagedeli kasutatakse ka veel sentimeetrit (cm)\*\*, mis on mikromikrofaradist veidi suurem.

Mahtuvuse mõõduühikud on omavahel järgmises seoses:

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ F} = 10^6 \mu\text{F} & 1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F} \\ 1 \text{ F} = 10^{12} \mu\mu\text{F} & 1 \mu\mu\text{F} = 10^6 \mu\mu\text{F} \\ 1 \text{ F} = 9 \cdot 10^{11} \text{ cm} & 1 \mu\text{F} = 9 \cdot 10^5 \text{ cm} \\ 1 \mu\mu\text{F} = 1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F} & 1 \mu\mu\text{F} = 1 \text{ pF} = 0,9 \text{ cm} \end{array}$$

Mahtuvuse arvutamiseks kasutatakse valemit, milles

$$C = \frac{S \cdot \varepsilon^{***}}{0,9 \cdot 4 \cdot \pi \cdot d}$$

kusjuures  $C$  on mahtuvus mikromikrofaradeis,  $S$  ühe plaadi tegevpinde ruutsentimeetris,  $\varepsilon$  dielektriline konstant ja  $d$  plaatidevaheline kaugus sentimeetris.

Dielektrikuks teatavasti nimetati ainet või keskkonda (vaakuum, õhk ja kõik isoleerained), milles ei leidu vabu elektrone ja mis seetõttu ei juhi elektrit (vt. § 2). Dielektriku tõttu ongi võimalik kahe kõrvuti asetseva plaadi vahel tekitada potentsiaalivahet ja elektrivälja. Elektrivälja mõjul paigunevad elektronid ümber vaid dielektriku molekulide koosseisus, s. o. neid nihutatakse välja nende normaalasukohist. Elektri juhtme aines seevastu pole võimalik tekitada elektrivälja, sest potentsiaalivahe tõttu hakkavad elektronid kohe liikuma, tekitades elektrivoolu, ja elektriväli neutraliseerub.

Dielektrikus elektronide ümberpaigunemise suurus sõltub dielektrikule rakendatud väljatugevusest (mõjuvast EMJ suurususest) ja dielektriku ollusest. Ümberpaigunemise suurus iga dielektriku kohta iseloomustab dielektriline konstant ( $\varepsilon$ ), mis osutab, mitu korda on elektronide ümberpaigunemine teatavas dielektrikus suurem kui õhutühjas ruumis (praktiliselt ka õhus).

Allpool on toodud kasutatavamate olluste dielektrilisi konstante:\*\*\*\*

\* 1 farad on säärane mahtuvus, mis 1-voldilise pingega juures mahutab 1 kuloni suuruse laengu.

\*\* 1 cm raadiusega kera mahtuvus on 1 cm.

\*\*\* Sama valem annab mahtuvuse sentimeetris, kui murru nime-tajast koefitsient 0,9 ära jätta.

\*\*\*\* Aine dielektriline konstant pole püsiv väärtus, vaid muutub rakendatud pingega suuruselt ja sagedusest, temperatuurist jne.

Õhk	— 1	Portselan	— 6
Parafiin	— 1,8—2,3	Kaliit	— 6,5
Trolituul	— 2,1—2,5	Kalaan	— 6,6
Eboniit	— 2—3	Vilgukivi	— 6—8
Klaas	— 5—10	Piiritus	— 26
Kvarts	— 4,5	Vesi	— 81

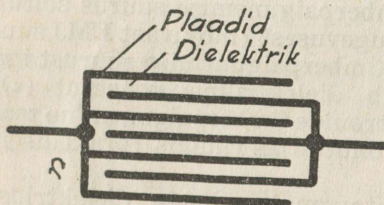
Plaatidevaheline dielektrik, vastavalt oma paksusele, kannatab välja teatava pingega. Sellest suuremate pingete juures tekib plaatide vahel säde, mis purustab kõvadielektriku.

Järgnevas on toodud mõnede olluste lubatavad koormuspinged kilovoltides, ühe sentimeetri paksuse dielektriku kohta:

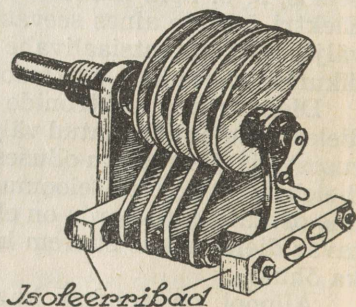
Õhk	— 7,8— 9	Parafiin	— 400
Klaas	— 100—300	Troliit	— 450
Portselan	— 340—380	Trolituul	— 500
Kaliit	— 450—550	Vilgukivi	— 1500

## § 7. Kondensaator.

Praktilisi seadiseid, mis võivad endasse mahutada ja alalhoida elektrilaenguid, nimetatakse kondensaatoreiks. Tavaliselt ehitatakse kondensaatorid ruumi säästmise mõttes kahest teineteisest isoleeritud metallplaatide süsteemist (joon. 9)



Joon. 9



Joon. 10.

Säärase kondensaatori mahtuvus määratakse kindlaks valemiga:

$$C = \frac{S(n-1)\epsilon}{0,9 \cdot 4 \cdot \pi \cdot d} = \frac{0,0885 \cdot S(n-1)\epsilon}{d}$$

kusjuures  $C$  on kondensaatori mahtuvus  $\mu\text{F}$ -tes,  $S$  ühe plaadi pind ruutsentimeetris,  $n$  plaatide arv,  $\epsilon$  dielektriline konstant ja  $d$  plaatide kaugus üksteisest sentimeetris.

Praktikas valmistatakse kondensaatoreid väga mitmesuguse kuju ja mahtuvusega, olenedes kasutamise otstarbest nii ruumi kui ka elektriliste omaduste mõttes. Samuti võib kondensaator olla oma ehituselt kas muudetava või püsiva ehk konstantse mahtuvusega; tavaliselt nimetatakse esimesi pöörd- ja viimaseid plokkkondesaatoreiks (kinniskondensaatoreiks).

Pöördkondensaatoreid kasutatakse peamiselt kõrgesagedustehnikas. Nende dielektrikuks on olenevalt lubatavaile dielektrilistele kadudele ja kasutatavaile pingele kas õhk, troliit, kaliit, vilgukivi, pertinaks või harvemini ka mingi muu isolaator. Pöördkondensaatori juures (joon. 10) pööratavad plaadid — moodustavad **rootori** ja neist isoleeritud paigalseisvad plaadid — **staatori**.

Plokkkondensaatorite dielektrikuks on peamiselt vilgukivi või parafineeritud paber, harvemal juhul ka õhk, klaas, eboniit, õli jne. Suuremahtuvuslike plokkkondensaatorite valmistamisel kasutatakse plaatidena vaid kahte pikka stanniool- või alumiiniumriba, mis omavahel kui ka väliskülgedelt on isoleeritud laiemate parafineeritud paberist ribadega. Säärase lintide süsteemi rullikerimisel saadakse võrdlemisi tagasihoidlike mõõteiga nn. rullkondensaator. Selline kondensaator pole täiesti endainduktsioonivaba, sest ta sisaldab spiraali keritud pikki juhtmeid — stannioollinte. Selle nähtuse vältimiseks kasutatakse lintide kokkukerimisel bifilaarpõhimõtet. Väiksemamahtuvuslikke plokkkondensaatoreid valmistatakse sarnaselt joon. 9 näidatud põhimõttele — üksikuist metalli ja dielektriku (peamiselt vilgukivi) lehtedest.

Vastavalt kasutamiseks ettenähtud pingele peab kondensaatori valmistamise juures ette nägema dielektriku vastupanu tugevust läbilöögile. Tavaliselt on kondensaatorite tööpinged valmistaja poolt juba normeeritud ja kondensaatori väliskestale märgitud; neist suuremate pingetega pole lubatav kondensaatorit koormata. Normaalselt kondensaatorid proovitakse valmistaja poolt läbilöögile 3-kordse tööpingega.

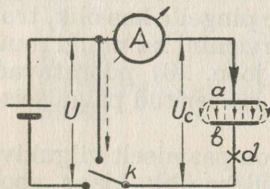
Näide: Koosnegu näiteks õhkdielektrikuga kondensaator 9-st plaadist, mille üksiku plaadi pindala on  $20 \text{ cm}^2$ ; plaatide vahe olgu  $1 \text{ mm}$ . Selle kondensaatori mahtuvus

$$C = \frac{0,0885 \cdot S \cdot (n-1) \epsilon}{d} = \frac{0,0885 \cdot 20 \cdot (9-1) 1}{0,1} = 140,8 \mu\text{F}$$

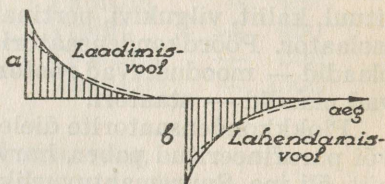
Kui sellel kondensaatoril oleks õhu asemel dielektrikuks vilgukivi, siis oleks ta mahtuvus vilgukivi dielektrilise konstandi korda suurem ja  $C = 140,8 \cdot 8 = 1126 \mu\mu\text{F}$ .

## § 8. Kondensaator alalis- ja vahelduvvoolu ringis.

Kondensaatori ühendamisel mingi alalisvooluallikaga (joon. 11) põhjustab selle pinge  $U$  plaadilt  $b$  elektronide äravoolu ja plaadile  $a$  elektronide juurdevoolu. Sisselülamise hetkel näitab ampermeeter  $A$  tugevat elektronide voolu (joonis 12, a).



Joon. 11.



Joon. 12.

Plaatidel tekkiva ning järjest suureneva vastupinge  $U_c$  tõttu elektronide vool plaadile  $a$  üha väheneb ja lakkab, kui  $U_c = U$ , s. o. kui kondensaator on laetud. Kuna vooluringis pole enam voolu, siis järeldame sellest, et kondensaator on alalisvoolule lõpmata suureks takistuseks.

Vooluringi katkestamisel jääb kondensaator laetuks. Kui kondensaator lülitatakse abil viia lühiühendusse, siis tekib lülitite kontaktide vahel säde ja ampermeeter näitab jälle voolu (joon. 12, b), mille suund on nüüd vastupidine laadimisvoolule. Laetud kondensaatori plaatide lühiühendamist nimetatakse kondensaatori lahendamiseks ehk tühjendamiseks.

Kui vooluringis evib suurt oomilist takistust (ühendusjuhtmetes  $d$ , joon. 11), siis laadimiseks ja lahendamiseks kulub rohkem aega (joon. 12, kriipsutatud joonega näidatud). Samuti on vaja rohkem aega suurema mahtuvuse puhul. Kondensaatori laadimise ja lahendamise aega iseloomustab nn. **ajakonstant**

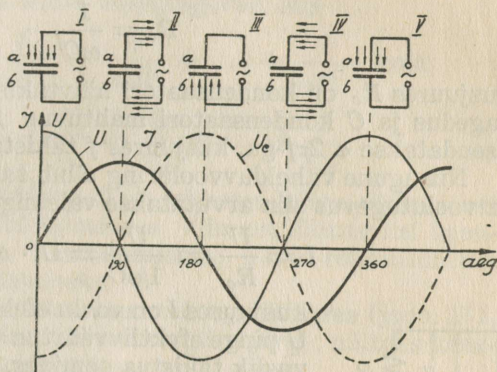
$$t = \frac{R \cdot C}{10^6}$$

\* Vt. § 63.

kusjuures  $t$  on aeg sekundeis,  $R$  vooluringi takistus oomides ja  $C$  kondensaatori mahtuvus mikrofaradites.

Kui kondensaator asetada vahelduvvoolu ringi, siis hetkel, mil generaatori (vooluallika) pinge saavutab maksimaalse suuruse, on kondensaator laetud; vooluallikast kondensaatorile enam elektrone juurde ei viida,  $U_c$  on maksimaalne ning vooluringis elektrivoolu ei ole (joon. 13, I). Generaatori pinge kahanemisega väheneb jõud, mis surus elektrone plaadile  $a$

ja elektronid voolavad generaatorisse tagasi. Generaatorist voolab samal ajal sama palju elektrone plaadile  $b$ , et plaatide  $a$  ja  $b$  vahel saavutada tasakaalu. Mida rohkem pinge  $U$  langeb, seda rohkem voolab elektrone plaadilt  $a$  ära ja plaadile  $b$  juurde. Kui generaatori pinge muudab suunda (on null,



Joon. 13.

joon. 13, II), siis on kondensaatori laengut põhjustav jõud null, kondensaator lahendub ning vooluringis on vool kõige suurem (joon. 13, II). Pinge  $U$  suurenedes vastassuunas laetakse kondensaator vastupidiselt. Kondensaator on laetud, kui pinge on negatiivses suunas maksimaalne. Vooluringis on vool jälle kõige suurem, kui  $U$  läbib nullväärtuse. Nii laadub kondensaator iga mõjuva vahelduvpinge poolperioodi esimesel poolel ja lahendub iga poolperioodi teisel poolel. Saavutab vooluallika pinge maksimaalsuuruse, on kondensaator laetud ja vooluringis pole voolu; kahaneb vooluallika pinge, siis ilmneb vooluringis vool ja on kõige suurem siis, kui vooluallika pinge on null. Niiviisi toimub kondensaatori laadimine vahelduvvoolu poolt pidevalt. Kui laadimise pinge muutub sinusoidiselt, siis muutub samaselt ka laadimis- ja tühjenemisvoolude tugevus.

Seega, mahtuvuse olles vahelduvvooluringis, ilmneb selles elektrivool, mis püsib pingest veerandperioodi ehk  $90^\circ$  võrra ees. See on täielikult õige vaid siis, kui vooluringil puudub

oomiline (alalisvoolu) takistus; kondensaatoril tekkiv vastu-  
pinge  $U_c$  on vooluallika pingega  $U$  võrdne ja muutub vastu-  
pidiselt ( $180^\circ$  võrra nihutatuna).

Kõne all olevas vooluringis ilmnev vool on kondensaatori  
laadimise ja tühjenemise vool; voolu tugevus on seda suurem,  
mida suurem on kondensaatori mahtuvus  $C$  ja vahelduvvoolu  
sagedus  $f$ . Nii on kondensaator vahelduvvoolule näivaks takis-  
tuseks, mida nimetatakse **mahtuvuslikuks takistuseks**. Kon-  
densaatori takistus arvutatakse valemiga:

$$R_c = \frac{1}{\omega C}$$

kusjuures  $R_c$  on kondensaatori näivtakistus oomides,  $\omega$  ring-  
sagedus ja  $C$  kondensaatori mahtuvus faradites. Arvutatusis  
asendatakse  $\omega$   $2\pi f$ -ga, kusjuures  $f$  tähistab voolusagedust.

Niisugune vahelduvvooluring allub samuti Ohmi seadusele  
ja voolutugevus siin arvutatakse valemiga:

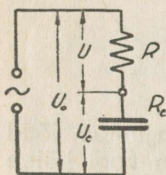
$$I = \frac{U}{R_c} = \frac{U}{1/\omega C} = U \cdot \omega \cdot C$$

kusjuures  $I$  on voolu efektiivväärtus amprites,  $U$  pinge efektiivväärtus voltides ja  $R_c$  mahtu-  
vuslik takistus oomides.

Kui vahelduvvooluringis esineb, lisaks  
mahtuvuslikule takistusele, järjestikku veel  
oomiline takistus  $R$  (joon. 14), siis vooluringi  
üldtakistus (impedants) leitakse järgmise  
valemi abil:

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$$

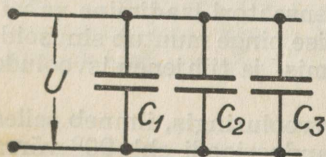
\* \* \*



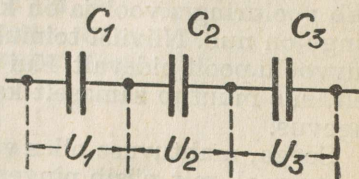
a

Joon. 14.

Suurema mahtuvuse saamiseks lülitatakse kondensaa-  
torid rööbiti (joonis 15). Säärasel juhul kondensaatorite



Joon. 15.



Joon. 16.

plaatide pindalad summeeruvad ja üldmahtuvus võrdub üksikute kondensaatorite mahtuvuste summaga. Seega  $C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n$ .

Rööbitilülituses mõjub kõigile kondensaatoreile üks ja sama pinge  $U$ .

Kondensaatorite järjestikkulülituses ei tööta kõik kondensaatorid terve rakenduspingega, vaid üldpinge  $U$  jaotub vastavalt üksikute kondensaatorite mahtuvustele (joon. 16) ja üldpinge  $U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n$ . Et kõiki kondensaatoreid läbib üks ja sama voolutugevus, siis

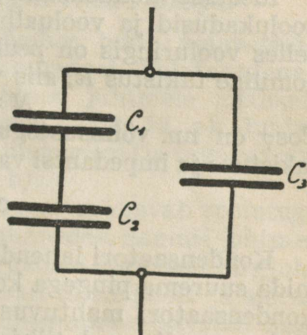
$$\frac{I}{\omega C} = \frac{I}{\omega C_1} + \frac{I}{\omega C_2} + \frac{I}{\omega C_3} + \dots + \frac{I}{\omega C_n}, \text{ kust}$$

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

Arvestatav üldmahtuvus  $C$  on väiksem kõige väiksemast mahtuvusest järjestikkuühenduses. Viimast lülitusviisi kasutatakse üldmahtuvuse vähendamiseks, kuna rööbitilülitust üldmahtuvuse suurendamiseks.

Kondensaatoreid kasutatakse veel segalülituses (joon. 17), kus üldmahtuvus leitakse toodud reeglite järgi; näiteks käesoleval juhul leitakse järjestikkuülilitatud kondensaatorite  $C_1$  ja  $C_2$  üldmahtuvus, mis liidetakse rööbiti ühenduses oleva kondensaatori  $C_3$  mahtuvusega.

Igas kondensaatoris ilmnevad dielektrilised kaod, nn. ümberpaigutamise ehk hüstereseesi tagajärjel. Elektronide ümberpaigutamise suurus sõltub dielektrikule mõjuvast pingest (väljatugevusest), selle sagedusest ja dielektriku ollusest. Dielektrilise ümberpaigutamise tekitamiseks ja selle neutraliseerimiseks kulutatakse teatav hulk energiat. Kadudevaeseimaks dielektrikuks on õhk, sellele vastandina suurekaalisteks aga klaas, troliid, bakeliit jne. Kaorikaste dielektrikutega kondensaatorid kuumenevad kõrgete sageduste puhul, mis suurte pingete juures võib põhjustada dielektriku laostumisi ehk nn. dielektriku läbilööke.



Joon. 17.

Nagu pole olemas kadudeta isolaatorit, ei leidu ka täiuslikku dielektrikut. Vahelduvvooluringidesse lülitatult tekivad dielektrikus võimsuskaod isolatsiooni defektsuse ja muude puuduste tõttu. Neid kadusid kokku määratellakse ainete dielektrilise kaoteguriga, mille väärtused pole konstantsed, vaid muutuvad kasutatava sagedusega; suuremal osal aineist kaotegurid suurenevad sagedusega, keraamilise päritoluga aineil — nagu kalaan, kaliit — vähenevad.

Allpool on toodud mõnede ainete dielektrilised kaotegurid sõltuvalt sagedusist.

Aine	Sagedus kilohertsides *)			
	1 000	3 000	10 000	50 000
Kvarts .....	1,0	1,0	1,0	1,1
Vilgukivi .....	1,7	1,7	1,7	1,7
Kalaan .....	3,2	2,8	2,6	2,5
Kaliit .....	3,8	3,7	3,4	3,2
Trolituul .....	3,9	3,7	4,5	5,4
Steatiit .....	20	18	17	15
Eboniit .....	64	61	57	53
Portselan .....	55	49	63	85
Bakeliit .....	160	200	220	260
Pertinaks .....	280	350	720	1 000

Ideaalse kondensaatoriga vooluringis ei ilmne mingeid voolukadusid ja vooluallikast võetav võimsus on null. Kui selles vooluringis on peale mahtuvusliku takistuse  $R_c$  veel oomiline takistus  $R$ , siis vooluallikast võetav võimsus

$$N = I \cdot U \cdot \cos \varphi$$

$\cos \varphi$  on nn. **võimsustegur**, mis võrdub vooluringi oomilise takistuse ja impedantsi vahekorraga

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

Kondensaatori lahendumisel tekkiiv säde on seda tugevam, mida suurema pingega kondensaator laeti ja mida suurem on kondensaatori mahtuvus. Dielektrikute puhul, nagu õhk ja õlid, neutraliseerub tühjendamisel kondensaatori laeng hetkeliselt. Kõvade dielektrikute juures ilmnevad veel järellaengunähtused, s. o. pärast esimest lahendust vabanevad dielektrikullusest veel osa selle pingestamiseks (nihutamiseks) kulutatud elektronidest, mis kogunevad kondensaatori plaatidele. Nii võib kondensaator lahenduda mitu korda. Kõrgepingega laetud kondensaatori puudutamine on hädaohtlik.

\* Vt. lk. 44.

## § 9. Elektrivälja energia.

Kondensaatori laeng kujutab endast teatavat energiahulka, mis varutud elektrivälja kujul kondensaatori plaatide vahel. Seda varutud elektrivälja energiat on võimalik rakendada töhe. Näiteks kui laetud kondensaator sulgeda lühidalt, siis ilmneva voolu tõttu soojeneb ühendustraata. Elektrivälja energia all mõistetakse tööd, mis tehakse, teatavate elektrilaengute paigutamisel kondensaatori plaatidele. See tööhulk arvutatakse valemiga:

$$A = \frac{C \cdot U^2}{2}$$

kusjuures  $A$  on tööhulk džaulides (vattsekundeis),  $U$  laadimispinge voltides ja  $C$  mahtuvus faradites. Üldiselt praktiilistes kondensaatorites on elektrivälja koondatud energia siiski väga väike.

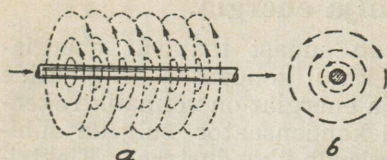
## II. MAGNETIVÄLI JA SELLE OMADUSED.

### § 10. Elektrivoolu magnetiline mõju.

Elektrivoolust läbitava juhtme ümber tekib magnetiväli, mis evib kõiki tavalise magnetivälja omadusi. Tekitatud magnetilised tungjooned ümbritsevad juhet juhtmele ristloodis tasapindadel kontsentriiliste ringidena (joon. 18, a). Juhtme lähedal on tungjoonte tihedus, s. o. magnetivälja tugevus suurem, kaugemal väiksem (joon. 18, b).

Juhet ümbritseva magnetivälja tugevus kasvab voolutugevuse suurenedes ja väheneb voolu kahanedes. Samuti juhtmest valmistatud ringi ümbritsevad tungjooned sarnaselt sirgjuhtmega. Tekitatud tungjooned väljuvad ühelt poolt ja sisenevad teiselt poolt (joon. 19) ringi, meenutades tavalist magnetivälja põhja- ja lõunapoolusega.

Kui samast juhtmest valmistada solenoid, mida tavaliselt nimetatakse pooliks, siis voolu läbimisel tekib selle ümber palju tugevam magnetiväli kui sirgjuhtme või üksiku keeru ümber sama voolutugevuse juures. Pooli üksikute keerdude ümber tekitatud magnetiväljad liituvad üldiseks magnetiväljaks (joon. 20), mis evib pooluseid ja kõiki tavalise magnetivälja omadusi.

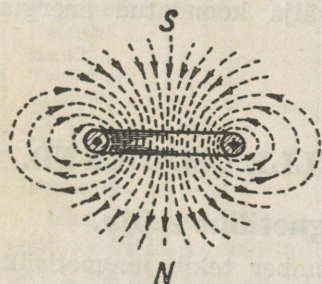


Joon. 18.

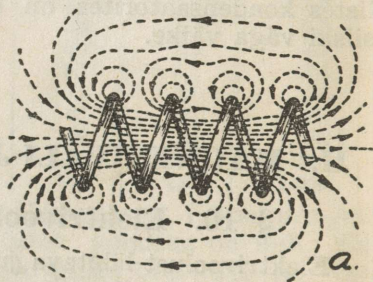
Voolust läbitava pooli lähedale asetatud rauatükk muutub ise magnetiks. Rauatükk seejuures püüab pooli suhtes asetuda nii, et teda läbiks võimalikult rohkem tungjooni. Pooli asetatud rauatükk koon- dab enesesse suurema osa

sealolevaist tungjoontest, mille tõttu magnetiväli tiheneb.

Elektrivooluringes põhjustab elektrivoolu elektromotoorne jõud. Magnetivooluringes põhjustab magnetivälja tekkimise mingi magnetiline jõud, mida nimetatakse magnetomotoorseks jõuks.



Joon. 19.



Joon. 20.

Elektrivoolult poolis tekitatud magnetomotoorse jõu  $F$  praktiliseks mõõduühikuks on amperkeerud Ak.

$$F = I \cdot n, \text{ kust } I = \frac{F}{n} \text{ ja } n = \frac{F}{I}$$

kusjuures  $F$  tähistab magnetomotoorset jõudu amperkeerdu- des,  $I$  pooli läbiva voolu tugevust ampreis ja  $n$  pooli keerdude arvu.

Jõudu, mis kutsub esile magnetilise induksiooni ( $B$ ) nim. magnetiseerivaks jõuks ehk väljatugevuseks ( $H$ ).

Väljatugevus poolis on seda tugevam, mida suurem on pooli amperkeerdude arv ja mida väiksem pooli pikkus

$$H = \frac{1,25 \cdot I \cdot n}{l}, \text{ kusjuures}$$

$H$  on väljatugevus oerstedides\*,  $I \cdot n$  — amperkeerdude arv  $l$  pooli pikkus cm.

Tavaliselt arvatakse amperkeerud, pooli suhtes, ühe cm pikkuse kohta, mis saadakse üldamperkeerdude jagamisest

pooli üldpikkusega, seega  $\frac{I \cdot n}{l}$  (joon. 21).

Magneti ristloodis läbilõikepinda ( $S$ ) läbistavat tungjoonte hulka nimetatakse **magnetvooks** ( $\Phi$ ), mille mõõduühikuks on maksvell\*.

Tungjoonte tihedust magneti ristlõikepinna ühe ruutsentimeetri kohta nimetatakse **magnetvoo tiheduseks** ehk **magnetiliseks induksiooniks** ( $B$ ). Magn. induksiooni mõõduühikuks on gauss\*.

Omavahel on  $\Phi$ ,  $B$  ja  $S$  järgnevatel suhetes:

$$B = \frac{\Phi}{S}, \quad \Phi = B \cdot S \quad \text{ja} \quad S = \frac{\Phi}{B}$$

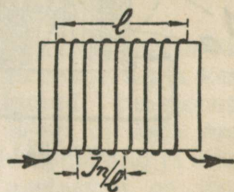
Praktiliselt võib õhutühjas ruumis (ka õhus) lugeda  $B$  võrdseks  $H$ -ga. Mingi ainega täidetud keskkonnas on  $B$  alati  $H$ -st erinev ja nende vahekord oleneb aine magnetitungjoonte läbitavusest ( $\mu$ )\*\* järgmiselt:

$$\mu = \frac{B}{H}; \quad B = \mu H \quad \text{ja} \quad H = \frac{B}{\mu}$$

Praktiliselt võttes  $\mu$  on arv, mis näitab kui palju magnetvoog (ühesuuruse väljatugevuse  $H$  juures) on antud aines suurem kui õhus; seega õhus  $\mu = 1$ .

Ainete omadusi avaldada takistust magnetvoo tekkimisele nimetatakse **magnetiliseks takistuseks** ehk **tõkestuseks**  $R$ . See tõkestus esineb kasutatavas magnetvooringes, olles analoogiline elektrilisele takistusele ja väljendatakse:  $R = \frac{l}{\mu \cdot S}$ , kusjuures  $l$  on mag-

netivälja pikkus cm ja  $S$  magnetvoo ristlõikepind  $\text{cm}^2$ .



Joon. 21.

\* Magnetilistes tungjoontes väljendatult:

1 oersted, samuti 1 gauss vastab 1 tungjoonele 1  $\text{cm}^2$  peale;  
1 maksvell vastab 1 tungjoonele.

\*\* Läbitavust  $\mu$  nimetatakse ka permeaabluseks.

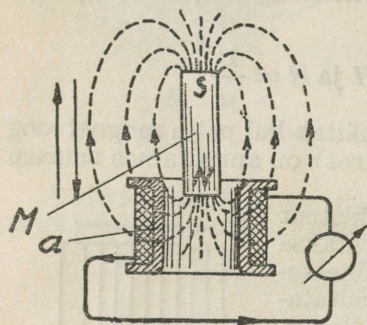
Magnetvoog, magnetilise tõkestusega seotult väljendatakse järgmiselt:

$$\Phi = \frac{1,25 \cdot I \cdot n}{R}$$

Näide: Õhksüdamikuga pooli keerdude arv on 200, pikkus 10 cm, voolutugevus 3 A. Väljatugevus  $H = \frac{1,25 \cdot I \cdot n}{l} = \frac{1,25 \cdot 3 \cdot 200}{10} = 75$  oersted (tungjoont cm<sup>2</sup> peale). Kui sama pool oleks keritud raudsüdamikule, mille  $\mu = 2500$ , siis  $B = \mu H = 2500 \cdot 75 = 187500$  gaussi (tungjoont cm<sup>2</sup> peale). Kui pooli ristlõikepind  $S = 12$  cm<sup>2</sup>, siis  $\Phi = B \cdot S = 187500 \cdot 12 = 2250000$  maksvelli (tungjoont).

## § 11. Elektromagnetiline induktsioon.

Vastavad katsed näitavad, et alati, kui magnetitungjooned lõikavad juhet, või juhe lõikab magnetitungjooni, tekib juhtmes elektromotoorne jõud, mis põhjustab juhtmes vooluringina lülitatult voolu. Magnetvoo ja juhtme lõikumisel tekitatud EMJ nimetatakse indutseeritud elektromotoorseks



Joon. 22.

jõuks ja selle põhjustatud voolu **induktsioonvooluks**. Kogu seda nähtust nimetatakse **elektromagnetiliseks induktsiooniks**. Näiteks kui pooli  $a$  (joon. 22) lähedal liigutada magnetit  $M$ , siis indutseerivad magnetitungjooned, lõikudes pooli keerdudega, poolis elektromotoorse jõu. Jääb aga magnet seisma, siis kaob poolis EMJ ja ka vool. EMJ ja voolu siht oleneb magnetitungjoonte liikumise suunast.

Indutseeritud EMJ suurus sõltub magnetvoo tugevusest, ajast, mille kestel magnetvoo pooliga lõikub, ja pooli keerdude arvust. Seega

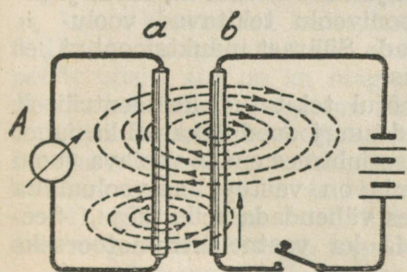
$$E = \frac{\Phi \cdot n}{t \cdot 10^8}$$

kusjuures  $E$  on EMJ voltides,  $\Phi$  magnetvoo maksvellides,  $n$  poolikeerdude arv ja  $t$  magnetvoo ja poolikeerdude lõikumise aeg sekundis.

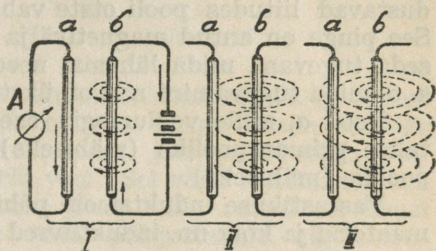
## § 12. Vastastikune induksioon.

Kui mingis juhtmes voolab muutuva tugevusega elektri-  
vool, siis muutub ka selle juhtme ümber tekitatav magneti-  
väli, mis kasvab voolutugevuse suurenedes ja ümberpöördukt.  
Näib, nagu tekitaks kasvav voolutugevus üha uusi magneti-  
tungjooni, mis suruvad varemtekitatud tungjooned juhtmest  
eemale (joon. 23). Nii tekib juhtme ümber liikuv magneti-  
väli, mis läheduses asetsevais juhtmeis indutseerib elektri-  
voolu. Kui juhtmes *b* jääb voolutugevus püsivaks, siis jääb  
püsivaks ka magnetiväli ja naaberjuhtmes (*a*) enam voolu  
ei indutseeru. Juhtmes *b* voolutugevuse vähenedes kahaneb  
ka magnetivälja tuge-  
vus; tungjooned tõmbu-  
des juhtmesse tagasi  
lõikavad uuesti juhete *a*.  
Primaarvoolu (juhtmes  
*b*) tekkimisel või kasva-  
misel indutseerub naa-  
berjuhtmes (*a*) vastupi-  
dine, tema katkemisel  
või kahanemisel aga saa-  
masuunaline vool.

Kuna ka indutseeri-  
tud vool (juhtmes *a*) pi-  
devalt muutub, siis temaga kaasaskäiv magnetiväli indut-  
seerib tagasi juhtmesse *b* voolu (joon. 24). Nähtust, kus juht-  
meid läbivad voolud üksteisele vastastiku mõjuvad, nime-  
tatakse vastastikuseks in-  
duktsiooniks.



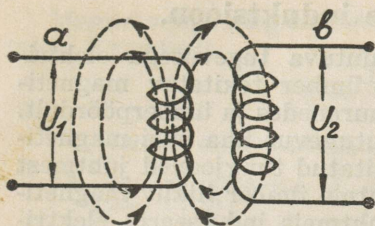
Joon. 24.



Joon. 23.

EMJ suurus oleneb siin  
juhtmega teatava aja kes-  
tel lõikunud tungjoonte  
arvust, seega on seda suu-  
rem, mida pikemad ja lähe-  
damal asetsevad on üks-  
teist mõjutavad juhtmed  
ja mida kiiremini muutub  
väljatugevus.

Väljatugevuse muutu-  
mise kiirus oleneb vaid voolutugevuse muutumise kiirusest.  
Näiteks voolutugevuse kasvades sekundis 0—15 amprini on  
voolutugevuse muutumise kiirus 15 amprit sekundis. Kui



Joon. 25.

vool kahaneb sekundis 65 amprilt 60 amprini, siis on voolutugevuse muutus kõigest 5 amprit sekundis.

Vastastikuse induksiooni nähtused kahe pooli vahel on palju intensiivsemad kui sirgjuhtmete puhul (joon. 25). Kui poolis  $a$  muutub voolutugevus, siis voolu muutuv magnetiväli lõigates pooli  $b$  kerde indutseerib

neis pinge. Üksikutes keerdudes indutseeritud pinged moodustavad liitudes pooli otste vahel mõjuva üldise pinge  $U_2$ . See pinge on antud magnetivälja muutmise kiiruse juures seda tugevam, mida lähemal need poolid üksteisele asuvad, s. o. mida tugevamini nad on üksteisega sidestatud.

Pooli  $a$ , mille vooluringis asetseb vooluallikas, nimetatakse **primaarpooliks** (mähiseks), teist aga — **sekundaarpooliks** (mähiseks).

Vastastikuse induksiooni põhimõttel töötavad transformatorid ja kõik nn. induktiivsed sidestused.

### § 13. Endainduktsioon.

Elektrivoolu tugevuse muutusest tingitud magnetivälja muutused ei tekita induksioonivoolu mitte ainult voolu kandva juhtme lähedal seisvais juhtmes, vaid ka selles juhtmes eneses, millest induksioonivoolu tekitavad voolu- ja magnetivälja muutused lähtuvad. Säärast induksiooni nähet nimetatakse **endainduktsiooniks**.

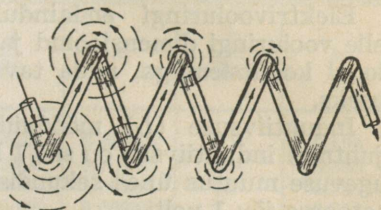
Kasvava voolutugevuse mõjul tekitatud kontsentriselt juhtme tsentrumist eemalduvad tungjooned löikavad ka juhett ennast. Seetõttu indutseeritakse juhtmes endas voolava voolu poolt elektromotoorne jõud, mis on vastupidine vooluallika elektromotoorsele jõule, püüdes vähendada selle mõju. Seepärast nimetatakse seda EMJ ka **vastuelektromotoorseks** jõuks.

Voolu kahanemisel liiguvad juhtmesse tõmbuvad tungjooned vastupidises suunas eelmisele ja löikudes nüüd uuesti juhtme enesega indutseerivad selles jällegi elektromotoorse jõu, mille tekitatud voolusuund on ühtiv teda põhjustava voolusuunaga.

Niiviisi indutseeritud elektromotoorne jõud püüab voolu hoida juhtmes püsivana, s. o. voolutugevuse suurenemist ja kahanemist pidurdades.

Poolis ilmnevad endainduktsiooni nähtused on palju intensiivsemad kui need olid sirgjuhtmes.

Liikuvate tungjoonte lõikumine poolikeerdudega sünnib järgmiselt (joon. 26): Voolu kasvades on voolutugevus kõige suurem selles keerus, kust elektronid sisenevad. Järgmises keerus on voolutugevus väiksem jne., kuna viimase keeruni tol hetkel pole elektronid veel liikunud.



Joon. 26.

Voolutugevuse muutustele vastavalt tekitatakse ka iga keeru ümber muutuv magnetivälja tugevus. Seega löikab esimese keeru magnetiväli teist, kolmandat jne. poolikeerdu veel ennem, kui neid endid läbib vool. Sel viisil indutseeritakse poolikeerdudes elektromotoorne jõud, mille suund on Lenzi seaduse järgi vastupidine teda põhjustavale algelektromotoorse jõu suunale. Järgmisil hetkedel on voolutugevuse muutused (aja suhtes) suuremad pooli teises, kolmandas jne. keerus. Iga poolikeerdu ümbritseb järjekorras muutuv magnetiväli, mis põhjustab poolis kogu voolumuutumise aja kestel vastuelektromotoorse jõu ja mis omakorda aeglustab voolutugevuse kasvamist Ohmi seadusega määratud suuruseni.

Voolu kasvamisel kulutatakse pooli ümber magnetivälja tekitamiseks teatav hulk elektrienergiat. On voolutugevus poolis püsiv, siis on ka magnetiväli püsiv ja selle alalhoidmiseks kulutatav energia on null.

Voolu kahanemisel või katkemisel tungjooned tõmbuvad koomale, lõigates poolikeerde analoogiliselt eelnenule. Nüüd indutseeritakse poolis samasuunaline elektromotoorne jõud (vool), mis takistab voolu kahanemist poolis. Seega muundub magnetiline energia tagasi elektriliseks energiaks.

Samuti nagu EMJ suurus, oleneb siin vastuelektromotoorse\* jõu suurus, poolikeerdudega lõikunud tungjoonte arvust sekundis.

Raudsüdamikuga poolis on magnetivälja muudatused

\* Endainduktsiooni elektromotoorne jõud.

(ühesuguse voolutugevuse muutumise kiiruse juures), õhk-südamikuga võrreldes, palju suuremad; indutseeritud vastuelektromotoorne jõud on siin raua läbitavuse  $\mu$  korda suurem.

Võrreldes sirgjuhet ja sellest valmistatud õhk- ja raud-südamikuga poole näeme, et igaihes indutseeritakse isesuguse suurusega endainduktsiooni elektromotoorne jõud.

Elektrivooluringi endainduktsiooni suuruse määravad selle vooluringi dimensioonid ja see avaldatakse **endainduktsiooni koefitsiendiga**, mida tavaliselt nimetatakse **induktiivsuseks**.

Induktiivsuse ( $L$ ) mõõduühikuks on **henri** (H). Pooli (juhtme) induktiivsus on siis 1 henri, kui üheampriline voolutugevuse muutus ühes sekundis tekitab selles vastuelektromotoorse jõu 1 volt.

Henri on võrdlemisi suur mõõduühik, seepärast kasutatakse sageli väiksemaid induktiivsuseühikuid, nagu **millihenri** (mH), **mikrohenri** ( $\mu$ H) ja **sentimeeter** (cm). Induktiivsuseühikud on omavahel järgmises seoses:

$$\begin{array}{ll} 1 \text{ H} = 10^3 \text{ mH} & 1 \text{ mH} = 10^{-3} \text{ H} \\ 1 \text{ H} = 10^6 \mu\text{H} & 1 \text{ mH} = 10^6 \text{ cm} \\ 1 \text{ H} = 10^9 \text{ cm} & 1 \mu\text{H} = 10^{-6} \text{ H} \\ & 1 \mu\text{H} = 10^3 \text{ cm} \end{array}$$

## § 14. Endainduktsioonpoolid.

Praktikas on kasutamisel väga mitmesuguse kuju, mähkimisviiside ja mõõdetega poole, nagu silinder-, toroid-, ristmähis-, kärg- jne. poolid. Levinumaid poole raadiotehnikas on silinderpool. Teades pooli dimensioone on vastavate valemite abil võimalik välja arvutada pooli induktiivsust või mõningaid teisi tundmatuid andmeid. Alljärgnevad valemid on maksvad vaid juhul, kui pooli südamikuks on õhk. Pooli-kehadeks kasutatavad isoleerollusest alused (torud) ei avalda pooli induktiivsusele nimetamisväärsset mõju.

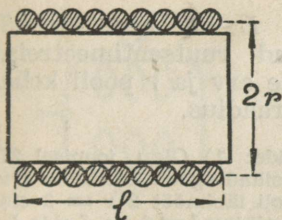
Peale õhu kasutatakse poolide südamikkudeks veel nn. kõrgesagedusrauda ja harilikku rauda (madalsageduspaispoolides, transformatoreis jne.). Selliseid poole ja nende induktiivsusi vaatleme edaspidi.

Ühekihilise silinderpooli induktiivsus (joon. 27)

$$L = \frac{(2\pi \cdot n \cdot r)^2}{l} \cdot k \cdot 10^{-9}*$$

\* Kui poolide induktiivsuste arvutamiseks antud valemist ära jätta  $10^{-9}$ , siis saadakse  $L$  henride asemel sentimeetreis.

kusjuures  $L$  on induktiivsus henrides,  $n$  pooli keerdude arv,  $r$  pooli raadius cm,  $l$  pooli pikkus cm ja  $k$  kujutegur, mis leitakse alljärgnevast tabelist, vastavalt  $\frac{l}{2r}$  suhtele.



Joon. 27.

$\frac{l}{2r}$	$k$	$\frac{l}{2r}$	$k$
0,0001	0,00055	0,3	0,405
0,0002	0,00115	0,5	0,525
0,0003	0,00165	0,7	0,605
0,0005	0,00258	1	0,685
0,0007	0,00341	2	0,82
0,001	0,00465	3	0,87
0,01	0,036	5	0,92
0,02	0,061	7	0,94
0,03	0,0835	10	0,95
0,04	0,104	15	0,975
0,1	0,2	20	0,98
0,2	0,315	50	0,99

Mitmekihiliste lapikpoolide induktiivsus (joon. 28)

$$L = (2\pi \cdot n)^2 \cdot \frac{r^2}{a + b + c} \cdot 10^{-9}$$

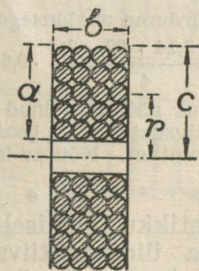
kusjuures  $L$  on henrides,  $r$ ,  $a$ ,  $b$  ja  $c$  pooli mõõted (joonisel 28 näha) cm ning  $n$  keerdude arv.

Poole, mis võimalikult lühikese traadipikkuse juures evivad suurt induktiivsust, nimetatakse maksimaalse induktiivsusega pooleks. Selle mähise ristlõikepind (joon. 29) peab olema ruut, mille külje pikkus on  $b$ . Seejuures on tingimuseks, et

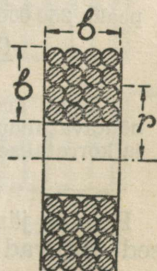
$$r = \frac{11}{6} \cdot b$$

Selle pooli induktiivsus leitakse valemist:

$$L = 3 \cdot n \cdot m \cdot 10^{-9}$$

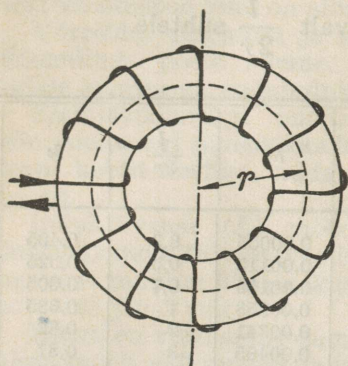


Joon. 28.



Joon. 29.

kusjuures  $L$  on henrides,  $n$  keerdude arv ja  $m$  traadi pikkus cm.



Joon. 30.

Ümmargusele ringikujulisele südamikule (joon. 30) mähitud ring- ehk toroid-pooli induktiivsus

$$L = \frac{2 \cdot S \cdot n^2}{r} \cdot 10^{-9},$$

kusjuures  $L$  on henrides,  $S$  keeru pind ruutsentimeetreis,  $n$  keerdude arv ja  $r$  pooli keha keskmine raadius.

Näide: 1) Olgu joonisel 27 toodud silinderpooli keerdude arv 100, pooli läbimõõt  $2r = 3$  cm ja pooli pikkus  $l = 6$  cm. Leida  $L$ .

Kõigepealt leitakse kujutegur  $k$ . Avaldusele

$$\frac{l}{2r} = \frac{6}{3} = 2$$

vastab tabelis  $k$ , mis võrdub 0,82. Induktiivsus on seega

$$L = \frac{(2\pi \cdot n \cdot r)^2}{l} \cdot k \cdot 10^{-9} = \frac{(2 \cdot 3,14 \cdot 100 \cdot 1,5)^2}{6} \cdot 0,82 \cdot 10^{-9} =$$

$$= 0,000\,123 \text{ H} = 0,123 \text{ mH} = 123 \mu\text{H} = 123\,000 \text{ cm.}$$

2) 4-sentimeetrilise läbimõõduga poolikehale soovitakse mähkida  $\varnothing = 0,45$  mm emailtraadist pooli, induktiivsusega 250 000 cm. Leida pooli keerdude arv  $n$ .

Poolikehale mähitakse näiteks 90 keerdu ja mõodetakse mähise pikkus sentimeetreis, mis on umbes 4 cm. Mähise pikkuse ja läbimõõdu  $d$  ( $d = 2r$ ) abil leitakse  $k$ , mis on käesoleval juhul 0,69.

Asetades olemasolevad andmed valemisse  $L = \frac{(2\pi \cdot n \cdot r)^2}{l} \cdot k$ , peaks 250 000 võrduma avaldusega

$$\frac{(2 \cdot 3,14 \cdot 90 \cdot 2)^2}{4} \cdot 0,69 = 223\,560 \text{ cm.}$$

Nagu arvutus näitab, polnud võimalik 90 keeruga saavutada nõutavat induktiivsust. Nüüd lisatakse poolile veel 4 kuni 5 keerdu ja korratakse arvutust. Nõutav keerdude arv on 95.

\* \* \*

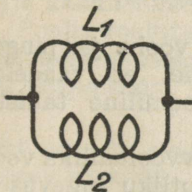
Poolide järjestikku lülimisel (joon. 31) nende induktiivsused liituvad ja üldinduktiivsus  $L = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$ , kusjuures  $L_1$ ,  $L_2$  ja  $L_3$  on üksikute poolide induktiivsused.

Poolide rööbitilülituses (joon. 32) nende induktiivsused liituvad nagu nende juhtivusedki:

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \dots + \frac{1}{L_n}$$

Kui vooluringis on rööbiti ainult kaks pooli, siis nende üldinduktiivsus

$$L = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$



Joon. 31.



Joon. 32.

Kui poolid on üksteisega tugevasti sidestatud ja nende keerud on ühesuunalised (joon. 33), siis nende üldinduktiivsus

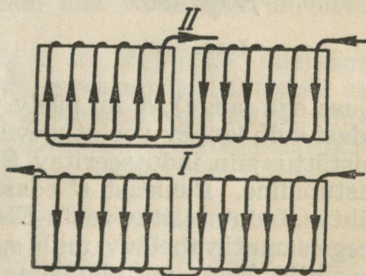
$$L = L_1 + L_2 + 2k\sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

kusjuures  $k$  on sidetugevuse koefitsient, mille suurus, kui mõlema pooli keerud teineteisega tõesti kõrvuti asuvad, võib läheneda maksimaalselt 1\*. Tavaliselt on ta ühest vähem.

Kui poolide asendit muuta üksteise suhtes nii, et nende keerud on vastassuunalised, siis üldinduktiivsus

$$L = L_1 + L_2 - 2k\sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

Kui tugeva sidestuse puhul (mähised keritud üksteise peale)  $k$  võrdub peaaegu ühega ja  $L_1 = L_2$ , siis on võimalik keerdsuundade mõju kombinatsioonidega poolide üldinduktiivsust  $L$  muuta



Joon. 33.

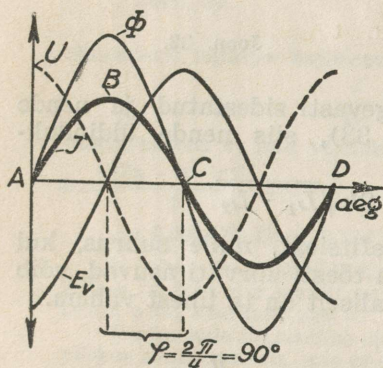
\*\* Sidetugevus võrdub 1-ga ainult siis, kui poolide mähised asetsevad üksteise sees.

vahemikus  $4L_1$  kuni 0-ni. Nimetatud põhimõtteil töötab raadiotehnikas kasutatav nn. **variomeeter**, kus seadme induktiivsuse muutudes selle oomiline takistus jääb konstantseks.

## § 15. Endainduktsioon vahelduvvooluringis.

Vahelduvvooluringis läbib endainduktsioonpooli tavaliselt sinusoidselt muutuva tugevusega vool. Voolult tekitatud magnetiväli indutseerib poolis vastu-EMJ, mille suund on mõjuvale vooluallika pingele  $U$  alati vastupidine, s. o. nende faasid on üksteisest  $180^\circ$  võrra nihutatud.

Alljärgnevas vaatleme üksikasjaliselt voolu ja pingete vahekordi (joon. 34), kusjuures oletame, et vaadeldaval induktiivsusega vooluringil puudub oomiline takistus ( $I^2 \cdot R = 0$ ).



Joon. 34.

Vahelduvvooluallika vool  $I$  tekitab muutliku tugevusega magnetivälja  $\Phi$ , mille suurus on voolutugevusega võrdeline ja faasides (aja mõttes) ühtiv; kui  $I = 0$ , siis ka  $\Phi = 0$  (punktides  $A$ ,  $C$  ja  $D$ ). Magnetivälja  $\Phi$  poolt indutseeritav vastu-EMJ suurus on oleneb välja  $\Phi$  muutumise suurusest aja mõttes ehk kiirusest. Punktis  $A$  on voolu tõus järsk, magnetivälja  $\Phi$  muutumise kiirus suur ja indutseeritav vastu-EMJ ( $E_v$ ) amplituud maksimaalne. Punktis  $B$  voolutugevus ei muutu (ei

tõuse ega lange),  $\Phi$  on püsiv ja indutseeritav vastu-EMJ on 0. Edasi evib langev voolutugevus suurimat järskust punktis  $C$ , mistõttu siin indutseeritav  $E_v$  on jälle maksimaalne, kuid vastupidine. Punktist  $C$  edasiminekul kordub analoogiline nähtus. Indutseeritav vastu-EMJ ehk endainduktsiooni EMJ on seega samuti vahelduv, mille suund poolperioodi tõusvas harus on ühtiv. Kuna me oletasime, et vooluringil puudub oomiline takistus, siis peab vooluallika mõjuva pingele  $U$  suurus võrduma  $E_v$  suurusega (vastupidise märgiga). Jooniselt nähtub, et vool jääb pingest  $\frac{1}{4}$  perioodi ehk  $90^\circ$  võrra maha.

Vooluallikalt võetav võimsus

$$N = U \cdot I \cdot \cos \varphi$$

Kuna aga nurk  $\varphi$  on  $90^\circ$  ja  $\cos 90^\circ = 0$ , siis ka  $N = 0$ , s. t. vooluallikalt energiat ei võeta. Kuigi selline vooluring ei tarvita võimsust, voolab siiski vooluringis vool, mida nimetatakse **pimevooluks** ehk **vatt-vabavooluks**\*

Pimevool (vt. joon. 34) on nimelt see vool  $I$ , mis kasvaval veerandperioodil ( $A$ -st  $B$ -ni) kulutatakse magnetivälja  $\Phi$  ehitamiseks ja samuti see vool ( $B$ -st kuni  $C$ -ni), mis magnetivälja kahanemisel indutseeritakse vooluringi tagasi.

Poolis voolutugevust piiritlevat induktiivsust nimetatakse pooli **induktiivseks takistuseks**  $R_i$  ja selle suurus on väljendatud järgmiselt:

$$R_i = \omega L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

kusjuures  $R_i$  on oomides,  $\omega$  ringsagedus ja  $L$  pooli induktiivsus henrides.

Valemist näeme, et induktiivne takistus sõltub vooluringi induktiivsusest ja voolu sagedusest. Ta on seega muutuv suurus, sest ühe ja sama induktiivsusega vooluring võib erinevate sagedustega vooludele avaldada erineva suurusega takistust.

Induktiivse takistusega vooluringis voolutugevus

$$I = \frac{U}{R_i} = \frac{U}{2\pi \cdot f \cdot L}$$

Toodud kujul on see valem kehtiv vaid siis, kui vooluringis puudub oomiline takistus. Tegelikult iga juhtme osake evib oomilist takistust  $R$ . Praktiliselt vaadeldakse neid mõlemaid takistusi nii, nagu oleksid nad vooluringi ühendatud järjestikku.

Kui vooluringis esinevad  $R$  ja  $R_i$  järjestikku ühendatult (joon. 35), siis nende takistuste geomeetrilisel liitmisel saadud resulteeriv määrab vooluringis voolutugevuse. Resulteerivat takistust nimetatakse **näivtakistuseks**, mõõdetakse oomides ja leitakse ning avaldatakse järgmiselt (joon. 35, b):

$$Z = \sqrt{R^2 + R_i^2} = \sqrt{R^2 + (\omega L)^2}$$

Vooluringis mõjuva vahelduvpinge  $U$  ja voolu  $I$  kaudu väljendatult (joon. 35, a), impedants

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

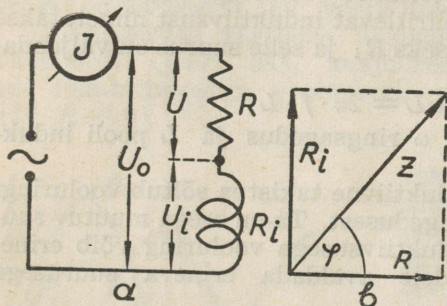
\* Nimetatakse ka ebavooluks.

Jooniselt 35, b leitakse, et

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z}$$

Teades vahelduvvooluringi oomilist ja näivtakistust ning voolu sagedust, võib induktiivsust arvutada järgmise valemi abil:

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{\omega} = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{2\pi \cdot f}$$



Joon. 35.

Näide: Olgu joonisel 35a näidatud lülituses:  $I = 2A$ ,  $U_o = 220V$ ,  $R = 20 \Omega$  ja  $f = 50$  per/sek. Leida  $Z$ ,  $L$ ,  $R_i$ , nurk  $\varphi$ , näivvõimsus  $N'$ , ja tegelik võimsus  $N$ .

$$Z = \frac{220}{2} = 110 \Omega.$$

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{2\pi \cdot f}$$

$$= \frac{11700}{314} = 0,344 \text{ henrit.}$$

$$R_i = 2\pi \cdot f \cdot L = 314 \cdot 0,344 = 108,2 \Omega.$$

$$\cos \varphi = \frac{R}{Z} = \frac{20}{110} = 0,1818; \text{ cos väärtusele } 0,1818 \text{ vastab}$$

nurk  $\varphi$  ca  $80^\circ$ .

$$N' = U_o \cdot I = 220 \cdot 2 = 440 \text{ vatti.}$$

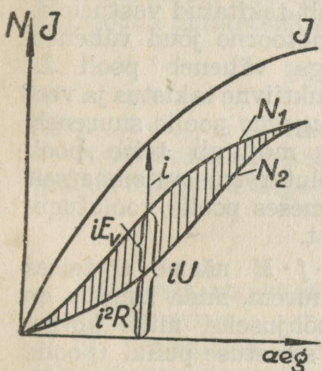
$$N = U_o \cdot I \cdot \cos \varphi = 220 \cdot 2 \cdot 0,1818 = 80 \text{ vatti, ehk } N = I^2 \cdot R = 2^2 \cdot 20 = 80 \text{ vatti.}$$

## § 16. Magnetivälja energia.

Voolu kasvamisel oma maksimaalsuuruseni, kulutatakse elektrienergiat voolu kandva juhtme ümber magnetivälja ehitamiseks. See energia ei haju, nagu see juhtub oomilises takistuseks džaulisoojuse näol ( $I^2R$ ), vaid muudetakse magnetiliseks energiaks ja hoitakse magnetiväljana alal, kust ta voolu kahanemisel jällegi elektrienergia näol tagasi saadakse.

Joonisel 36 on graafiliselt näidatud, missuguses vahekorras kulutatakse elektrienergiat soojuseks oomilises takistuses ja magnetiväljade ehitamiseks. Kõver  $I$  näitab voolu kasva-

mist, aja suhtes, 0-st kuni oma maksimaalsuuruseni. Voolu hetkväärtust vaadeldaval momendil kujutab joonlõik  $i$ . Joonlõik  $iU$  annab samal hetkel vooluallikast võetava üldise võimsuse. Joonlõik  $i^2R$  näitab võimsust, mis kulutatakse pooli oomilises takistuses ja joonlõik  $iE_v$  annab meile võimsuse, mis kulutatakse magnetivälja tekitamiseks. Kõver  $N_1$ , iseloomustab aja suhtes vooluallikast võetud üldvõimsust (vahelduvvoolu puhul esimesel veerandperioodil) ja kõver  $N_2$  — sama aja kestel oomilisel takistusel kulutatud võimsust. Kõverate vahel olev kriipsutatud pind näitab elektrienergia hulka, mis voolu kasvamisel muundub magnetiliseks energiaks. Kui vool jääb püsivaks, siis jääb ka magnetivälja tugevus püsivaks ja selle alalhoidmiseks ei kulutata enam energiat.



Joon. 36.

Lähem arvutus näitab, et magnetivälja energia

$$A = \frac{I^2 \cdot L}{2}$$

kusjuures  $I$  on voolutugevus ampereis,  $L$  induktiivsus henrides ja  $A$  tööhulk džaulides (vattsekundis). Selle valemiga on võimalik leida voolu poolt tekitatud magnetilise energia hulka, kui teada on pooli läbiva voolu tugevus ja pooli induktiivsus.

## § 17. Transformaatorid.

Kui kaks pooli ehk mähist teineteisega sidestada (joon. 37) ja üks neist ühendada vahelduvvooluallikaga, siis vastastikuse induktiooni nähtuse põhjal tekib teises poolis vahelduvpinge  $U_2$ .

Tekitatud pinge arvutatakse valemiga:

$$U_2 = I_1 \cdot \omega \cdot M$$

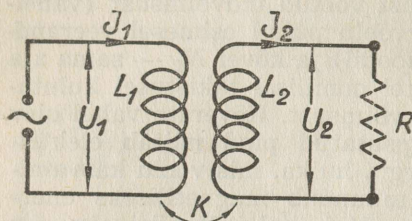
$I_1$  on voolutugevus esimeses poolis,  $\omega$  ringsagedus ja  $M$  vastastikuse induktiivsuse koefitsient henrides.

$$M = k \sqrt{L_1 \cdot L_2}$$

kusjuures  $k$  on sidetugevuse koefitsient,  $L_1$  esimese ja  $L_2$

teise pooli induktiivsused.  $K$  võib omada väärtused 0-st kuni 1-ni (vt. § 14).

Kui teise pooliga ühendada takistus  $R$ , siis ilmneb poolis vool  $I_2$ , mis põhjustab ka esimeses poolis voolu suurenemise. Voolu suurenemise põhjus tekib järgmiselt: teise pooli magnetvoog töötab esimese pooli magnetvoole vastu, mistõttu esimeses poolis  $I_1$  poolt tekitatud vastuelektromotoorne jõud väheneb, seega väheneb pooli  $L_1$  induktiivne takistus ja voolutugevus poolis suureneb. Nii mõjutab teise pooli voolutarvitus automaatselt esimeses poolis voolutugevust.



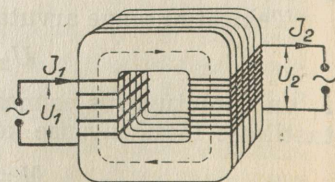
Joon. 37.

Valemist  $U_2 = I_1 \cdot \omega \cdot M = I_1 \cdot 2\pi \cdot f \cdot M$  näeme, et teises poolis indutseeritud pinge on seda suurem, mida suurem on vahelduvvoolu sagedus  $f$ . See ongi põhjuseks, miks kõrgesageduslike voolude juures ka nõrga sidestuse puhul (poolid üksteisest kaugel) on võimalik energiat ühest ahelast teise üle kanda.

Kahte teineteisega sidestatud pooli nimetatakse **transformaatoriks**. Esimest, s. o. vooluallikaga ühendatavat mähist, primaar- ja teist sekundaarmähiseks.

\* \*  
\* \*

Madalsageduslike voolude puhul (sagedus alla 20 000 per/sek.) asetatakse mõlemad mähised ühele suletud raudsüdamikule (joon. 38). Seeläbi saadakse poolide vahel, raua suure läbitavuse tõttu, tugev sidestus. Südamik valmistatakse, pöörivooludest tingitud kadude vähendamiseks, üksikuist isoleeritud raudlehtedest. Olenevalt transformaatori otstarbest võivad südamikud olla mitmesuguse kujuga.



Joon. 38.

Sellise transformaatori primaarmähises tekitatud vastu-  
elektromotoorne jõud võrdub vooluallika pingega, seepärast

$$U_1 = \frac{4,44 \cdot f \cdot n_1 \cdot \Phi}{10^8}$$

kusjuures  $f$  on voolusagedus,  $n_1$  primaarkeerdude arv ja  $\Phi$  primaarvoolu poolt tekitatud maksimaalne magnetvoog. Magnetvoog  $\Phi = S \cdot B$ , kusjuures  $B$  on raudsüdamikus lubatav kuni 10 000 gaussi (s. o. 10 000 tungjoont 1 cm<sup>2</sup>). Sekundaarpoolis indutseeritud pinge

$$U_2 = \frac{4,44 \cdot f \cdot n_2 \cdot \Phi}{10^8}$$

kusjuures  $n_2$  on sekundaarpooli keerdude arv.

Neist valemest selgub, et primaar- ja sekundaarpoolide pinged suhtuvad nagu nende keerdude arvud

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

Vastavalt soovitud pingele võib valida sekundaarpooli keerdude arvu  $n_2$ .

Et praktiliselt loetakse arvutuse aluseks primaar- ja sekundaarpoolis tarvitatud võimsused võrdseks, siis peavad neis voolutugevused olema pöördvõrdelised keerdude arvuga ja

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

kusjuures  $I_2$  on voolutugevus sekundaarmähises.

Eeltoodud valemid on kehtivad siis, kui sekundaarringi koormatakse.

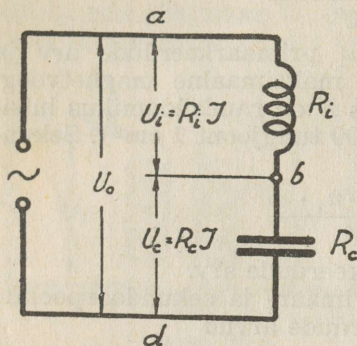
Kõrgesagedustehnikas (sagedused üle 20 000 per/sek.) pole otstarbekas kasutada raudsüdamikuga transformaatooreid, sest raudsüdamiketes tekivad väga suured hüstereesist ja pöörivooludest tingitud kaod.

### III. VÕNKERINGID.

#### § 18. Pingeresonants.

Kui vahelduvvooluringi järjestikku ühendada kondensaat-  
or ja pool (joon. 39) oletades, et need ei evi oomilist takis-  
tust, siis määrab voolutugevuse ainult nende resulteeriv takis-

tus  $Z$ , mis võrdub pooli induktiivse takistuse  $R_i$  ja kondensaatori mahtuvusliku takistuse  $R_c$  geomeetrilise summaga. Kogu vooluringi läbib ühtlane voolutugevus  $I$ , mis tekitab



Joon. 39.

poolis ja kondensaatoris pingelangused, vastavalt nende takistusele. Seega

$$U_i = R_i \cdot I \text{ ja } U_c = R_c \cdot I$$

Teame, et poolis tekitatud pinge  $U_i$  tõttab voolust  $90^\circ$  ette ja kondensaatoril tekitatud pinge  $U_c$  jääb voolust  $90^\circ$  maha (joon. 40), seega on nad voolu suhtes vastassuunalised, s. o.  $180^\circ$  üksteisest faasis nihutatud. Kui pinged  $U_c$  ja  $U_i$  on võrdsed, siis hävitavad nad üksteise mõju ja vooluringis, punktide  $a$  ja  $d$  vahel, vooluallikale

mingit vastupinget (vastuelektromotoorset jõudu) ei teki.

Kui  $U_i = U_c$  ja kondensaatorit ning pooli läbib üks ja sama voolutugevus, siis

$$R_i = R_c, \text{ ehk}$$

$$R_i - R_c = 0$$

Seega vooluringi üldine takistus  $Z = 0$  ja voolutugevus

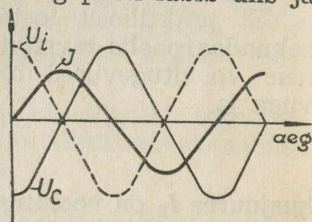
$$I = \frac{U}{Z} = \frac{U}{0} = \infty$$

Sellepärast, kui vahelduvvooluringi järjestikku lülitatud mahtuvuslik ja induktiivne takistus on võrdsed, siis tekitab vooluallika väiksempi pinge väga tugeva voolu, sest vooluring muutub vooluallikale lühiühenduseks. Kuigi praktiliselt pole, meie oletuse kohaselt, võimalik vooluringi oomilist takistust nullini vähendada, võib selles siiski ilmned normaalset mitmekordselt tugevamaid voole. Seetõttu tekitab kondensaatori ja pooli otstel pinged  $U_i$  ja  $U_c$  sedavõrd suureks, et võivad rikuda pooli ja kondensaatori isolatsiooni.

Et säärane vooluring evib alati oomilist takistust, siis impedants

$$Z = \sqrt{R^2 + (R_i - R_c)^2}$$

Kui selles valemis  $R_i = R_c$ , siis  $Z = R$ . See on ahela



Joon. 40.

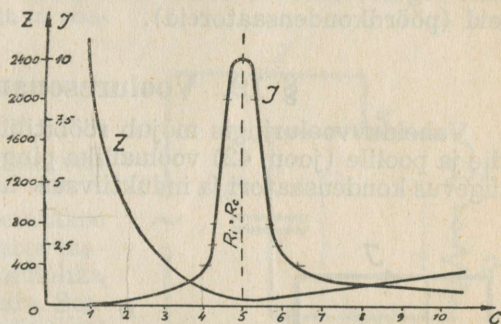
impedantsi kõige väiksem väärtus, sest avaldis  $(P_i - R_c)^2$  on alati positiivne suurus.

Olgu näiteks joon. 39 näidatud vooluallika pingeline 220 V ja ringsagedus  $\omega = 2\pi \cdot f = 316$ . Vooluringis on juhtmete oomiline takistus 22 oomi, pool induktiivsusega 2H ja muutuva mahtuvusega kondensaator 1–10  $\mu\text{F}$ . Valemi

$$Z = \sqrt{R^2 + (R_i - R_c)^2}$$

abil leiame, et kondensaatori mahtuvuse muutudes muutub ka vooluringi impedants  $Z$  ja sellele vastavalt voolutugevus  $I$ . Arvutame impedantsi ja vooluringi voolutugevuse, muudetava  $C$  (1–10  $\mu\text{F}$ ) suhtes. Saadud andmeid ehitame  $Z$  ja  $I$

muutumise kõverad, sõltuvalt mahtuvuse suurusest (joon. 41). Saadud kõveraist näeme, et vooluringi impedants väheneb mahtuvuse suurenemisel. Kui mahtuvus on 5  $\mu\text{F}$ , siis  $R_i$  ja  $R_c$  on võrdsed, ahelas mõjub ainult oomiline takistus ja voolutugevus on maksimaalne.



C	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Z	2528	948	421	159	22	108	184	238	280	316
I	0,03	0,2	0,5	1,4	10	2,1	1,2	0,9	0,8	0,7

Joon. 41.

Toodud nähet nimetatakse **pingeresonantsiks**, sest juba õige väike vooluallika pingeline põhjustab väga suure voolu ja suured ning võrdsed pinged kondensaatoril ja induktiioonpoolil.

Analiüüsid avaldist  $R_c = R_i$  nähtub, et pingeresonants võib esineda mitmesuguste ringsageduste ( $\omega$ ) puhul. Avaldame  $R_c$  ja  $R_i$  väärtused  $f$ ,  $L$  ning  $C$  kaudu, siis

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}, \text{ ehk } 2\pi \cdot f \cdot L = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}, \text{ kust}$$

$$f^2 = \frac{1}{(2\pi)^2 LC} \text{ ja } f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}}$$

kusjuures  $f$  on voolusagedus,  $L$  pooli induktiivsus henrides ja  $C$  kondensaatori mahtuvus faradites.

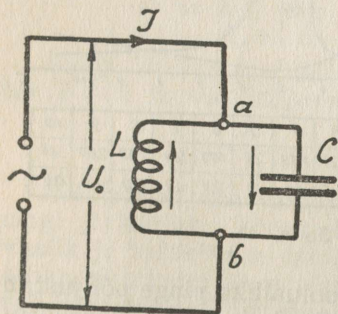
Saadud valem näitab, et resonantsjuhtum võib esineda kindlate  $f$ ,  $C$  ja  $L$  vahekordade juures. Kui  $L$  ja  $C$  on vabalt valitud, siis esineb resonants ainult teataval, neist sõltuval sagedusel  $f$ . Seda sagedust, mille määravad  $L$  ja  $C$  suurused, nimetatakse vooluringi **endasageduseks**.

Niiviisi võib resonants esineda kahel juhul, s. o. kui valime vooluringi endasagedusega võrduva voolusageduse või kui kohandame  $L$  ja  $C$  suursusi vastavalt voolusagedusele.

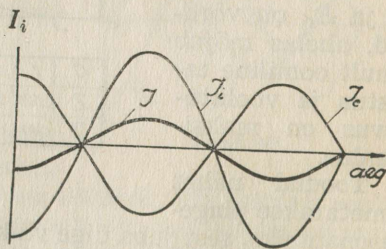
Kuna pooli induktiivsuse muutmine on praktiliselt tülikas, siis kasutatakse kõrgesagedustehnikas vooluringi endasageduse reguleerimiseks muudetava mahtuvusega kondensaatoreid (pöördkondensaatoreid).

## § 19. Vooluresonants.

Vahelduvvooluringis mõjub rööbitilülitatud kondensaatorile ja poolile (joon. 42) vooluallika pinge  $U$  ühtlaselt. Voolutugevus kondensaatori ja induktiivsuse harudes on erinev, ole-



Joon. 42.



Joon. 43.

nedes harude takistustest, s. o.  $R_i$  ja  $R_c$  -st. Et kondensaatoris vool liigub pingest veerandperioodi ees ja poolis jääb pingest veerandperioodi maha, siis on voolud harudes vastassuunalised ehk  $180^\circ$  üksteisest faasis nihutatud. Resulteeriv voolutugevus  $I$  võrdub (joon. 43)  $I_i$  ja  $I_c$  vahele

$$I = I_i - I_c$$

Oletades, et vooluringil puudub oomiline takistus, siis selle üldjuhtivus

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{\omega L} + \left( -\frac{1}{\frac{1}{\omega C}} \right), \text{ kust } Z = \frac{1}{\omega C - \frac{1}{\omega L}}$$

Kui pooli induktiivne takistus võrdub kondensaatori mahutusliku takistusega, siis avaldis

$$\omega C - \frac{1}{\omega L} = 0 \text{ ja } Z = \frac{1}{0} = \infty$$

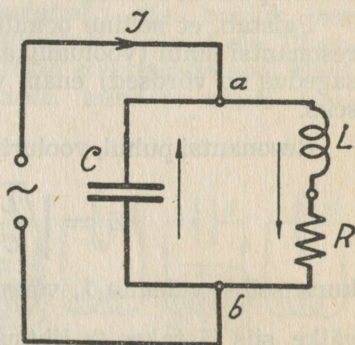
Selline vooluring avaldab voolule lõpmata suurt takistust ja nimetatakse **tõkestusringiks**.

Vooluallikast võetava voolu tugevus

$$I = \frac{U}{\infty} = 0$$

olgugi et harudes ilmnevad voolud  $I_i$  ja  $I_c$ .

Viimast nähet seletatakse järgmiselt: kondensaator laadub ja lahendub vooluallika pingel mõjul pooli kaudu. Seejärel paigunevad elektronid ühelt kondensaatori plaadilt teisele\*, tekitades punktide  $a$  ja  $b$  vahel vooluallika pingele võrdse ja vastupidi suunatud pinget, mis takistab vooluallika pinget voolutekitavalt mõjumat.



Joon. 44.

Kui harude takistused on võrdsed, siis

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}, \text{ kust } f = \frac{1}{2\pi\sqrt{C \cdot L}}$$

kusjuures  $f$  on  $L$  ja  $C$  suurustest tingitud vooluringi endasagedus.

Kirjeldatud nähet nimetatakse **vooluresonantsiks** ja viimast valemit Thomsoni võnkumisvalemiks.

\* Seda nähet nimetatakse siin voolu võnkumiseks.

Nii pinge- kui ka vooluresonantsi puhul kehtib üks ja sama tingimus, s. o. et resonantsjuhtumid võivad esineda vaid siis, kui voolusagedus võrdub vooluringi endasagedusele.

Tegelikult ei ole ükski vooluring oomilise takistusega. Takistuse suurus võib olla väga mitmesugune, olenedes vooluringis kasutatud juhtmete omadusist.

Käesoleval juhul muundub üks osa kondensaatori laadimis- ja lahendumisvoolust vooluringi oomilise takistuse ja dielektrilise hüstereesi tõttu (joon. 44) soojuseks ( $I^2R$ )\*. Voolutugevuse vähenedes väheneb ka viimase poolt, punktide  $a$  ja  $b$  vahel, tekitatud vastupinge. Vooluallika pinge  $U$ , olles nüüd vastupingest suurem, põhjustab vooluringis voolu  $I$ . See vool on parajasti nii suur, et kompenseerida vooluringi kadusid, mistõttu kondensaatori laadimis- ja lahendumisvoolud evivad püsivat suurust.

Paistab, et selline oomilist takistust eviv vooluring pole resonantsi juhul (vooluallika voolusagedus ja vooluringi endasagedus on võrdsed) enam voolule lõpmata suureks takistuseks.

Resonantsi puhul, vooluringi resonantsimpedants

$$Z = \sqrt{\frac{L}{C} \left(1 + \frac{L}{C \cdot R^2}\right)}$$

kuna selles valemis 1, võrreldes avaldisega  $\frac{L}{C \cdot R^2}$  on väga väike, siis jäetakse ta lihtsuse mõttes välja.

Seega resonantstakistus

$$R_{res} = \sqrt{\frac{L^2}{C^2 \cdot R^2}} = \frac{L}{C \cdot R}$$

kusjuures  $R_{res}$  on oomides,  $L$  pooli induktiivsus henrides,  $C$  kondensaatori mahtuvus faradites ja  $R$  vooluringi oomiline takistus — oomides.

Pinge- ja vooluresonantsile tuginevad raadiotehnika (kõrgesagedustehnika) põhinähtused.

\* Peale oomiliste kadude on siin kaod kondensaatori dielektrikus (vt. § 8), mis samuti kaetakse voolu  $I$  poolt. Kuna need kaod oomilistega võrreldes on palju väiksemad, siis on nad lihtsustamise mõttes arvutlusest välja jäetud.

## § 20. Kinnine võnkering.

**Kinniseks võnkeringiks\*** (joon. 45) nimetatakse enda-induktsioonpoolist ja kondensaatorist koosnevat kinnist elektrivooluringi. Olgu vaadeldavas võnkeringis pooli enda-induktsiooni koefitsient  $L$  ja kondensaatori mahtuvus  $C$ .

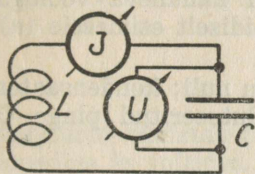
Esinevate nähtuste selgitamiseks oletatakse, et võnkeringis ei teki energia kadusid.

1) **Olukord a** (joon. 46.). Olgu kondensaator  $C$  laetud alalisvooluallikast, mille pinge  $U$ . Seega on kondensaatoril tekitatud elektriväli, mille energia  $A = \frac{U^2 \cdot C}{2}$ . Kuna vooluring

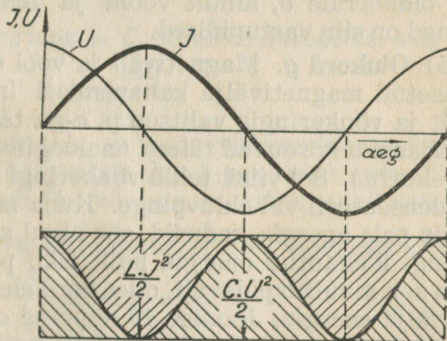
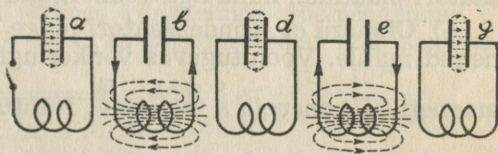
on katkestatud, siis hoidub see potentsiaalne energia alal ja mingisugust voolu ei ole. Ühendades lülitiga vooluringi kokku, tekib elektronide vool ühelt kondensaatori plaadilt tagasi teisele, mistõttu senini kondensaatori plaatide

vahel valitsenud pinge  $U$  järjest langeb. Samal ajal suureneb võnkeringis pidevalt voolutugevus  $I$  ja selle poolt pooli ümber tekitatud magnetiväli.

2) **Olukord b**. Kondensaatori pinge langemisega nullile, kaob laengut (elektrivälja) põhjustav jõud ja elektronide tagasivool ( $I$ ) on võnkeringis tõusnud maksimaalseks. Samal ajal voolult esile kutsutud mag-



Joon. 45.



Joon. 46.

\* Ka kinniseks võnkeahelaks.

netivälja tugevus on samuti maksimaalne ja selle energia

$$A = \frac{L \cdot I^2}{2}$$

Kuna voolu tekitanud põhjus kaob, hakkab võnkeringis voolutugevus ja magnetiväli kahanema. Kahanev magnetiväli indutseerib poolis voolu, mille suund on kahaneva vooluga ühtiv, ja mis laeb kondensaatori vastupidiselt esimesele ( $a$ ) olukorrale.

3) **Olukord d.** Magnetiväli ja vool on null; kondensaator on laetud magnetivälja kahanemisel indutseeritud pinge  $U$  poolt ja elektrivälja energia on jälle

$$\frac{C \cdot U^2}{2}$$

Magnetivälja kadumisega on hävinud ka viimase poolt indutseeritud pinge, mis hoiaks kondensaatorile paigunenud elektrilaengud (elektrivälja) alal. Seetõttu algab võnkeringis elektronide vool, mille suund on nüüd vastupidine  $p. a$  all mainitud voolule. Elektronide äravooluga väheneb pinge kondensaatori plaatidel, kuna aga võnkeringis voolutugevus kasvab.

4) **Olukord e.** Kondensaatori pinge (elektriväli) on vähenenud nullile. Voolutugevus võnkeringis on maksimaalne ja

magnetivälja energia  $A = \frac{L \cdot I^2}{2}$ . Nähtus on täiesti analoogi-

line olukorrale  $b$ , ainult voolu ja magnetivälja tungjoonte suunad on siin vastupidised.

5) **Olukord g.** Magnetiväli ja vool on null. Kondensaator on laetud magnetivälja kahanemisel indutseeritud pinge  $U$  poolt ja võnkeringis valitseb  $p. a$ -ga täiesti sarnane olukord.

Edaspidi korduvad täiesti analoogilised nähtused eeltoodud järjekorras. Sel viisil tekib võnkeringi poolis vahelduvvool ja kondensaatoril vahelduvpinge. Kuna me oletasime, et võnkeringis pole energia kadusid, siis algul alalisvooluallikast võnkeringi ülekantud energia hulk jääb püsivaks; selle energia kuju aga muutub pidevalt, olles kord elektrivälja ja kord magnetivälja energia. Joonise 46 alumine osa kujutab selle energia võnkumise vahekorda üksikuil hetkedel.

Samalt jooniselt nähtub, et vool  $I$  ja pinge  $U$  muutuvad sinusoidselt ja et vool jääb pingest veerandperioodi ehk  $90^\circ$  võrra maha.

Et käesoleval juhul  $\frac{C \cdot \bar{U}^2}{2} = \frac{L \cdot \bar{I}^2}{2}$ , siis voolu maksimaal-

$$\text{amplituud } \bar{I} = \bar{U} \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Sellele valemile on matemaatiliselt võimalik anda Ohmi seaduse pärane kuju

$$\bar{I} = \frac{\bar{U}}{\sqrt{\frac{L}{C}}}$$

kusjuures tähistab  $\bar{I}$  voolu ja  $\bar{U}$  pinget maksimaalamplituude amplitudes ja voltides,  $L$  võnkeahela induktiivsust henrides ja  $C$  kondensaatori mahtuvust faradites. Murrualust avaldist

$\sqrt{\frac{L}{C}}$  nimetatakse võnkumise takistuseks.

Kinnises võnkeringis ilmnev vool on ühine poolile ja kondensaatorile, seega  $I_i = I_c$  ja

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}, \text{ kust } f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{C \cdot L}}$$

Niiviisi määravad sellises võnkeringis voolusageduse  $C$  ja  $L$  suurused. Kui  $C$  ja  $L$  on sentimeetris, siis sagedus

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{\frac{C}{9 \cdot 10^{11}} \cdot \frac{L}{10^9}}} \text{ ehk } f = \frac{3 \cdot 10^{10}}{2\pi \cdot \sqrt{C \cdot L}}$$

Kui  $L$  on mikrohenrides ja  $C$  on mikrofaradites, siis

$$f = \frac{159}{\sqrt{L \cdot C}}$$

Sagedus-valetmist nähtub, et voolu võnkumine on võnkeringis kiirem, mida väiksemad on  $C$  ja  $L$  suurused; seda lühem on siis aeg  $T$ , mis kulub ühe võnkumisperioodi tekitamiseks.

Et voolusagedus ja perioodivälde on seotud valemiga  $f = \frac{1}{T}$ ,

siis valetmist  $f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{C \cdot L}}$  leiame, et

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{C \cdot L}$$

kusjuures  $T$  on perioodivälde sekundeis.

\* \* \*

Praktiliselt kasutatakse kinnist võnkeringi vahelduvvoolude tekitamiseks, millele sagedused võivad küündida miljonisse perioodesse. Kõrgesagedustehnikas nimetatakse tavaliselt perioodi sekundis hertsiks (Hz) ehk tsükliks sekundis\*. Et kõrgesagedusvoolude sagedus on väga suur, siis kasutatakse sageduse mõõduühikuna veel kiloherts (kHz) ehk kilotsükli sekundis, mis on hertsist (tsüklist) 1000 korda suurem, seega

$$1 \text{ kHz} = 1000 \text{ Hz}$$

Hertsist miljon korda suuremat mõõduühikut nim. megahertsiks (megatsükliks)

$$1 \text{ MHz} = 1\,000\,000 \text{ Hz}$$

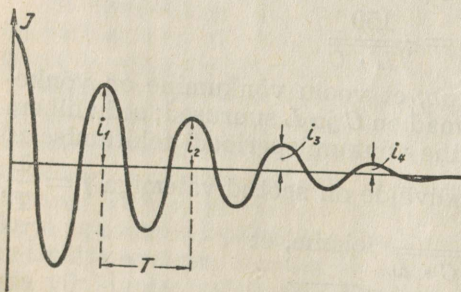
## § 21. Kustuv ja kustumatu võnkumine.

Eelmises §-s tehtud oletus, et võnkeringis ei teki mingeid energiakadusid, ei pea praktiliselt paika. Igas võnkeringis esinevad järgmised kaod:

- Soojuskaod võnkeringi oomilisel takistusel ( $I^2 \cdot R$ ).
- Kaod kondensaatori dielektrikus, dielektrilise hüsterese ja dielektriku juhtivuse tagajärjel.
- Kaod pöörivoolude ja magnetilise hüsterese tõttu võnkeringi lähedal asetsevais juhtmeis ning metallmassides.
- Kiirgumiskaod.

2-s, 3-s ja 4-s lõigus mainitud kaod on kinnises võnkeringis väga väikesed, võrreldes kadudega võnkeringi oomilisel takistusel.

Igal kondensaatori laadimisel ja lahenemisel kahaneb üks osa voolu energiast võnkeringi kadude tõttu, muundudes peamiselt soojuseks. Seega väheneb iga järgmine kondensaatori laeng, ning koos viimasega ka pinge ja voolu amplituud (joon. 47).



Joon. 47.

\* Tsükli nime kasutatakse peamiselt Ameerikas ja Inglismaal.

Neil asjaoludel kustub igas vabalt võnkuvas ringis, kuhu väljastpoolt lisaenergiat juurde ei tooda, võnkumine juba mõnekümne perioodi järele, s. o. võnkumis-amplituud jääb kord-korralt vähemaks, kuni võnkumise täieliku kustumiseni. Sellist võnkumist (joon. 47) nimetatakse **kustuvaks võnkumiseks**. Võnkeringi kadudest põhjustatud võnkeringi energia kahanemist nimetatakse **sumbuvuseks**.

Sumbuvuse suurust iseloomustab kahanevate ühenimeliste (näit. positiivsete) amplituudide  $i_1$  ja  $i_2$ ,  $i_2$  ja  $i_3$ ,  $i_3$  ja  $i_4$  vahekord. Need vahekorrad on antud võnkeringi juures alati omavahel võrdsed ( $\frac{i_1}{i_2} = \frac{i_2}{i_3} = \text{jne.}$ ) ja arvuliselt suuremad kui 1.

Praktiliselt ei kasutata sumbuuse määramiseks mitte  $i_1$  ja  $i_2$  suhet otseselt, vaid selle suhte naturaallogaritmi, mida tähistatakse  $d$ -ga (s. o.  $\ln \frac{i_1}{i_2} = d$ ) ning nimetatakse **logaritmiliseks dekremendiks**.

Matemaatiline arvutus näitab, et

$$d = \delta \cdot T$$

$$\text{ehk } d = \frac{\delta}{f} \text{ ehk } \delta = d \cdot f, \text{ kus } T \text{ on perioodi v\u00e4lde.}$$

$\delta$  määrab sumbuuse suurust ja seda nimetatakse siin **sumbuvusteguriks** ning leitakse j\u00e4rgmiselt

$$\delta = \frac{R}{2L}$$

kusjuures  $R$  on oomides ja  $L$  henrides.

Viimasest valemist n\u00e4htub, et sumbuus on seda v\u00e4iksem, mida v\u00e4iksem on v\u00f4nkeringi oomiline takistus  $R$  ja mida suurem on induktiivsus  $L$ . Kuna antud v\u00f4nkeringi enda-sageduse m\u00e4aravad  $C$  ja  $L$  suurused, siis induktiivsuse suurenedes peab v\u00e4henema mahtuvus. Seega tuleb v\u00e4ikese sumbuuse saamiseks v\u00f4nkering koostada v\u00f5imalikult suurest induktiivsusest ja v\u00e4ikesest mahtuvusest.

Induktiivsuse suurendamisega kasvab pooli keerdude arv ja \u00fches sellega v\u00f4nkeringi oomiline takistus. Seep\u00e4rast on induktiivsuse valikul teatav piir.

Asendades log. dekremendi valemis  $\delta$  ja  $T$  v\u00e4\u00e4rtused v\u00f4n-

keringis esinevate suurustega, saame  $d$  leidmiseks praktikas tarvitatava valemi kuju

$$d = \frac{R}{2L} \cdot 2\pi \cdot \sqrt{C \cdot L} = \pi \cdot R \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}$$

kusjuures  $R$  on võnkeringi takistus oomides,  $C$  mahtuvus faradites ja  $L$  ind. henrides.

Kui viimases valemis  $C$  ja  $L$  on avaldatud sentimeetreis, siis

$$d = \pi \cdot R \cdot \sqrt{\frac{C \cdot 10^9}{L \cdot 9 \cdot 10^{11}}} = \frac{\pi \cdot R}{30} \cdot \sqrt{\frac{C}{L}}$$

Praktikas kasutatavate võnkeringide juures peab sumbuvestegur alati olema väiksem kui 0,1.

Senini võnkeringi endasageduse määramiseks kasutatud nn. Thomsoni valem (lihtsustatud kujul)

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

oli kehtiv vaid siis, kui võnkeringis puudusid energia kaod, s. o. kus võnkeringis polnud oomilist takistust  $R$ .

Oomilist takistust eviva kinnise võnkeringi endasagedus määratakse valemiga\*

$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

Kui juurealused liikmed on omavahel võrdsed, siis avaldis

$$\frac{1}{C \cdot L} - \frac{R^2}{4L^2} = 0, f = 0 \text{ ja võnkeringis mingisuguseid võnkumisi ei teki.}$$

Säärast võnkeringi nimetatakse **aperioodiliseks**. Viimast avaldist ümberkujundades muutub aperioodiliseks võnkering, mille suhtes

$$\frac{R^2 \cdot C}{4 \cdot L} \cong 1 \text{ või kui võnkeringi } R \cong 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

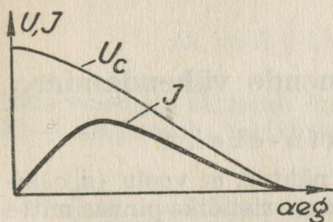
Viimane avaldis näitab võnkeringi kriitilise takistuse suurust. Neis kustub võnkumine silmapilkselt (joon. 48), sest kondensaatori pinge  $U_c$  mõjul ilmnev vool muundatakse juba esimese veerandperioodi jooksul soojuseks, mistõttu jääb kondensaator teistpidi laadimata.

\* Seda nimetatakse Thomsoni täielikuks sagedusvalemiks.

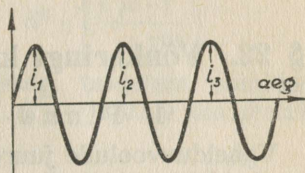
Võnkumine võib võnkeringis tekkida vaid siis, kui

$$\frac{R^2 \cdot C}{4 \cdot L} < 1 \text{ või } R < 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Võnkumist, kus kõik üksteisele järgnevad amplituudid  $i_1, i_2, i_3$  jne. on võrdsed (joon. 49), nimetatakse **kustumatuks võnkumiseks** (vt. § 20).



Joon. 48.



Joon. 49.

Kustumatut võnkumist võib tekitada igas võnkeringis eeldusel, et võnkeringi  $R < 2 \sqrt{\frac{L}{C}}$ , kui sinna mingist kõrvalisest vooluallikast pidevalt juurde anda lisaenergiat niipalju, kuipalju seda kulutatakse võnkeringis ilmnevate kadude kompenseerimiseks.

Kõige lihtsamalt on võimalik kustumatuid võnkumisi tekitada elektronlambi abil.

\* \* \*

Käesolevas §-s antud valemities on  $R$ -i all mõeldud nn. **kõrgesageduslikku takistust**, mida lähemalt selgitatakse järgnevas §-s.

**Näide:** Olgu joonisel 45 näidatud võnkeringis  $C = 100$  cm,  $L = 50\,000$  cm,  $d = 0,1$ .

Leida  $f, \delta, R$  ja amplituudide kahanemise vahekord  $\frac{i_1}{i_2}$  (joon. 47).

$$1) f = \frac{3 \cdot 10^{10}}{2\pi \cdot \sqrt{C \cdot L}} = \frac{3 \cdot 10^{10}}{2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{100 \cdot 50\,000}} = \frac{3 \cdot 10^{10}}{6,28 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{5}} = 2\,134\,000 \text{ Hz (laine umbes 140 m),}$$

$$2) \delta = d \cdot f = 0,1 \cdot 2\,134\,000 = 213\,400,$$

$$3) \delta = \frac{R}{2 \cdot L}; R = \delta \cdot 2 \cdot L = \frac{213\,400 \cdot 2 \cdot 50\,000}{10^9} = 21,34 \Omega$$

\* Avaldis on jagatud  $10^9$  seepärast, et  $L$  väärtus on murru lugejas sentimeetreis.

$\frac{i_1}{i_2}$  leidmiseks, anname  $d$ -le kümnendlogaritmilise tähenduse, s. o.

$$\frac{0,1}{2,3} = 0,0434, \text{ millele vastav arv } 1,105.$$

Seega  $\frac{i_1}{i_2} = 1,105$ , s. t. et iga eelnev amplituud on temale järgne-  
vast 1,105 korda suurem.

## § 22. Võnkeringi kaod ja nende vähendamine.

### 1. Pinna- ehk skin-efekt.

Vahelduvvoolude juures ilmneb nähtus, et voolu (s. o. liikuvate elektronide) tihedus pole juhtme ristlõike pinnas mitte ühtlaselt jagunud, nagu see teatavasti sünnib alalisvoolu juures, vaid et juhtme tsentrumis on voolutihedus hoopis väiksem kui juhtme välispinna läheduses. Uurimused on näidanud, et mainitud voolutiheduse ebahütlus kasvab koos sageduse suurenemisega. Seda nähtust nimetatakse **pinna-** ehk **skin-efektiks** ja seletatakse järgmiselt: vahelduvvoolu puhul indutseeritakse juhtmes voolu enese poolt vastulektromotoorne jõud (vt. § 13), mis juhtme tsentrumis, sealt lähtuvate ja sinna koonduvate magnetitungjoonte suure tiheduse tõttu, on hoopis suurem kui välispinna läheduses. Tähe-  
dab, siin on tegemist induktiivse takistusega  $\omega L$ , mille suurus juhtme tsentrumist radiaalsuunas väheneb. Kuna juhtme keskel on takistus suurem, siis paiguneb vool rohkem välispinna lähedastesse kihtidesse, mistõttu juhtme kasutatav ristlõike pind väheneb ja takistus suureneb. Säärane takistus moodustub suurema osa antud juhtme või võnkeringi **kõrgesageduslikust** ehk **efektiivtakistusest** ( $R_k$ ).

Seega juhib kõrgesagedusvoole vaid juhtme õhuke pinna-kiht, kuna juhtme sisemuses (alates teatavaist sagedusist) on voolutugevus praktiliselt null. Soovides vähendada juhtme takistust kõrgesagedusvooludele, tuleb selle välispinda suurendada, võttes tarvitusele massiivtraadi asemel metalltorud, õhukesti metall-linte ja nn. kõrgesageduslitset.

Näitena võiks tuua, et juhtiva pinna sügavus on vasel:  
75 kHz juures — 0,26 mm, 1200 kHz — 0,065 ja 75 000 kHz — 0,008.

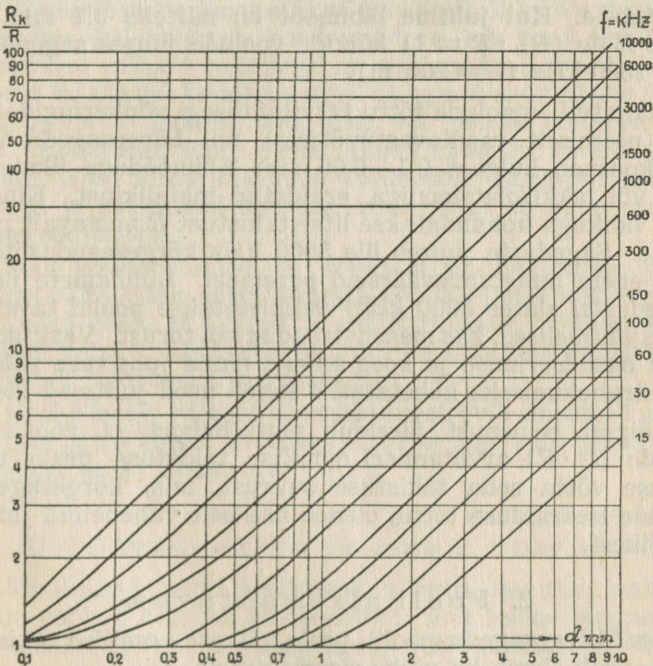
Ümmargusis vaskjuhtmeis määrab kõrgesageduse ja alalisvoolu takistuste suhte järgmine valem:

$$\frac{R_k}{R} = \frac{\pi \cdot d}{2} \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot f}{\rho \cdot 10^9}}$$

Ühekihilise silinderpooli kõrgesageduse takistus arvutatakse valemiga\*\*

$$R_k = R \left( 1 + 4,8 \cdot n^2 \cdot d^3 \cdot \sqrt{\frac{\mu \cdot f}{\rho \cdot 10^9}} \right)$$

Neis valemis tähistab  $R_k$  — kõrgesag. takistust oomides,  $R$  — alalisvoolu takistust oomides,  $d$  — juhtme diameetrit



Joon. 50.

\* Õhksüdamikuga poolis  $\mu = 1$ .

\*\* Jämedalt võttes, võib arvata pooli kõrgesag. takistust 1,5 kuni 2 korda suuremaks selle sirgjuhtme kõrgesageduslikust takistusest, millest pool valmistati.

sentimeetris,  $\mu$  — poolisüdamiku olluse magn. permeaablust,  $f$  — sagedust per/sek.,  $\rho$  — vase eritakistust ja  $n$  — pooli keerdude arvu.

Juuresolev joonis 50 kujutab graafiliselt vaskjuhtmete juures sageduse, juhtme diameetri ja suhte  $R_k : R$  olenevust üksteisest. Siit näiteks nähtub, et kui 1500 kHz juures valida juhtmeks 0,6 mm läbimõõduga vasktraat, siis  $R_k : R = 3$ , s. t. et  $R_k$  on 3 korda  $R$ -st suurem. Kui samast sirgjuhtmest valmistada pool, siis pooli  $R_k : R$  on umbkaudselt kaks korda suurem, s. o. 6.

Antud graafikut jälgides näeme, et mida väiksemaks muutub juhtme läbimõõt, seda vähemaks muutub ka suhe  $R_k : R$ , s. t. seda rohkem läheneb kõrgesageduslik takistus alalisvoolu takistusele. Kui juhtme läbimõõt on näiteks 0,1 mm, siis  $R_k \approx R$ -ile ( $R_k : R = 1$ ) kõikide voolude juures sagedusega kuni 1500 kHz ( $\lambda = 200$  m).

Mainitud asjaolude tõttu tarvitataksegi võnkeringide juures (peamiselt raadiovastuvõtjais) nn. **kõrgesageduslitset**, mis koosneb hulgast 0,1—0,05 mm läbimõõduga üksteisest siid- või lakkisolatsiooniga eraldatud metallkiust. Kiudude arvu valikuga kohandatakse litse takistust  $R$  vastavalt tarvidusele. Sageduste juures üle 3000 kHz kõrgesageduslitse ei anna enam nimetamisväärseid paremusi. Lühilainete juures (sagedustel alates 3000 kHz) valmistatakse poolid tavaliselt paljasjuhtmelised, kas massiivtraadist või torust. Vaskjuhtme pinna oksüdeerimise ja koos sellega pinna juhtivuse vähenemise ärahoidmiseks hõbetatakse sageli need juhtmed üle.

Kõigest eelnenust järeldub muu hulgas, et võnkeringi kadude ( $I^2 \cdot R$ ) arvutamisel oomilise takistuse peale tuleb arvesse võtta seda takistuse suurust, mis, kõrgesagedusvoolude iseäralduse tõttu, oleneb näiliselt vähenenud juhtme ristlõikest.

## 2. Pooli sisemahtuvus.

Heal kõrgesageduspoolil, peale väikese oomilise takistuse ( $R_k$ ), peab olema ka väike sisemahtuvus.

Pooli **keerdude vahelise** ehk **sisemahtuvuse** ( $C_s$ ) all mõistame kondensaatorit, mille plaatideks on üksikud poolikeerud ja dielektrikuks traadi isolatsioon. Sellist improviseeritud kondensaatorit kujutellakse rööbiti lülitatuna poolile enesele. Seega on poolil kindel endasagedus, mille suurus

oleneb  $L$  ja  $C_s$ -st. Tavalises võnkeringis (voolu resonants-süsteem) (joon. 51 a) on pooli sisemahtuvus rööbiti kondensaatori  $C$ -ga, suurendades üldmahtuvust ja vähendades võnkeringi endasagedust.

$L$  ja  $C$  järjestikkulülituses (pinge resonantssüst.) (joon. 51 b) tekib pooli sisemahtuvuse tõttu üldisse vooluringi liigne tõkestusring, mille sagedus võrdub pooli endasagedusega. Üldises mõttes väheneb pooli induktiivne takistus sisemahtuvuse tagajärjel (takistuste vektorid on vastassuunalised).

Võnkeringides kasutatakse tavaliselt õhk- või mõne muu väga hea dielektrikuga kondensaatore, kus kaod dielektrilise hüstereesi (nihke) tagajärjel on minimaalsed. Pooli sisemahtuvust kujutaval kondensaatoril on aga dielektrikuks juhtme isolatsioon — puuvill, siid, lakk või nende kombinatsioon, s. o. isolaatorid, mille dielektrilised kaod on küllalt märgatavad. Need kaod kasvavad võrdeliselt sageduse suurenemisega ja avalduvad ühe osa võnkeringi energia muundumises soojuseks.

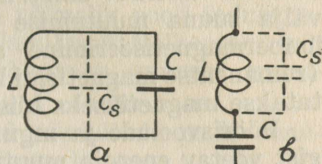
Pooli sisemahtuvust on võimalik mitmekihiliste poolide juures vähendada mitmesuguste poolikerimise viisidega, mis taotleavad seda, et keerud ei asuks tihedalt üksteise kõrval, vaid et vahele jääks õhukiht. Nii on mähitud ristmähis ehk kärtpool, ledionpool, korvpool jne.

Küllaldaselt väikest sisemahtuvust evib ühekihiline silinderpool, kuid suurte mõõdete tõttu ta pole suuremate induktiivsuste jaoks kasutatav.

### 3. Pöörivoolud ja magn. hüsterees.

Võnkeringi pooli ümbritseb kiiresti muutuv, vahelduvvoolu poolt tekitatud magnetiväli\*. Kui sellise magnetivälja piirkonnas asuvad metallesemad, siis indutseerub viimaste aine massis, elektromagnetilise induktiooni reeglite kohaselt, elektromotoorne jõud, mis põhjustab metallmassis tsirkuleerivaid kohalikke pööris- ehk fukoovooludeks nimetatud elektrivoole.

\* Seda nimetatakse ka pooli puisteväljaks.



Joon. 51.

Kui magnetivälja piirkonnas asetsevad metallmassid kuuluvad ferromagnetiliste ainete liiki (raud, teras, nikkel jne.), siis peale pöörivoolude indutseerimist sünnib nende metall-esemete vahelduv übermagnetiseerimine vastavalt magnetivälja suuna muutumise kiirusega. Teatavasti on säärane übermagnetiseerimine alati seotud energia kulutamisega (remanentse magnetismi hävitamiseks) ja seda nähtust nimetatakse **magnetiliseks hüstereesiks**.

Pöörivoolude ja mgn. hüstereesi tekitamiseks võnkeringist võetav energia muutub mainitud metallmassides soojuks. See kulutatav energia hulk on võrdeline:

- pöörivoolude juures võnkeringi endasagedus ruuduga ( $f^2$ ) ja
- magn. hüstereesi juures voolusageduse esimese astmega ( $f$ ).

#### 4. Ferrocartsüdamikuga poolid.

Võnkeringi kadude ja sisemahtuvuse vähendamiseks kasutatakse viimaseil aastail (peamiselt raadiovastuvõtjais) nn. kõrgesagedusrauast ehk ferrocartsüdamikuga poole.

Ferrocartsüdaaine koosneb erilisest madalate hüstereesikadudega rauapulbrist, mille üksikute osakeste läbimõõt on 0,02—0,002 mm. Üks valmistamisviis seisneb selles, et rauapulber segatakse teatavas vahekorras isoleeriva sideainega ja sellest keraamilise massiga sarnanevast ainest pressitakse terasvormide abil mitmekujulisi ja suurusega poolisüdamikke. Teise viisi järele kaetakse õhukese isoleeripaberi külge rauapulbrit sisaldava ainega; selliselt kaetud paberlehed laotakse ülestikku ja pressitakse suure surve all plaatideks, millest stantsitakse südamikke.

Kuna sellise raudasisaldava poolisüdamiku magnetiline juhtivus on õhust palju suurem (keskmiselt  $\mu = 2,8 - 4,0^{**}$ ), siis saavutatakse siin ühesuguse keerdude arvu ja tingimuste juures  $\mu$  korda suurem endainduktsioon, kui õhksüdamikuga poolis. Jämedalt võttes sisaldab ferrocartsüdamikuga pooli õhksüdamikpooliga võrreldes ühe ning sama induktiivsuse saavutamiseks umbes 3 korda vähem keerde, s. o. 3 korda lühema poolitraadi pikkuse. Üldist valemit selliste poolide induktiivsuse (ka keerdude arvu) arvutamiseks pole olemas, nende südamikude mitmekesisest kujust olenevate isesuguste

\* Ferrocartsüdaaine nimetas seda ainet esimesena sakslane H. Vogt.

\*\* Saksa Dralovid-tehaste andmed, nn. dralopermi kohta.

magnetiliste tõkestuste ja mõningate muude asjaolude tõttu. Keerdude arv leitakse katseliselt, kui südamikku valmistaja firma seda või selle leidmiseks valemit pole andnud.

Mõnede südamikku juures on võimalik pooli induktiivsust väikestes piirides muuta, südamiku ristlõikepinna või magnetiringis selleks ettenähtud õhuvähe suuruse muutmise teel.

Poolitraadi pikkusega vähenevad võrdeliselt pooli oomilised kaod ja teataval määral ka sisemahtuvus.

Raua sisaldavuse tõttu tekivad neis südamikkes juurde (õhuga võrreldes) pöörisvooludest ja magn. hüstereesist tingitud kaod. Et viimaseid võimalikult alla suruda, selleks kasutatakse südamikkes vaid kokkupressitud rauapulbrit, mille osakesed üksteisest isoleeritud.

Neid poolisüdamikke kasutatakse praktikas eduga sageduste juures 150—3000 kHz. Suurema sageduse juures kasvavad pöörisvoolude ja hüstereesi kaod seevõrra, et õhksüdamikuga pooli kasutamine osutub otstarbekamaks.

Peale mainitu on ferrocarr-südamikuga poolide paremuseks veel see: 1) et nad on mõõdetelt väikesed ja 2) et nende magnetiline puisteväli on väike. Viimane asjaolu leiab lähemat käsitlemist poolide varjestamise küsimuses (vt. § 59 p. 4).

\* \* \*

Kokkuvõttes võib ütelda, et võnkeringis esinevad väga komplitseeritud kaod\*, millede üksikasjaline arvutamine on kui mitte võimatu, siis äärmiselt raske.

Kõik esinevad kaod summeerudes mõjuvad nii, nagu oleks võnkeringis oomiline takistus tõusnud, sest kadudeks kulutatud võimsus on muundatud soojuseks ja  $N = I^2 \cdot R$ . See võimsus on praktiliselt leitav sel teel, et mõõdetakse võnkeringi voolutugevus  $I$  ja nn. mõjuv kustumistakistus  $R$ .

Väikeste võimsuste juures on võimalik üksikosade õige paigutuse ja otstarbekohase ehituse ning materjali valikuga võnkeringi kadusid seevõrra vähendada, et tavaliselt arvestatakse vaid kadusid oomilisel takistusel kui suurimaid.

---

\* Eespool jäi lähemalt vaatlemata kiirgumiskaod, milliste tähtsus kinnises võnkeringis, mõõdukate pingete juures, on võrdlemisi väike.

### § 23. Võnkeringide sidestusviise.

Eespool (§§-ides 20 ja 21) käsitleti üksikut, välismõju-dest vaba, nn. vabalt võnkuvat võnkeringi. Võnkeringi läheduses polnud seal teisi võnke-ega vooluringe.

Praktikas on tihti vajalik, et ühes võnkeringis võnkuv energia kutsuks teistes võnkeringides esile elektrilise võnkumise. Energia ülekandmiseks ühest võnkeringist teise tuleb võnkeringid omavahel **sidestada**.

Võnkeringide sidestusviise on väga mitmesuguseid; neist on levinumaid:

- induktiivne ehk transformaatoriline sidestus,
- mahtuvuslik sidestus ja
- autotransformaatoriline sidestus.

Leidub veel sidestusviise, mis mainituist kombineeritud.

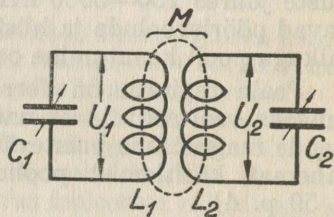
**Induktiivse sidestuse puhul** lõikab osa esimeses poolis (joonis 52) tekitatud magnetiväljast teise pooli kerde, indutseerides neis pinge, mis laeb teise võnkeringi kondensaatori, põhjustades selles võnkeringis energia võnkumist.

Side esimese ja teise võnkeringi vahel on seda tugevam, mida rohkem esimeses võnkeringis tekitatud tungjooni lõikab teise võnkeringi pooli kerde. Kui kõik esimese võnkeringi poolis tekitatud tungjooned lõikaksid teise võnkeringi mähist, siis oleks side kõige tugevam ja sidestustegur  $k = 1$ . Sidestustegur  $k$  arvutatakse valemiga, kus

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}}$$

$k$  võib olla vaid siis 1, kui mõlemad poolid on keritud teineteise sisse, kusjuures neid ümbritseb ühine magnetiväli (vt. ka § 12 ja 17). Praktiliselt võrdub  $k = 1$  ka siis, kui mõlemad poolid on keritud ühisele alusele kõrvuti või teineteise peale.

Tavaliselt väljendatakse sidestustegur protsentides ( $k\% = k \cdot 100$ ) ja tema praktiline väärtus võib tõusta kuni 97%. Null on ta siis, kui poolid asuvad teineteisest nii kaugel, et esimese pooli magnetiväli ei avalda teisele poolile mingi-



Joon. 52.

sugust mõju. Antud valemis  $M$  kui vastastikune induktiivsus iseloomustab poolide  $L_1$  ja  $L_2$  ühise magnetvoo suurust. Mida suurem on  $M$ , seda suurem on ka  $k$ .

Induktiivselt sidestatud võnkeringide sidestusteguri  $k$  leidmine analüütiliselt, vastastikuse induktiooni  $M$  abil, on võrdlemisi keerukas. Lihtsam on seda leida praktiliselt, pingete mõõtmise teel joonisel 53 näidatud lülituse järgi. Saadud resultaate kohaselt

$$k = \sqrt{\frac{U_3 \cdot U_4}{U_1 \cdot U_2}}$$

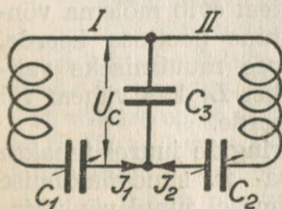
Mõõtmisel tuleb ühendada kord I ja kord II võnkering vahelduvvoolu allikaga järgmiselt.

**Esimene mõõtmine.** Punktid 1 ja 2 on ühendatud vahelduvvoolu allikaga, 3 ja 4 on lahti,  $U_1$  on pinge punktide 5 ja 6 vahel ning  $U_3$  — 7 ja 8 vahel.

**Teine mõõtmine.** Punktid 3 ja 4 on ühendatud vahelduvvooluallikaga, 1 ja 2 on lahti;  $U_2$  on pinge punktide 7 ja 8 vahel ning  $U_4$  — 5 ja 6 vahel.

**Mahtvusliku sidestuse puhul** evivad mõlemad võnkeringid ühist mahtvust, nn. sidestuskondensaatorit (joon. 54). Teises ringis põhjustab võnkumise sidestuskondensaatoril  $C_3$  tekkiv pinge  $U_c$  ja

$$U_c = I_1 \cdot R_c = \frac{I_1}{\omega C_3}$$



Joon. 54.

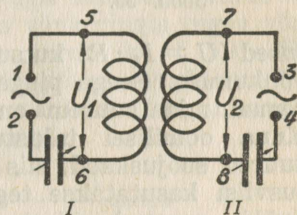
kusjuures  $I_1$  on esimeses võnkeringis võnkumise voolu tugevus ja  $R_c$  kondensaatori  $C_3$  näivtakistus.

Sellest nähtub, et  $U_c$  seega ka sidetugevus on seda suurem, mida väiksem on mõlema võnkeringi ühise kondensaatori  $C_3$  mahtvus.

Mahtvusliku sidestuse juures sidestusteguri

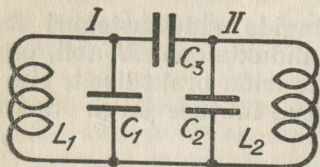
$$k = \sqrt{\frac{C_1 \cdot C_2}{(C_1 + C_3) \cdot (C_2 + C_3)}}$$

Sageli on kasutatav ka sidestusviis, kus sidestuskondensaator  $C_3$  asetseb joonisel 55 näidatud lülituses. Esimeses



Joon. 53.

võnkeringis tekkiv pinge põhjustab kondensaatori  $C_3$  kaudu voolu, mis kutsub esile võnkumise II võnkeringis. Sidestustegur on siin seda suurem, mida suurem on kondensaatori  $C_3$  mahutavus.



Joon. 55.

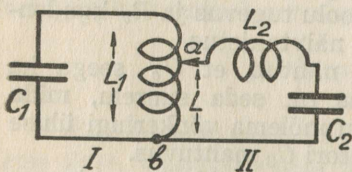
tused ( $U = I_1 \cdot R$ ) kutsuvad esile ka teises võnkeringis voolu võnkumise. Seega pinge  $U$  ja sidestustegur  $k$  on seda suuremad, mida suurem on takistus  $R$ . Kuna oomilisel takistusel tekivad suured soojuskaod, siis seda sidestusviisi kasutatakse tegelikult vähe (välja arvatud sidestused elektronlambiga).

Takistussidestuse puhul

$$k = \frac{R}{\sqrt{(R_1 + R) \cdot (R_2 + R)}}$$

kusjuures  $R$  on sidestustakistus,  $R_1$  esimese võnkeringi (pooli) ja  $R_2$  teise võnkeringi oomilised takistused.

**Autotransformaatorilise sidestusviisi** juures määrab sidetugevuse mõlemale võnkeringile ühine induktiivsus  $L$  (joonis 57). Sidetugevus on seda suurem, mida suurem on  $L$ , s. o. mida rohkem evib mõlema võnkeringi ühine pooliosa keerde. Sidetugevuse muutmiseks valitakse poolist  $L_1$  kas vähem või rohkem keerde.

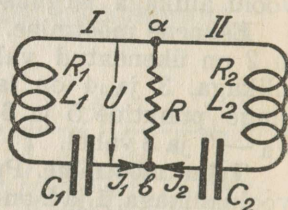


Joon. 57.

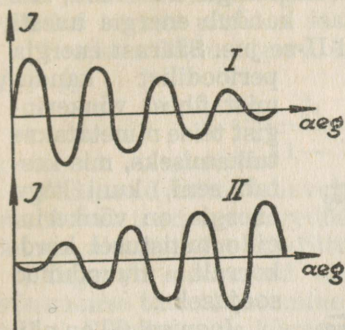
juhul aga sunnitakse võnkeringi kaasa võnkuma väljastpoolt mõjuva või ülekantava energia tõttu, mille sagedus ei pruugi olla ühtiv võnkeringi endasagedusega.

I-s võnkeringis (joon. 58) tekkiv võnkumine kutsub esile

**Galvaanilises sidestuses** on esimesel ja teisel võnkeringil ühine oomiline takistus  $R$  (joon. 56). Selle otstel, punktide  $a$  ja  $b$  vahel, esimeses võnkeringis võnkumise voolu poolt põhjustatud pinge muutused



Joon. 56.



Joon. 58.

ka II-se võnkeringsis võnkumise. On nende kahe võnkeringi endasagedused erinevad, siis on II-s võnkeringsis võnkumise amplituudid väga väikesed, seega ülekantav energia ühest võnkeringist teise — minimaalne.

Kui mainitud võnkeringide endasagedused on võrdsed, siis isegi nõrga sidestuse juures tekib II-s võnkeringsis tugev võnkumine (vrld. ka § 19). Sel puhul räägitakse, et võnkeringid on resonantsis ehk omavahel häälestatud,

$$f_1 = f_2 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{C_1 \cdot L_1}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{C_2 \cdot L_2}}$$

Neist avaldistest nähtub, et võnkeringid on omavahel häälestatud, kui nende mahtuvuse ja induktiivsuse korrutised on võrdsed, s. o.  $C_1 \cdot L_1 = C_2 \cdot L_2$ .

Võnkeringi endasageduse kohaldamist teise võnkeringi või mõjuva voolu sagedusele nimetatakse võnkeringi **häälestamiseks**. Tavaliselt kasutatakse häälestamiseks muudetava mahtuvusega kondensaatorit.

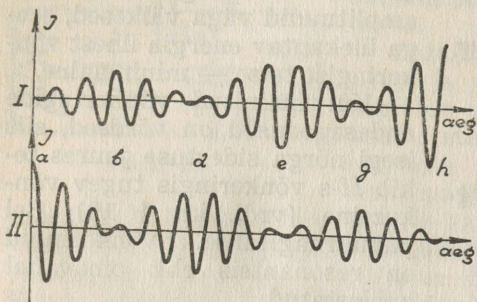
Sidestatud võnkeringides kustub esimese (primaar) võnkeringi võnkumine (vt. joonis 58):

- võnkeringi enese sumbuvuse ja
- ühe osa energia ülekandumise tõttu II-se võnkeringi.

Jooniselt nähtub, et võnkumise amplituudid on I-s võnkeringsis kahanenud, II-s — kasvanud. Nõrga sidestuse puhul I-st võnkeringist II-se ülekantav energia on seevõrra väike, et II võnkering ei põhjusta hiljem (s. o. pärast võnkumise kustumist I-s võnkeringsis) kuigi suurt tagasimõju I-le võnkeringile. Seega võnkumise kustudes I-s võnkeringsis, jääb II võnkering vabalt võnkuma, kuni kõik võnkuv energia kulu- tatakse võnkeringi oomilisel takistusel soojuseks.

Tugeva sidestuse juures põhjustab I-s võnkeringsis võnkuv energia II-s võnkeringsis tugeva kaasavõnkumise. Sel juhul on energia ülekanne I-st võnkeringist II-se sedavõrd intensiivne, et I-s võnkeringsis eneses võnkumine õige kiirelt kustub. Het-

kel  $a$  (joon. 59) on võnkumine I-s võnkeringis kustunud, II-s võnkeringis aga maksimaalne. Edasi kandub energia uuesti I-sse võnkeringi tagasi, sealt uuesti II-se jne. Säärast energia



Joon. 59.

perioodilist kandumist ühest võnkeringist teise nimetatakse **tuikamiseks**, mis kestab seni, kuni kogu energia on võnkeringide takistusel kordkorralt muundunud soojuseks.

Joonisel 60 on näidatud resonantskõverad (sekundaarvoolutugevuse olenevus sagedusest) mitmesu-

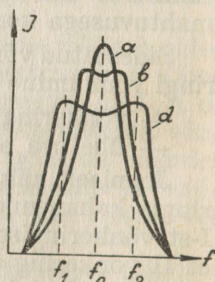
guse tugevusega sidestatud võnkeringide juures.

Kõver  $a$  kujutab kahe nõrgalt sidestatud võnkeringi resonantskõverat. Voolutugevus on siin maksimaalne, kui mõlemad võnkeringid on häälestatud sagedusele  $f_0$ . Tugevama sidestuse puhul on kõver  $b$  palju tõmbim.

Kõver  $d$  on kahe eriti tugevalt sidestatud võnkeringi resonantskõver. Eelmistega võrreldes on see kõver hoopis lame-  
dam. Ühtlasi nähtub siit, et neis võnkeringides energia võngub peamiselt kahel erineval sagedusel  $f_1$  ja  $f_2$ , vaatamata sellele, et mõlemad võnkeringid olid enne võnkumise algust häälestatud sagedusele  $f_0$ . Tähendab, et siin pole võimalik võnkeringe terava resonantskõvera saamiseks kokku häälestatada, nagu see toimus nõrga sidestuse juures (kõver  $a$ ). Kahe kõrvalsageduse  $f_1$  ja  $f_2$  tekkimist seletatakse poolide vastastikuste tagasimõjudega, mille tagajärjel muutuvad nende induktiivsused ja koos sellega võnkeringide endasagedused.

Kuna neis võnkeringides energia võib võnkuda kõigil sagedustel  $f_1$ -st kuni  $f_2$ -ni (võnkumise maksimaalamplituud on sagedustel  $f_1$  ja  $f_2$ ), siis öeldakse, et sellised tugevasti sidestatud süsteemid evivad halba häälestusteravust ehk selektiivsust.

Näiteks kui  $f_0 = 100$  kHz,  $f_1 = 90$  kHz ja  $f_2 = 110$  kHz,



Joon. 60.

siis toimub võnkeringides võnkumine  $110 - 90 = 20$  kHz (20 000 hertsi) piirides.

Teades sidestustegurit  $k$ , on võimalik leida kõrvalsagedusi  $f_1$  ja  $f_2$

$$f_1 = \frac{f_0}{\sqrt{1-k}} \text{ ja } f_2 = \frac{f_0}{\sqrt{1+k}}$$

Sääraseid kahte omavahel sidestatud võnkeringi, mis võimaldavad teatavat sagedusriba  $f_1 - f_2$  ühevõrra hästi üle kanda, nimetatakse **ribafiltri**ks (paelfilter).

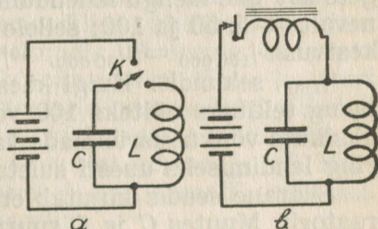
Tugevalt sidestatud võnkeringides on kahe-sagedusliku võnkumise tõttu kustumine palju suurem kui nõrga sidestuse puhul. Seepärast on kõgesagedustehnikas kehtiv põhimõte, et sidestus olgu nii tugev kui tarvilik ja nii nõrk kui võimalik. S. t. et õige sidestustugevuse juures kantakse võnkuv energia ühest võnkeringist teise võimalikult täielikult, ilma et seejuures teisest võnkeringist energiat nimetamisväärselt esimesse uuesti tagasi valguks. Säärast sidestuse väärtust nimetatakse optimaalseks sidetugevuseks.

## § 24. Kõrgesageduslike võngete tekitamine.

Kõrgesagedusvoole on võimalik tekitada, kui laetud kondensaator ühendada pooliga järjestikku kinniseks vooluringiks. Kondensaatori laengus peituv elektriline energia hakkab võnkeringis võnkuma vahelduvvooluna, mille sagedus, olene- des võnkeringi  $C$  ja  $L$  suurus- sest, määratakse Thomsoni valemiga.

Võnkeringi sum- buvuse tõttu kustub selli- selt esilekutsutud võnkumine õige pea. Uute võnkumissar- jade saamiseks tuleb kondensaatorit uuesti laadida, mis joon. 61 *a* järgi toimuks sel viisil, et kondensaator ühen- datakse lüliti  $k$  abil kord laa- dimiseks vooluallika ja kord

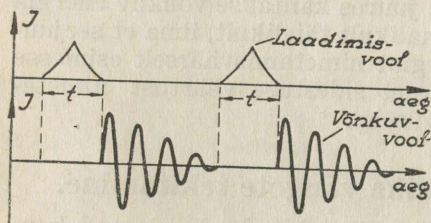
võnkeringi külge. Kestvate võnkumiste saamiseks tuleb lüliti automatiseerida, nii et võnkumistesarja lõppedes igakord kondensaator laetaks silmapilkselt uuesti. Lihtsamaid abinõusid selleks on lüliti  $k$  asendamine sumisejaga (joon. 61 *b*). Sumi- seja vooluringi katkemisel indutseerib kahanev magnetvoog



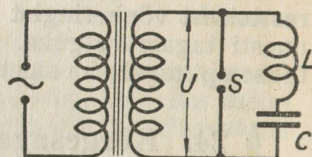
Joon. 61.

poolis  $L$  pinge, mis laeb kondensaatori  $C$ . Tekkinud kondensaatori laeng lahendub ja laadub uuesti pooli kaudu ühte- ja teistpidi, kuni võnkumise kustumiseni. Niiviisi muudetakse vooluringi katkestuse kestusel kondensaatori laeng elektrivõngeks (joon. 62).

Et vooluringi katkestamine sumisejaga võib teostuda kuni 1000 korda sekundis, siis võib laadimise sagedus sekundis tõusta kuni 1000. Võnkumise sagedus on seejuures aga palju suurem. Kui joonisel 61  $b$  toodud võnkeringi induktiivsus  $L = 0,1$  mH ja kondensaatori mahtuvus  $C = 0,01 \mu\text{F}$ , siis võnkumise sagedus  $f = 150\,000$ . Olgugi et  $f = 150\,000$ , ei kesta ühe laengu võnkumine sekunditki, sest võnkeringi sumbuvuse tõttu kahanevad võnkuva voolu amplituudid sekundi murdosa kestel juba praktiliselt nullini. Võnkumine võib tekkida jälle



Joon. 62.



Joon. 63.

teatava vaheaja  $t$  järele, mille määrab kondensaatori laadimise sagedus sumisejaga ja võngete sumbuvus. Olgu näiteks võngete arv ühe laengu lahendumisel, võnkeringi sumbusest olevalt — 5, 50 ja 100; sellele vastavalt kujuneb võnkumise kestvus  $5/150\,000 = 1/30\,000$ ,  $50/150\,000 = 1/3\,000$  ja  $100/150\,000 = 1/1500$  sekundit. Kuigi käesoleval juhul iga kondensaatori laeng tekitab näiteks 100 võnget, jääb ikkagi teatav vahe üksikute võnkumisrühmade vahele, ja nimelt ajal, mil vooluring laadimiseks uuesti suletakse.

Säärane seadis kujutab enesest juba kõrgesagedusgeneraatorit. Muutes  $C$  ja  $L$  suurusi on võimalik tekitada igasuguse sagedusega kõrgesagedusvoole. Kasutades võnkeringi ergutamiseks sumisejat saadakse väga väikese võimsusega võnkumisi.

Suurema võimsuse ja stabiilsuse saamiseks kasutatakse kustuvate kõrgeageduslike võngete tekitamisel tavalist vahelduvvoolu, joonisel 63 näidatud lülituses. Vooluallikas on ühendatud kõrgepinge transformaatori primaarmähisega.

Transformaatori kõrgepingelises sekundaarmähises pinge kasvamisel laadub võnkeringi kondensaator. Kui pinge kondensaatoril (samuti sädemikus  $S$ ) on tõusnud teatava kõrguseni (tavaliselt maksimaalväärtuse saavutamisel), siis õhk ei suuda enam nn. sädemiku  $S^*$  elektroode üksteisest isoleerida ja nende vahel tekib säde. Säde tõttu ioniseerub õhk, muutes sädemiku plaatidevahelise elektrilise takistuse võrdlemisi väikeseks, praktiliselt lühiühenduseks. Kondensaator lahendab nüüd sädeme ja pooli kaudu, tekitades  $L$ -st,  $C$ -st ja sädemikust koosnevas võnkeringis kõrgesagedusvõnkumise. Säde kestab tavaliselt kuni võnkumise kustumiseni. Kondensaatori laadimisvoolule, mis väikese sagedusega, ei avalda pool  $L$  nimetamisväärtset takistust.

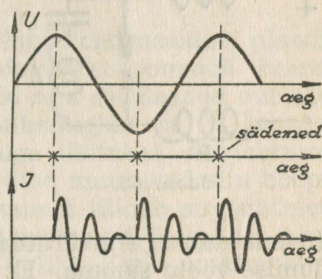
Tavaline kõne all olev (Marconi) sädemik koosneb kahest metall-poolkerast, millede omavaheline kaugus (õhuvahe) on reguleeritav. Sädemikku on võimalik reguleerida nii, et säde tekib iga positiivse ja negatiivse poolperioodi soovitud pinge väärtuse juures (joon. 64).

Ehkki mainitud seadises sädemete tekkimine on reeglipärane, järgnevad kõrgesagedusvõngete rühmad üksteisele

ikkagi suurte vaheaegade järele. Seda vaheaega on võimalik lühendada generaatori sagedust suurendades. Lihtsa Marconi sädemikuga on võimalik (50 perioodilise vahelduvvoolu juures) tekitada kuni 100 sädet sekundis. Suurema sädemete arvu juures jääb säde tugeva ionisatsiooni tõttu kestva püsima, ühendades transformatori sekundaarmähist pidevalt lühidalt, mistõttu jääb võnkeringi kondensaator laadimata.

Erilise ehitusega sädemikkude (viini lahendaja või Marconi pöörlev lahendaja) kasutamisel on võimalik tekitada kuni 2000 korrapärasat sädet sekundis.

Põhimõtteliselt tekib kõigi sädegeneraatorite juures võnkumine joon. 64 kohaselt. Olgu näiteks võnkeringi endasagedus  $f = 150\,000$ , generaatori sagedus 1000 ja sädemete sagedus 2000. Seega aeg sädemest sädemeni on  $1/2000$  sekundit. Tekiks näiteks ühe sädeme kestel 50 võnget, siis võnkumise



Joon. 64.

\* Sädemikku nimetatakse ka sädevaheks.

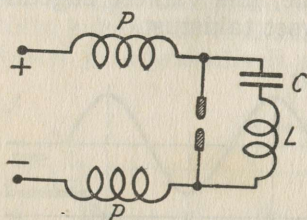
kestus oleks  $50/150\,000 = 1/3000$  sekundit. Üksikute võnkumiste vaheaeg on seega  $1/2000 - 1/3000 = 1/6000$  sekundit.

Sellistes seadistes on võnkuva energia võimsus väga väike, võrreldes generaatorilt võetava võimsusega, sest suurem osa energiat muundub sädemikus soojuseks.

Kõigi eespoolkirjeldatud seadistega on võimalik tekitada ainult kustuvaid kõrgesagedusvõnkeid.

\* \* \*

**Kustumatuid kõrgesagedusvõnkeid** on võimalik tekitada Poulsen'i süsteemi järgi — kaartulega, millele on ühendatud



Joon. 65.

võnkering rööbiti (joon. 65). Kaartuli mõjub siin nagu sädemikki, automaatse ventilina, kuid siin ei teki täielikke katkestumisi. Mõjuva alalisvoolu kõikumise põhjustab siin temperatuuri ja takistuse kõikumine. Ühel juhul kulutatakse alalisvool peamiselt võnkeringi kondensaatori laadimiseks; teisel juhul, kui kondensaator lahendub, voolab üle kaartule alalisvoolu

(oomiseadusega määratud tugevus) ja kondensaatori lahendumise voolu summa. Et tõkestada kõrgesagedusvõnkumisi pääsemast lülituse alalisvoolu ossa, selleks toidetakse tervet süsteemi kõrgesageduspaispoolide  $P-P$  kaudu. Energia kaod võnkeringis kaetakse siin alalisvoolu võrgust juurdevoolava energia tõttu.

Sellise seadisega on võimalik tekitada kõrgesagedusvoole sagedusega kuna ca 100 000 per/sek.

Kõrgesagedusvoole on veel võimalik tekitada kõrgesagedusalternaatorite abil, millelt genereeritava voolu sagedus praktiliselt küünib kuni 10 000 perioodini sekundis. Sellest suuremate sageduste saamiseks lastakse kõrgesagedusalternaatorite vool läbi nn. sagedusmuundajate.

Käesolevas paragrahvis mainitud kõrgesageduse tekitamise viisidel on praktilise sidepidamise alal praegusaja raadiotehnikas mõne aasta pärast veel vaid ajalooline tähtsus. Võnkumiste ebastabiilsus ja seadiste ekspluateerimise kallidus on mainitud süsteemid tõrjunud tagaplaanile. Asemele on astunud nn. lampgeneraatorid, kus tähtsamat osa etendab elektronlamp. Lampgeneraator võimaldab võnkumiste ja voolude tekitamist väga laialdaste sageduste piirides.

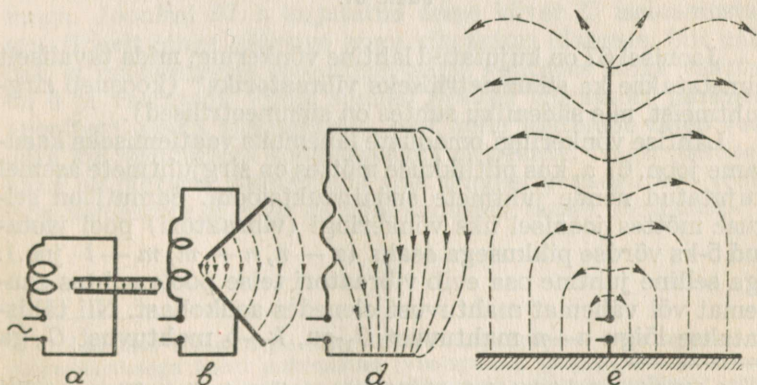
Vastavate rahvusvaheliste kokkulepete põhjal kasutatakse mõne aasta pärast avalikes raadiojaamades kõrgesagedusvõnkumiste tekitamiseks eranditult vaid lampgeneraatoreid. Lampgeneraatorite lähem käsitus sünnib allpool.

## IV. ELEKTROMAGNETILINE KIIRGUMINE.

### § 25. Lahtine võnkering.

Senini käsitleti kinnisi võnkeringe, milles elektriväli asus kokkusurutult kondensaatori plaatide vahel ja magnetiväli ümbritses endainduktsioonipooli kõige lähemat ümbrust (joon. 66 *a*).

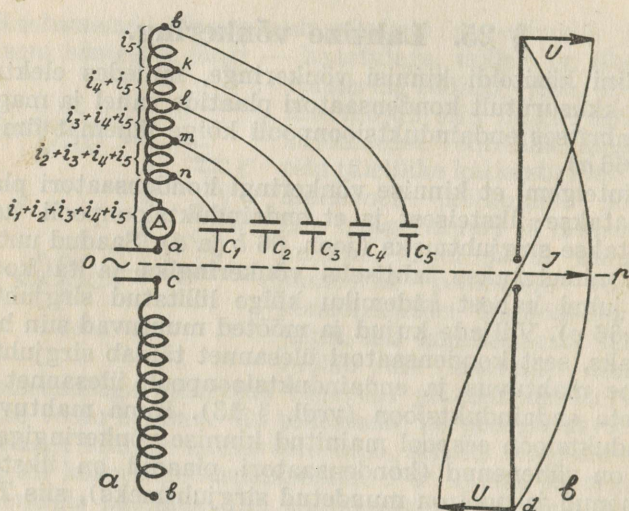
Kujutelgem, et kinnise võnkeringi kondensaatori plaadid eemaldatakse üksteisest ja et endainduktsioonipooli keerud tõmmatakse sirgjuhtmeks (joon. 66 *b* ja *d*). Saadud uut võnkeringi nimetatakse **lahtiseks võnkeringiks** ja ta koosneb antud juhul kahest sädemiku külge lülitatud sirgjuhtmest (joon. 66 *e*). Väljade kujud ja mõõted muutuvad siin hoopis erinevaks, sest kondensaatori ülesannet täidab sirgjuhtmete vaheline mahtuvus ja endainduktsioonipooli ülesannet sirgjuhtmete endainduktsioon (vrld. § 13). Kuna mahtuvus ja endainduktsioon eespool mainitud kinnise võnkeringiga võrreldes on vähenenud (kondensaatori plaadid on üksteisest kaugenenud ja pool on muudetud sirgjuhtmeks), siis Thom-



Joon. 66.

soni valemi põhjal peab sellise võnkeringi sagedus olema suurenenud.

Võnkumiste mõttes sarnaneb lahtine võnkering täielikult kinnisega, seepärast on ka siin võimalik võnkumisi esile kutsuda eelmises paragrahvis toodud põhimõtteil. Allpool vaadeldakse voolu ja pinge vahetorda lahtises võnkeringis, kuna see täiesti erineb kinnises võnkeringis esinevatest analoogilistest nähtustest.



Jaan. 67.

Joonisel 67 on kujutatud lahtine võnkering, mida tavaliselt nimetatakse ka **sümmeetriliseks vibraatoriks**\* (koosneb sirgjuhtmetest, mis sädemiku suhtes on sümmeetrilised).

Lahtise võnkeringi omaduste lähemaks vaatlemiseks kasutame joon. 67 a, kus piltlikkuse mõttes on sirgjuhtmete asemel kujutatud nende juhtmete endainduktsiooni. Samuti on selguse mõttes joonisel üks võnkeringi (vibraatori) pool jaotatud 5-ks võrdse pikkusega osaks ( $a - n$ ,  $n - m$ ,  $m - l$  jne.). Iga selline juhtme osa evib vibraatori teise poole suhtes suuremat või vähemat mahtuvust olenedes asukohast. Nii tähistatakse lõigu  $a - n$  mahtuvust  $C_1$ -ga,  $k - b$  mahtuvust  $C_5$ -ga

\* Võnkumiste tekitajat nimetatakse vibraatoriks. Sümmeetrilist vibraatorit nim. ka dipooliks — Hertzi antenniks.

jne.  $C_1$  on antud juhul  $C_5$ -st palju suurem, sest lõik  $a-n$  on juhtmele  $c-b$  hoopis ligemal, kui lõik  $k-b$ . Ühendades punktide  $a$  ja  $c$  külge vastavapingelise vahelduvvooluallika, sünnib võnkeringi mahtuvuse (kondensaatorite) laadimine. Laadimisvoolu tugevus pole juhtme  $a-b$  igas üksikpunktis mitte ühtlane ja seda järgmisel põhjusel. Punkti  $a$  läbib kõigi kujutatud kondensaatorite (kogu juhtme) laadimisvoolude summa; punktis  $m$  on voolutugevus väiksem, sest kon.  $C_1$  laadimisvool ei läbi seda punkti; mida lähemale vibraatori otsale, seda vähemaks muutub voolutugevus, ja näit. punkti  $k$  läbib vaid kond.  $C_5$  laadimisvool; punktis  $b$  on voolutugevus 0. Täiesti analoogiline nähtus sünnib ka vibraatori teises pooles  $c-b$ .

Kui vibraatori pooled on laetud ja pinge kasvades tekib säde, siis hakkavad kondensaatorid lahendumas. Lahendumisvoolud läbivad laadimisvooludele täiesti analoogilised teed ja punktid; nii näiteks läbib punkti  $a$   $i_1 + i_2 + i_3 + i_4 + i_5$ , punkti  $l$   $i_4 + i_5$  jne.

Joonisel 67 b kõver  $I$  iseloomustab graafiliselt voolutugevust vibraatori juhtmeis.

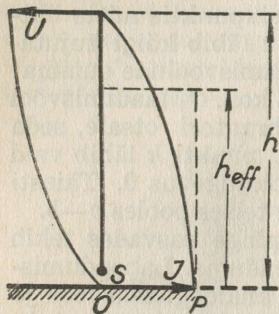
Kinnises võnkeringis, kus mahtuvus paigunes ühes kohas, s. o. kondensaatoris, oli voolutugevus kogu võnkeringi juhtme ulatuses enam-vähem ühesuurune. Lahtises võnkeringis aga selle vastu on voolutugevus maksimaalne sädemikus ja minimaalne juhtmete otstel\*.

Kuna juhtme iga osake evib teatavat induktiivsust (mis üksteise suhtes on järjestiku lülitatud), siis pinge vaadeldavas juhtme punktis võrdub neis induktiivsuses (sädemikust arvates) indutseeritud vastuelektromotoorsete jõudude summaga. Joonisel 67 b kujutatud teine kõver  $U$  iseloomustab graafiliselt pinge väärtusi kogu vibraatori ulatuses. Siit nähtub, et maksimaalse voolutugevusega kohtades pinge väärtus on 0 ja vastupidi. Pinge suunad peavad vibraatori juhtmeis (pooltes) olema vastupidised, sest neile juhtmeile tuleb vaadata kui võnkeringi kondensaatori plaatidele. Nagu jooniselt näha on lahtises võnkeringis vool pingest peaaegu  $90^\circ$  võrra (kui võnkering ei eviks energia kadusid) faasis nihutatud.

\* \* \*

\* Lahtises võnkeringis nimetatakse maksimaalse voolutugevuse ja pingeväärtusega kohti puhmadeks (voolupuhm, pingepuhm) ja sõlmedeks neid kohti, kus voolu ja pinge väärtused võrduvad nulliga (voolusõlm, pingesõlm).

Kui senivaadeldud sümmeetrilises vibraatoris ühe juhtme (poole) asemel võtame mingi juhtiva pinna (näiteks praktiliselt maa- või veepinna, vastukaalu jne.), siis jäävad pinge ja voolu vahekorrad ning väljade kujud muutmatuks. Sellist lahtist võnkeringi nimetatakse **assümmeetriliseks vibraatoriks**\*. Kuna viimane sümmeetrilisega võrreldes moodustab sellest vaid poole, siis on siin elektrivälja tungjoonte tee kaks korda lühem ja mahtuvus kaks korda suurem; seevastu aga võnkeringi endainduktsioon on kaks korda väiksem. Mahtuvuse ja endainduktsiooni korrutise ( $C \cdot L$ ) võrdseks jäädes jääb muutmatuks võnkeringi endasagedus. Voolu ja pingekõveraid assümmeetrilises vibraatoris kujutab joonis 68.

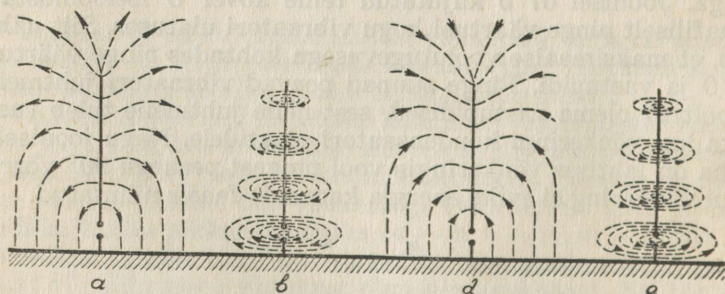


Joon. 68.

Vaadeldud vibraatoril jäävad voolu ja pinge vahekorrad kogu võnkumise vältel muutmatuks (sädemikus,  $I = \text{maks.}$ ,  $U = 0$  ja vibr. otstel  $U = \text{maks.}$ ,  $I = 0$ ). Sellest järeldub, et lahtises võnkeringis on tegemist seisva võnkumisega.

Vaatleme lähemalt võnkumise tekkimist assümmeetrilises (ühe poolega) vibraatoris; viimast nimetame edaspidi tegekkusele lähendumise mõttes **antenniks**.

Kui mahtuvus on laetud, siis tekib antenni ja maa vahel pinevus, mis avaldub elektriväljas (joon. 69 a). Ületab pinevus teatava piiri, siis tekib sädemikus säde, antennis vool ja



Joon. 69.

\* Suurem osa raadioasjanduses kasutatavaist antennidest on põhimõttelt assümmeetrilised vibraatorid (Marconi antennid).

antenni ümber magnetiväli; seega muundub elektriline energia magnetiliseks (joonis 69 *b*). On pinge vähenenud nullini, hakkab ka vool kahanema (samuti kui kinniseski vönkeringis — vrdl. § 20) ja kahanevalt magnetiväljalt indutseeritud pinge laeb antenni mahtuvuse teistpidi (joon. 69 *d*); seega muundub magnetiline energia — elektriliseks jne. (joon. 69 *e*). Sellist elektrienergia kujude vaheldumist nimetatakse **elektromagnetiliseks vönkumiseks**.

Nii kinnises kui ka lahtises vönkeringis vahelduvad ühe perioodi kestel elektri- ja magnetiväljad kaks korda. Kuna üksteisele järgnevate pingete ja voolude suunad (poolperioodid) on vastupidised, siis peavad vastupidised olema ka vastavad väljad (vt. joonis 69).

Elektri- ja magnetivälja ühist mõjupiirkonda ruumis nimetatakse **elektromagnetiliseks väljaks**.

Teatavasti kasutatakse lahtist vönkeringi esmajoones elektromagnetilise energia levitamiseks maailmaruumi (vaata § 26). Nagu teada, ei kõlba selleks otstarbeks kinnine vönkering (joon. 66 *a*) oma ruumiliselt piiratud väljade pärast ja veel selle tõttu, et kinnise vönkeringi külgedes on voolude suunad üksteisele vastupidised, mistõttu neis kohtades magnetiväljad vastastikku hävivad.

Antennis (assümm. vibraatoris) pole voolutugevus kogu pikkuse ulatuses ühtlane (joon. 68). Praktiliselt, arvutamise lihtsustamiseks, võib küll oletada, et voolutugevus on ühtlane, kuid sel juhul ei arvestata mitte antenni (vibraatori) tegelike, vaid efektiivkõrgustega. Antenni **efektiivkõrgus** ( $h_{ef}$ ) võrdub püstküliku kõrgusega, mille aluseks on joonlõik  $o-p$  ja mille pind võrdub joonis 68 voolufaasi pinnaga. Sellise vertikaalantenni (vibr.) efektiivkõrgus sinusoidse voolu juures

$$h_{ef} = \frac{2}{\pi} \cdot h$$

Teatavasti muutub voolutugevus ühe perioodi kestel 0-st + maksimumini, sealt 0-ni, 0-st kuni – maksimumini ja sealt uuesti 0-ni. Voolumuudatus kõne all olevas antennis (assümmeetrilises vibraatoris) läbib seega ühe perioodi (nelja veerandperioodi) vältel tee 4  $h$ . Võttes arvesse, et elektromagnetilise vönkumise levimise kiirust loetakse võrdseks valguse kiirusega, s. o. 300 000 km ehk  $3 \cdot 10^8$  m sekundis, siis kulub antennis ühe perioodi tekkimiseks aega

$$T = \frac{4h}{3 \cdot 10^8}$$

ja antenni endasagedus  $f = \frac{1}{T} = \frac{3 \cdot 10^8}{4h}$ , või  $\lambda = 4h^*$

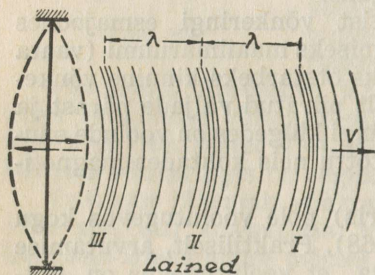
kusjuures  $T$  on perioodivälde sekundeis ja  $h$  — antenni tegelik kõrgus meetreis.

## § 26. Elektromagnetiline võnkumine.

### 1. Näide füüsikalisest võnkumisest.

Igapäevasest elust on meil tavaliselt tuntuimad heli- (õhu) ja veelained.

Vaatleme lähemalt näiteks õhu lainetust, mille kutsub esile mõne muusikalise instrumendi (näit. kandle) keel sel teel, et ta välisjõu mõjul oma normaalasendist välja rebitakse ja siis järsku vabastatakse (joon. 70). Vabanedes jõu mõjust, keel hakkab ümbritsevas õhus vabalt võnkuma, temale omase endasagedusega.



Joon. 70.

Oletame, et vabanemise hetkel keel asus vasakpoolses punktiiriga tähistatud seisundis. Liikudes paremale, keel surub enese liikumise teel õhu osakesed (molekulid) kokku.

Need osakesed, mis said keelelt vahetu tõuke, annavad saadud tõuke edasi (kokkupõrkamise teel) järgmistele osakestele, viimased jälle järgmistele jne. Tekkinud õhukihi surve-seisukord (tihend) ehk deformatsioon (*I*) keele tagasiliikumisel vasakule ei jää paigale, vaid liigub ühtlase kiirusega ( $v$ ) ruumis edasi. Keele liikudes uuesti paremale tekib, analoogiliselt esimesele, teine (*II*) õhukihtide deformatsioon, mis õhuosakeste tõuklemise printsiibil jälle edasi levib jne.

Kuna keele võnkesagedus on aja suhtes ühtlane, siis tekib terve rida selliseid võrdseil distantsil paremale levivaid defor-

\* Tegelikult antenni juhtme füüsiline kõrgus (pikkus) on umbes 5% väiksem kui arvestatud elektriline väärtus juhtme füüsiliste mõõdede tõttu (elektrilise väärtuse omaks teoreetiline juhe, mille  $\epsilon = 0$  ja mille mahtuvuse kui ka induktiivsuse väärtuste jaotus kogu juhtme ulatuses oleks võrdne).

matsioone, millede arv sekundis vastab keele võnkesagedusele, sest ühe preioodi vältel keel tekitab ühe deformatsiooni\*.

Kiirus  $v$ , millega deformatsioon õhus edasi liigub, on normaalselt 331 m/sek. Helilainete levimiskiirus vees on suurem (umbes 1400 m/sek.), klaasis veel suurem jne.

## 2. Üldaluseid võnkumiste levimisel.

Igal homogeesel keskkonnal on oma kindel ja ühtlane deformatsiooni levimiskiirus ( $v$ )\*\*.

Perioodiliselt levivaid deformatsioone antud keskkonnas nimetatakse **laineteks**.

Kaugust, mille võrra deformatsioon liigub ühe perioodi vältel ( $T$ ) edasi, nimetatakse **lainepikkuseks** ( $\lambda$ ). Teiste sõnadega lainepikkuseks nimetatakse vahemaad kahe teineteisele järgneva deformatsiooni vahel.

**Kõigis keskkondades** deformatsiooni levimiskiirus ( $v$ ) perioodivälde ( $T$ ), lainepikkus ( $\lambda$ ) ja sagedus ( $f$ ) on omavahel järgmistes suhetes

$$\lambda = v \cdot T \text{ ehk } T = \frac{\lambda}{v} \text{ ehk } v = \frac{\lambda}{T}$$

Kui avaldada  $T$  väärtus  $f$  kaudu ( $f = \frac{1}{T}$ ), siis

$$\lambda = \frac{v}{f} \text{ ehk } f = \frac{v}{\lambda}$$

Eespooltoodud näite juures õhuosakesed, keelelt saadud tõuke tagajärjel, võnguvad deformatsiooni levimise suunas. Sellist lainetust (koosneb keskkonna aine tihendeist ja hõrendeist) nimetatakse **piki-** ehk **longitudinaallainetuseks**.

Kui tasase veepinna juures visata näit. kivi vette, siis tekiavad vette langemise kohast kaugemale levivad kontsentrilised laineringid. Samal veepinnal ujuv kork ei liigu lainetega edasi, vaid kõigub koos vee osakestega üles alla. Lainetust, kus keskkonna osakesed võnguvad risti deformatsiooni levimissuunale, nimetatakse **põik-** ehk **transversaallainetuseks**.

\* Tegelikult levivad sellised deformatsioonid keelelt kerapinnakujuiselt laiali, sest ükskõik millises suunas ka meie võnkuvast keelest ei asuks, kuuleme ikkagi tekkinud heli.

\*\* See on maksev kõigi deformatsiooni tekitavate võnkumiste ja keskkondade kohta.

Näide. Kui suur on helihargi poolt õhus tekitatud lainepikkus, kui on teada, et  $f = 435$  per/sek. ja  $v = 331$  m/sek.

$$\lambda = \frac{v}{f} = \frac{331}{435} = 0,76 \text{ m}$$

### 3. Elektromagnetiline kiirgumine.

Valguse, soojuste ja muude elektromagnetiliste kiirgumiste levimise selgitamiseks arvatakse, et kogu maailmaruum on täidetud senini lähemalt määratlemata nn. **ruumieetriga**. Kuna meie harjumuste kohaselt on kujuteldamatu laine levimine ilma keskkonnata, siis arvatakse elektromagnetiliste lainete levimise keskkonnaks ruumieetrit. Eetrit arvatakse täitvat ka kõik kujuteldavad esemed ja ollused. Kuigi eeter on väga paljude võnkumiste levimise keskkonnaks, ei kujuta ta endast ainet ega materjaalset keskkonda (nagu näiteks, õhk, vesi jne.)\*.

Elektromagnetilise (elektri- ja magnetiväljade) võnkumise tagajärjel tekivad eetris deformatsioonid (pingestumised), mis deformatsiooni tekitanud põhjuse kadumisel ei hävi, vaid levivad järjest kasvava kerapinnana vabas ruumis edasi, kiirusega 300 000 km sekundis. Selliseid ruumieetri võnkumisi nimetatakse **elektromagnetilisteks laineteks**.

On tehtud kindlaks, et raadiolained, soojus-, valgus-, röntgenikiired jne. on üksteisest erineva sageduse ja lainepikkusega ruumieetri võnkumised. Nii näiteks, on lainepikkused umbkaudselt:

- raadiolained 30 km — 0,3 mm,
- infrapunastel kiirtel 0,01 mm — 0,0008 mm,

\* Tuntud inglise füüsik Sir Oliver Lodge arvab eetri olemuse kohta järgmist: Eetri tähtsamaid omadusi on ta absoluutne jätkuvus (pidevus). Ollus pole jätkuv; ta esineb osakaupa vahepealsete lünkadega... Kõik aine vähimadki osad, samuti kui aatomid on keskendatud vaid eetri kaudu. Eetris nad liiguvad vabalt.

Aine osakeste ja eetrivahelise sõltuvuse laad pole teada, kuid ammu on tuntud nende vahelise siduvuse olemasolu. Me teame seda seepärast, et aine osake ei saa liikleda või võnkuda mõjutamata (deformeerimata) keskkonda, milles ta asub. Eeter evib kahe sugust iseloomustust — elektrilist ja magnetilist; üks neist vastab elastsusele, teine — tihedusele... , vaid nende vahendusel eetrilained (elektromagnetilised lained) eksisteerivad. Lainete liiklemistempo oleneb elastsuse-tiheduse suhtest, s. o. eetri elektrilise ja magnetilise omaduste vahekorrast.

Ta on tihedaim tuntud esemeist: pole midagi massiivsemat kui eeter: olles jätkuv on ta kokkusurumatu. Ükski osa ei saa temast olla tihedam ülejäänust.

Oliver Lodge hindab eetri tihedust vee suhtes  $10^{12}$  ning elastsust  $10^{33}$  (Oliver Lodge raamatust „Ether and Reality“).

- valguse nähtavail kiirtel 0,0008 mm — 0,0004 mm,
- ultraviolettkiirtel 0,0004—0,0001 mm ja
- röntgeni- ( $x$ -) kiirtel  $2,5 \cdot 10^{-5}$  kuni  $10^{-7}$  mm  
(keskm. sagedus umbes  $10^{18}$  per/sek.).

Käesoleva õpperaamatu ülesanne on tegelda vaid selliste elektromagnetiliste lainetega, milliseid tehnikas kasutatakse traadituks sidepidamiseks.

Elektromagnetiliste deformatsioonide ehk lainete tekitamist lahtise võnkeringi abil, võib ette kujutada järgmiselt:

— Antenni mahtuvuse laadimisel (joon. 69 *a*) tekkinud elektrivälja tungjooned levivad kiirusega umbes 300 000 km/sek., vertikaalpindades radiaalselt ümber antenni.

— Kui antenni mahtuvus on laetud, siis on elektriväli maksimaalne ja selle algus on liikunud eetrideformatsioonina antennist kaugemale antenni laadimisaja vältel ( $\frac{T}{4}$ ), s. o. veerandperioodi võrra.

— Sädeme läbilöömisel ilmneb antennis vool ja sädemiku ligidal tekib magnetiväli (joon. 69 *b*), mis kontsentriliste ringidena levib maapinnale paralleelsetes pindades, samuti antennist eemale, kiirusega umbes 300 000 km/sek. See magnetiväli areneb ka piki antenni ülespoole, vastavalt voolutugevuse arenemisele.

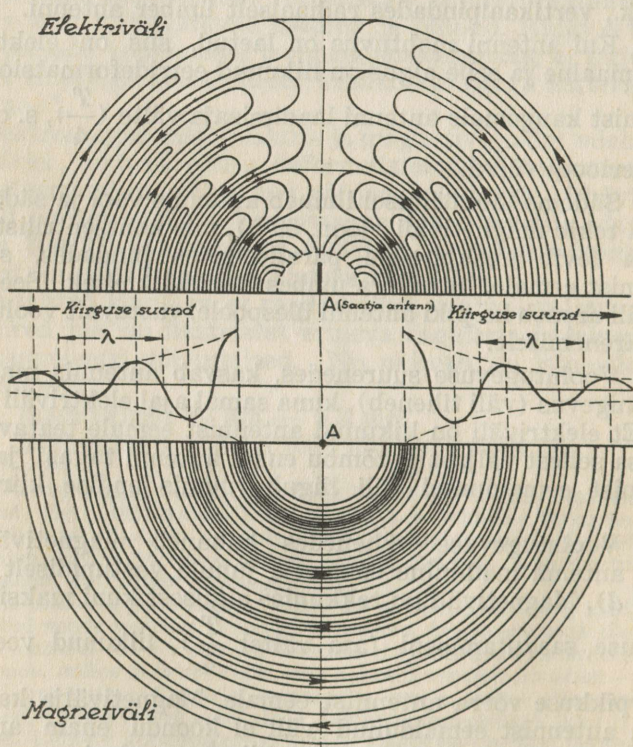
— Voolutugevuse suurenedes, kasvab antennis magnetivälja tugevus (väli tiheneb), kuna samal ajal elektriväli väheneb. Et elektriväli on liikunud antennist eemale teatava tee, siis osa sellest väljast ei tõmbu enam antenni tagasi, ja juba antennist eemaldunud väli liigub ruumis endise kiirusega edasi.

— Voolutugevuse vähenedes kahaneb magnetiväli ja algab antenni laadimine eelmisele juhule vastupidiselt (joonis 69 *d*). Magnetiväli on tekkimise algusest kuni maksimaaltugevuse saavutamiseni (aja vältel  $\frac{T}{4}$ ), liikunud veerand-

laine pikkuse võrra antennist eemale. Magnetivälja kahane-misel, antennist eemaldunud väli ei koondu enam antenni tagasi, vaid liigub ruumis endise kiirusega edasi.

Nii levivad antennist maailmaruumi vahelduvalt elektri- ja magnetiväljad, kuni kogu võnkuv energia on kulutatud. Osa sellest energiast kiirgub maailmaruumi ja osa muundub antenni oomiliste kadude tõttu soojuseks.

Piltlikkuse mõttes räägitakse elektromagnetilise energia levimisest kui elektromagnetilisest lainetusest\*. Selliste lainete levimist kujutab skemaatiliselt joonis 71, kus muu hulgas näidatakse ettekujutatavaid läbilõikeid elektriväljast (vertikaalpinnas) ja magnetiväljast (horisontaalpinnas). Kui üks väljadest on maksimaalne, siis teine samal ajal on minimaalne (vrld. ka joon. 46 alumine osa). Kuna antennis valitsev pinge ja vool on tavaliselt sinusoidne, siis tekitatud väljad pole homogeenised, vaid koosnevad tungjoonte mõttes „tihendeist“ ja „hõrendeist“ (joon. 71). Väljade tungjooned



Joon. 71.

\* Elektromagnetilist lainetust loetakse põiki- ehk transversaallainetuseks, sest lainete mõjul nende levimisteel paigunevad vabad elektrilaengud ja -magnetpoolused võnguvad levimissuunale risti.

on üksteise suhtes risti. Leviva elektromagnetilise energia tugevus väheneb võrdeliselt kauguse ruuduga.

Lahtises võnkeringis nagu kinniseski (vt. § 21) võib esineda kustuv või kustumatu elektromagnetiline võnkumine. Vastavalt sellele tekivad kas kustuvad või kustumatud elektromagnetilised lained.

**Kustuva laine** juures (joon. 72 a) võnkumise amplituud (väljatugevus) kahaneb iga perioodiga. Selliseid laineid tekitavad kõik sädemikuga töötavad raadiojaamad ja muud sädemikuga ergutatavad lahtise võnkeringi süsteemid. Teiste sõnadega öeldult: iga isenimeliste elektrilaengute lahendumine sädeme kujul, tekitab kustuva elektromagn. laine (võnkumise). Viimase asjaoluga on seletatavad suvel piksest tingitud radio vastuvõttu segavad atmosfäärilised häired.

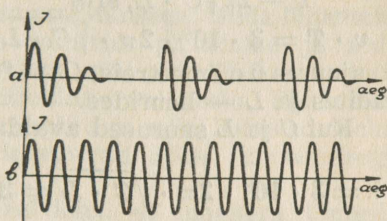
**Kustumatu laine** (joonis 72 b) võnkumise amplituud on aja suhtes konstantne, mis saavutatakse seeläbi, et võnkumist tekitava seadeldisega kaetakse lisaenergia juurde toomise teel iga perioodi kestel tekkinud (kiirgumis- ja soojus-) kaod. Kustumatuid laineid tekitavad lamp-, masin- ja kaarleeksaatjad.

Liikuvad muutliku tugevuse ja suundadega väljad, kohates oma teekonnal elektrijuhte, indutseerivad neis elektrivoolu (pinget), mille sagedus võrdub neid välju põhjustanud antennivoolu sagedusega. Kui näiteks selline muutliku tugevusega elektriväli löikub mingi võnkeringiga (joon. 73), siis indutseeritakse selles pinge  $U$ , mille väärtus on maksimaalne võnkeringiga lõikuvate tungjoonte suurima tiheduse juures. Sama on kehtiv ka magnetivälja kohta.

Näeme, et elektromagnetiline väli, kohates lahtist või kinnist võnkeringi, tekitab neis induktsoonvoolu. Tugevama voolu saamiseks tuleb need võnkeringid häälestada elektromagnetilise energia võnkumise sagedusele  $f$  (vrld. § 19).

#### 4. Lainepikkus.

Võnkumise kiirust iseloomustatakse sagedusega, lainetust — lainepikkusega. Elektromagnetilise lainetuse juures tähistab lainepikkus kahe üksteisele järgneva elektri- või



Joon. 72.

magnetivälja tungjoonte tihendi või hõrendi kaugust (joon. 71, 73). Üldpõhimõtelt sarnaneb elektromagnetiline lainetus eespoolkäsiteldud õhulainetusega (joon. 70) ning allub täielikult võnkumiste levimise üldreeglitele. Seega ka siin  $\lambda = v \cdot T$ .

Lainepikkust on võimalik väljendada ka võnkeringi suuruste  $L$  ja  $C$  kaudu. Teades, et elektromagnetilise energia levimise kiirus  $v = 3 \cdot 10^8$  m/sekundis ja perioodivälde

$$T = 2\pi \sqrt{C \cdot L}, \text{ siis}$$

$$v \cdot T = 3 \cdot 10^8 \cdot 2\pi \cdot \sqrt{C \cdot L},$$

kusjuures  $v$  on meetreis,  $C$  — faradites ja  $L$  — henrides.

Kui  $C$  ja  $L$  suurused avaldada sentimeetreis\*, siis

$$\begin{aligned} \lambda &= 3 \cdot 10^8 \cdot 2\pi \cdot \sqrt{C \cdot L} = 3 \cdot 10^8 \cdot 2\pi \sqrt{\frac{C \cdot L}{9 \cdot 10^{11} \cdot 10^9}} = \\ &= \frac{3 \cdot 10^8 \cdot 2\pi \cdot \sqrt{C \cdot L}}{3 \cdot 10^{10}} = \frac{2 \cdot \pi}{100} \cdot \sqrt{C \cdot L} \end{aligned}$$

kusjuures  $\lambda$  on meetreis. Kui viimases valemis lainepikkus avaldada sentimeetrites, siis

$$\lambda = 2\pi \cdot \sqrt{C \cdot L}$$

Näide:  $f = 10^6$ ;  $V = 3 \cdot 10^8$  m/sek.;  $\lambda = ?$

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{10^6} = 300 \text{ m.}$$

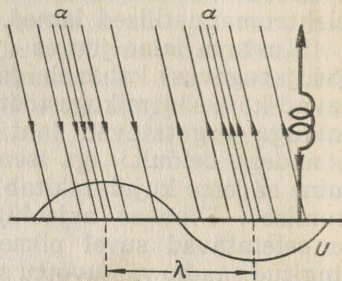
Või vastupidi:  $\lambda = 100$  m,  $V = 3 \cdot 10^8$  m/sek.;  $f = ?$

$$\lambda = \frac{V}{f}; f = \frac{V}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{100} = 3 \cdot 10^6 = 3 \text{ MHz}$$

## § 27. Elektromagnetiliste lainete levimine.

Elektromagnetilisi võnkumisi on võimalik tekitada ja maailmaruumi paisata mitmesuguste sagedustega. Tavaliselt lii-

\* Kui  $L$  ja  $C$  on  $\mu\text{H}$  ja  $\mu\text{F}$ , kujuneb lainepikkus  $\lambda$  meetrites —  $\lambda = 1885 \sqrt{LC}$



Joon. 73.

gitatakse kasutatavad lainepikkused laineastmikeks järgmiselt\*:

- 1) pikad lained — 1000—2000 m ja pikemad,
- 2) kesklained — 100—1000 m,
- 3) lühilained — 10—100 m,
- 4) ultralühilained — 10 m ja lühemad.

Saatja antennist väljakiirguv energia levib ilmaruumis igas suunas laiali. Laineid, mis levivad maapinda mööda, nimetatakse **pinnalaineks**, kõiki teisi — ülespoole haihtuvaid laineid — **ruumilaineks** (joon. 74).

Pinnalaine libiseb maakera kumerust mööda, ulatudes ettejuhtuvate esemete taha ja varjatud aladesse. Laine kõrvalepandumist sirgjoonelisest suunast nimetatakse **difraktsiooniks** ja ta kasvab lainepikkuse suurenemisega. Mida lühemaks muutub laine, seda nõrgemaks muutub pinnalaine ja seda sirgjoonelisemaks muutub levimissuund; ultralühilainete levimine oma levimissuunal on lähedane valgusele. Pinnalaine levikule mõjub absorbeerivalt maapind ja sellel leiduvad voolujuhtivad esemed. Need kaod kasvavad laine lühenemisega (sageduse suurenemisega).

Ruumilaine levimise uurimisel leiti, et maakera ümbritseb umbes 90—300 km kõrgusel, peamiselt päikese ultraviolettkiirtest ioniseeritud hõre õhukiht, mida nimetatakse **Heaviside-Kennely kihiks**\*\* . Elektromagnetiline laine, kohates teatava nurga all seda kihti, ei pääse sellest läbi, vaid olenevalt langenuurgast ja kihi omadusist murdub või peegeldub maapinnale tagasi.

Nagu öeldud, tekib ioniseeritud õhukiht peamiselt päikese lühilaineliste kiirguste tagajärjel, kusjuures kihi kõrgus ja ionisatsioonimäär olenevad kiirguse intensiivsusest. See pärast ioniseeritud kiht ei moodusta endast ühtlast kontsentrist sfäärilist pinda maakera ümber, vaid kogu aja muutuvat. Päeval on kihi ionisatsioonimäär suurem, kiht ise paksem ja maapinnale lähemal; öösel on ionisatsioon hõredam ja kiht kõrgemal. Sama on kehtiv kihi ionisatsiooni tiheduse ja kõrguse muutumise kohta suvel ja talvel.

Pikemad lained evivad väikest läbitungimisvõimet ioniseeritud õhukihtidesse ja seetõttu nad murduvad või peegelduvad tagasi maapinnale õige madalalt. Lühemad lained see-

\* On veel teissuguseid laineastmike jaotusi.

\*\* Esimese teooria selle kohta rajasid õpetlased Heaviside (loe — hevisaid) ja Kennely.

vastu tungivad sügavale kihtidesse. Ultralühilained on suu-  
telised ioniseeritud kihte täielikult läbima, neis vaid osaliselt  
murdudes, kuid tagasi tulemata maapinnale.

Arvestades ioniseeritud õhukihtide ioniseerimismäära muu-  
tust sõltuvalt ööpäeva ja aastaegade vaheldusest ühelt poolt  
ja lainete läbitungivuse omaduste muutumist laine pikkuste  
suhtes — teiselt poolt, — on arusaadav, miks erinevate ula-  
tuste katmiseks (ületamiseks) kasutatakse erinevaid aasta- ja  
ööpäeva-aegadel eri lainepikkusi.

Kaugemalt levivate lainete juures märgatakse tugevat ja  
tavaliselt korrapäratut amplituudi (tugevuse) kõikumist ja  
moonutust. Seda nähtust nimetatakse — **feedinguks** (fading)  
ja seletatakse järgmiselt: jooniselt 75 (vt. ka joon. 74) näh-  
tub, et saatejaama antennist lained tavaliselt kiirguvad  
välja eri nurkade all, mistõttu nad sattudes Heaviside kihti ka  
sealt murduvad või peegelduvad tagasi maapinnale eri pai-  
kades ja eri nurkade all. Kaks isesuguses kohas murdunud  
lainet võivad maapinnal asetsevas vastuvõtteantennis sattuda  
omavahel või pinnalainega kokku. Kuna sel juhul iga laine  
on tekkimise algusest kuni kokkusattumiseni ära käinud eri-  
neva pikkusega teekonna, siis nad ei tarvitse olla igakord aja  
suhtes üksteisega faasis ja võivad tekitada **interferentsi**.

Ioniseeritud kihi ebamäärasuse tõttu (pidevalt muutuv  
tihedus ja kõrgus) pole kokkusattuvate lainete faasiline vahe-  
kord püsiv, vaid alaliselt muutuv. Seepärast võib resultee-  
riva laine amplituud (mida meie tavaliselt vastu võtame)  
kasvada mitmekordseks (kui kaks või enam lainet on faasis)  
ja väheneda nullini (paarislainete faaside nihkumine  $180^\circ$ ).

Feedingu sagedus ja amplituud on sõltuv väga paljudest  
tegureist. Üldiselt on pikil laineil nii feedingu amplituud kui  
ka sagedus väikesed. Kesklainete lühemas ja lühilainete pike-  
mas osas muutuvad need suuremaks, kuna õige lühikestel  
lainetel on feedingu nähtused vähem häirivad.

Vahemaad, kus pinnalaine ulatus on lõppenud ja mur-  
dunud ruumilaine pole veel jõudnud maapinnale tagasi tulla, —  
nimetatakse **vaikusvöötmeks**\*; see tähistab ala, kus teata-  
vast saatjast levinud lainet pole võimalik praktiliselt avas-  
tada. Kui ioniseeritud kihi ja maapinna vahel sünnib ruumi-  
lainete murdumise kordumine üksteisele järgnevate hüpetena,  
siis võib saatja ümber tekkida mitu vaikusvöödet.

\*

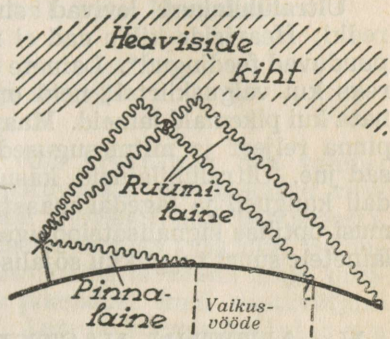
\* Vaikusvöödet nimetatakse ka surnud alaks.

Võrreldes laineid pikkuse järgi, võib nende levimises tähele panna järgmisi erinevusi.

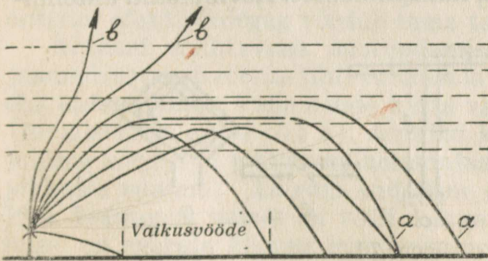
**Pikad lained** evivad suureulatusliku pinnalaine ja peaaegu tähtsusetu ruumilaine. Feedingu nähtused ja päeva ning öö mõjud on siin vaid veidi märgatavad; vaikusvöötmel puuduvad: lainet on võimalik vastu võtta pidevalt — saatejaamast kuni pinnalaine ulatavuse lõpuni. Seda laineastmikku kasutavad peamiselt rahvusvahelised telegraafi- ja ringhäälingujaamad.

**Kesklaineil** väheneb pinnalaine ja suureneb ruumilaine osatähtsus. Öine ulatavus on päevasest märgatavalt suurem. Feedingu nähtus, eriti astmiku lühemas osas, on sedavõrd tugev, et sunnib vastuvõtul kasutama eriseadmeid. Vaikusvöötmel on siin juba märgatavad. Ka seda astmikku kasutavad peamiselt ringhäälingujaamad.

**Lühilainete juures** langeb pinnalaine ulatus ja astmiku lühemas osas on pinnalaine peaaegu tähtsusetu. Ruumilaine eriti suure ulatavuse tõttu on ka väga väikese võimsusega saatja signaalid mitme tuhande kilomeetri kaugusel kuulda. Seevastu võib pinnalaine kaduda juba mõnekümne km kaugusel. On võimalik isegi mitmekordsete vaikus-



Joon. 74.



Joon. 75.

vöötmete tekkimine. Öö ja päeva mõjul on siin suurim tähtsus, samuti aastaajal ja ilmastikul. Nii näiteks, levivad öösel hästi 60—70 m, päeval aga 15—45 m pikkused lained; et suuremail kaugusel püsivalt sidet saada, osutub vajalikuks lainepikkuse perioodiline muutmine ööpäeva kestel. (Astme

lühemas osas ei sega atmosfäärilised lahendused nende lainete vastuvõttu.) Sellel laineastmikul töötavad ringhäälingusaatjad, suured rahvusvahelisse sidevõrku kuuluvad telegraafi-saatjad, amatöörsaatjad ja palju muid.

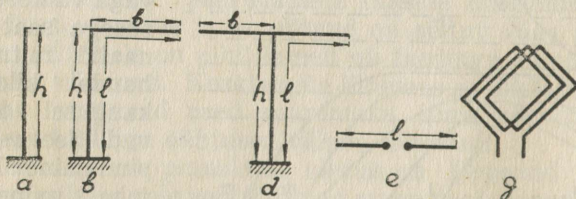
**Ultralühilained** levivad sirgjoonelisel nagu valguskiirredki. Heaviside kihis nad ei murdu ega peegeldu, mistõttu puuduvad feedingud\*. Lainete ulatavust arvatakse sama suureks kui valguskiirtele; neid on hõlpsam reflektoritega suunata kui pikemaid laineid. Maapinnal takistavad levikut maapinna reljeef ja mitmesugused esemed, nagu ehitised, metsad jne. Ultralühilaineid kasutatakse sidepidamiseks lähedail kaugusil ja lagedal maastikul. Evides mõningaid paremusi optilise signalisatsiooniga võrreldes, ennustatakse neile lainetele suurt tulevikku sõjalises sidetehnikas.

## V. ANTENN, VASTUKAAL JA MAANDUS.

### § 28. Antennidest üldse.

Antenn koos maanduse või vastukaaluga moodustab lahtise võnkeringi ja teda, ühendatult vastava aparatuuriga, kasutatakse saatejaamas — elektromagnetiliste lainete tekitajana — saatjana, — vastuvõttejaamas — nende vastuvõtjana.

Väliselt kujult on antennid väga mitmesugused, olenees kasutamise otstarbest ja lainepikkusest. Levinumaid antennitüüpe on:



Joon. 76.

\* Viimasaja tähelepanekud tõestavad, et ka ultralühilained võivad teatavil juhtudel levida suurtele kaugustele, — väljapoole optilist nähtavuse piirkonda. Selliseid nähtusi püütakse selgitada lainete difraktsiooniga (paindumisega), eriti kuumal aastajal, kusjuures paindumise protsess toimub suhteliselt madalais kuumenenud õhukihtides. Nähtus on väga lähedalt sarnanev optikas tuntava fata-morganaga. Selgitus näib olevat tõenäolik seetõttu, et ultralühilained oma levimisomadusilt sarnanevad valguslainetega.

1. Veerandlaine-antennid (Marconi), kuhu kuuluvad
  - vertikaalantenn (a),
  - „L“-antenn (b),
  - „T“-antenn (d).
2. Poollaine-antennid (Hertzi), kuhu kuuluvad
  - dipool (e),
  - Zeppelin-antenn,
  - ühe toitejuhtmega antenn.
3. Raamantenn (g).

**Vertikaal- ehk ritvantenn** võib praktiliselt olla valmistatud vastavalt ülesandele. Vastuvõtuks moodustatud ritvantenn koosneb tavaliselt pikast ridvast (tihti pambusest), mille ümber on keritud tugeva isolatsiooniga vaskjuhe. Selline ritv püstitatakse kõrguse saavutamiseks tavaliselt maja katusele. Vaskjuhtme alumise otsa pikendust kuni vastuvõtjani nimetatakse **sisendusjuhtmeks**. Antenni kõrgus  $h$  võrdub siin vertikaalse ridva kõrgusega, millega võib teatavil juhtudel liita sisendusjuhtme vertikaalprojektsiooni. Saate ülesandeiks kasutatav vertikaalantenn on põhimõttelt sirgjuhe. Antenni endalaine on  $4h^*$  (vt. § 25) ja efektiivkõrgus umbes  $0,64h$ .

**L-antenn** on nii saate kui vastuvõtte otstarbeks kasutatav antennitüüp. Ta kujutab endast idealiseeritud vertikaalantenni, mil on praktilisil kaalutlusil vertikaalse antenni tipposa asendatud vastava horisontaalosaga. Teisest küljest aitab horisontaalosa tõsta antenni efektiivkõrgust. Kui horisontaalosa on vertikaalosalast 10 korda pikem, siis säärase L-antenni efektiivkõrgus võrdub tema tegeliku kõrgusega.

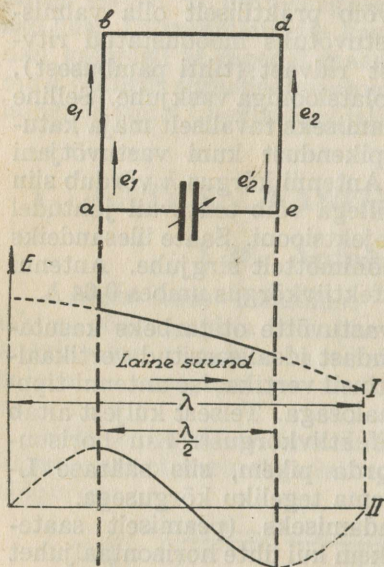
Antenni mahtuvuse suurendamiseks (peamiselt saatejaamades) tarvitatakse tihti rohkem kui ühte horisontaaljuhet ehk **antennikiirt**. Vahe nende kiirte vahel ei või olla alla 1 m (tavaliselt on see —  $0,1h$ ). Antenni kõrguseks on vertikaaljuhtme kõrgus ja pikkuseks horisontaal- ja vertikaaljuhtmete pikkuste summa. Antenni endalaine on umbes  $4,5l$  —  $5l$ . Pika L-antenni juures on veidi märgatav suuna mõju; saatmisel on energia kiirgus maksimaalne antenni selle horisontaalosa suunas, kuhu on kinnitatud sisendusjuhe.

**T-antenni** kasutatakse peamiselt saatjate juures, pikas ja keskmises laineastmikus. Ka T-antenn võib olla mitmekiireline. Antenni pikkuseks arvatakse vertikaalosa ja poole hori-

\* Sõltuvalt antenni füüsilikest omadusist ja mõõteist, tuleb tegelik antenni endalaine võrdseks lugeda  $4,2h$ -ga.

sontaalosa summa, kõrguseks vertikaalosa kõrgust; viimane peab olema kinnitatud täpselt horisontaalosa keskele. T-antennil puudub suuna mõju. Endalaine on tal L-antennist lühem.

**Raamantenni** moodustab ühest või mitmest keerust koosnev kinnise võnkeringi suuremõõteline pool, mil on tavaliselt nelinurga või ringi kuju. Kuna raamantenni kui põhimõttelt kinnise võnkeringi kiirgumise omadused on ebasoodsad, siis leiab ta kasutamist peamiselt vastuvõtjate juures ja eriti seal,



Joon. 77.

kus on vajalik vastuvõtja abil määrata saatja suunda (suundvastuvõtt)\*. Suuna määramist võimaldab raam selle tõttu, et saatjast levivad lained indutseerivad vertikaalseis raami keerdudes maksimaalse EMJ vaid siis, kui raami külg on suunatud saatjale, ja minimaalse EMJ, kui raami pind on saatja suunale risti. Raamis indutseeruv elektromotoorne jõud on olenev raami mõõdetest lainepikkuse suhtes. Olgu raam suunatud mingile saatjale (joon. 77). Sealt leviv elektromagnetiline väli, mis antud hetkel (I) kogu raami ulatuses on ühenimeline, indutseerib raami külgedes  $a-b$  ja  $d-e$  ühtepidi (alt üles) suunatud EMJ  $e_1$  ja  $e_2$ . Kuna viimased on raamis kui voolu-

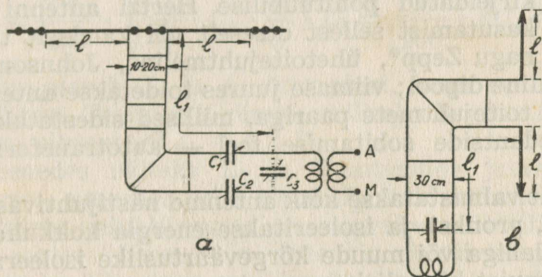
ringis vastupidised, siis mõjule jääb vaid nende vahe —  $e = e_1 - e_2$ .

Kui raami külgede  $a-b$  ja  $d-e$  kaugus teineteisest võrdub poole lainepikkusega, siis indutseeritud EMJ  $e'_1$  ja  $e'_2$  on raami külgedes vastassuunalised (põhjustatud erisuunaliste väljade poolt), kuid raamis kui vooluringis mõjub nende summa  $e = e'_1 + e'_2$ . Vajaliku induktiivsuse ja tugevama EMJ saamiseks tarvitatakse mitmekeerulisi raame.

\* Vt. XVI ptk.

Tegelikult ei kasutata selliseid suuri, poolelainepikkusi raame, mistõttu raamis indutseeritav pinge on väga nõrk. Tugevama voolu saamiseks häälestatakse raam tavaliselt pöördkondensaatori abil vastuvõetavale sagedusele. Praktikas kasutatav raamantenn võimaldab pöörlemist vertikaaltelje ümber. Raami külje pikkus või läbimõõt (ringikujulise antenni juures) on normaalselt 1—0,75 m. Raamantenni endalainet arvutatakse umbkaudse valemi järgi  $\lambda = k \cdot l \cdot n$ , kusjuures  $k$  on tegur ja võrdub kesklaineastmikus umb. 4 ning pikalaineastmikus — 7,  $l$  — on raami keerdudeks kasutatud juhtme (traadi) üldpikkus (m) ja  $n$  — keerdude arv.

**Hertzi antenniks** nimetatakse peamiselt lühilainsaatjate juures kasutatavat antennitüüpi, mis oma üldpõhimõttelt vastab eespoolvaadeldud sümmeetrilisele vibraatorile.



Joon. 78.

Joonisel 78 kujutatakse häälestatud toitejuhtmete kaudu saatjaga sidestatud Hertzi antenni. Kuna mõnikord osutub tarvilikuks saatelainet polariseerida horisontaalselt või vertikaalselt, siis vastavalt sellele kujuneb ka antenni praktiline väljaehitus (joon. 78 a ja b). Toitejuhtmete ülesanne on saateenergiat üle kanda saatjast antenni võimalikult väikeste kadudega, s. o. nad peavad evima väikest kõrgesageduslikku takistust ega tohi energiat välja kiirata (tavaliselt nad asuvadki kiirgumiseks ebasoodsais tingimuses).

Häälestatud toitejuhtmete paari pikkus on kriitiline ja sõltub ühelt poolt sellest, kuidas nad sidestatakse antenniga ja teiselt poolt — saatjaga. Toitmisviise on kaks — vooluga või pingega toitmine. Kui antenni toitepunkt asub voolu puhmas (joon. 67 ja 78;  $l = l = \frac{\lambda}{4}$  või  $\frac{\lambda}{4} n$ )\* ja toitejuhtmed on

\*  $n$  on täisarvuline koefitsient.

sidestatud saatjaga voolu kaudu (joon. 78 a, olukord, mil kondensaatorid  $C_1, C_2$  on lülitatud järjestikku;  $C_3$  puudub), või kui antenni toitepunkt asub pinge puhmas (joon. 67 ja 78;

$l = l = \frac{\lambda}{2}$  või  $\frac{\lambda}{2} n$ ) ja toitejuhtmed on saatjaga sidestatud

pinge kaudu (joon. 78 a, olukord mil  $C_3$  on lülitatud paralleelselt;  $C_1$  ja  $C_2$  puuduvad), siis toitejuhtmete paari pikkus kujuneb võrdseks paaritule veerandlainepikkuste arvule

$[\frac{\lambda}{4} (2n-1)]$ ; kui toitejuhtmed on otstes sidestatud erinevalt,

siis — paarilisele veerandlainepikkusele ( $\frac{\lambda}{4} 2n$ ).

Täpsema arvutluse kohaselt tuleb juhtme pikkus ( $l_1$ ) võtta vastavast lainepikkusest 1,65 korda väiksem.

Peale kirjeldatud põhitüübilise Hertzi antenni leiavad praktilist kasutamist sellest otseselt või kaudselt tuletatud teisendid, nagu Zepp\*, ühetoitejuhtmeline, Johnson „Q“ ja puhtakujuline dipool; viimase juures toidetakse antenni häälestamata toitejuhtmete paariga, millised sidestatakse saatjaga impedantside sobitamise teel — autotransformaatoriliselt.

Üldiselt valmistatakse kõik antennid hästijuhtivast metallist (vask, pronks) ja isoleeritakse energia kokkuhoiu mõttes portselaniga või muude kõrgeväärtuslike isoleerainetega maast ja muist kõrvalisist esemeist.

## § 29. Antenni elektrilisi omadusi.

### 1. Endalaine (-sagedus).

Antenni kui lahtise võnkeringi endasagedus sõltub antenni mahtuvusest  $C_a$  ja induktiivsusest  $L_a$ . Et pinge ja voolutugevus võnkumise ajal pole antennijuhtmes mitte ühtlaselt jaotatud (vt. joon. 67, 68), nagu kinnises võnkeringis, siis on antenni tegelik mahtuvus ja induktiivsus oma **staatilistest suurustest** (mida on võimalik määrata mõõtmiste teel, kui antenn ei võngu) väiksemad ja neid nimetatakse antenni **dünaamiliseks mahtuvuseks ja — induktiivsuseks.**

Antenni dünaamiline mahtuvus

$$C_a = \frac{2}{\pi} \cdot C_s \text{ ja}$$

\* Zeppelin-antenni nimetuse lühend.

— dünaamiline induktiivsus

$$L_a = \frac{2}{\pi} \cdot L_s$$

kusjuures  $C_s$  ja  $L_s$  tähistavad antenni staatilisi suurusi.

**Antenni endalaineks** ( $\lambda_o$ ) nimetatakse seda lainepikkust, mil antenn kiirgub ilma igasuguste lisainduktiivsuste ja lisakondensaatoriteta. Kasutades Thomsoni valemit

$$\lambda_o = \frac{2\pi}{100} \cdot \sqrt{C_a \cdot L_a}$$

ehk staatiliste suurustega väljendatult

$$\lambda_o = \frac{2\pi}{100} \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi} \cdot C_s \cdot \frac{2}{\pi} \cdot L_s} = \frac{4}{100} \cdot \sqrt{C_s \cdot L_s}$$

Endalaine oleneb  $C_a$  ja  $L_a$  suurustest, seega antenni kujust ja mõõdetest. Teatavasti sümmeetrilisel vibraatoril  $\lambda_o = 2,1 l$  ja assüm. vibraatoril  $\lambda_o = 4,2 l^*$ .

Suurenedes näiteks L- ja T-antennide juures rööbiti-kiirte arvu, suureneb selle tõttu  $C_a$ , kuid väheneb  $L_a$ , sest rööbiti-kiirte induktiivsused on omavahel rööbitilülituses.

Kui saatja võimsus ja antenni efektiivkõrgus jäävad konstantseks, siis pinge amplituud antennis on seda väiksem, mida suurem on  $C_a$ , sest ka siin on maksev valem  $U = Q : C$ . Suure võimsusega saatjais ollakse sunnitud antenni mahtuvust suurendama, et vältida antenni isolatsiooni ohtlikkust ja vähendada kadusid.

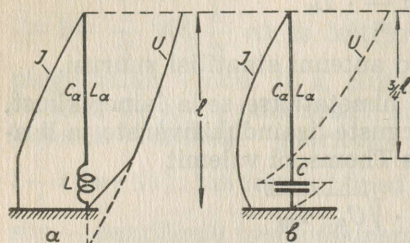
## 2. Endalaine (-sageduse) muutmine.

Praktilisel kasutamisel tekib tihti vajadus muuta antenni endalainet, s. o. muuta tema kui võnkeringi endasagedust. Selleks on vaja kunstlikult muuta antenni mahtuvust või induktiivsust või neid mõlemaid korraga.

Laine suurendamiseks ühendatakse antenni järjestikku kas konstantse või muutuva induktiivsusega endainduktsioon-pool  $L$ , mida tavaliselt nimetatakse antenni pikenduspooliks. Antenni induktiivsuse suurendamisega kasvab harilikult ka antenni oomiline takistus. Kui pooli asemel kasutatakse variomeetrit (vt. § 14), siis induktiivsusega varieerides

\* Vt. märkus lk. 79.

oomiline takistus ei muutu. Joonis 79 a kujutab graafiliselt voolu- ja pingeaotust sellises antennis. Siin



Joon. 79.

$$\lambda = \frac{2\pi}{100} \cdot \sqrt{(L_a + L) \cdot C_a}$$

Endalaine vähendamiseks ühendatakse antenniga järjestikku kondensaator  $C$ . Joon. 79 b kujutab skemaatiliselt sellist antenni, koos

voolu ja pinge graafikutega. Siin  $\lambda = \frac{2\pi}{100} \cdot \sqrt{\frac{C \cdot C_a}{C + C_a} \cdot L}$

Kui antenni lülitada  $L$  ja  $C$  järjestikku (joon. 80 a), siis

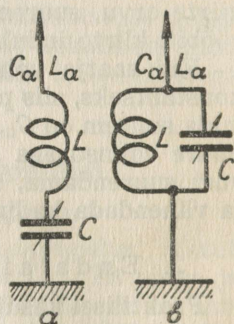
$$\lambda = \frac{2\pi}{100} \cdot \sqrt{(L_a + L) \cdot \frac{C \cdot C_a}{C + C_a}}$$

Mõnikord võib osutada vajalikuks, eriti vastuvõtul, antenni endalaine pikendamiseks lülitada antenni  $C$  ja  $L$  rööbiti (joon. 80 b). Sel puhul

$$\lambda = \frac{2\pi}{100} \cdot \sqrt{(L_a + L) \cdot (C_a + C)}$$

Toodud valemeis tähistab  $\lambda$  — lainepikkust meetreis,  $L_a$  ja  $C_a$  — antenni dünaamilist induktiivsust ja mahtuvust sentimeetreis,  $L$  ja  $C$  — lisainduktiivsust ja -mahtuvust sentimeetreis.

Praktiliselt võib lisainduktiivsuse ja -mahtuvuse lülitamise kombinatsioonidega suurendada antenni endalainet kuni 5 korda ja vähendada 1,5—2 korda.



Joon. 80.

### 3. Antenni oomiline takistus.

Antennis esinevad kinnisele võnkeringile analoogilised kaod. Kõik kaod peale kiirgumiskadude on kahjulikud, sest nende tõttu suur osa energiast muundub kasutult soojuseks. Suurim osatähtsus nende kadude tekkimises on **antenni oomilisel takistusel**, mille moodustavad: antenni juhtme takistus, ülemineku (kontakti) takistus maanduseks kasutatud metall-

osade ja maapinnase vahel, maapinna takistus ja vastukaalu juhtmete takistus (juhul kui viimast kasutatakse maanduse asemel). Mida suurem on antenni takistus, seda väiksem on (ühe ja sama võimsuse juures) voolutugevus ja seda väiksem väljakiirguva energia hulk. Antennitakistus kõigub (maanduse kasutamisel) suurte ja hästi ehitatud saatjate juures 2—5  $\Omega$ , laevajaamades 10—15  $\Omega$  ja väljajaamades juhusliku maanduse puhul 15—100  $\Omega$ .

Peale otseste oomiliste kadude põhjustavad soovimatuid kadusid saateantennis veel:

— Antenni naabruses asetsevad juhtmed ja metallkonstruktsioonid, neis indutseeruvate voolude tõttu; säärsed metallesemad, olles ühises väljas antenniga, põhjustavad antennile lisakoormuse, samuti nagu voolu all olev sekundaarmähis tekitab lisakoormust transformaatori primaarmähises. Säärasteks metallesemeteks võivad antenni juures olla antenni mastid ise, tõmbitsad ja ehitised, milles on näiteks ohtralt kasutatud metalltalasid jne. Juhul kui nende ligidus on vältimatu, peab hoolitsema vähemalt selle eest, et neis metallkonstruktsioones ei tekiks seisvaid laineid, s. o. et nende mõõted ei asuks harmoonilises vahekorras kasutatavate saatelainete poolpikkustega. Selleks antennimastid isoleeritakse portselan- või graniitalustega maast, tõmbitsad jaotatakse isolaatoritega mitmeks metallosaks jne.

— Kaod defektsses isolatsioonimaterjalis; eriti ohtlik on antenni ülemine ots, kus asub pingepuhm: nõrk isolatsioon põhjustab antennis pidevalt lahendumist isolatsiooni takistuses, mis asub rööbiti antennile kui võnkeringile. Tuleb pidada meeles, et antenni tipus tõusevad pinged saatjas kasutatavate alalisvoolu pingete mitmekordsete väärtusteni.

— Teravikkaod, mis tekivad antennis, pingepuhmade asukohtades kõrge pinge tõttu ioniseeruvas õhus; öösiti säärsed ioniseeritud kohad helgivad sinaka valgusega. Võimsuse kaod avalduvad siin analoogiliselt kadudele defektsses isolatsioonimaterjalis. Teravikkadusid soodustavad kõrge potentsiaali all asetsevad teravikud antenni juhtmes, milledest tuleb hoiduda kadude vähendamiseks.

— Dielektriku hüstereeskaod saateantenni naabruses asetsevais esemeis; ainult kui õhk antenni ümbruses moodustab täiuslikuma keskkonna antennist väljuva elektrostaa-tilisvälja kiirgumiseks; kõik muud, eriti antenni vahetus läheduses asetsevad esemed põhjustavad hüstereesikadusid ja seepärast tuleb neid võimalikult eemaldada.

Kõigi mainitud kadude põhjustega arvestades, püstitab moodne raadiotehnika saatejaamade plaanitamisel nõude, et antenn tuleb viia saatejaamast eemale lahtisele maastikule, kus energia väljakiirgumine antennist toimub kõige soodsamais tingimuses, s. o. minimaalsete kadudega. Seejuures juhitakse energia saatejaamast antenni häälestamata toitejuhtmete kaudu samuti kui elektri jõujaamast energia transportitakse tarvitaja kätte.

Antennis kõiki soojuskadusid põhjustav resulteeriv

$$R = k \cdot \frac{\lambda}{\lambda_0}$$

kusjuures  $k$  on arvuline tegur, mis määrab antenni omadusi ja kõigub heade antennide juures 0,4—2,5;  $\lambda$  — on töölaine ja  $\lambda_0$  antenni endalaine.

#### 4. Antenni kiirgumistakistus.

Peale kahjulike soojuskadude esinevad antennis veel kasulikud kiirgumiskaod. Sedaselti kadude suurusest oleneb antennist maailmaruumi leviva energia suurus, s. o. saatja ulatavus ja kasutegur.

Antenni kiirgumisvõimsus  $N_k$  (vattides) arvutatakse alljärgneva valemiga.

$$N_k = I_a^2 \cdot \frac{1580 \cdot h^2_{ef} *}{\lambda^2}$$

kusjuures  $I_a$  on mõõdetud voolutugevus antennisitüves (voolupuhmas). Valemist nähtub, et mida tugevam on antennis vool, mida kõrgem on antenn ja mida lühem on laine, seda suurem on kiirgumist tekitav võimsus. Analoogiliselt tavalisele vooluvõimsuse valemile ( $N = I^2 \cdot R$ ), nimetatakse avaldist  $1580 \cdot h^2_{ef} : \lambda^2$  — **kiirgumistakistuseks**, mis tähistatakse  $R_k$ -ga ja väljendatakse oomides.

$$R_k = \frac{1580 \cdot h^2_{ef}}{\lambda^2}$$

Seega antenni üldtakistus on oomilise- ja kiirgumistakistuse summa

$$R_a = R + R_k$$

\* Praktiliselt leiab kasutamist selle valemi kuju  $N_k = I_a^2 \cdot \frac{1600 \cdot h^2_{ef}}{\lambda^2}$

Näide: Olgu saatja antenni efektiivkõrgus  $h_{ef} = 10$  m, maksimaalne antennivool (mõõdetud voolupuhmas)  $I_a = 10$  A, töölane 400 m ja antenni oomiline takistus  $R = 14 \Omega$ .

$$N_k = I_a^2 \cdot \frac{1580 \cdot h_{ef}^2}{\lambda^2} = 100 \cdot \frac{1580 \cdot 100}{160000} \approx 100 \text{ vatti}$$

$$R_k = \frac{1580 \cdot h_{ef}^2}{\lambda^2} = \frac{1580 \cdot 100}{160000} \approx 1 \Omega$$

$$R_a = R + R_k = 14 + 1 = 15 \Omega$$

Antenni üldvõimsus

$$N_a = I_a^2 \cdot R_a = 100 \cdot 15 = 1500 \text{ vatti.}$$

$$\text{Antenni kasutegur } N_a = 100 \cdot 100 : 1500 = 6,6\%.$$

Näites toodud arvutusest nähtub, et antennis äratarvitatavast võimsusest vaid 100 vatti kiirgub maailmaruumi, kuna 1400 vatti kulutatakse antenni oomilisel takistusel mitmesuguste kadude kompenseerimiseks. See iseloomustab ühtlasi kuivõrd suurt tähtsust evib antenni oomilise (nn. kahjuliku) takistuse vähendamine ja kiirgumistakistuse suurendamine.

On ilmne, kuivõrd oluliseks osutub töötamine saateantenni endalainel, mil langeb ära tarvidus pikenduspoolide sisselülitamiseks antenni. Teisest küljest on endalainel toimiva saateantenni kiirgumistakistus maksimaalne ja võrdub maandatud vertikaalantenni (veerandlaineantenn) juures keskmiselt 40 oomiga\*. Endalainel toimivate saateantennide kasutegur ulatub sageli 75—80%. Kahjuks pole alati praktiliselt võimalik kasutada saateantenni endalainet; sobitamiseks kasutavad lisaabinõud aitavad aga kiirgumistakistust alla suruda, nagu seda nägime eeltoodud näite juures ( $R_k = 1 \Omega$ ). Igal juhul tuleb püüda vältida oomilisi kadusid, et seega tõsta kiirgumistakistuse osatähtsust antenni üldtakistuses.

Dipool- ehk „poollaineantennid“ on oma võimekuse suhtes üldiselt paremad nn. „veerandlaine“- (maandusega) antennidest, sest et neis üleminekutakistuse puududes on oomiline takistus väiksem maandusega antennidest. Samuti on dipoolantennide kiirgumistakistus endalainel kaks korda suurem maandusega antenni kiirgumistakistusest ja võrdub keskmiselt 80 oomiga. Kuna dipoolantenn toimides [endasegdusel]

\*  $\lambda = 4h$ ;  $h_{ef} = \frac{2h}{\pi}$  ja  $h = \frac{h_{ef} \cdot \pi}{2}$ ;  $\lambda = 2\pi h_{ef}$ . Seda avaldist kiirgumistakistuse valemisse asetades

$$R_k = 1580 \left( \frac{h_{ef}}{2\pi h_{ef}} \right)^2 = \frac{1580}{4\pi^2} = 40 \Omega$$

*endasegdusel*

evib kaks korda pikemaid mõõteid, siis leiab ta kasutamist ainult lühilaineil\*. Peale selle evib dipoolantenni kiirgus õige tunduvat suuna mõju.

### 5. Põhi- ja harmoonilised lained.

Antenni kui lahtise võnkeringi võnkumise põhised määratakse teatavasti Thomsoni võnkumisvalemiga. On pandud tähele, et ühel ja samal ajal võib antenn peale põhiseduse võnkuda veel kõrvalsagedusil. Need kõrvalsagedused (resp. lained), mida nimetatakse **harmoonilisteks**, on kindlas täisarvulises vahekorras antenni põhisedusega (lainega).

Praktiliselt avalduvad harmoonilised võnkumised selles, et saatja läheduses on sama saatjat võimalik vastu võtta, mitte üksnes tema põhilainel, vaid ka harmoonilisel lainel.

Antud põhilaine juures harmoonilised lained ( $\lambda_n$ ) leitakse sel teel, et põhilaine pikkus ( $\lambda$ ) jagatakse täisarvude reaga

$$\lambda_n = \frac{\lambda}{n} \quad (n = 1, 2, 3, 4 \text{ jne.}).$$

Seepärast räägitakse I-st\*\*, II-st, III-st jne. harmoonilisest. Näiteks kui  $\lambda = 1000$  m, siis II harmooniline  $\lambda_2 = 1000 : 2 = 500$  m, III harmooniline  $\lambda_3 = 1000 : 3 = 333,3$  m jne.; — ehk põhiseduse  $f = 300$  kHz, mis vastab lainepikkusele 1000 m, suhtuvad harmoonilised sagedused  $f_2 = 300 \cdot 2 = 600$  kHz,  $f_3 = 300 \cdot 3 = 900$  kHz jne.

Harmoonilised võnkumised vähendavad saatejaama kasulikkust võimsust põhilainel ja segavad oma mõjupiirkonnas teiste jaamade vastuvõttu, seepärast püütakse neid, kui mitte täiesti kaotada, siis vähemasti nende võnkumise amplituudi viia miinimumini.

Antenni harmoonilist lainet kasutatakse tegelikult töölaiks mõningail juhtudel lühilainete juures, kus antenni põhilainet pole võimalik lühendada, saatjale ettenähtud lainepikkuse tasemeni ja kui soovitakse eelistada kiirgumist teatavas suunas või suundades.

## § 30. Maandus ja vastukaal.

Teatavasti moodustab tavaliste antennide (assümmeetr. vibr.) juures maapind ühe osa lahtisest võnkeringist. Juhtivat ühenduskohta (kontakti) antenni või selle osade ja maapin-

\* 2000 m lainel toimiva saatedipooli pikkus peaks olema ligemalt 1000 m.

\*\* I harmooniline on põhilaine (põhisedus).

nase vahel nimetatakse **maanduseks**. Juhet, mis ühendab maanduse saate- või vastuvõtteaparatuuriga ja moodustab tegelikult antenni alumise osa, nimetatakse **maandusjuhtmeks**.

Joonisel 81 kujutab  $A-A$  — antenni,  $A-M$  — kõrgesagedustransformaatori sekundaarmähist, mille kaudu sünnib energia kandumine saateaparatuurist antenni, ja  $M-M$  — maandusjuhet.

Maandusjuhet läbib antennijuhtmes tekkiv kõrgesagedusvool, mille puhm asub teatavasti maapinnal. Seepärast valitakse maandusjuhtmeks ristlõikelt vähemasti antennile vastav juhe ja isoleeritakse oma teekonnal, nagu antenn kunagi, kõrvalisest esemeist. Maandusjuhe olgu võimalikult lühike. On näiteks hoopis vale, eriti saatja juures, kasutada naeltega seina külge kinnitatud isoleerimata maandusjuhet.

Maanduseks kasutatakse tavaliselt metallist veevärgi- ja gaasi-torustikke, erilisi maa sisse kaevatud ja kuni põhjavee kihtideni ulatuvaid plaate, traatvõrke jne. Kui põhjavesi on maapinna lähedal, siis sageli hea maanduse saamiseks kaevatakse pinnasesse antenni alla viimasega ja omavahel rööbiti asetsevaid paljasjuhtmeid (näit. 2—5 mm vask või raud); üksikute juhtmetevaheline kaugus ei või ületada 0,1 h.

Maandus on seda parem, mida väiksem on ülemineku takistus antenni ja maapinnase vahel. Seetõttu tulevad maanduse ehitamisel praktiliselt kasutamisele vee (põhjavee, merevee, kaevuvee jne.), virtsa ja teiste soolasid sisaldavate vedelike juhtivuse omadused.

Kui pinnas on liivane, kivine, kuiv jne., s. o. halva juhtivuse omadustega, siis kasutatakse maanduse asemel nn. **vastukaalu** (joon. 82). Vastukaaluks nimetatakse, tavaliselt antenni all paigunevat, isoleeritud juhet või juhtmeid, mis moodustavad antenni mahtuvuse (kondens.) „teise plaadi“ (vrld. assüm. vibraator). Tema peamiseks paremuseks on asjaolu, et evib madalat ja püsivat oomilist takistust ja et tema mahtuvus on



Joon. 81.



Joon. 82.

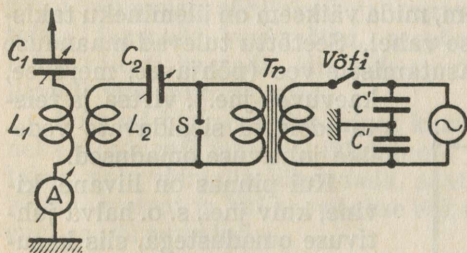
täiesti konstantne, kuna puudub muutliku elektriliste väärtustega „ülemineku-kontakt“.

Et antennist lähtuvad tungjooned ei satu kõik vertikaalselt alla, vaid levivad ruumis laiali, siis on soovitav teha vastukaal antennist pikem, samuti laiem. Tavaliselt oleneb vastukaalu pikkus antenni kõrgusest ja teatavil juhtudel ta on antenni pikkusest kaks korda suurem. Laiuse saavutamiseks valmistatakse ta mitmekiireline.

Vastukaalu ja maa vahel võnkumise kestel tekkiv vahelduv pingepõhjustab teatavaid kadusid (näit. dielektrilised kaod, fukoovoolud jne.). Nende vältimiseks asetatakse vastukaal maapinnast kõrgemale isoleeritud vaiadele. Vastukaalu tõstmine kõrgemale vähendab aga antud antennimasti kõrguse juures antenni kõrgust, seega nõrgendab kiirgumise võimsust. Liikuvais raadiojaamades asetatakse vastukaal tavaliselt 1—1,5 m kõrgusele maapinnast.

### § 31. Saatejaama üldmõiste.

Kui elektromagnetilise energia levitamise otstarbel võnkuv kinnine võnkering sidestatakse antenniga, siis sellist seadist nimetatakse saatejaamaks ehk lühendatult saatjaks. Saatejaamad liigitatakse võnkumiste tekitamise iseloomu järgi (vt. § 21 ja § 24) kustuva ja kustumatu lainega saatjateks.



Joon. 83.

Joon. 83 on näidatud kustuva lainega saatejaama põhimõtteline lülitus. Energia allikaks on vahelduvvoolu alternaator, mis toidab võtme kaudu transformaatori primaarmähisist. Kõrgesagedusvoolude tõkestamiseks alternaatorisse, on mähisele rööbiti lülitatud

plokk-kondensaatoreist  $C'—C'$  koosnev kõrgesagedusfilter.

Kinnise võnkeringi kondensaatori  $C_2$  laadimine toimub transformaatori sekundaarmähisest. Et saada kondensaatoril suuremat laengut, selleks tõstetakse laadivat pinget. Kinnine võnkering on ühendatud antenniga induktiivselt. Antenni endalaine muutmiseks kasutatakse kondensaatorit  $C_1$ .

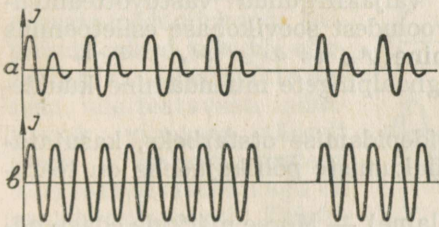
Antenni tüves tavaliselt paiguneb ampermeeter (kuumus-traat- või termoside-süsteemiline) kõrgesagedusvoolude mõõtmiseks. Kui teatavale sagedusele antenni häälestades ampermeeter näitab maksimaalset voolutugevust, siis on lahtine võnkering häälestatud kinnise võnkeringi sagedusele.

Kui toitevõimsust juhtida saatjasse telegraafi-võtme abil, siis kiirgab antenni kaudu maailmaruumi terve rida kustuvaid kõrgesagedusvõngete rühmi, võtmega tastimise\* taktis. Selliste rühmade sagedus (nende arv sekundis) oleneb sädemete sagedusest.

Kui oletada, et alternaatori voolusagedus on näiteks 500 per/sek., siis sädemete arv on tavaliselt (säde tekib alternaatori pinge iga poolperioodi maksimaalamplituudi juures) poole suurem, s. o. 1000 sädet.

Hiljem näeme, et sellise jaama töö vastuvõtmisel tekib vastuvõttejaamas heli, mille õhuvõngete sagedus võrdub saatja sädemete sagedusele.

Kasutades võtit on võimalik pikema (kriips) või lühema (punkt) aja vältel tekitada võngete rühmi (joon. 84 a), millele rütm vastab Morse märkidele.



Joon. 84.

Kõik kustuva lainega raadio ehk sädejaamad töötavad sädemiku printsiibil ja neid on võimalik kasutada vaid Morse märkide edasiandmiseks, s. o. telegraferimiseks.

Kui antenni toitvas võnkeringis tekitatakse kustumatu amplituudiga võnkumist, siis kiirgab antenn samuti kustumatuid võnkeid. Neid võnkeid on võimalik ära kasutada nii telefoniliseks kui ka telegraafiliseks sidepidamiseks. Joonis 84 b kujutab selliseid võnkumiste gruppe Morse märgi (täht N) üleandmisel.

Kustumatu lainega töötavad lampsaatjad, masin-saatjad ja kaartulesaatjad. Esimest kui kõige täiuslikumat ja tarvitatavamat saatja tüüpi vaadeldakse lähemalt edaspidi (vt. §§ 45, 46).

\* Tastimiseks nimetame töötamist telegraafi- ehk Morse võtmega Morse tähestiku järgi.

Masin- ja kaartule-saatjate praktiline tähtsus on praegusel ajal muutunud seevõrra väikeseks, et puudub tarvidus nende lülituste käsitlemiseks käesolevas teoses.

## VI. VASTUVÖTT KRISTALLDETEKTORIGA.

### § 32. Vastuvõtu üldpõhimõtteid.

Eespool tutvuneti nähtusega, kuidas on võimalik elektromagnetilist energiat levitada maailmaruumi, mis ruumieetri kaudu võib levida, vastavalt saateenergia tugevusele ja levimise tingimustele, sadade ja tuhandete kilomeetrite kaugusele.

Käesolevalt käsitletakse tingimusi ja seadmeid, mis tarvilikud saateantennist maailmaruumi kiirgunud elektromagnetiliste lainete kinnipüüdmiseks ja meeltele tajutavakujuliseks tegemiseks.

Vastuvõtu ülesandeks on esijoones:

- paljudelt saatjailt väljakiirgunud vastuvõtteen-  
nis indutseerunud vooludest soovikohase esiletoomine  
ja teiste elimineerimine; *hõveldamine*
- kõrgesageduslike signaalpingete muundamine kuulde-  
sageduslikeks.

Praktikas raadioteel, sidepidamise otstarbeks, kasutata-  
vate elektromagnetiliste võnkumiste põhikujudeks on teata-  
vasti\*:

- kustuv võnkumine (laine) — Morse märkide edasiand-  
miseks ja
- kustumatu võnkumine — Morse märkide ja mitmesu-  
guste helide (kõne, muusika jne.) ning signaalide (pil-  
did, kaugenägemine) — edasiandmiseks.

Kustumatu võnkumise algkuju (joon. 85 a) nimetatakse  
**põhisageduseks ehk kandevlaineks.**

\* Rahvusvaheliselt on sidepidamise otstarbel levitatavad raadiolai-  
ned jagatud liikidesse ja nende tähistus on üldjoontes ning üldsõnastu-  
ses järgmine:

- Laine tüüp  $A_1$  — kustumatu laine, moduleerimata telegraafitöö;  
 „ „  $A_2$  — „ „ moduleeritud telegraafitöö;  
 „ „  $A_3$  — „ „ kõne ja muusika ülekanded;  
 „ „  $A_4$  — „ „ peam. kaugenägem. ülekanded;  
 „ „ B — kustuv laine, telegraafitöö.

(Lainete täpsem määratlus vt. RT 94 — 1935. a. art. 780.)

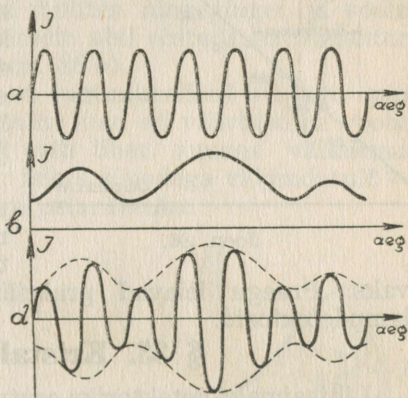
Elektrivoole, mida võivad tekitada vastavate seadiste abil inimese hääl ja muud inimese kuuldesageduse piiridesse kuuluvad õhuvõnked, nimetatakse **madalsagedus-** ehk **kuuldesagedusvooludeks**, sest nende sagedus kõrgesagedusega võrreldes on väike.

Kuna selliseid madalsageduslikke voole (joon. 85 b) pole võimalik otseselt üle kanda elektromagnetiliste võnkumistena (sest nad ei evi konstantset sagedust ega allu sinusoidsele faasidevaheldumisele), seepärast „liidetakse“ need voolud saatejaamas kõrgesageduslike vooludega (kandevlainega), millist tegevust nimetatakse **moduleerimiseks**\*

Saadav nn. moduleeritud kõrgesagedusvool evib küll oma algsagedust, kuid amplituudid pole enam võrdsed, vaid muutuvad aja suhtes madalsageduse rütmis (joon. 85 d). Sellise vooluga antennis kiirgumist tekitades ongi võimalik kõne ja helide ülekandmine.

Kui elektromagnetilise energia mõjupiirkonda paigutada mingi juhe või võnkering, s. o. vastuvõtte antenn, siis teatavasti indutseerub viimases täpselt sama iseloomustustega kõrgesagedusvool, nagu oli saatja antenniski. Telefoniga, mille abil teatavasti muudetakse elektrilised võnkumised helivõngeteks, pole võimalik selliseid kõrgesagedusvoole otseselt kõrvale kuuldavaks teha. Telefon, oma membraani inertsuse tõttu (ja ka mitmeil muil põhjusil), ei suuda reageerida kuigi suure sagedusega vooludele. Kui näiteks voolusagedus on  $10^6$  perioodi sekundis, siis peaks membraan võnkuma ühe sekundi vältel samuti miljon korda, — mis on võimatu.

Telefon, samuti inimese kõrv on suutelised reageerima väikese sagedusega vooludele ja helidele. Kõrv reageerib normaalselt helidele, millede sagedused asuvad 16—15 000 per./sek. piirides. Tegelikult on kõnes ja muusikas esine-

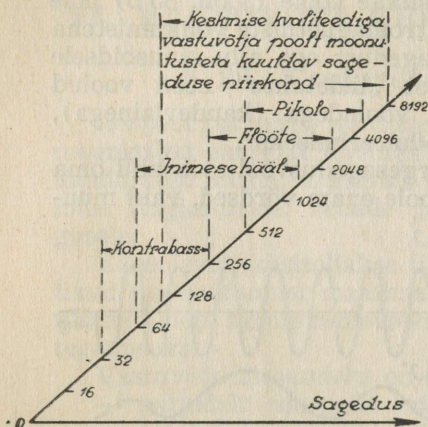


Joon. 85.

\* Moduleerimisprotsessi analüütilist käsitlust vt. § 47.

vate helide sagedused palju kitsamais piires. Joonisel 86 kujutatakse inimhääle ja mõningate muusikainstrumentide helide sageduste piirkondi.

Järelikult kõrvale tajutavaks tegemiseks on tarvis helisagedusega moduleeritud kõrgesagedusega sooritada vastu-



Joon. 86.

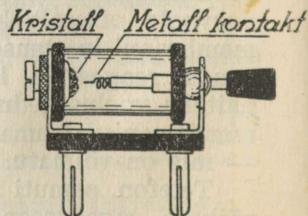
pidine toiming moduleerimisele: eemaldada sümmeetriline kõrgesageduslik põhisagedus, mis on tarvilik ainult selleks, et signaale saateantennist vastuvõtteantenni transportida. Seda võimaldab säärane seade, mis evib ebasümmeetrilist voolujuhtivust. Mainitud protsessi ennast kutsutakse **demoduleerimiseks** ehk **detekteerimiseks** ja ebalinearset voolujuhtivust põhjustav seade — **detektoriks**.\*

Seega **detektor** on seadis, millega vastuvõetavad elektromagnetilised võnkumised tehakse inimekõrvale kuulda-

### § 33. Kristalldetektor.

Lihtsaimaks detektoriks osutub kristalldetektor, mis tavaliselt koosneb kristallist ja reguleeritavast (sageli ka vetruvast) metallkontaktist. Kasutatavaimaks kristalleks on metalli- ja väevliühendid nagu — tinaläige (PbS), rauapüriit (FeS<sub>2</sub>) — siis veel räni (Si), karborundum (SiC) ja teised. Metallkontaktideks kõlbavad olevalt kristalli kõvadusest — kuld, hõbe, vask, pronks ja teras. Praktiliselt kasutatakse näiteks tinaläike ehk galeena ja rauapüriidi juures — vaske, karborundumi juures — terast jne.

Kristalldetektoreil on omadus vahel-



Joon. 87.

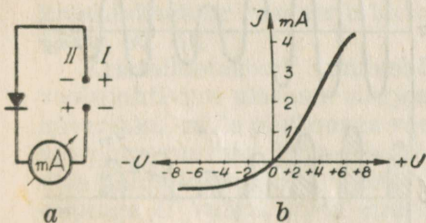
\* Ka moduleerimisprotsessile ei tule vaadata kui lihtsakujulisele lineaarsele kõrgesageduslike ja madalsageduslike voolude liitmisele, vaid kui ebalineaarsele võimsuste muundumisprotsessile.

duvaid voole ainult ühes suunas läbi lasta (unipolaarne juhtivus), s. o. neid õgvendada. On avaldatud mitmesuguseid arvamusi kristalli mainitud omaduste kohta, kuid tänini pole läinud korda seda küsimust lõplikult selgitada.

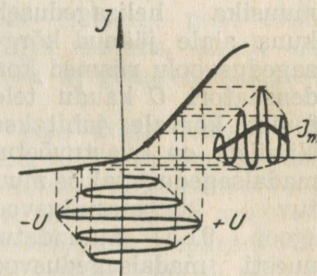
Viimasel ajal on tehtud kindlaks, et õgvendatud vool voolab teravikult siledale pinnale. Seejuures ei pruugi igakord teravikuks olla metallkontakt, vaid ka mõni terav nurk murdunud kristallis, mille suhtes metallkontakt võib osutada siledaks pinnaks. Viimased asjaolud lubavad järeldada, et õgvendamine oleneb kristalli ja metalli vahelise kontakti iseloomust.

Kui kristalldetektor lülida muutmata kontakti seisukoha juures joonise 88a järgi, alalisvoolu ringi, on võimalik mõjuva pinge polariteeti ja väärtust muutes ning pinget ja voolutugevust mõõtes saadud andmete abil ehitada nn. detektori juhtivuse tunnuskõverat (joon. 88 b).

Tunnuskõveralt nähtub, et vastunimelised võrdsed pinged põhjustavad küll erisuunalisi kuid eri väärtustega voolutugevusi. Järelikult kristall evib ühes suunas väiksemat oomilist takistust kui teises; teiste sõnadega väljendatult — voolu juhtivus on sõltuv pinge polariteedist.



Joon. 88.



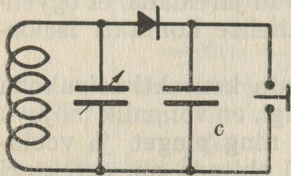
Joon. 89.

Näiteks, kui pinge  $U$  on 2 volti, siis  $I$  on 1 mA; on  $U$  4 volti, siis  $I$  on 3 mA jne. Ergutades kristalli negatiivses suunas (muutes pinge polariteeti), läbib seda väga nõrk vool. Mingis teises kontaktikohas võivad kirjeldatud nähtused olla just vastupidised.

Et lähemalt vaadelda, kuidas kristalldetektor reageerib vahelduvvoolule, selleks asendame (joon. 88 a järgi) alalispinge  $U$  moduleeritud kõrgesageduspingega. Selle positiivsete poolperioodide puhul läbib kristalldetektorit palju tuge-

vam vool kui negatiivsete puhul (joon. 89). Diagramm on saadud selliselt, et vertikaalteljel kujutatud kõrgesageduspinge  $U$  muutustele vastavalt on horisontaalteljele kantud selle poolt põhjustatud voolumuutused. Kuna kristalldetektorit takistus, ühes ja samas kontakti kohas, ühesuunalistele vooludele on ligikaudu konstantne suurus, siis igal hetkel voolutugevus  $I = \frac{U}{R}$ .

Seega kristallile mõjuva kõrgesageduspinge  $U$  ja kristalli läbiva voolu graafilised kujud on sarnased ning omavahel faasis.

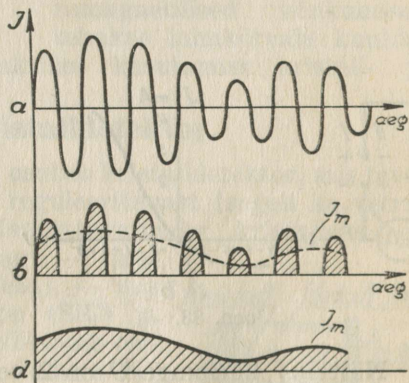


Joon. 90.

Kui detektoris õgwendatud pulseeriv vool\* juhtida läbi rööbitlülitatud telefonidest\*\* ja mahtuvusest  $C$  (joon. 90) moodustatud filtri, siis telefone läbiv vool on kaotanud täielikult kõrgesagedusliku voolukomponendi. Säärast

õgwendamise protsessi koos silumis-filtrimisega — nimetatakse **alaldamiseks**. See kõne taktis muutuv alalisvool  $I_m$  (joon. 89 ja 91 d) läbib telefoni, pannes viimase membraani

õõtsuma vastavalt kõne või muusika helisagedusele, kuna alale jäänud kõrgesagedusvoolu riismed kondensaatori  $C$  kaudu telefonist kõrvale juhitakse. Niiviisi on vastuvõetud madalsageduse taktis muutuv kõrgesagedusvool (joon. 91 a) muundatud uuesti madalsagedusvooluks, mis evib moduleeriva voolu sagedust kuju ja faasi (kõnet, muusikat jne.). Joonisel 91 kujutatakse graafiliselt demodulatsioonit üksikasjalist käiku: a) vastuvõetud moduleeritud kõrgesagedusvool, b) detek-



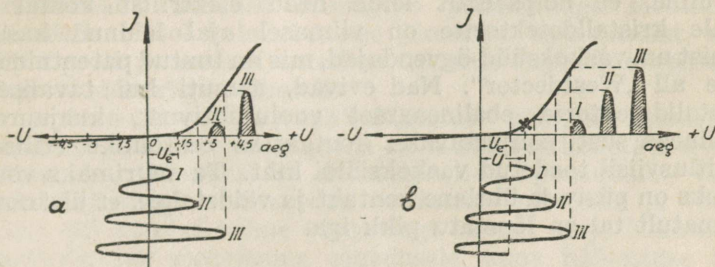
Joon. 91.

\* Pulseerivaks vooluks nimetatakse säärast ühesuunalist voolu, mille väärtus aja suhtes muutub; seejuures voolumuutused ei tarvitse sugugi olla seotud reeglipärasusega.

\*\* Telefonide lähem kirjeldus on teisel.

toris õgvendatud kõrgesageduslikult pulseeriv vool ja d) helisageduse rütmis kõikuv alaldatud vool — telefonis.

Mõningais kristalldetektoreis väikeste pinge-amplituudide puhul voolu üldse ei teki. Vool tekib näiteks positiivsete pinge-amplituudide mõjul alles siis, kui need ületavad teatava pinge väärtuse  $U_e$  (joon. 92 a). Seda pinget väärtust nimetatakse kristalli **virgutussläveks**\*. Mainitud kristalldetektorite tundlikkus normaallülituse juures on väike. Tund-



Joon. 92.

likkuse suurendamiseks ühendatakse kristalliga järjestikku mingi alalisvooluallikas, mille pinget võrdub  $U_e$ . Sellist tegevust nimetatakse **eelpingestamiseks**. Eelpinge peab evima kriitilist väärtust ja mõjuma õiges suunas, ainult siis kristalldetektor reageerib ka väikesile kõrgesageduspingetele (joon. 92 b).

Kristalldetektoritunnuskõver pole kogu ühesuunalise voolujuhtivuse ulatuses sirgjooneline, vaid evib alumises osas kõverikku, mille piirkonnas voolumuutused pole enam võrdelised pingemuutustele ja mis väikeste sisenduspinge amplituudide puhul kutsub esile vastuvõtu moonutuse. Seepärast tuleb eelpinge  $U$  valida  $U_e$ -st suurem ja sellisel määral, et kristalldetektoritööpunkt paiguneks tunnuskõvera sirgjoonelisele osale (joon. 92 b ristiga märgitud).

Kristalli headus sõltub ta õgvendamise omadusist. Mida järsum on tunnuskõvera tõus, seda parem on kristalldetektor õgvendajana.

Praegu valmistatakse kristalle sünteetiliselt. Neist kõige eelistatum kristall „Galeen“ on tinasulfiidi, antimoni ja hõbeda sulatise kristalliseerumise toode. Õgvendamise omaduselt on nimetatud kristall parem looduslikest kristaldest. Ta virgutusslävi on väike ja tunnuskõvera tõus väga järsk,

\* Ka ärritusläveks.

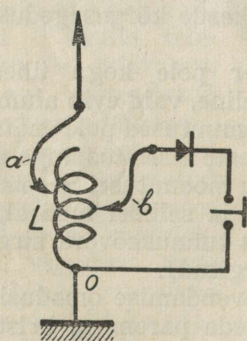
mistõttu ta evib suurt tundlikkust ega vaja eelpingestamist. Kristalldetektor peab olema varustatud seadistega, mis võimaldab kontakti tugevuse reguleerimist ja tolmu eest kaitsmist. Kristalli puhastamiseks kõlbab alkohol ja eeter. Pikaajalisel kasutamisel kristalli pind deformeerub, mistõttu ta õgvendamise omadused halvenevad. Seesugused kristallid tuleb uutega asendada või neile murdmise teel tekitada uued aktiivpinnad. Mõnikord tehakse metallkontakt mitmeharuline, et hõlpsamalt leida head elektrilist kontakti. Peale kristalldetektorite on viimasel ajal leidnud kasutamist nn. vaskoksüüd-õgvendajad, mis on tuntud patentnimeuse all „Westdecor“. Nad evivad, samuti kui tavalised kristalldetektorid ebalineaarset voolujuhtivust, kusjuures ebalineaarset põhjustavaks kontaktiks on õhuke erilisel käsitusviisil toodetud vaskoksüüdi kiht. Ta suurimaks voo- ruseks on püsiv ja ühtlane kontakt ja väidetakse, et ülekoormamatult tal on lõpmatu pikk iga.

### § 34. Lülitisi kristalldetektoriga.

Lihtsaim elektromagnetiliste lainete vastuvõtteseadis on detektorvastuvõtja. Ta koosneb võnkeringist, kristall- detektorist ja sinna juurde kuuluvaist telefonest. Ühendades



Joon. 93.



Joon. 94.

antenni, kristalldetektori ja telefonid järjestikku (joon. 93), õgvendatakse antennis võnkuv kõrgesagedusvool kristalldetektoris. Õgvendatud vool paneb omakorda tööle telefonid ja nii ongi võimalik kuulata mingi raadiosaatejaama tööd.

Kuna telefoni ja kristall- detektori oomiline takistus on tavaliselt tuhandeid oome, siis muutub antenn nendega järjestikku lülitatult aperioodiliseks. Säärane lülitis ei kõlba oma ebatundlikkuse

tõttu kaugevastuvõtuks, küll aga võiks seda kasutada suure võimsusega saatejaamade läheduses, mõne km kaugusel. Tegelikult kasutatakse seda lülitust siiski väga harva.

Teatavasti peab antenni oomiline takistus olema väike,

seepärast tuleb leida sobivamaid viise kristalldetektori ja peatelefonide sidestamiseks antenniga. Teisest küljest on vajalik antenni häälestada vastuvõetavale sagedusele, et saada suuremat võnkuvat energiahulka vastuvõtteseadises\*. Praktiliselt on see teostatav joonisel 94 näidatud lülituse kohaselt.

Selles lülituses on antenni asetatud endainduktsioon-pool *L*. Pool on varustatud kahe libiseva kontaktiga, mida on võimalik ükskõik missuguse poolikeeruga metalliselt ühendada. Pool valmistatakse jämedast vasktraadist, mistõttu pooli ja antenni oomiline takistus kujuneb kõrgesagedusvooludele väga väikeseks.

Antenn koos järjestikkulülitatud pooliga moodustab võnkeringi, mille endasagedus on muudetav kontakti *a* abil. Libistades kontakti *a* antennipoolsele pooliotsale väheneb võnkeringi endasagedus (endalaine pikeneb) ja vastupidi. Sel kombel võime võnkeringi täpselt välja häälestada vastuvõetava saatejaama sagedusele, kuna häälestuse täpsusest oleneb vastuvõetava energia tugevus. Resonantsi puhul tekib pooliotsade vahel küllaldane kõrgesageduspinge, mis surub voolu läbi kristalldetektori ja telefoni. Kui vastuvõetavas saatejaamas kõrgesagedusvool moduleeriti kõnevooluga, siis kristalldetektorilt demoduleeritud vool tekitab vastuvõtja telefonis sama kõne.

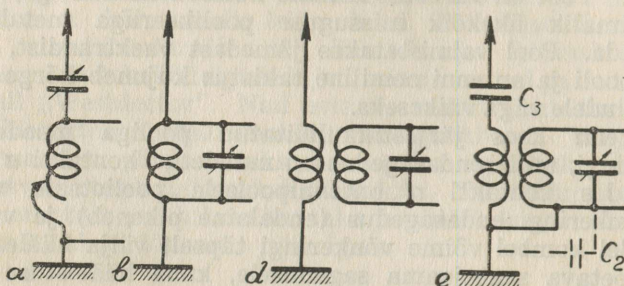
Helitugevus oleneb punktide *o*—*b* vahel, s. o. kristalldetektoril valitsevast kõrgesageduspingest, mille suurus käesoleval juhul on reguleeritav kontakti *b* abil. On kontakt antennipoolsel pooliotsal, siis on sidetugevus maksimaalne, — kontakti allapoole libistamisel nõrgeneb sidetugevus. Kontakti *b* keerde mööda libistades leitakse vastav koht, millelt kostvus kõige parem. Siis on ka sidetugevus, mis sõltub võnkeringi ja kristalldetektorilise vooluringi takistuste sobitamisest, õige. Võnkering on siin generaator, kristalldetektorring — tarvitaja. Energia kõige otstarbekama ülekande juures peab normaalselt välisringi takistus võrduma siseringi takistusega ja seda saadaksegi sidetugevuse õige valikuga.

Sellisel muudetava induktiivsusega detektor-vastuvõtja häälestamine ei toimu küllalt sujuvalt, vaid hüppeliselt, sest iga keeru sisse- või väljalülitamisel muutub pooli induktiivsus siiski liiga suurel määral.

\* Vrdl. § 25.

Sujuva häälestamise saamiseks kasutatakse võnkeringi järjestikku või rööbiti lülitatud pöördkondensaatoreid vastavalt sellele, kas antenni endalaine on suurem või väiksem vastuvõtavast lainest (joon. 95. *a* ja *b*).

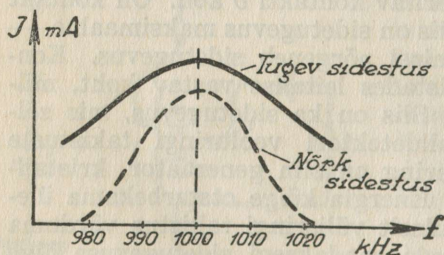
Lülitust, kus võnkering asetseb otseselt antennis (joon. 95 *a* ja *b*) nimetatakse otsesidestusega lülituseks. Otsesidestusega vastuvõtjad evivad tavaliselt halba häälestusteravust



Joon. 95.

ehk selektiivsust\*. Selektiivsuse suurendamiseks kasutatakse kaudset sidestust (joon. 95 *d* ja *e*), mida nimetatakse ka häälestamata sidestuseks.

Selektiivsus on suurel määral sõltuv ka sidetugevusest. Mida tugevam on side antenni- ja vastuvõtja vahel, seda suurem on teatava piirini ülekantava energia tugevus, kuid seda



Joon. 96.

halvem on selektiivsus ja vastupidi. Muutes sidetugevust, võime kristalldetektoris mõõdetud voolutugevuse järgi (telefon asendatakse vastava alalisvoolu mõõteriistaga) ehitada resonantskövera (joon. 96). Jooniselt nähtub samuti, et tugeva sidestuse puhul — voolutugevus suurem, kuid häälestus on tõmbim; nõrgema sidestuse puhul — voolutugevus väiksem, kuid vooluköver

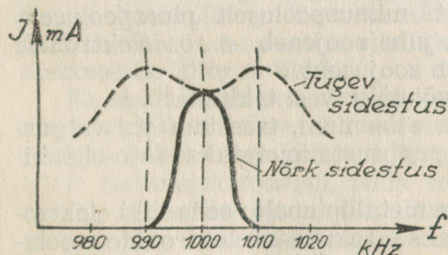
\* Selektiivsuseks nimetatakse raadiovastuvõtja juures jaamade eraldamisvõimet.

teravam, seega selektiivsus parem. Kuna selektiivsus sõltub veel võnkeringide sumbuvusest, siis on viimaste ehitamisel vajalik hoiduda võimalikest kadudest (vt. § 22).

Mõned lülitused annavad paremaid tagajärgi, kui antenni- ja võnkeringipoolid kas galvaaniliselt või mahutuvuse ( $C_2$ ) kaudu sidestada (joon. 95 e).

Kui nõrga sidestusega pole võimalik segaja saatejaama kuuldavust kõrvaldada, siis kasutatakse vahevõnkeringe (joon. 97). Sel pu-

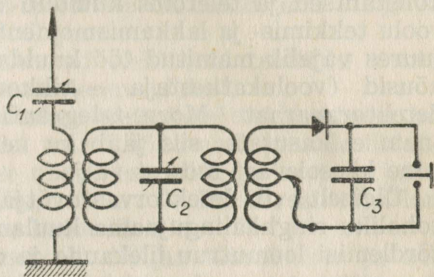
hul on häälestatavaid võnkeringe rohkem, seega selektiivsus parem. Vahevõnkeringes võib tugeva sidestuse puhul tekida kahelainelisus, mistõttu selektiivsus väheneb (joon. 98). Soovitakse selektiivsust veelgi tõsta — tuleb kasutada kahte või rohkem vahevõnkeringi. Pikkade antennide puhul lülitatakse tarbe korral antenni, selle mahutuvuse vähendamiseks (s. o. antenni endasageduse suurendamiseks), väikese mahutuvusega kondensaator ca 25—500 pF (joon. 95 e —  $C_3$ ). Üldiselt pole soovitatav, et vastuvõtja võnkeringid eviks suurt mahutuvust, sest viimane asjaolu suurendab võnkeringi sumbuvust (vt. § 21).



Joon. 98.

Kõrgesagedusvoolude eemaldamiseks telefonist lülitatakse mõnikord viimasele rööbiti plokk-kondensaator (joon. 97 —  $C_3$ ). Kuna telefoni mähiste sisemahtuvus on küllalt suur, siis praktikas ei ole selle kondensaatori järele harilikult erilist tarvidust.

Detektorvastuvõtja on kõlblik kustuva lainega saatejaamade telegraafitöö (Morse märkide) ja kustumatu lainega saatejaamade moduleeritud töö (kõne, muusika ja moduleeritud telegraafi) vastuvõtmiseks.



Joon. 97.

Moduleerimata vastuvõtulainega telegraafitöö pole telefonis põhimõtteliselt kuuldav, sest siin nii kõrgesagedus- kui õgvendatud voolude amplituudid on kogu märgi kestvusel konstantsed ja telefonis kuuldu vaid õgvendatud-alaldatud voolu tekkimis- ja lakkamismomente. Seepärast on detektori juures vajalik mainitud töö kuuldavaks tegemiseks lisaabi-nõusid (voolukatkestaja — tikker). Kuna käesoleval ajal detektoraparaate Morse-telegraafilise töö vastuvõtmiseks enam ei kasutata, siis jääb ka nende iseäralduste kirjeldamine käesolevast teosest välja.

Üldiselt evib detektorvastuvõtja veel vaid osalist tähtsust kohaliku ringhäälingujaama kuulamisel. Tema vooruseks on võrdlemisi loomutruu ülekanne ja odav hind.

## VII. ELEKTRONLAMBID.

### § 35. Üldpõhimõtteid.

Elektronteooriast teame, et elektrijuhtides aine aatomite vahel leidub vabalt hõljuvaid elektrone. Kui juhtme otsad ühendada vooluallikaga, siis pinge mõjul liiguvad vabad elektronid kindlas suunas, näit. miinuspooluselt plusspoolusele. Ühtlasi läbiva voolu mõjul juhe soojeneb, s. o. elektronide kineetiline energia muundub soojuseks.

Elektronide voolust on võimalik veel tekitada:

- Mõnes aines, näiteks seleenium, tseesium jt., valguskiirte peale langedes; nähtust nimetatakse foto-elektriliseks ilminguks.
- Elektronide põrkudes metallipinnale; seda liiki elektronide voolu nimetatakse sekundaarelektronide vooluks.
- Elektrone emiteeriva aine kuumutamisel; seda nimetatakse termioioniliseks emissiooniks ja kasutatakse praktiliselt elektronlambes.

Juhtme temperatuuri tõusmisel kasvab elektronide liiklevuse kiirus, seega ka nende kineetilise energia hulk. Kui juhet teatava temperatuurini kuumendada, siis võib mõnede elektronide kiirus muutuda niivõrd suureks, et nende kineetiline energia ületab olluse sisemised jõud ja nad lahkuvad juhtme pinnast. Seega kiirgab kuumendatud juhe elektrone, millist omadust kasutataksegi elektronlambes.

Häid elektronide kiirgamise omadusi evib volframmetall, kui seda kuumendada kuni  $2300^{\circ}\text{C}$ . Tooriumil tekib see omadus juba  $1750^{\circ}\text{C}$  juures. Veel aktiivsemad on baariumi ja mõningate teiste leelis-metallide oksüüdid, mis kiirgavad elektrone juba  $700\text{--}800^{\circ}\text{C}$  juures.

Niiviisi võivad väljakiiratud elektronid tekitada elektrivoolu, mida nimetatakse **emissioonvooluks**\*

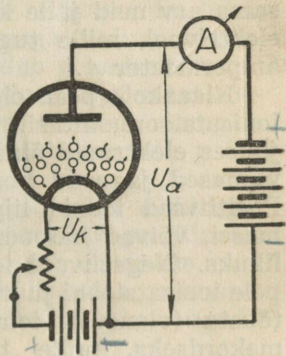
Elektronlambis kasutatakse emissiooni tekitamiseks mõnest eelnimetatud metallist traati või traadi pinnale liidetud kihti. Esimest kasutatakse nn. **otsese küttega** lampide juures ja nimetatakse **kütteniidiks**, viimast — **kaudse küttega** lampide juures ja nimetatakse **katoodiks**.

Kütteniit-katood asetseb õhutühjas klaaskolvis ja selle kuumendamiseks kasutatakse elektrivoolu — nn. **küttevoolu**. Küttepinge  $U_k$  valitakse nii suur, et katood kuumeneks vaid nõutava temperatuurini.

Kuumendatud katoodist kiirgunud elektronid jäävad pilvekesena hõljuma katoodi ümbrusse, moodustades seal negatiivse, nn. **ruumilaengu**. Kuna elektronid on ühenimelised, siis surutakse hilisemalt kiirgunud elektronid ruumilaengu tõttu tagasi katoodile ja kui ruumilaeng tõuseb teatava suuruseni, siis lakkab elektronide kiirgus üldse.

Et saada lambis elektronide voolu, siis neutraliseeritakse tekkinud ruumilaeng. Selleks on kolb varustatud teise metallektroodiga, mida nimetatakse **anoodiks** (joon. 99). Anoodi ja katoodi vahele ühendatakse anoodvooluallikas tavaliselt nii, et selle plusspoolus oleks ühendatud anoodiga ja miinuspoolus küttevooluallika miinusega\*\*.

Sellise lülituse puhul valitseb anoodil elektriline ala- ja katoodil ülirohke, mis ühtlasi põhjustab nende elektroodide vahel elektrivälja. Seega moodustavad katood ja anood kondensaatori, mille elektrilise ülirohuga plaadilt püüavad elektronid pääseda alarõhuga plaadile.



Joon. 99.

\* Emissiooniks nimetatakse kiirgust (käesoleval juhul elektronide kiirgust).

\*\* Säärase eeldusega arvestatakse tavaliselt ka kõiki mõõtmisi.

Anoodi ja katoodi vaheline elektriväljatugevus sõltub nende elektrodide kaugusest ja nende vahele rakendatud anoodvooluallika pingest. Kui näiteks, katoodi ja anoodi kaugus on 10 mm ja anoodile mõjuv pinge on 100 volti, siis väljatugevus on  $100 : 10 = 10$  V millimeetrile. Kui see pinge oleks 150 volti, siis väljatugevus oleks 15 V millimeetrile. Nii võib pinge suuruse valikuga väljatugevust katoodi ja anoodi vahel kas suurendada või vähendada.

**Elektrivälja** mõjul liigub osa katoodist kiirgunud elektrone anoodile; nende hulk on seda suurem, mida tugevam on elektriväli, s. o. mida suurem on anoodpinge  $U_a$ .

Vaatamata anoodi ja katoodi vahelisele elektriväljale, ei liigu siiski kõik katoodist kiirgunud elektronid anoodile, vaid osalise ruumilaengu olemasolu tõttu surutakse need tagasi katoodile. Ruumilaengu mõju täielikuks kõrvaldamiseks tuleks anoodile anda väga kõrge pinge, mida tihti ei võimalda lampide konstruktsioon. Anoodile jõudnud elektronid liiguvad ühendusjuhete mööda anoodvooluallikasse, kust sama arv neid jälle katoodile surutakse. Seega läbib lampi elektrivool, mille tugevust näitab anoodvooluringi lülitatud ampermeeter  $A$ .

Klaaskolb peab olema võimalikult õhutühi, et ära hoida ionisatsiooninähtusi. Nimelt põrkuvad puuduliku vaakuumi juures elektronid õhu molekulidega kokku, mille tagajärjel viimased jaguvad positiivseiks ja negatiivseiks ioonideks. Positiivsed ioonid liiguvad katoodi poole ja evides suurt massi, võivad katoodiga põrkudes muutuda viimasele ohtlikuks. Negatiivsed ioonid liiguvad anoodile. Neil põhjusil pole ionisatsiooni juures emissiooni määr kuigi püsiv ja võib tõusta (olenevalt ionisatsiooni astmest) normaalsest mitmekordseks, mille tulemuseks võib olla lambi täielik riknemine.

Vaakuumi puudumisel ei teki lambis normaalsete anoodpingete juures üldse emissiooni, sest õhk absorbeerib kiirgunud elektronide laengu. Elektronlampi peetakse hea vaakuumiga lambiks, kui temas õhusurve vastab ühele miljardikule normaalsest õhurõhumisest (s. o.  $10^{-9}$  Atm.). Praeguste tehniliste abinõudega pole raskusi sellist vaakuumi ka praktiliselt toota. Kõrge vaakuumiga lambis ei teki enam ionisatsiooninähtusi ja elektronid pääsevad takistamatult katoodilt anoodile. Mida rohkem neid sekundi jooksul anoodile jõuab, seda suurem on anoodvoolu tugevus.

Elektronide liikumiskiirus lambis sõltub anoodpinge

suurusest. Elektronlaengu üleviimiseks katoodilt anoodile kulutatav potentsiaalne energia võrdub  $Q \cdot U_a$ , kus  $Q$  on elektronlaeng ja  $U_a$  anoodi potentsiaal. See potentsiaalne energia peab võrduma elektronide kineetilise energiaga  $m \cdot v^2 : 2$ , kus  $m$  on elektroni mass ja  $v$  tema liikumiskiirus anoodile jõudmisel. Seega

$$Q \cdot U_a = \frac{m \cdot v^2}{2}, \text{ kust } v = \sqrt{2 \frac{Q}{m} \cdot U_a}$$

Avaldis  $\frac{Q}{m}$  võrdub vastavate arvutuste põhjal  $1,8 \cdot 10^7$  elektromagnetilisele ühikule\*.

Kui  $U_a$  avaldada voltides, siis

$$v = \sqrt{2 \cdot 1,8 \cdot 10^7 \cdot U_a \cdot 10^8} = 6 \cdot 10^7 \cdot \sqrt{U_a} \text{ cm/sek.}$$

Näiteks kui  $U_a$  on 100 volti, siis elektronide kiirus  $v = 6 \cdot 10^7 \sqrt{100} = 6 \cdot 10^8 \text{ cm/sek.} = 6 \cdot 10^3 \text{ km/sek.}$

Anoodpinge suurendamisega kasvab elektronide liikumise kiirus. Need elektronid anoodi pinnaga põrkudes vabanevad kineetilisest energiast, mis muundub peamiselt soojuks. Kuna anoodi metall tavaliselt ei jõua kuigi suurt soojushulka ära juhtida, siis suurema võimsusega lampide juures anoodimaterjal kuumeneb ja kõrgete pingete puhul võib isegi sulada.

Suure kiirusega vastu anoodmetalli põrkudes elektronid löövad selle ollusest välja nn. sekundaarelektrone. Ilmnev sekundaaremissiooni nähe, kus anood kiirgab elektrone nagu katoodki, on tavalises elektronlambis ebasoovitav ja sunnib lambi korrapäraseks töötamiseks eriabinõude tarvituselevõtmist.

\* \* \*

Katood, olenevalt elektronlambi iseloomust, võib olla kujult ja mõõdetelt mitmesugune. Näiteks otsese küttega lambes (siia tavaliselt kuuluvad patareidest köetavad vastuvõttelambid ja suurevõimelised saatelambid) ta kujutab endast ühekordset, või sik-sak-kujulist (olenevalt emiteeriva pinna suuruse tarvidusest) metallniiti, mida kuumendatakse kuni ettenähtud määrani elektrivooluga.

\*  $m = 0,889 \cdot 10^{-27}g$  ja  $Q = 1,59 \cdot 10^{-19}$  kulonit  
1 V/sek. on  $10^8$  elektromagnetilist ühikut — pramaksvell.

Katood teatavasti valmistatakse metallist, mis evib rohkesti vabu elektrone ja mis neid kiirgab võimalikult madala temperatuuri juures.

Alljärgnevas vaatleme praktikas kasutatavamate katoodide tehnoloogilisi omadusi.

**Volfram-katood** valmistatakse puhtast volframmetallist. Ta on lihtne valmistada ja evib kasutamisel suurt stabiilsust. Kuna volframkatoodi on emiteerimiseks vaja kuumendada  $2300\text{--}2700^\circ\text{C}$ , siis ta pole küttevõimsuse kokkuhoiu mõttes kuigi ökonoomne ja leiab käesoleval ajal kasutamist vaid suuremavõimsuselistes saatelampides, kus kõrgete anoodpingete tõttu pole võimalik ökonoomsemaid katoodiliike kasutada. Väliselt võib volframist katoodi-kütteniiti ära tunda sellest, et ta töötamisel hõõgub helevalgelt.

**Torieeritud** (tooriummetalliga kaetud) **katood** valmistatakse volframi ja tooriumhapendi ( $\text{ThO}_2$ ) segust. Lampi paigutatud kütteniiti kuumendatakse õhutühjas kolvis  $2500^\circ\text{C}$  juures 2—3 minutit. Sellel temperatuuril tooriumhapend laguneb ( $\text{Th} + \text{O}_2$ ) ja puhas toorium difundeerub niidi pinnale. Vähendades temperatuuri umbes  $2100^\circ\text{C}$  kattub niidi pind eriti õhukese (aatomipaksuse) puhta tooriumi kihiga. See pind on eriti elektroniderikas ja annab temperatuuril  $1700^\circ$  sama emissiooni, mis volframniit  $2300^\circ$  juures.

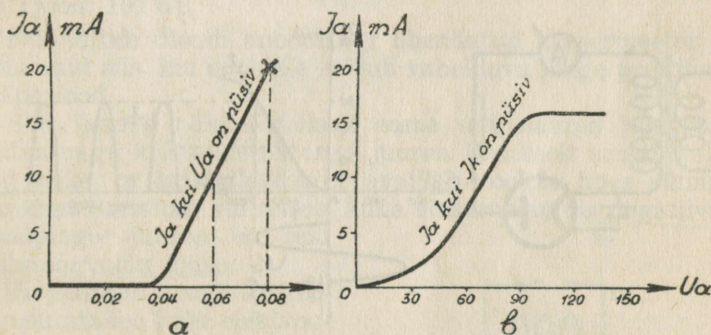
Torieeritud kütteniidid on mehaaniliselt haprad, ei kannata ülekütmist, kaotades seejuures emiteerimisvõime. Nad nõuavad töötamisel väga täielikku vaakuumi, vastasel korral tekib ionisatsioon, kus kõrgete anoodpingete kasutamisel positiivsed ioonid katoodiga põrkudes võivad purustada õrna tooriumi kihi. Õhu täielikumaks kõrvaldamiseks aurutatakse kuumendamise teel lambis magneesiumi, mille põlemise saadus, ühinedes õhu ja gaaside jäänustega, ladestub hõbedataolise kihina klaaskolvi seintele. Sellele vaatamata ei ole torieeritud katoodid kasutatavad saatelampides. Torieeritud katoodi töötamise temperatuur on  $1600\text{--}1800^\circ\text{C}$ , mille juures niit on tumepunane.

**Baariumkatood** on viimasel ajal, vastuvõttelampide juures sagedamini kasutatav katoodiliik. Katoodi põhimetalliks võidakse kasutada näit. volframi, niklit ja plaatinat. Nende katmiseks baariumkihiga on tarvitusel mitu meetodit. Üks tarvitavamaid näib olevat nn. aurutamismeetod. Põhimetall kaetakse varemalt teatava metalloksüüdiga (näit.  $\text{CuO}$ ). Kütteniidipoolsele anoodi pinnale kinnitatakse tükike baariumoksüüdi ja magneesiumi segu. Pärast tühjaks pumpamist pai-

gutatakse lamp muudetavasse kõrgesageduslikku magnetivälja, milles anood kuumeneb niivõrd, et segu muundub baariumaurudeks, mis katavad niidi (katoodi) õhukese metallise baariumkihiga. Baariumkatood ei karda sellisel määral ülekütmist nagu tooriumikatood. Ta annab normaalse emissiooni umbes  $700^{\circ}\text{C}$  juures, mil katood näib nõrgalt hõõguvana.

Firmade poolt valmistatavate katoodide emiteerimisvõime kestus on normaaltingimustes vähemasti 1000 töötundi.

Kuigi praegusel ajal firmad valmistavad üksteisest erinevate iseäraldustega elektronlampe, on neid siiski võimalik klassifitseerida ja tundma õppida teatavate põhitüüpide järgi.



Joon. 100.

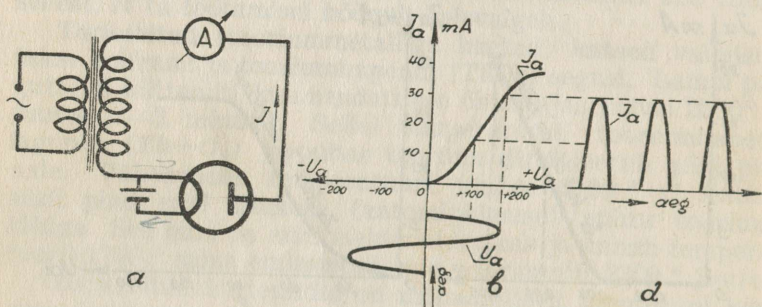
## § 36. Diiod.

Elektronlampi, mis evib kahte elektroodi — katoodi ja anoodi, nimetatakse kahe elektroodiga lambiks ehk **diiodiks**. Anoodvoolutugevus sõltub siin peale lambi konstruktiivsete põhiomaduste kahest, väljastpoolt mõjutatavast tegurist ja nimelt

- katoodi temperatuurist ning
- anoodpinge suuruselt.

Katoodi temperatuuri määrab küttevoolutugevus  $I_k$ . Tõstes kütteniidi temperatuuri  $I_k$  suurendamise teel (anoodpinge olgu seejuures püsiv), suureneb ka  $I_a$  (joon. 100 a). Küttevoolu suurendamisega ei tohi minna üle teatava piiri, sest kütteniit võib läbi põleda või kaotada emiteerimisvõime. Küttevoolu reguleerimiseks asetatakse küttejühtmesse vastav reostaat (joon. 99). Kõveralt (joon. 100 a) nähtub, et kütte-

voolu suurendamisel anoodvoolu tugevus suureneb järsku. Kui küttevoolu on suurendatud näit. 0,08 A, siis on elektronide kiirgumine küll kõige intensiivsem, aga kütteniidi temperatuur on ka niivõrd suur (ülekütmine), et ta sulab või nagu seda tavaliselt öeldakse — põleb läbi. Ülearune kütteniidi kuumendamine rikub lampi, lühendades selle eluiga. See pärast tuleb lambi küttevoolutugevus  $I_k$  hoida valmistaja poolt ettenähtud piirides ja tarbe korral seda kontrollida küttejuhtmesse lülitatava ampermeetriga  $I_k$  (joon. 106). Tavaliselt ei mõodeta küttevoolu, vaid lambi kütteniidile mõjuvat pinget (ehk pingelangust kütteniidil), kuna viimane on tavaliselt valmistaja vabriku poolt kindlaks määratud.



Joon. 101.

Kui diodi küttepinge jääb muutmatuks, siis anoodpinge ( $U_a$ ) suurendamisel kasvab anoodvoolu tugevus (joon. 100b). Kuigi seejuures anoodvool suureneb või väheneb vastavalt anoodpinge suurendamisele või vähendamisele, ometi ei pea seejuures paika Ohmi seaduse kohane lihtvõrdelisus, vaid

$$I_a = k \cdot U^{\frac{3}{2}}$$

kus  $k$  tähistab elektroodide kujutegurit. Mainitud nähtus kestab vaid teatava piirini, mil anoodvool jääb püsivaks vaatamata anoodpinge suurenemisele. Seda anoodvoolu püsivat olukorda nimetatakse elektronlambi **küllastuspiiriks** ja voolutugevust — **küllastusvooluks**. Anoodpingega tuleb samuti, kui küttepingegagi jääda lambi valmistajalt lubatud piiridesse.

Kui elektronlambi anoodile anda kütteniidi suhtes negatiivne pinge, siis ei saa anoodvoolu tekkida, sest anoodi negatiivse potentsiaali tõttu surutakse elektronid katoodile tagasi.

Nii võib elektronlambis tekkida vool vaid ühes suunas, s. o. katoodilt anoodile, aga mitte vastupidi.

Ühendades diodi anoodi ja katoodi vahele vahelduvvooluallika (joon. 101 a), saab anoodvool tekkida ainult positiivsetel poolperioodidel, s. o. kui anood on kütteniidi-katoodi suhtes positiivne.

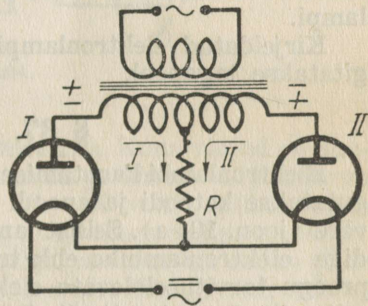
Joonisel 101 b on kujutatud diodi anoodvoolutugevuse muutumise tunnuskõver  $I_a$ , anoodpingest olenevalt. Mõjugu sellisele diodile vahelduv anoodpinge, mille graafiline kujutis on kantud sama joonise vertikaaltelje negatiivsele osale. Projekteerides mainitud vahelduva pinge muutused aja suhtes diodi tunnuskõverale  $I_a$ , leiame anoodvoolu muutumiskõverad (joon. 101 d).

Nii näitab diodi anoodringi ühendatud ampermeeter A voolu vaid siis, kui anoodile mõjub vahelduva pinge positiivne poolperiood.

Siin ilmneb põhimõtteliselt sama unipolaarse juhtivuse nähtus nagu kristalldetektorigi juures. Sisuliselt seisab vahe vaid selles, et kristalldetektor avaldab voolule ühes suunas suuremat takistust kui teises, kuna elektronlambis negatiivse anoodpinge juures ei teki emissioonvoolu üldse.

Kirjeldatud omaduste tõttu kasutatakse kahe elektroodiga lampi ehk diodi kõrge- ja madalsageduslike vahelduvvoolude õgvendamiseks\*. Diod on siin automaatne ventiil, mis näiliselt avab tee positiivsetele poolperioodidele ja sulgeb — negatiivsetele.

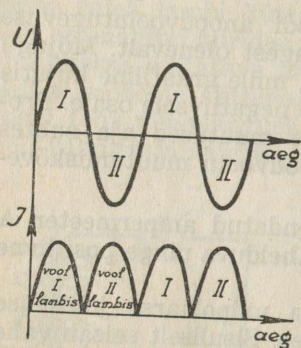
Kahe diodiga on vastava lülituse juures (joon. 102) võimalik ka negatiivset poolperioodi õgvendamiseks ära kasutada. Säärases lülituses mõjub anoodidele, null-punkti (transform. sekundaarmähise keskpunkti) suhtes vahelduvalt positiivne ja negatiivne pinge. Näiteks vahelduvvoolu esimesel poolperioodil mõjub



Joon. 102.

\* Tehniliste ehk võrgu (tavaliselt  $f = 50$  per/sek.) vahelduvvoolude õgvendamiseks kasutatavaid elektronlampe nimetatakse ka **kenotroonideks**.

I diodi anoodile positiivne, II diodi anoodile samal ajal aga negatiivne pinge. Teisel poolperioodil mõjub I diodi anoodile negatiivne ja II diodi anoodile samal ajal positiivne pinge. Nii tekib esimesel poolperioodil elektronide vool läbi I diodi ja takistuse  $R$  (tähistab tarvitajat) kaudu katoodile, teisel poolperioodil — läbi II diodi sama teed — katoodile.



Joon. 103.

Et elektronide voolu suund on katoodilt anoodile, siis takistust  $R$  läbib kinnise vooluringi tekitamiseks igal poolperioodil ühe- ja samasuunaline vool (joon. 103).

Iga diodi anoodile mõjub pooltransformaatori sekundaarmähise üldpingest, sest kummagi lambi anoodvooluringis on vaid pool sekundaarmähisest. Kui näiteks alaldatud pinge oleks 220 volti, siis peaks sekundaarmähise pinge olema vähemasti ka  $2 \cdot 220$  volti, s. o. 440 volti.

Praktiliselt kasutatakse sääraseis lülitusis 2-he kahe-elektroodilise lambi asemel ühte kahe anoodiga ja ühise katoodiga lampi.

Kirjeldatud elektronlampide rakendamise üksikasju selgitatakse tagapool.

## § 37. Triood.

Elektronlambi kasutamise võimaluste suurendamiseks paigutatakse katoodi ja anoodi vahele kolmas elektrood, nn. võre (joon. 104 a). Sellist lampi nimetatakse kolme elektroodiga elektronlambiks ehk trioodiks ja ta moodustab kõigi praegu tarvituselolevate elektronlampide põhitüübi. Tavaliselt evib võre spiraali või võrgu kuju ja asetseb katoodi ümber (joon. 104 b). Võret ümbritseb omakorda anood, mis on valmistatud plekist või metallvõrgust.

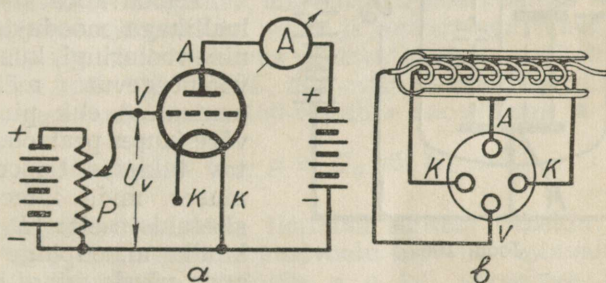
Võre ülesanne on oma potentsiaaliga (katoodi suhtes) mõjutada anoodvoolu tugevust, kusjuures anood- ja küttepinged jäävad muutmatuks.

Suurendades näiteks joonisel 104 a toodud lülituses positiivset võrepinget  $U_v$ , siis kasvab sellele vastavalt anoodvoolu  $I_a$  tugevus teatava suuruse võrra; võrepinge vähendamisel kahaneb anoodvool vastavalt. Võrepinge negatiivseks muutu-

misel (eelpinge patarei pooluseid ümber vahetades) väheneb anoodvool; negatiivse võrepinge suurenemisega väheneb anoodvoolu tugevus ja teatava võrepinge suuruse juures kaob anoodvool täielikult.

Mainitud nähtus seletub järgmiselt: Võre ja katood moodustavad kondensaatori nagu anood ja katoodki. Võre ja katoodi vahelise väljatugevuse määravad võre kaugus katoodist ja võrepinge suurus.

Olgu näiteks anoodi ja katoodi vahe 10 mm ning võre ja katoodi vahe 5 mm. Kui anoodpinge on + 100 volti ja võrepinge + 50 volti, siis anoodi ja katoodi vaheline väljatugevus on  $100 : 10 = 10$  V millimeetrile ning võre ja katoodi vaheline



Joon. 104.

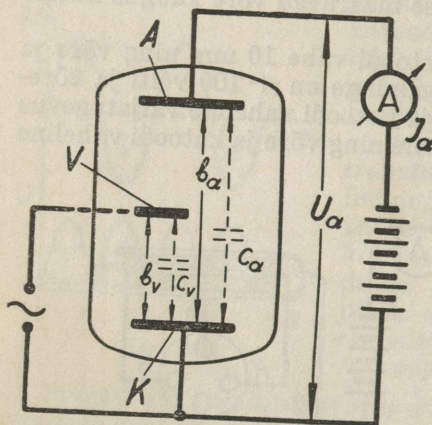
väljatugevus  $50 : 5 = 10$  V millimeetrile. Kuna väljad on ühesuunalised, siis nende mõjud liituvad ja üldine väljatugevus võre ja katoodi vahel on  $10 + 10 = 20$  volti millimeetrile. Suurenenud positiivse välja tõttu neutraliseeritakse suuremal määral negatiivse ruumilaengu mõju ja vastavalt sellele pääseb rohkem elektrone katoodist eemale. Elektronid, saades tugevama välja mõjul suurema algkiiruse, liiguvad suuremalt osalt anoodpinge mõjul võre vahedest läbi — anoodile. Ainult väike osa neist juhitakse võre kaudu katoodile tagasi. Seega suurendab positiivne võrepinge näiliselt anoodpinge mõju.

Toodud näites tekitab 50 V võrepinget sama väljatugevuse, nagu 100-voldiline anoodpinge. Seega on võrepinge mõju anoodpinge mõjust suurem. Kui näiteks võre asuks katoodile 4 korda ligemal kui anood, siis piisaks juba 25-voldilisest võrepingest 10-voldilise väljatugevuse tekitamiseks. Sel puhul on võre mõju anoodi mõjust 4 korda suurem.

Andes võrele negatiivset pinget, väheneb üldine väljatugevus, mistõttu suureneb ruumilaengu mõju ja katoodist pääseb vähem elektrone eemale. Kui võre ja katoodi vaheline väljatugevus on  $-10$  V millimeetrile ning anoodi ja katoodi vaheline väljatugevus  $+10$  V millimeetrile, siis on üldine väljatugevus null ja elektronid

surutakse ruumilaengu püsimise tõttu katoodile tagasi. Tekkinud olukord avaldub nii nagu puuduks trioodil anoodpinge. Seega vähendab negatiivne võrepinge anoodpinge mõju.

Triood koos anoodvooluallikaga moodustab kinise vooluringi, kus anoodvoolutugevuse määrab neutraalse ehk pingevaba võre juures peab olema teatav takistus trioodi sisetakistuseks ( $R_s$ ). Kui kindla anoodpinge juures anda võrele mingi muutuv



Joon. 105.

pinge (kas positiivne või negatiivne), siis pole anoodvool enam püsiv. Kuna anoodpinge väärtus jäi püsivaks, anoodvool aga muutus, siis näiliselt oleks nagu trioodi sisetakistus muutunud. Tegelikult aga mõeldakse trioodi sisetakistuse all suurt, mille väärtus leitakse, nagu tagapool näeme, anoodpinge ja anoodvoolu juurdekasvude suhtest — püsiva võrepinge juures.

Kõigest eelnenust võib järeldada, et triood evib häid elektrilise rele omadusi, reageerides võre kaudu ka kõige kiiremaile pingele (resp. voolu) muutusile — inertsivabalt.

Anood- ja võrepinge suhet, mis trioodis võrdse väljatugevuse esile kutsuvad, nimetatakse lambi **võimendusteguriks** ( $\mu$ ). Et see vahekord oleneb võre- ja katoodi ning anoodi ja katoodi vahelistest kaugustest (joon. 105,  $b_v$  ja  $b_a$ ), siis  $\mu \cong \frac{b_a}{b_v}$ .

Anood ja võre moodustavad katoodi suhtes kondensaatorid  $C_a$  ja  $C_v$  (joon. 105). Nende mahtuvused on pöördvõrdelised võre ja anoodi kaugustega katoodist. Et väljatugevus on

sõltuv mahtuvusest, siis nende mahtuvuste kaudu avaldatud võimendustegur

$$\mu \cong \frac{C_v}{C_a}$$

Valemist nähtub, et  $\mu$  on seda suurem, mida väiksem on  $C_a$ . Olgu tähendatud, et nii lambi  $\mu$  kui ka mahtuvuste suurused ei olene mitte üksi võre ja anoodi kaugusest katoodist, vaid ka nende elektrootodide pindade suurusest, kujust ja ehitusviisist.

Sageli iseloomustatakse elektronlambi omadusi läbitavusega ( $D$ ), mis on pöördvõrdeline võimendustegurile:

$$D = \frac{1}{\mu} = \frac{C_a}{C_v}$$

**Läbitavus** on seega arv, mis antud trioodis näitab võrdseid väljatugevusi esilekutsuva võre- ja anoodpinge suhet. Tavaliselt väljendatakse läbitavus protsentides. Kui näiteks  $D$  on 0,15, s. o.  $0,15 \cdot 100 = 15\%$ , siis evib 15-voldiline võrepinge trioodis sama mõju nagu 100-voldiline anoodpinge ja

$$U_v \cdot \frac{C_v}{C_a} = U_v \cdot \mu = U_a \text{ või } U_a = \frac{U_v}{D}$$

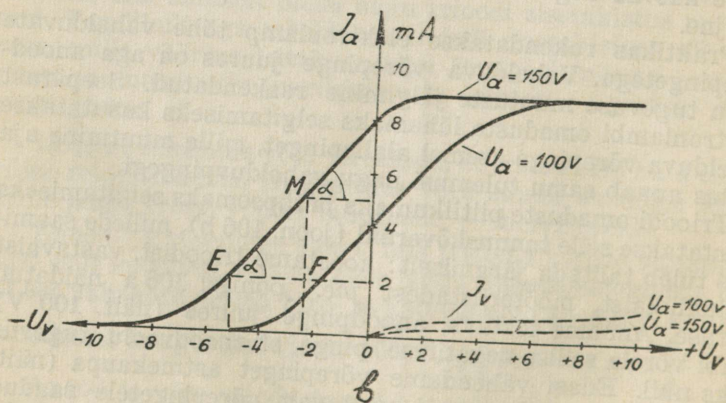
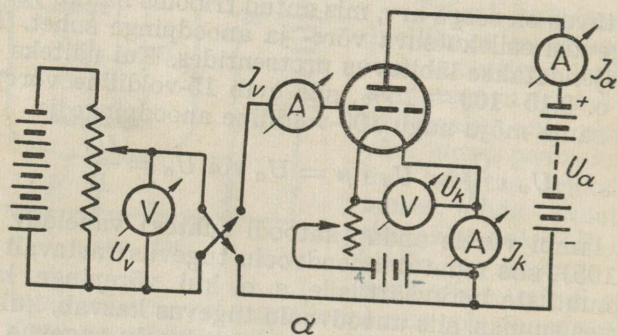
Kui lambi võrele anda (katoodi suhtes) vahelduv pinget (joon. 105), siis muutub anoodvoolu tugevus vastavalt võrepinge muutuste hetkväärtusile, s. o. kui võrepinge kasvab positiivses suunas, siis anoodvoolu tugevus kasvab, kui võrepinge kasvab negatiivses —, siis anoodvoolu tugevus väheneb jne.

Praktikas rakendatakse elektronlamp töhe vahelduvate võrepingetega. Vahelduva võrepinge juures on aga anoodvoolu tugevuse muutuste jälgimine raskendatud. Seepärast elektronlambi omaduste lähemaks selgitamiseks kasutatakse vahelduva võrepinge asemel alalispinget, mille muutmine aja suhtes annab samu tulemusi nagu vahelduvpingegi.

Trioodi omaduste piltlikumaks ja täpsemaks selgitamiseks kasutatakse selle **tunnuskõvera**id (joon. 106 b), millede saamiseks tuleb talitada järgmiselt: koostame trioodist, vastavaist vooluallikaist, mõõteriistadest jne. joonisel 106 a näidatud lülituse. Anname teatava anoodpinge juures (näit. 100 V) lambi võrele sellise negatiivse pinget, et anoodvoolu tugevus oleks null. Edasi vähendame võrepinget astmekaupa (näit. 2 voldi kaupa) ja kanname vastavalt võrepingetele saadud anoodvoolu tugevused tabelisse. Näit. kui  $U_v$  on — 5 volti, siis

$I_a$  on 0; kui  $U_v$  on  $-2$  volti, siis  $I_a$  on  $1,5$  mA jne. Selliselt vähendame negatiivset võrepinget kuni 0-ni, siis lülime vooluallika poolused ümber ja anname võrele positiivset pinget, mil anoodvoolu tugevus vastavalt kasvab. Positiivsete võrepingete juures tekib ka trioodi võrevooluringis vool, nn. võrevool ( $I_v$ ), sest võre mõjub nüüd positiivse pinge tõttu nagu anoodki. Anoodi mõjul liigub siiski suurem osa elektrone võrest läbi, mistõttu võrevool on väga väike.

Võrepinge teatava positiivse suuruse juures jääb anoodvoolu tugevus püsivaks ega kasva enam võrepinge edasisel suurendamisel. Sel puhul öeldakse, et elektronlamp on küllastunud ja küllastusvoolu tugevus võrdub  $I_a + I_v$ . Kui võrele



Joon. 106.

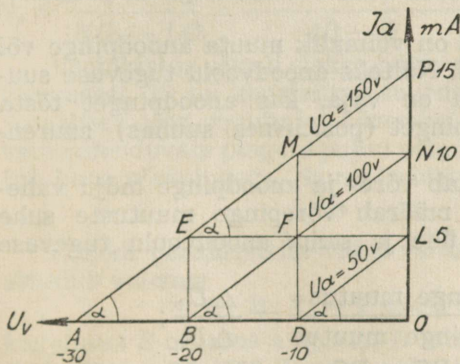
anda  $U_a$ -st suurem positiivne pinge, siis anoodvoolu tugevus langeb ja võrevoolu tugevus tõuseb sama võrra. Ka siin jääb kehtivaks, et küllastusvool võrdub  $I_v + I_a$ .

Nii toimitakse mõõtmisi mitmesuguste anoodpingete juures. Saadud andmete abil ehitatakse graafilised anoodvoolu tugevuse muutumise kõverad võrepinge muudatuste suhtes (joonis 106 b). Jooniselt nähtub, et suurema anoodpinge juures tekib anoodvool juba suuremate negatiivsete võrepingete puhul, mistõttu ka tunnuskõver kaldub rohkem negatiivsete võrepingete piirkonda, s. o. vasakule. Samuti selgub jooniselt, et anoodvoolu tugevus ei muutu mitte täies ulatuses sirgjooneliselt, vaid ülemises ja alumises osas kõverjooneliselt. Kõverjoonelisus kohis järelikul ei muutu anoodvoolu tugevus võrepingetega võrdeliselt. Seepärast rakendataksegi elektronlamp tavaliselt tõhe tunnuskõvera sirgjoonelise osa piiridesse.

Tunnuskõverate sarja (neid peab olema vähemasti 2) abil on võimalik kindlaks määrata antud triodi iseloomustavaid

tegureid ehk parameetreid. Need on tõus ( $S$ ), läbitavus ( $D$ ), võimendustegur ( $\mu$ ) ja sisetakistus ( $R_s$ ).

Antud triodi puhul, mitmesuguste anoodpingete juures ülesvõetud tunnuskõverate graafilisel kujutamisel, võib tähele panna, et nad kõik asetsevad peaaegu rööbiti ja et nende omavaheline kaugus on kasutatud



Joon. 107.

anoodpingete vahel. Praktikas pingevõimendusseadmes kasutatakse elektronlampe peamiselt tunnuskõvera negatiivsete võrepingete piirkonnas, sest siin puudub kahjulik võrevool.

**Tõus (S).**

Joonisel 107 on tunnuskõverad lihtsuse mõttes kujutatud kogu ulatuses sirgjoonelistena. Kuna nad on omavahel rööbiti, siis evivad nad ligikaudu ühesugust tõusu (kallakut), mida iseloomustab nurk  $\alpha$ .

Nurk  $\alpha$  määratakse täisnurksest kolmnurgast, näiteks *EFM* (käesoleval juhul on ju kõik kolmnurgad võrdsed).

$$S = \operatorname{tg} \alpha = \frac{MF}{EF}, \text{ kusjuures}$$

joonlõik *MF* tähistab anoodvoolu muutust, mille kutsub esile joonlõigu *EF*-ga tähistatud võrepinge muudatus.

$$\begin{aligned} \text{Seega tõus } S &= \frac{\text{anoodvoolu muutus}}{\text{võrepinge muutus}} = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_v} = \frac{10 - 5}{20 - 10} = \\ &= \frac{5}{10} = \frac{0,5 \text{ mA}}{\text{voldile}} = 0,5 \text{ mA pro V} \end{aligned}$$

Tõus määratakse püsiva anoodpinge juures ja ta näitab kui mitu milliamprit muutub anoodvool, kui võrepinget muuta ühe voldi võrra.

Praktiliselt tuleb tõus määrata trioodi tunnuskõvera sirgjoonelise osa järgi. Näiteks joonisel 106 b leiame, et kui võrepinget muuta 2 voldi võrra (— 4-lt — 2-le), siis anoodvool muutub samuti ca 2 mA võrra (3-lt — 5-le), seega  $S = 1 \text{ mA/V}$ .

**Läbitavus (D).**

Anoodvoolu tugevust on võimalik muuta anoodpinge või võrepinge muutmise läbi. Näiteks anoodvoolu tugevuse suurendamiseks 5 mA võrra on vaja, kas anoodpinget tõsta 50 voldi võrra, või võrepinget (positiivses suunas) suurendada 10 voldi võrra.

Läbitavus iseloomustab võre- ja anoodpinge mõju vahetõrka ja tema suuruse määrab võrepinge muutuste suhe anoodpinge muutusis, ühe ja sama anoodvoolu tugevuse juures.

$$D = \frac{\text{võrepinge muutus}}{\text{anoodpinge muutus}} = \frac{\Delta U_v}{\Delta U_a};$$

$$\begin{aligned} \text{Joon. 107 järele } D &= \frac{BO - DO}{U''_a - U'_a} = \frac{20 - 10}{150 - 100} = \frac{10}{50} = \\ &= 0,2 \cdot 100 = 20\% \end{aligned}$$

Läbitavuse kindlaksmääramisel on vajalik vähemalt 2 (erisuguste anoodpingete juures ülesvõetud) tunnuskõverat.

**Võimendustegur ( $\mu$ ).**

Võimendustegur on pöördvõrdeline suurus läbitavusele, seega

$$\mu = \frac{1}{D} = \frac{\text{anoodpinge muutus}}{\text{võrepinge muutus}} = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_v}$$

Joonise 107 järgi

$$\mu = \frac{U''_a - U'_a}{BO - DO} = \frac{150 - 100}{20 - 10} = \frac{50}{10} = 5$$

s. o. samuti nagu

$$\frac{1}{D} = \frac{1}{0,2} = 5$$

**Sisetakistus ( $R_s$ ).**

Kui trioodis püsiva võrepinge juures muuta anoodpinget, siis muutub anoodvoolu tugevus. Trioodi sisetakistus jäi endiseks, kuna anoodvoolu tugevuse muutus on tingitud vaid anoodpinge muutustest.

Seega Ohmi seaduse järgi

$$R_s = \frac{\text{anoodpinge muutus}}{\text{anoodvoolu muutus}} = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$$

Joon 107 järgi

$$R_s = \frac{U''_a - U'_a}{NO - LO} = \frac{(150 - 100) \cdot 1000^*}{10 - 5} = \frac{50 \cdot 1000}{5} = 10\,000 \Omega$$

Sisetakistus sõltub elektroodide mõõteist ja omavahelisest kaugusest. Ta on konstantne suurus vaid tunnuskõvera sirgjoonelises osas, muutudes kõverikel tunduvalt. Võrele mõjuvate vahelduvate pingete puhul pole  $R_s$  enam püsiv, vaid muutub koos võrepingega. Samuti pidevalt on muutuv  $S^{**}$ .

\* \* \*

Trioodi parameetrite vahel valitseb kindel vahekord, mis avaldub valemis

$$S \cdot D \cdot R_s = 1, \text{ või } \mu = S \cdot R_s$$

kusjuures  $S$  on tõus ampriks,  $D$  läbistus (arvuliselt) ja  $R_s$  sisetakistus oomides. Toodud valemit nimetatakse selle koostaja nime järele Barkhauseni\*\*\* valemiks.

\* Valemis on milliamprid ampri kaudu avaldatud.

\*\* Normaalseis töötingimuses pingevõimendusseadmeis ainsaks muutumatuks teguriks on võimendustegur  $\mu$ . Ta muutub ainult tunnuskõvera alumise ja ülemise kõveriku lähedal.

\*\*\* Barkhausen määras esimesena trioodi parameetrite valemid.

Eelnenud näite kohaselt

$$S \cdot D \cdot R_s = \frac{0,5 \cdot 0,2 \cdot 10\,000}{1000} = 1$$

Barkhauseni valemit kasutatakse tavaliselt parameetrite arvutamise kontrollimiseks.

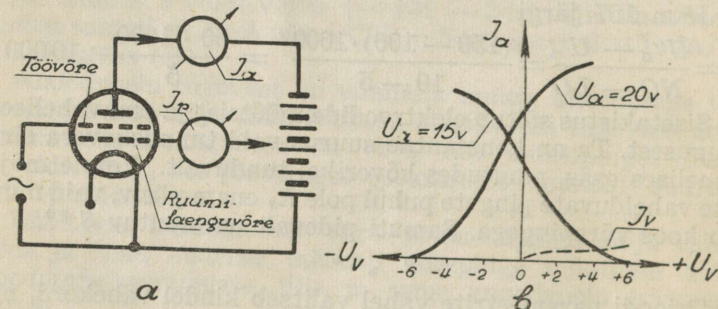
Triodi headuse ( $G$ ) iseloomustamiseks kasutatakse sageli valemit:

$$G = \frac{S}{D} \text{ või } G = \mu S$$

Valem näitab, et seda paremad on triodi omadused, mida suurem on tõus ja mida väiksem on läbitavus. Et praktikas on vajalikud mitmesuguste omadustega lambid, siis on see valem kehtiv peamiselt võimenduslampide kohta.

### § 38. Kahe võrega elektronlamp.

Kui triodile võre (töövõre) ja katoodi vahele asetada veel üks võre, nn. ruumilaenguvõre, siis nimetatakse seda elektronlampi kahe võrega lambiks. Ruumilaenguvõrele antakse anood-



Joon. 108.

patareist katoodi suhtes positiivne pinge (joon. 108 b), mis neutraliseerib ruumilaengu mõju katoodi ümber. Seetõttu suureneb elektronide liikumise kiirus ja nad pääsevad anoodile juba väga väikeste anoodpingete juures. Tavaliselt antakse kahe võrega\* lambile anoodpinget 15—25 volti ja ruumilaenguvõrele umbes kaks kolmandikku anoodpingest.

\* Praegu kahe võrega lampe kasutatakse veel ainult eriotstarbeks.

Selle elektronlambi töökäik on järgmine: küllastusvool ( $I_a + I_r$ ) koosneb anoodvoolust  $I_a$  ja ruumilaengu võre voolust  $I_r$ . Mida negatiivsemaks muutub töövõre pinge, seda rohkem elektrone tõugatakse sellelt katoodi poole tagasi, millised satuvad nüüd ruumilaengu võrele; nii suureneb  $I_r$ , kuna samal ajal  $I_a$  väheneb. Suurte negatiivsete võrepingete juures  $I_a$  muutub nulliks.

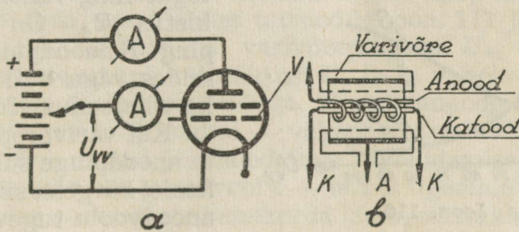
Kui töövõrele anda positiivne pinge, siis suureneb  $I_a$ , kuna  $I_r$  samal ajal väheneb. Positiivsete töövõrepingete puhul ilmneb ka töövõres võrevool  $I_v$ .

Sellised elektronlambid evivad väikest tõusu ja võimendustegurit, mistõttu nende tarvitamine teiste elektronlampide hulgas on muutunud peaaegu tähtsusetuks. Neid kasutati omal ajal patareivastuvõtjates anoodpinge säästmise mõttes.

## § 39. Tetrood. Pentood.

### Tetrood.

Elektronlambi võimendustegur on seda suurem, mida väiksem on selle läbitavus. Et läbitavus  $D$  on seda väiksem, mida väiksem on sisemahtuvus, siis võimenduse suurendamiseks on vajalik viimast vähendada. Selleks paigutatakse



Joon. 109.

anoodi ja töövõre vahele nn. varivõre (joon. 109). Sellist lampi nimetatakse varivõrelambiks ehk tetroodiks. Moodsais tetroodides on varivõre anoodi ja töövõre vahel (joon. 109 b) võrguvõi spiraalikujuuline, muus osas aga plekist. Ta ümbritseb anoodi täies ulatuses, välja arvatud avaus anoodi ühenduse väljatoomiseks.

Läbitavuse leidmine on tetroodis võrdlemisi komplitseeritud, sest anoodpinge mõjub katoodile läbi varivõre, millele antakse tavaliselt pool anoodpingest.

Anood, olles varjestatud varivõrelt, mõjub katoodile läbi vari- ja töövõrede. Anoodi varjumise tõttu on lambi sisemahtuvus väga väike, samuti kui läbitavuski. Seetõttu suureneb lambi võimendustegur ja sisetakistus. Praeguste tetroodide sisemahtuvust on vähendatud kuni 0,001 pF, sisetakistused küünivad kuni 10 miljoni oomini ja võimendustegurid — kuni 5000.

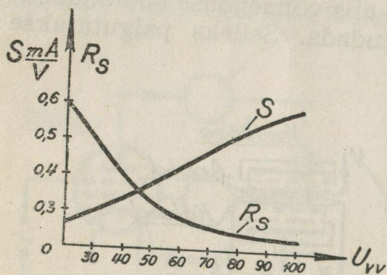
Tetroodi võimendustegur leitakse valemist

$$\mu = \sqrt{\frac{2 \cdot S}{\omega C_0}}$$

kusjuures  $\mu$  tähistab maksimaalset võimendustegurit,  $S$  — tõusu,  $\omega(2\pi f)$  — töövõrele antava vahelduvvoolu ringsagedust ja  $C_0$  — tetroodi sisemahtuvust\*.

See valem näitab samuti, et sisemahtuvuse vähendamisega suureneb võimendustegur.

Tetroodi tunnuskõverate määramine toimub analoogiliselt trioodile, konstantse varivõrepinge juures. Varivõrepinge muutmisega on võimalik muuta tetroodi omadusi. Seda suurendades teatava piirini



Joon. 110.

rendades teatava piirini (joon. 110), suureneb ka tetroodi tõus ja võimendustegur ning väheneb sisetakistus  $R_s$ . On varivõrepinge  $S$  anoodpingega võrreldes väga väike, siis on ka võimendus väike.

Kui varivõrepinget tõsta anoodpinge suhtes võrdlemisi kõrgele, siis väheneb anoodvoolu tugevus ja tetrood lakkab töötamast sekundaarelektronide tõttu. Nimelt kõrgete anood- ja varivõrepingete juures evivad elektronid suurt kiirust ning põrkudes anoodiga löövad selle ollusest välja sekundaarelektrone, milliseid kogub varivõrele ja mis ühtlasi kutsuvad esile varivõrevoolu  $I_{vv}$  suurenemise.

Sekundaarelektronide liikumise suund on katoodilt levivate elektronide suunale vastupidine, mis sel puhul ongi anoodvoolu vähenemise põhjuseks. Joonisel 111 kujutatakse anoodpinge  $U_a$  muutmisest olenevaid anoodvoolu  $I_a$  ja vari-

\* Anoodi ja võre vahel.

võrevoolu  $I_{vv}$  muutumise kõveraid, konstantse varivõrepinge juures. See joonis selgitab, et väikeste anoodpingete juures tekib sekundaaremissioon, mis surub anoodvoolu tugevuse alla; kui anoodpinge varivõrepinge suhtes tunduvalt suureneb, siis väheneb sekundaaremissioon ja ühtlasi ka varivõrevoolu tugevus, sest anood oma kõrge pinge tõttu tõmbab sekundaar-elektronid tagasi enda külge.

Sekundaaremissiooni ilmumisel, mille sümptomideks on  $I_a$  langus ja  $I_{vv}$  tõus, vähendatakse seni varivõrepinget, kuni tetrood töötab jälle normaalselt. Üldiselt on tetroodidel varivõrepinge suurus küllalt kriitiline, s. t. ta peab olema kindlas vahekorras kasutatava anoodpingega.

Sekundaaremissiooni nähtust tetroodi juures,

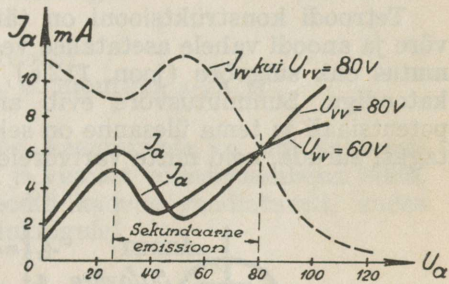
nende töötamisel võimendajana tuleb vältida õigete  $U_a$  ja  $U_{vv}$  suuruste valimisega, kuna vastasel korral lamp lakkab töötamast võimendajana. Valides tetroodile joon. 111 järgi anoodpingeks  $U_a = 40$  volti ja varivõrepingeks  $U_{vv} = 60$  volti, paneme tähele omapärast nähtust  $U_a$  ja  $I_a$  vahekordades, mis on vastuolus senini käsitletuduga. Nimelt anoodpinge suurendamisel 40 voldilt 50 voldini — väheneb anoodvool 4 — mA-lt ligemale 2 — mA-ni ja anoodpinge vähendamisel 40 voldilt 30 voldini suureneb anoodvool 4 — mA-lt ligemale 6 — mA-ni. Väljendades muudatuste vahekorda lambi sisetakistusena, siis

$$R_s = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{50 - 40 \cdot 1000}{2 - 4} = -\frac{10000}{2} = -5000 \Omega$$

Seega tetroodi sisetakistus, antud töötingimisis, muutub negatiivseks väärtuseks, mis põhjustab lambi enda ostsilleerimist\*.

Tetroodid jaotuvad:

— kõrgesagedustetroodid,



Joon. 111.

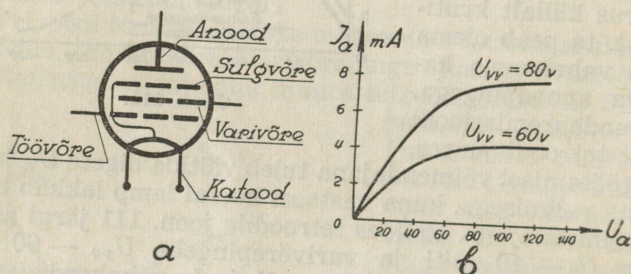
\* Seda nähtust nimetatakse tetroodide juures üldiselt dynatron-nähtuseks ja ta võib esineda teatavatel juhtudel ka trioodi juures, kui võrepinge on positiivsem anoodpingest.

- eksponentsiaal, s. o. muudetava  $\mu$ -ga\* ja
- jugatetrood.

Kaht esimest kasutatakse peamiselt pingevõimendamiseks. Neil on anoodi ja võre vaheline mahtuvus varjestamise tõttu väga väike. Viimast kasutatakse võimsuslambina. Jugatetroodil\*\*, selle erilise konstruktsiooni tõttu, puudub sekundaaremissioon, kuna kahel esimesel on see raskesti välditav.

### Pentood.

Tetroodi konstruktsiooni on täiendatud sellega, et varivõre ja anoodi vahele asetatakse veel üks elektrood, nn. **summutus** ehk **sulgvõre** (joon. 112 a), mis on ühendatud lambi katoodiga. Summutusvõre evib anoodi suhtes negatiivset potentsiaali ja tema ülesanne on sekundaarelektrone anoodile tagasi suruda, neid mitte varivõrele lastes.



Joon. 112.

Summutusvõre tekitab seega sekundaarelektronidele sulu, mis on vajalik elektronlambi stabiilseks töötamiseks. Mainitud elektronlambi nimetatakse **viie elektroodiga** lambiks ehk **pentoodiks**. Summutusvõre on siin katoodiga ühendatud kas pentoodi sisemuses või tuleb see ühendus teha soklist eraldi väljatoodud kontaktide abil. Joonisel 112 b on näidatud pentoodi anoodvoolu muutuse kõverad, muutuva anoodpinge ja püsiva varivõrepinge suuruste juures. Kõverailt selgub ühtlasi, et pentoodi juures pole varivõrepinge anoodpinge suhtes kuigi kriitiline. Viimasel ajal on ilmunud turule pentoodid, mille varivõrele antakse juba sama suur pinge kui anoodile. Muide evib pentood kõiki tavalise tetroodi omadusi. Suure

\* Vt. eksponentsiaallamp.

\*\* Jugatetroodis (beametrode) elektronid juhatakse katoodilt võrele joana.

võimenduse ja stabiilse töötamise tõttu on pentood praegu kasutatavamaid elektronlampe.

Kasutamisel on veel mitmesuguste konstruktsioonidega elektronlampe (näit. heksoodid, heptoodid, oktoodid, duodiodtrioodid jne.), kuid oma põhiprintsiibilt nad tuginevad eelkirjeldatud elektronlampidele ja nende kombinatsioonidele. Neid kirjeldatakse lähemalt käesolevas teoses — tagapool, koos vastavate lülituste käsitlemisega.

Pentoodid jaotuvad:

- kõrgesageduspentoodid,
- eksponentsiaal, s. o. muutuva  $\mu$ -ga ja
- lõpp-pentoodid.

Nagu tetroodidegi juures, kasutatakse ka siin kaht esimest pingevõimendatajana\* ja viimast võimsuslambena. Näib, et lähemal ajal lõpp-pentoodid kaovad raadioturult, andes teed võimsustetroodide võidukäigule.

## § 40. Otsene ja kaudne küte.

Otsese küttega lambeks nimetati teatavasti sääraseid elektronlampe, mille kütteniit oli ühtlasi ka katoodiks, nagu see esines senini joonistel kujutatud ja näidetes kirjeldatud lampidel. Kütteks kasutatakse siin normaalselt alalisvoolu, mida saadakse tavaliselt akumulaatoreist või elementide patareidest.

Neid kütteniite-katode vahelduvvooluga küttes ilmnevad väikese võimsusega lampides sageli järgmised pahed:

— Kütteniit, olles läbimõõdult võrdlemisi peenike (kuni 0,05 mm) evib väikest massi ja väikest soojuse mahutavust, mistõttu tema temperatuur igal poolperioodil koos vahelduvvoolu amplituudidega tõuseb ja langeb. Muutliku temperatuuri tagajärjel pole katoodist kiirguv elektronide vool püsiv, vaid muutub vahelduvvoolu hetkväärtuste taktis.

— Kütteniidi otstel, seega ka kütteniidiga ühendatud lambi võrel on võrguvoolu taktis muutuv pingeline, mis kutsub esile vahelduva väljatugevuse, kui võrele antava pingeline tugipunktiks pole võetud kütteniidi keskpunkt. Viimane põhjustab omakorda anoodvoolu tugevuse muutumise võrguvoolu rütmis. Vastuvõtja telefonides kuulduv seetõttu häirivalt tugev nn. **võrgumüra** (100-perioodiline toon).

\* Eriotstarbeks on olemas kõrgesagedustetroode ja pentoode võimsuslambena.

— Kütteniidi ümber tekitatakse muutuva tugevusega magnetiväljad, mis halvab teiste elektroodide tegevust.

Neist pahedest vabanemiseks kasutatakse kaudset kütmissviisi, kus katood (elektrone kiirgav osa) on kütteniidist eraldatud (joon. 113 a).

Kaudse kütte puhul valmistatakse kütteniit  $K$  sirgjoonelisest või spiraalsest traadist, ühekordselt või bifilaarselt (joon. 113 b) ja

asetseb portselan-küttekehas  $kk$ .

Küttekeha ümbritseb metallkest  $m$ ,

mis kaetakse emiteeriva (tavaliselt baariumi) kihiga

$O$ . Kütteniidi üles-

anne siin on vaid küttekeha kuumen-

damine kuni emiteerimistemperatuurini. Küttekeha suure

massi tõttu tema temperatuur 50-perioodilise vahelduv-

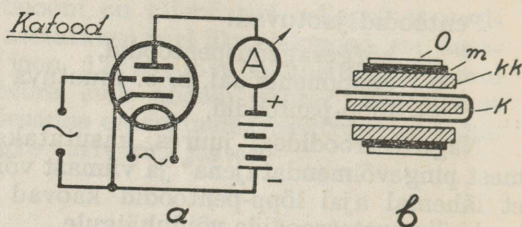
voolu juures peaaegu ei kõigu. Kütteniidi bifilaarsusega

hävitatakse küttevoolu magnetiväljad. Et kütteniit jääb

võrest eraldatuks, siis võrgupinge ei mõjuta enam võre kaudu

lambi anoodvoolu.

Nii otsese kui kaudse küttega elektronlampide küttepinged on mitmesugused, kõikudes olenevalt otstarbest ja valmistavast firmast (sageli umb. 2 voldist 25 voldini).



Joon. 113.

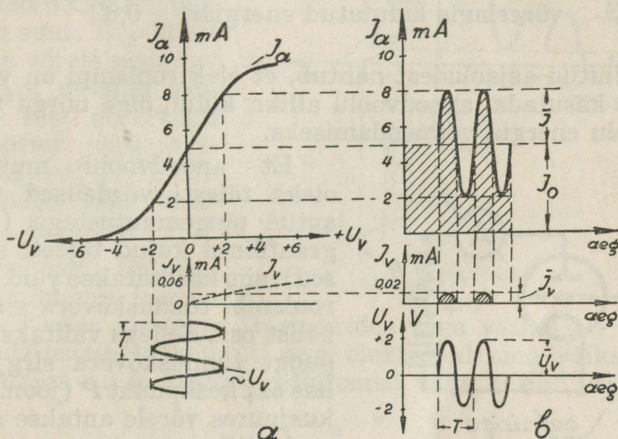
## VIII. ELEKTRONLAMBI KASUTAMINE.

### § 41. Elektronlamp võimendajana.

Joonisel 114 a on näitena toodud elektronlampi (triodi) tunnuskõverad, anoodvoolule  $I_a$  ja võrevoolule  $I_v$ . Kui võrele mingit pinget ei anta, siis läbib triodi püsiva tugevusega vool  $I_o$  ( $= 5$  mA) ja võrevoolu tugevus on praktiliselt 0. Niipea kui võre ja katoodi vahele ühendada mingi vahelduvvooluallikas, siis anoodvool muutub selle pingele ( $U_v$ ) rütmis. Projekteerides võrepinge  $U_v$  muutused anoodvoolu tunnuskõverale, siis võime aja suhtes leida anoodvoolu tugevuse muutused (joon. 114 b). Sellises olukorras töötava triodi

anoodvooluringi pulseeriv alalisvool koosneb alalisvoolu komponendist ja vahelduvvoolu komponendist  $\bar{I}$ , mille maksimumamplituud  $\bar{I} = 8 - 5 = 3 \text{ mA}$ .

Võrevool  $I_v$  ilmneb ainult võrepinge igal positiivsel poolperioodil ja maksimaalne  $I_v = 0,02 \text{ mA}$ .



Joon. 114.

Toodud näites on võrepinge maksimaalne amplituud 2 volti. Kui triodi anoodvooluringis oleks koormustakistus  $R_a = 2000 \Omega$  (joon. 115), siis võrepinge tagajärjel läbiks seda efektiivne vahelduvvoolu tugevus

$$I = \frac{\bar{I}}{\sqrt{2}} = \frac{3}{1,4} = 2,1 \text{ mA}$$

Seega triodi anoodvooluringis kulutatav vahelduvvoolu võimsus

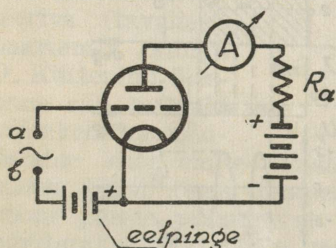
$$N_a = I^2 \cdot R = \left(\frac{2,1}{1000}\right)^2 \cdot 2000 = 8,8 \text{ mW}$$

Samal ajal võrevooringis kulutatav vahelduvvoolu võimsus ( $N_v$ ) võrdub võrevoolu  $I_v$  ja võrepinge  $U_v$  korrutisele. Joonise järgi kõigub see 0-st kuni 0,04 millivatini ( $2 \cdot 0 = 0 \text{ mW}$  ja  $2 \cdot 0,02 = 0,04 \text{ mW}$ ). Keskmiselt võttes on võre-

ringis kulutatava võimsuse väärtus umbes 0,02 mW, sest energia kulutatakse (võrevool tekib) vaid võrepinge positiivsete poolperioodide kestel. Käesoleval juhul elektronlambi võre ringis kulutatud ja selle tagajärjel anoodringis saadud vahelduvvoolu võimsuste vahel on järgmine suhe:

$$\frac{N_a}{N_v} = \frac{\text{anoodringis saadud energia}}{\text{võre ringis kulutatud energia}} = \frac{8,8}{0,02} = 440$$

Mainitud asjaoludest nähtub, et elektronlampi on võimalik ära kasutada, anoodvoolu allika kulul, õige nõrga vahelduvvoolu energia võimendamiseks.



Joon. 115.

Et anoodvoolu muutused oleks täiesti võrdelised võrele antud pingemuutustega (nende graafilised kujud täiesti sarnased), siis kasutatakse vaid elektronlambi tunnuskõvera sirgjoonelist osa. Selleks valitakse tööpunkt tunnuskõvera sirgjoonelise osa keskpunkt  $P$  (joon. 116), kusjuures võrele antakse alalisvooluallikast teatava suurusega negatiivne pinge ehk nn. eelpinge (joon. 115 punktid  $a$  ja  $b$  otse

ühendatud). Viimane määrab elektronlampi läbiva alalisvoolu püsiva suuruse.

Ühendades punktide  $a$  ja  $b$  vahele mingi vahelduvvoolu allika, siis liitub selle pinge võre alalispingega (eelpingega) ja võrele mõjub nende summa. Kui näiteks võre eelpinge on  $-10$  V ja vahelduvpinge maksimaalne amplituud 5 volti, siis resulteeriv võrepinge muutuks piirides  $-10 + 5 = -5$  voldist kuni  $-10 + (-5) = -15$  voldini, s. o. 10 volti.

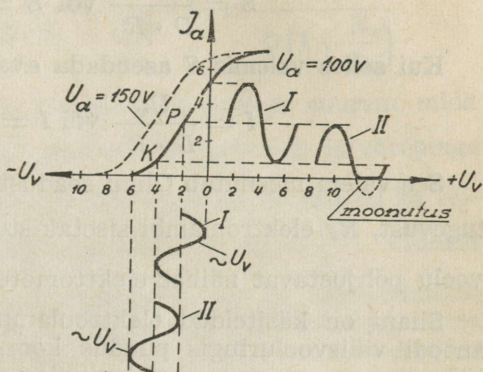
Kui tööpunktiks valida punkt  $K$  (negatiivse eelpinge suurenemisega) ja vahelduv võrepinge jätta endiseks, siis pole anoodvoolu muutused enam võrdelised võrepinge muutustega (joon. 116 kõverad II) ja anoodvooluringis tekib ülekandel moonutus. Moonutusest vabanemiseks tuleks suurendatud eelpinge juures anda ka suurem anoodpinge (näit. joonisel 116 toodud juhul 150 volti), siis asuks tööpunkt jälle tunnuskõvera sirgjoonelise osa keskpunktis. Nii on võimalik valida elektronlampi tööpunkti vastavalt tarvidusele.

Kui elektronlambi võrepinge muutused toimuvad negatiivsete võrepingete piirkonnas, siis ei ilmne üldse võrevoolu. Seetõttu oleks võreeringis kulutatav vahelduvvoolu võimsus null ja suhe

$$\frac{N_a}{N_v} = \frac{N_a}{0}$$

on teoreetiliselt lõpmatu suur. Tegelikult ei saa võrele saadetak energia millalgi olla null, sest võreeringis ilmnevad alati mitmesugused kaod, mida tuleb selle energiaga ületada.

Niiviisi täidabki elektronlamp inertsi- vabalt relee ülesannet, reageerides väga väikestele energiamuudatustele hetkeliselt, sest elektronid oma väikse massi tõttu lähevad ja lõpetavad liikumist väga kiirelt.



Joon. 116.

\* \* \*

Elektronlambi võimendus on seda suurem, mida suurem on tõus ja mida väiksem on läbitavus ehk mida suurem on võimendustegur, s. o. mida väiksemad võrepinge muutused kutsuvad anoodringis esile suuremaid anoodvoolutugevuse muutusi.

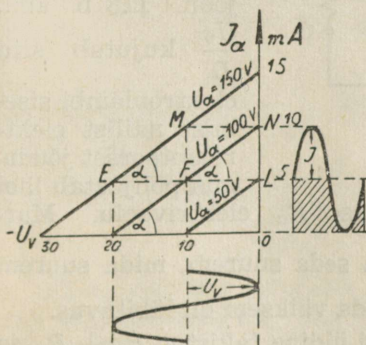
Jooniselt 117 nähtub, et tõus

$$S = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\overline{FM}}{\overline{EF}} \text{ ja}$$

$$I = \overline{FM} = S \cdot \overline{EF} = S \cdot U_v$$

kus  $\overline{EF}$  tähistab võrepinge maksimaalamplituudi ja  $\overline{FM}$  anoodvoolu vahelduvat amplituudi  $I$ . Sõnastatult: anood-

voolu vahelduv amplituud võrdub vahelduva võrepinge amplituudi ja tõusu korrutisega.



Joon. 117.

Barkhausi valemit ( $S \cdot D \cdot R_s = 1$ ) on võimalik teisendada järgmiselt:

$$S = \frac{1}{D \cdot R_s} \text{ või } S = \frac{\mu}{R_s}$$

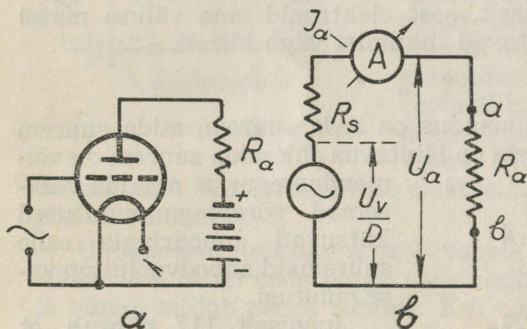
Kui selles valemis  $S$  asendada avaldisest  $I = S \cdot U_v$ , siis

$$I = \frac{U_v}{D \cdot R_s} \text{ või } I = \mu \frac{U_v}{R_s}$$

See valem meenutab Ohmi seadust, kus  $I$  tähistab voolutugevust,  $R_s$  elektronlambi sisetakistust ja murd  $\frac{U_v}{D}$  anoodvoolu põhjustavat näilist elektromotoorset jõudu.

Siiani on käsiteldud elektronlampi olukorras, kus selle anoodi välisvooluringis puudus koormustakistus. Tegelikult töö juures on anoodvooluringis alati koormustakistus  $R_a$  (joon. 118 a), mil tekkivat pingelangust võib kasutada

näit. mõnele teisele elektronlampile võrepinge andmiseks, s. o. selle anoodvoolu tüürimiseks. Piltlikult võib elektronlampi tegevust kujutada joon. 118 b abil.  $\frac{U_v}{D}$  kujutab siin



Joon. 118.

sisetakistuse  $R_s$  ja välistakistuse  $R_a$  elektrivoolu. Murrust  $\frac{U_v}{D}$  nähtub, et see jõud on seda suurem, mida suurem on võrele antav pinge  $U_v$  ja mida väiksem on läbitavus.

Selles lülituses on anoodringi üldine takistus  $R_s + R_a$  ja anoodvoolutugevus

$$I = \frac{U_v}{D (R_s + R_a)}$$

Seega välistakistuse  $R_a$  tõttu väheneb anoodvoolu tugevus. Takistuse  $R_a$  punktide  $a$  ja  $b$  vahel ilmnev pingelangus

$$U_a = I \cdot R_a = \frac{U_v}{D(R_s + R_a)} \cdot R_a = \frac{U_v}{D\left(1 + \frac{R_s}{R_a}\right)}$$

Avaldisest nähtub, et pingelangus on seda suurem, mida väiksem on murd  $\frac{R_s}{R_a}$ . Et anoodpinge muutuste ja võrepinge muutuste vahekord määrab lambi võimenduse, siis on ka võimendus seda suurem, mida väiksem on murd  $\frac{R_s}{R_a}$ . Viimast

võib vähendada kas  $R_a$  vähendamise või  $R_s$  suurendamise teel. Et sisetakistuse  $R_s$  vähendamine toob enesega kaasa lambi võimendusteguri languse, sest antud tõusu juures väheneb läbitavus ( $D = \frac{1}{S \cdot R_s}$ ), siis jääb üle vaid välistakistuse

$R_a$  suurendamine.  $R_a$ -d ei tohi  $R_s$  suhtes ka väga suurt valida, sest siis jääks anoodile mõjuv alalispinge, suure pingelanguse tõttu  $R_a$ -l, väikeseks; vastavalt sellele väheneks ka anoodvoolu tugevus. Kõige otstarbekohasem on suure  $R_a$  puhul kasutada ka suure  $R_s$ -ga elektronlampi, mis nähtub sellest, kui valemis

$$U_a = \frac{U_v}{D\left(1 + \frac{R_s}{R_a}\right)}$$

asendada  $D$  avaldise  $\frac{1}{SR_s}$  kaudu. Siis

$$U_a = \frac{U_v}{\frac{1}{SR_s}\left(1 + \frac{R_s}{R_a}\right)} = \frac{U_v \cdot S}{\frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_a}}$$

Et anoodpinge muutuste suhe võrepinge muutustele määrab võimendusteguri, siis on anoodringis saadud tegelik võimendus

$$V_1 = \frac{U_a}{U_v} = \frac{U_v \cdot S}{U_v\left(\frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_a}\right)} = \frac{S}{\frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_a}}$$

Näeme, et antud tõusu juures on lambi võimendus seda suurem, mida suuremad on  $R_s$  ja  $R_a$ , sest  $R_s$  suurendamine põhjustab läbitavuse vähenemise\*.

Kui koormustakistus asendada transformaatoriga, siis transformaatori sekundaarmähises on võimendus transformaatori ülekandeteguri  $\ddot{u}$  korda suurem, ja

$$V_2 = V_1 \cdot \ddot{u} = \frac{S \cdot \ddot{u}}{\frac{1}{R_s} + \frac{1}{R_a}}$$

Elektronlambi tunnuskõverad, mis üles võetud väliskoormuseta, nimetatakse **staatilisiks tunnuskõveraiks**. Koormamisel muutub staatilise tunnuskõvera tõus lamedamaks, sest Barkhauseni valem ( $S \cdot D \cdot R_s = 1$ ) kujundub siis järgmiselt:

$$S_1 \cdot D (R_s + R_a) = 1$$

kusjuures  $S_1$  tähistab vähenenud tõusu, et võrrand jääks õigeks.

Koormamisel lamedamaks muutunud tunnuskõverat nimetatakse **dünaamiliseks ehk töötamis-tunnuskõveraks** (lühendatult **töökõveraks**).

Koormamisel osa elektronlambi anoodile rakendatud pingest langeb koormustakistusele  $R_a$ . Nii ei mõju anoodil enam terve anoodpinge  $U$ , vaid  $U - I_a \cdot R_a$ . Koormates näit. anoodringi, mille pinge on 80 volti, takistusega  $R_a = 3000 \Omega$ , saame järgmisi tulemusi:

Anoodvoolu tugevus	$I_a$	2	4	6	8	mA
Pingelanguse takistusel	$I_a \cdot R_a$	6	12	18	24	V
Lambi anoodile mõjuv pinge	$U_a$	74	68	62	56	V

Kui anoodile tegelikult mõjuvate pingetega (74, 68, 62 ja 56 V) üles võtta staatilised tunnuskõverad, siis leitakse neil vastavalt anoodvoolu tugevuste muutustele (vt. tabel) töökõver (joon. 119). Viimaselt nähtub, et ühe ja sama võrepinge muutuste juures on elektronlambi koormamisel anoodvoolu muutuste amplituudid  $I_1$  palju väiksemad kui koor-

\* Praktiliselt lambilt saadav pingevõimendus  $V_1$  võrdub 50% lambi  $\mu$ -st, kui  $R_a = R_s$  ja 90%, kui  $R_a = 10R_s$ . Suuremaid  $R_a$  suurusi praktiliselt pole mõtet kasutada.

museta elektronlambi samad voolumuutuste amplituudid  $I$ . Koormuse suurenedes väheneb lambi tõus ja ühtlasi ka võimendus.

Praktiliselt on kõige lihtsam vastavate mõõtmiste abil lambi töökõverat leida kooramatud anoodringi puhul.

\*

Võrrand

$$U_a \cdot D = U_v$$

näitab, et mida väiksem on läbitavus, seda väiksemad peavad olema võrele antavad pingemuutused, et vältida anoodringis moonutusi. Võreikäiku (käsoleval juhul negatiivsete võrepingete piirkonda) on võimalik suurendada anoodpinge tõstmise abil, kuid sellega ei saa ületada lambi valmistajalt määratud piiri. Seepärast valitakse suurte võre- ehk sisendpingete puhul suure läbitavusega elektronlamp.

Väikese läbitavusega elektronlampe kasutatakse pingevõimendamiseks, suure läbitavusega elektronlampe aga võimsuslambeks, milledes suurte sisendpingete tõttu saadakse anoodringis suured anoodvoolu muutused.

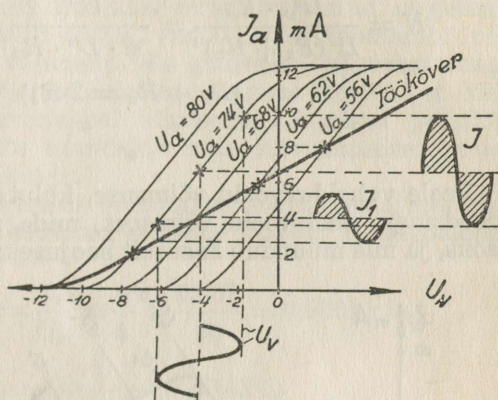
Kooramatud elektronlambi anoodringi takistusel  $R_a$  saadav vahelduvvoolu tippvõimsus

$$N = I \cdot U$$

kusjuures  $N$  tähistab vahelduvvoolu võimsust vattides,  $I$  vahelduvvoolu amplituudi ja  $U$  vahelduvpinge amplituudi. Kui anoodringis on näivtakistus (induktiivne või mahtuvuslik), siis tuleb valemis parempoolset osa korrutada veel  $\cos\varphi$ -ga.

Asendades saadud valemis  $I$  ja  $U$  neile varem leitud väärtustega, siis

$$N = I \cdot U = \frac{U_v}{D(R_s + R_a)} \cdot \frac{U_v \cdot R_a}{D(R_s + R_a)} = \frac{U_v^2 \cdot R_a}{D^2(R_s + R_a)^2}$$



Joon. 119.

Saadud valem näitab, et anoodringis on vahelduvvoolu võimsus suurim, kui koormustakistus  $R_a$  võrdub sisetakistusega  $R_s^*$ , siis

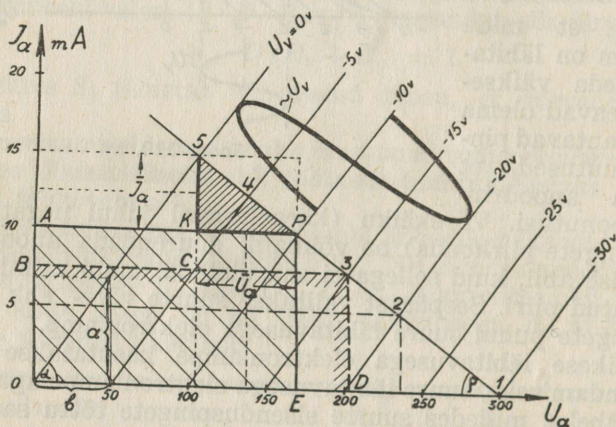
$$N = \frac{U_v^2 \cdot R_a}{D^2 (R_s + R_a)^2} = \frac{U_v^2}{4 \cdot D^2 \cdot R_a} = \frac{U_v^2}{4 \cdot D^2 \cdot R_s}$$

$$(R_s + R_a = 2 R_s)$$

\*                      \*

\*

Peale vahelduvvoolu võimsuse, kulutatakse elektronlambi anoodringis alalisvoolu võimsust, mida nimetatakse anoodikaoks, ja mis muundub kasutult soojuseks. Seega anoodvoolu-



Joon. 120.

allikalt võetav üldvõimsus jaguneb — kasulikuks vahelduvvoolu võimsuseks ja kasutuks alalisvoolu võimsuseks. Mainitud võimsuste suhet, mis tähistab antud juhul elektronlambi kasutegurit, püütakse alljärgnevas muu hulgas selgitada.

Senini on elektronlampide omadusi selgitatud nn.  $U_v - I_a$  tunnuskõverate abil. (Konstantse anoodpinge juures muudeti võrepinget  $U_v$  ja vastavalt anoodvoolu  $I_a$  muudatustele ehitati tunnuskõver). Tihti on vajalik tegelda ka teissuguste tunnuskõverate süsteemidega ja nimelt  $U_a - I_a$  tunnuskõveratega.

\* Sääraseis tingimuis saadavat võimsust praktiliselt ei kasutata, kuna ta sisaldab endas liiga suure % neid sagedusi, mida võimendama pingetes ei olnud.

Oluline erinevus seisneb selles, et iga tunnuskõver on siin üles võetud **konstantse võrepinge ja muutuva anoodpinge juures**.

Selliste tunnuskõverate sari on kujutatud joonisel nr. 120. Selguse mõttes on kõik tunnuskõverad kujutatud sirgetena, olgugi et nad tegelikult evivad, vastavalt elektronlambi individuaalomadustele, vähemat või suuremat kõverust (nagu näit. joonisel 121). Samuti oletame selguse mõttes, et kõik tunnuskõverad on omavahel võrdsetel kaugustel ja rööpsed. Sellesüsteemiliste tunnuskõverate tutvustamiseks vaatleme mõningaid üksikasju.

Antud tunnuskõveraist võib tarbe korral leida elektronlambi sisetakistuse, soovitud eelpinge juures. Elektronlambi juhtivus (kui  $U_v = 0$ )

$$\frac{1}{R_s} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{I_a}{U_a} = \frac{a}{b} = \frac{0,007}{50} = 0,00014 \text{ ja}$$

$$R_s = \frac{1}{0,00014} = 7143 \Omega$$

Oletame, et valitud tööpunkt asub punktis  $P$ . Seega olukord, kui võrel puudub vahelduvpinge, on järgmine: — võre eelpinge on  $-10$  V, pinge anoodil  $170$  V ja alalisanoodvool  $10$  mA. Elektronlambis tarvitatava alalisvoolu võimsuse (anoodikao) graafiline väärtus võrdub nelinurga  $OAPE$  pindalaga; või analüütiliselt

$$N_a = 170 \cdot 0,01 = 1,7 \text{ vatti}$$

Jättes anoodpinge konstantseks ( $170$  V) ja muutes võrepinget leiame, et kõik sellele vastavad anoodvoolu väärtused paigunevad tööpunkti  $P$  lähival vertikaaljoonel: kui näiteks  $U_v = -15$  V, siis  $I_a = 2,9$  mA; kui  $U_v = -5$  V, siis  $I_a = 17$  mA jne. Sellest tuleb järeldada, et joonlõik  $\overline{EP}$  ja selle pikendus moodustab enesest staatilise tunnuskõvera, valitud tööpinge ( $170$  V) juures.

Lülime vaadeldava elektronlambi anoodvooluringi oomilise koormustakistuse  $R_a = 13$  k $\Omega$ . Tööpunktis  $P$  läbib  $R_a$ -d vool  $10$  mA, tekitades pingelanguse  $I_a \cdot R_a = 0,010 \cdot 13000 = 130$  V. Seega  $10$  mA voolu tekitamiseks anoodvooluallika (patarei) pinge  $U$  pidi võrduma

$$U = U_a + I_a \cdot R_a = 170 + (0,010 \cdot 13000) = 300 \text{ volti.}$$

Anoodile mõjuva pinge suuruse üldvalem

$$U_a = U - (I_a \cdot R_a)$$

Kui näiteks

- (1)  $I_a = 0$  mA, siis  $U_a = 300$  V ( $U_v = -30$  V)
- (2)  $I_a = 5$  mA, siis  $U_a = 235$  V ( $U_v = -20$  V)
- (3)  $I_a = 7,5$  mA, siis  $U_a = 202,5$  V ( $U_v = -15$  V)
- (4)  $I_a = 12,5$  mA, siis  $U_a = 137,5$  V ( $U_v = -5$  V)
- (5)  $I_a = 15$  mA, siis  $U_a = 105$  V ( $U_v = 0$ )

Neid punkte (1, 2, 3, 4 ja 5) joonisele kandes ja omavahel ühendades leiame dünaamilise tunnuskõvera antud  $R_a$  jaoks, kusjuures kõvera (käesoleval juhul sirgjoone) tõus  $t_{gp} = 1 : R_a$ .

Kui vaadeldava elektronlambi võrele mõjub vahelduvpinge, amplituudiga 10 volti, siis võre üldpinge kõigub 0-st kuni  $-20$  voldini, s. o. punktide 2 ja 5 vahel. Kellele vastavalt kõigub anoodpinge 235 kuni 105 voldini ja anoodvool 5-st kuni 15 milliamprini. Vahelduvpinge ja voolu maksimaal-amplituudid koormustakistusel  $R_a$

$$\bar{U}_a = (235 - 105) : 2 = 65 \text{ V}$$

$$\bar{I}_a = (15 - 5) : 2 = 5 \text{ mA}$$

Koormustakistusel tarvitatav vahelduvvoolu võimsus

$$N_v = \frac{\bar{U}_a}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\bar{I}_a}{\sqrt{2}} = \frac{\bar{U}_a \cdot \bar{I}_a}{2} = \frac{65 \cdot 0,005}{2} = 0,1625 \text{ vatti}$$

Graafiliselt tähistab vahelduvvoolu võimsust kolmnurga PK5 pind. Samal ajal anoodvooluallikalt võetav võimsus  $N = 300 \cdot 0,010 = 3$  W

Vahelduv- ja äratarvitatud alalisvoolu võimsuste suhe ehk elektronlambi kasutegur käesoleval juhul

$$\eta = \frac{N_v}{N} = \frac{0,1625}{3,0} = 0,0541 \text{ ehk } 5,41 \%$$

Suurema kasuteguri saamiseks pidanuks tööpunkt asetsema punktis 3, mistõttu nii anoodikaod kui ka anoodvooluallikalt võetav võimsus oleks vähenenud ( $N = 300 \cdot 0,0075 = 2,25$  W) ja võrele oleks võimaldunud juhtida 15-voldilise amplituudiga vahelduvpinget. Mainitud juhul tähistaks (joon. 120):

— Anoodikadusid — nelinurga 0B3D pind ja

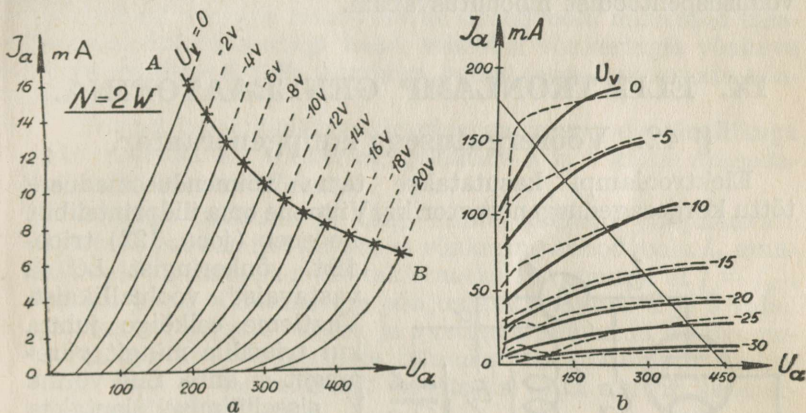
— Vahelduvvoolu võimsust — kolmnurga 3C5 pind

( $N_v = 0,366$  W).

On ilmselt selge, et võimsuste  $N_v$  ja  $N$  suhe ( $\eta$ ) pole enam endine, vaid hoopis suurem (umbes 14,5 %).

Trioodilt tavaliselt võetava vahelduvvoolu võimsusega ei ületata ühte kolmandikku alalisvoolu võimsusest, sest vastasel korral anoodvoolu muutused ei piirdu tunnuskõvera sirgjoonelise osaga, mistõttu nad pole enam tõetruud koopiad võrepinge muutustest.

Konstruksioonile vastavalt on igale elektronlambile määratud kindlaks maksimaalsed anoodikaod, mida pole lubatav ületada. Kui elektronlambi koormustakistust  $R_a$  vähendada, siis tuleks vastavalt vähendada anoodpinget või vähendada eelpinget, et anoodikaod jääks samaks, s. o. et korrutis  $U_a \cdot I_a$  ei muutuks. Anoodpinge suurendamisel tuleb aga vastavalt suurendada ka  $R_a$ -d.



Joon. 121.

Joonisel 121 a näitab kõver  $AB$  voolutugevuse piiri, millisega võib elektronlambi vastavate anoodpingete juures koormata, et võimsus ( $I_a \cdot U_a$ ) jääks alati üheks ja samaks. Joonisel nähtub, et anoodpinge suurendades tuleb vähendada anoodvoolu tugevust, et koormusvõimsus jääks lubatud piiridesse. Ülekoormamise puhul ilmnevad lambis moonutused.

Väikeste anoodpingete juures on negatiivne võrekaik lühike. Võrekaigu suurendamiseks tuleb lambile anda suurem negatiivne eelpinge ja vastavalt anoodpinget tõsta. Seega tuleb leida kuldne kesktee lambi tööle rakendamiseks. Otstarbekohasem on vastavalt teadaolevaile sisenduspingetele valida sobivate andmetega elektronlamp.

Töötamiskõver (dünaamiline tunnuskõver) samas tööpunktis muutub seda lamedamaks, mida suuremaks kasvab

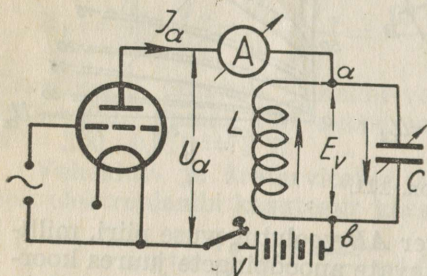
koormustakistus  $R_a$ . Tavaliselt valitakse  $R_a$  trioodi juures 2 kuni 3 korda suurem sisetakistusest, millega 5% moonutuse juures kasulikvõimsus on maksimaalne. Pentoodide juures aga koormustakistus määratakse umbkaudu anoodpinge ja anoodvoolu tugevuse jagatisena vastavalt Ohmi seadusele.

Joonisel 121 b on näidatud täisjoontega võimsuspentoodi ja katkestatud joontega jugatetroodi anoodvoolu muutuste kõverjooned. Neilt näeme, et võimsuspentoodil sekundaar-emissioon puudub, kuna jugatetroodil see ilmneb ainult madalate anoodpingete puhul. Kõrgemate anoodpingete juures jugatetroodi anoodvoolu muutus on võimsuspentoodi anoodvoolu muutusest palju sirgjoonelisem; seega jugatetrood on võimsuspentoodist moonutusvabam.

## IX. ELEKTRONLAMP GENERAATORINA.

### § 42. Võõrergutusega lampgeneraator.

Elektronlampi kasutatakse tema võimendusomaduste tõttu kõrgesagedusgeneraatoriks. Viimane oma üldprintsipiilb



Joon. 122.

koosneb (joon. 122) trioodist, võnkeringist  $LC$  ja vastavaist vooluallikaist. Vaatleme eelkõige juhtu, kui trioodile mingit võrepinget ei anta. Siis võtme  $V$  sisselülimisel laetakse anoodringis ilmneva voolu  $I_a$  poolt mahtuvus  $C$ , kuni selle plaatidevaheline pinge võrdub anoodvooluallika pingega  $U$ . Et pool on mahtuvuse suhtes anood-

voolule lühihühenduseks, siis sünnib kondensaatori laadimine ainult poolis tekitatud vastuelektromotoorse jõu  $E_v$  tõttu seni, kuni anoodvoolutugevus muutub, s. o. kuni see kasvab oma maksimaalsuuruseni. Kui voolutugevus enam ei muutu, siis kaob ka poolis tekitatud vastuelektromotoorne jõud ja kondensaatori laeng lahendub pooli  $L$  kaudu. Lahendumisvoolu sageduse ( $f_0$ ) määravad võnkeringi suurused  $L$  ja  $C$ ; seega

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{CL}}$$

Saadud võnkumine on kustuv, sest anoodringis püsiva voolu tõttu puuduvad voolu muutused, mis redutseeriks kondensaatori lahendamisel tekkivad energia kaod.

Kustumatu võnkumise saamiseks on vaja kondensaatori laengut pidevalt täiendada võnkeringis ilmnevate kadude võrra. Kadude kompenseerimine peab toimuma tõugetena, kusjuures tõugete sagedus võrduks võnkeringis võnkuva voolu sagedusele. Lihtsaim on seda teostada nii, et trioodi võrele juhitakse vahelduvpinge, mille sagedus  $f$  võrdub võnkeringi endasagedusele  $f_0$ . Võre positiivseks muutudes kasvab  $I_a$ , kuna võre negatiivseks muutudes  $I_a$  väheneb. Nii võngub anoodvool  $I_a$  sama sagedusega, kui võnkeringis võnkuv vool. Võnkeringi vooluga faasis olevad anoodvoolu muutused tasakaalustavad võnkeringi kaod, mistõttu võnkeringis võnkuva voolu amplituud jääb püsivaks, andes seega kustumatu võnkumise.

Trioodi koos muutuva võrepingega ja anoodvooluallikaga võib vaadelda kui võnkeringi punktide  $a$  ja  $b$  külge rakendatud vahelduvvooluallikat.

Oomilise takistuse ja kõigi teiste kadusid põhjustavate asjaolude puudumisel kujuneks võnkering anoodvoolu  $I_a$  muudatustele lõpmata suureks takistuseks (tingimusel et  $f = f_0$ ), sest sel juhul võnkeenergia põhjustaks punktide  $a$  ja  $b$  vahel generaatori pingele võrdse ja vastupidi suunatud elektromotoorse jõu  $E_v$ . Võnkeringis toimuks siis kustumatu võnkumine, ilma et vooluallikast tarvitseks võtta mingit lisaenergiat (vrldl. §§ 19 ja 20).

Kuna iga võnkering evib võnkumisel kadusid, siis pole ta enam  $f_0$  sageduslikule voolule lõpmata suureks takistuseks. Kui näiteks võnkeringi takistus (punktide  $a$  ja  $b$  vahel)  $f_0$  sageduslikule vahelduvvoolule on  $5000 \Omega$  ja seda takistust läbib  $0,2$ -ampriline efektiivne voolutugevus, siis Ohmi seaduse kohaselt peaks sellise voolutugevuse tekitama efektiivne pinge  $5000 \cdot 0,2 = 1000$  volti; selle pinge maksimaalväärtsus on  $1000 \cdot \sqrt{2} \approx 1400$  V.

Et anoodile mõjuv pinge  $U_a$  võrdub alati anoodvooluallika pinge ja võnkeringi (moodustab käesoleval juhul koormustakistuse) punktide  $a$  ja  $b$  vahel tekkiva pinge diferentsiga, siis käesoleva näite puhul, kui anoodallika pinge on  $1750$  volti, mõjub generaatorlambi anoodile pinge  $U_a = 1750 \pm 1400$  V. Vahelduv anoodpinge muutub seega  $350$  kuni  $3150$  voldi piirides (joon. 123).

Võnkeringile mõjuv efektiivne pinge, näiteks  $U_a = 2000$  V, tekitab ka võnkeringis efektiivse vastuelektromotoorse jõu  $Ev = 2000$  V, mis põhjustab võnkeringis vastupidi suunatud voolud  $I_i$  ja  $I_c$ . Olgu näiteks pooli induktiivsus  $L = 0,1$  mH ja mahtuvus  $C = 6000$  cm  $= \frac{6000}{9 \cdot 10^{11}}$  F. Resonantsi puhul

$$\omega L = \frac{1}{\omega C}, \text{ kust } \omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ ja}$$

$$I_i = \frac{Ev}{\omega L} = \frac{Ev \cdot \sqrt{CL}}{L} = Ev \cdot \sqrt{\frac{C}{L}} = 2000 \cdot \sqrt{\frac{6000 \cdot 10^4}{9 \cdot 10^{11}}} =$$

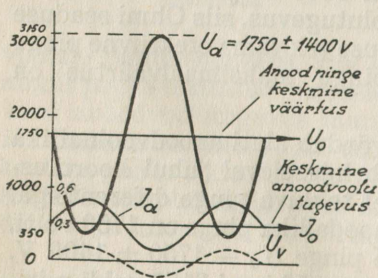
$$= 16,3 \text{ A, ning}$$

$$I_c = \frac{Ev}{\omega C} = Ev \cdot \omega C = \frac{Ev \cdot C}{\sqrt{CL}} = Ev \sqrt{\frac{C}{L}} = 16,3 \text{ A}$$

Võnkeringi oomiline takistus on arvutusest välja jäetud, kuna viimane on impedantsiga võrreldes väga väike. Toodud arvutusest nähtub, et võnkeringis võnkuva voolu tugevus on palju kordi tugevam sellest voolust, mida generaator võnkeringi saadab (0,2 A). Võnkuva voolutugevuse (16,3 A) säilitamiseks peabki generaator pidevalt 0,2 amprit juurde andma, mis kompenseerib võnkeringis esinevad kaod. Seega võnkeringile juurdeantav võimsus  $N_v = I^2 \cdot R_a = 0,2^2 \cdot 5000 = 200$  vatti, mis moodustabki generaatorilt võetava võnkuva energia suuruse.

Et anoodvoolu püsivtugevus (mida näitab anoodringis olev alalisvoolu ampermeeter)  $I_a = 0,3$  A (vt. joonis 123 ja 124), siis anoodvooluallikalt võetav võimsus

$N = I_a \cdot U_a = 0,3 \cdot 1750 = 525$  W, s. o. umbes 2,5 korda võnkuvast energiast suurem. Siin on eelduseks, et võrepinge tüürib anoodvoolu selle tunnuskövera sirgjoonelise osa kogu ulatuses (joon. 124), mille juures võrepinge maksimaalne amplituud peaks olema 200 volti.



Joon. 123.

Võrevoolu efektiivväärtus võiks käesoleval juhul olla 0,03 A, efektiivse pinge  $U_v = \frac{200}{\sqrt{2}}$  V juures. Võreeringis kulutatav vahelduvvoolu võimsus

$$N = \frac{200}{\sqrt{2}} \cdot 0,03 = 4,75 \text{ W}$$

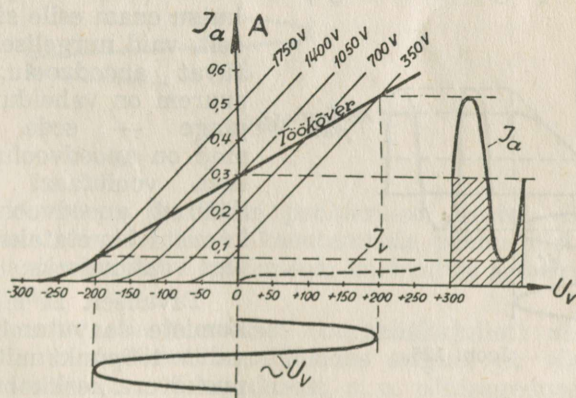
mis kutsus anoodringis esile 200 W võimsusega võnkumise.

Võimsuste vahe  $N - N_v = 525 - 200 = 325 \text{ W}$  muundub anoodil soojuseks ega tee kasulikku tööd.

Käesoleval juhul elektronlambi kasutegur

$$\eta = \frac{N_v}{N} = \frac{200}{525} = 0,38 = 38\%$$

Anoodringis on voolutugevus kõige suurem (maksimaalamplituud), kui võrepingel on positiivne maksimum (joonis 124). Sel hetkel anoodile mõjuv pinge  $U_a$  on kõige väiksem, sest  $R_a$ -l tekib tugeva voolu puhul suur pingelangus.



Joon. 124.

Seega anoodpinge muutused on anoodvoolu tugevuse muutuste suhtes faasis nihutatud poolperioodi ( $180^\circ$ ), kuna võrepinge ja anoodvoolu muutused on omavahel faasis.

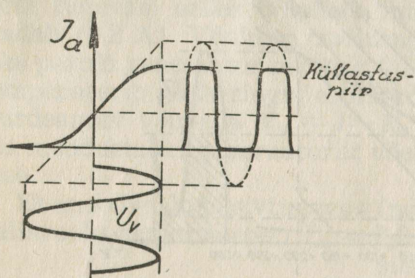
Eespoolkirjeldatud lampgeneraatorit, kus võrele antav vahelduvpinge saadakse võõrast vooluallikast, nimetatakse võõregutusega lampgeneraatoriks.

Selgituseks toodud näites on andmed vabalt valitud, ilma et need konkreetselt vastaks mõnele kindlatüübilisele generaatorlambile.

### I ja II liigi võnkumine\*.

Senini vaadeldi elektronlambi töötamist olukorras, kus tööpunkt asus tunnuskõvera sirgjoonelise osa keskpunktis ja anoodvool võnkus vaid tunnuskõvera sirgjoonelise osa ulatuses (joon. 124). Esilekutsutud anoodvoolu muudatused olid võrdelised võrepinge muudatustega, mistõttu ülekanne oli vaba moonutustest. Selliseil tingimusil töölerakendatud elektronlambi anoodringis esinevat võnkumist nimetatakse **esimese liigi võnkumiseks**. Töötamise iseloomustuseks on siin loomutruu ülekanne, kuid elektronlambi väike kasutegur.

Suurema kasuteguri saamiseks juhitakse elektronlambi võrele senivaadeldust tugevam vahelduvpinge, mistõttu anoodvool ei püsi enam tunnuskõvera sirgjoonelise osa piirides, vaid võngub elektronlambi küllastuspiirist kuni 0-jooneni (joon. 125). Kuna anoodvoolu muutused pole enam võrdelised võrepinge muutustega, siis sinusoidne võrepinge ei kutsu enam esile sinusoidset, vaid nurgeliselt muutuvat anoodvoolu. Mida suurem on vahelduv võrepinge — seda järsumad on anoodvoolu tähistava voolufaasi küljed. Säärast anoodvoolu võnkumist nimetatakse **teise liigi võnkumiseks**.

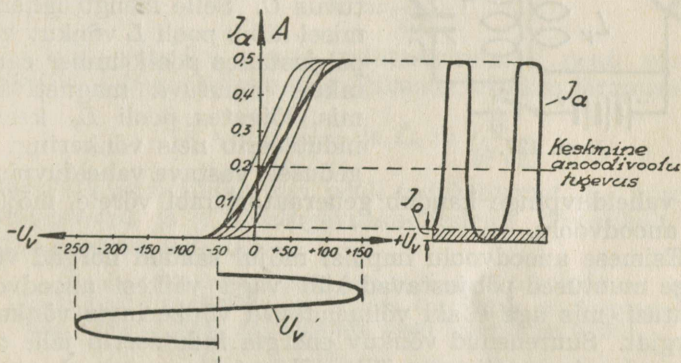


Joon. 125.

kuhugi tunnuskõvera alumise otsa peale, nagu see on kujutatud joonisel 126, — 50 V eelpinge juures. 200-voldiline vahelduv võrepinge kutsub siin anoodringis esile küllastuspiirini ulatuvad anoodvoolu kõikumised, mis pole enam sinusoidsed ega sümmeetrilised keskmise vooluväärtuse suhtes.

\* Esimese liigi võnkumine saadakse nn. A-klassi lülitusega, kuna teise liigi võnkumine saadakse B- ja C-klassi lülitusega. Neid lülitusi käsitletakse tagapool.

Kuna anoodvool ei voola enam, nagu see oli I liigi võnkumiste juures, kogu perioodi vältel, vaid osa perioodi vältusest — üksikute tõugetena, siis vähenevad nii sisendvõimsus kui ka lambi takistuses soojuseks muutuva kaovõimsuse väärtused. Seejuures viimane neist langeb tunduvalt kiiremini kui esimene. Selle tulemuseks on, et kasuliku võimsuse ja sisendvõimsuse suhe suureneb. Lambi töölerakendamiseks kõrge kasuteguriga on vaja tõsta anoodpinget kui ka võrele mõjuvat vahelduvpinget, et anoodvool saaks ilmned



Joon. 126.

ainult võrepinge positiivse poolperioodi kestel. Sääraseis tingimustes toimides lambi kasutamisele paneb piiri lubatav maksimaalne anoodi kaovõimsus, kuid mitte seevõrra sisendvõimsus.

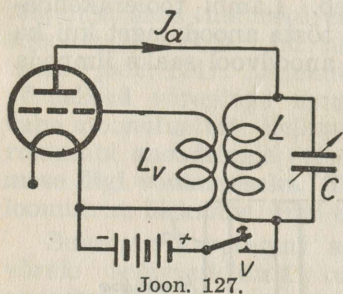
Võnkumise ebasinusoidset (nurgeliskujulist) võnkumist Fourier\* rea kohaselt analüüsides selgub, et võnkumine siin koosneb mitmest sagedusest, s. o. põhisagedusest  $f_0$  ja harmoonilistest, mis on põhisagedusest 2, 3, 4, 5 jne. korda suuremad. Harmoonilistel sagedustel võnkuv energia on suhteliselt palju nõrgem põhisagedusel võnkuvast energiast. Kui selliselt võnkuv kõrgsagedusvool juhtida antenni, siis kiirgab antenn välja mitmesuguses harmoonilises vahekorras oleva energia (võrdle § 29 viimane osa).

\* Loe Furjee.

## § 43. Endaergutusega lampgeneraator.

### 1. Heterodüün.

Lampgeneraatoreid, mis on suutelised võõrergutuseta kõrgesagedusvõnkeid tekitama, nimetatakse **endaergutusega lampgeneraatoreiks** ehk **heterodüünideks**.



Joon. 127.

See vahelduvpinge kandub generaatorlambi võrele, mõjutades anoodvoolu.

Esimese anoodvoolu impulsi mõjul saadud nõrgad võrepinge muutused põhjustavad küll väga väikesi anoodvoolu muutusi, mis aga siiski võimendavad võnkeringis võnkuvat energiat. Suurenenud võnkuv energia indutseerib jälle suurema võrepinge, viimane jälle põhjustab suuremad anoodvoolu muutused jne., kuni on jõutud võnkuva voolu suuruseni, nagu seda võimaldab antud elektronlambi konstruktsioon koos võnkeringi omadustega. Tuleb tähele panna, et võrepoolis indutseeritav pinge oleks faasis anoodvooluga, vastasel korral võnkumist ei teki. Et anoodpinge on anoodvoolust poole perioodi võrra ( $180^\circ$ ) faasis nihutatud (joon. 123), siis tuleb võrepooli  $L_v$  keerdude suund valida vastupidine võnkeringi pooli  $L$  keerdude suunale, et saada anoodpingest poole perioodi võrra nihutatud võrepinget.

Säärast energia tagasikandumist anoodringist võrelingi nimetatakse **tagasisideks**. Tagasiside puhul mõjustavad teineteist vastastikku anoodvool ja võrepinge — vahelduvalt.

Kustumatute võnkumiste tekitamisel on vajalik, et võrelingis indutseeritud pinge amplituudid poleks kahanevad, vaid saavutades oma normaalsuuruse — jääks püsivaks. Selles mõttes evib tagasiside tugevuse määr suurt tähtsust. On tagasiside nõrk, ei teki võnkumist üldse, või tekib vaid voolu sisselülimisel, kustudes õige pea.

Heterodüün koosneb anoodvõnkeringist  $LC$  (joon. 127) ja viimasega sidestatud võrepoolist  $L_v$ . Võtme  $V$  sisselülimisel laadub anoodvoolu mõjul mahutuvus  $C$ . Selle laengu lahendumisel läbib pooli  $L$  võnkuv vool, põhjustades pooli ümber samas taktis muutuva magnetivälja, mis, lõigates pooli  $L_v$  kerde, indutseerib neis võnkeringi sagedusele vastava vahelduvpinge.

Et anoodvool  $I_a = S \cdot U_v$ , siis on elektronlambis võnkumise tekkimise võimalused seda suuremad, mida väiksem on läbitavus ja mida suurem on tõus.

Tagasiside on seda tugevam, mida suurem pinge indutseeritakse võrepoolis, võnkuva energia poolt. See pinge

$$U_v = \omega M \cdot I_i = 2\pi f \cdot M \cdot I_i$$

kus  $f$  tähistab võnkuva voolu sagedust,  $M$  võnkeringi pooli  $L$  ja võrepooli  $L_v$  vahelist vastastikuse induktsooni koefitsienti ja  $I_i$  võnkuva voolu tugevust. Sellest valemist leitakse vastavalt voolutugevusele vastastikune induktiivsus:

$$M = \frac{U_v}{\omega I_i}$$

Võrele vajaliku pinge indutseerimiseks peab võrepool evima vastavat induktiivsust. Viimane leitakse järgmiselt:

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_v \cdot L}} \text{ ja } L_v = \frac{M^2}{k^2 \cdot L}$$

kus  $L$  tähistab võnkeringi pooli induktiivsust,  $L_v$  võrepooli induktiivsust ja  $k$  sidetugevuskoeffitsienti. Tegelikult valitakse  $k$  umbes 0,2—0,3.

Näide: Võnkeringi pooli induktiivsus  $L = 200000$  cm, mahtuvus 500 pF,  $f = 476000$  ( $\omega = 3 \cdot 10^6$ ). On nõutav, et võrepinge amplituud oleks 15 volti, kui võnkuva voolu tugevus on 0,25 A.

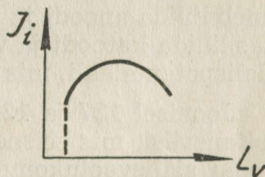
$$M = \frac{U_v}{\omega I_i} = \frac{15}{3 \cdot 10^6 \cdot 0,25} \cdot 10^9 = 20000 \text{ cm}$$

Sellest arvutusest nähtub, et mida suurem on võnkuva voolu tugevus ja sagedus, seda väiksemaks muutub vajaline  $M$ .

Võttes aluseks, et  $k = 0,3 = 30\%$ , siis

$$L_v = \frac{M^2}{k^2 L} = \frac{20000^2}{0,3^2 \cdot 200000} = \frac{2000}{0,09} = 22200 \text{ cm}$$

Piltlikult on kujutatud joonisel nr. 128 tagasiside suurus sõltuvalt võnkuva voolu tugevusest. Kui tagasiside on nõrk, s. o. kui võrepooli  $L_v$  keerdude arv\* on väga väike, siis võnkumine lakkab.  $L_v$  keerdude suurenemisega kasvab võnkuv energia ja teatava  $L_v$  suuruse juures on see maksimaalne.  $L_v$  edasisel suurendamisel võnkuv energia väheneb. Võnkuva energia vähenemise põh-



Joon. 128.

\* Võre- ja võnkeringi poolide kaugus ja keerdude suund jääb muutmatuks.

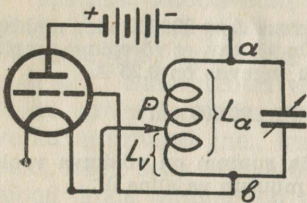
juseks on võrevoolude tekkimine suurte võrepinge amplituudide tagajärjel, mistõttu võnkuva voolu tugevus väheneb võrevoolude võrra. Mainitud nähtust nimetatakse generaatori ülekoormuseks.

Poolide induktiivsel sidestusel saadud tagasisidet nimetatakse **induktiivseks tagasisideks**. On veel muid tagasisidestusviise — näiteks **autotransformaatorilisi, mahtuvuslikke** ja teisi.

Endaergutusega lampgeneraatoreid ei kasutata mitte ainult võõrergutusega lampgeneraatorite tüürimiseks, vaid ka iseseisvate väikesevõimsuslike saatejaamadena.

## 2. Kolmpunktlülitus.

Heterodüünlülitus autotransformaatorilise tagasisidestusega (joon. 129) on oma lihtsuse tõttu laialt levinud. Mainitud lülituses vahelduv võrepinge  $U_v$  saadakse võnkepoolist  $L_a$  haruühenduse kaudu. Võrepooliks  $L_v$  kasutatakse seega ühte osa võnkeringi pooli keerdudest. Punkt  $P$ , olles ühendatud



Joon. 129.

katoodiga, moodustab nn. nullpunkti, mille suhtes võnkeringi pooli potentsiaalid punktides  $a$  ja  $b$  on teineteisest pool perioodi ( $180^\circ$ ) nihutatud, sest pooli  $L_a$  keerud on ühesuunalised. Võrepinge  $U_v$ , s. o. tagasiside tugevus, on seda suurem, mida suurem on  $L_v$  keerdude arv. Tagasiside tugevuse muutmine toimub selle lülituse juures

$L_v$  keerdude arvu valikuga, kontakti  $P$  abil. Anoodvooluallikas tuleb lülida anoodi ja võnkeringi vahele. Kui anoodvooluallikas lülida katoodi ja võnkepooli vahele, siis saaks võre sama alalispotentsiaali, mis anoodki, ja võnkumist ei teki.

Joonisel 127 ja 129 on kasutatud anoodringi **järjestikkutoitmisviisi**, mis seisneb selles, et võnkeringi läbib ka anoodvoolu alalisvoolukomponent ja võnkeringi üksikosad evivad anoodvooluallika potentsiaali.

Et lampgeneraatoris kasutatavad anoodpinged on tihti väga kõrged, siis võivad need võnkeringi häälestamise ajal teatavaid halbusi tekitada (näiteks sädemete ja leegi tekkimise võimalused häälestuskondensatori plaatide vahel jne.).

Samuti võivad kõrged anoodpinged muutuda võnkeringi üksik-  
osade puudutamisel elule ohtlikuks.

Seepärast kasutatakse generaatorlambi anoodringi toitmi-  
seks nn. **rööbiti-toitmisviisi** (joon. 130 a). Siin on võnkeringi  
ja anoodi vahele ühendatud kondensaator  $C_a$ , mille ülesanne  
on hoida anoodvooluallikat lühiühendusest pooli  $L$  kaudu. Et  
kondensaator  $C_a$  on vahelduvvoolule näivaks takistuseks, siis  
toimub selle kaudu ka võnkeringi kadude katmine. Pideva

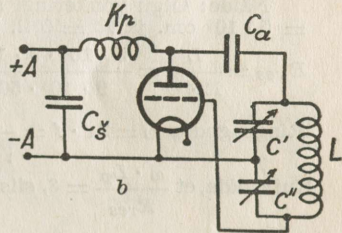
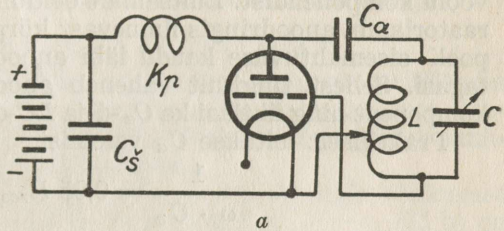
võnkumise saamiseks  
võnkeringis  $LC$ , ühen-  
datakse anoodi ja  
anoodvooluallika va-  
hele kõrgesagedus-  
paispool  $K_p$ . Paispooli  
puudumisel ei muu-  
tuks generaatorlambi  
anoodpinge ja vör-  
duks alati vooluallika

pingele. Seetõttu ei muutu ka  $C_a$   
laeng ja lambi anoodringist võn-  
keringi  $LC$  energiat üle ei kandu.  
Võnkeringis ilmneks võnkumine  
anoodvooluallika sisselülimise  
hetkel, mis ruttu kustuks.

Generaatorlambi anoodringis  
võnkuva voolu poolt indutseeri-  
tud võrepinge  $U_v$  tekitab oma-  
korda anoodvoolu muutusi, mis  
läbivad paispooli  $K_p$ . Et viimane  
evib teatavat induktiivsust, siis  
tekib ta otstel, muutuva  $I_a$  tõttu, muutuva suurusega pinge  
(vahelduvpinge), mis liitudes alalispingega kord suurendab  
ja kord vähendab generaatorlambi anoodile mõjuvat üldpin-  
get. Alalisanoodpinge evib seega vahelduvpinge komponenti,  
mis põhjustab vahelduvvoolu läbi  $C_a$  ja  $LC$ , ja mida ongi vaja  
võnkeringi kadude redutseerimiseks.

Kondensaatori  $C_a$  mahtuvus ja paispooli induktiivsus  $K_p$   
peavad vastama võnkeringi suurustele. Teatavasti määratakse  
võnkeringi resonantstakistus valemiga

$$R_{res} = \frac{L}{R \cdot C}$$



Joon. 130.

Paispooli induktiivsus  $L_p$  valitakse praktiliselt nii, et

$$\frac{\omega \cdot L_p}{R_{res}} = 3 - 4$$

kusjuures  $L_p$  väärtus on tähistatud henrides.

Seda vahekorda ei valita liiga suurena, sest vastasel korral suure induktiivsusega paispool evib suure keerdude arvu tõttu ka suurt sisemahtuvust. See mahtuvus on kahjulik, sest tema laadimiseks kulutatakse teatav osa vahelduvast anoodvoolu komponendist. Lihtsamalt öelduna, juhitakse osa generaatorlambi anoodringis ilmnevast kõrgesagedusvoolust paispooli sisemahtuvuse kaudu läbi anoodvooluallika katoodile tagasi. Sellest tingitult väheneb anoodringi vahelduvvoolu komponent ning ühtlasi ka  $C_a$ -d ja  $LC$ -d läbiva voolu tugevus.

Praktiliselt leitakse  $C_a$  valemist

$$\frac{1}{\omega \cdot C_a} = 0,05 R_{res}$$

kus  $C_a$  on faradites.

Näide: Olgu võnkeringi mahtuvus  $C = 500$  cm,  $L = 50\,000 = 5 \cdot 10^4$  cm. ja  $R = 9 \Omega$ . Leida  $L_p$  ja  $C_a$ .

$$R_{res} = \frac{L}{R \cdot C} = \frac{5 \cdot 10^4 \cdot 9 \cdot 10^{11}}{9 \cdot 10^9 \cdot 500} = 10000 \Omega$$

$$\text{Ringsagedus } \omega = 2\pi \cdot f = \frac{1}{\sqrt{C \cdot L}}$$

$$\text{Kui valida, et } \frac{\omega \cdot L_p}{R_{res}} = 3, \text{ siis paispooli induktiivsus } L_p = \frac{3 \cdot R_{res}}{\omega} =$$

$$= 3 \cdot R_{res} \cdot \sqrt{CL} = 3 \cdot 10\,000 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot 10^4}{10^9} \cdot \frac{500}{9 \cdot 10^{11}}} =$$

$$= \frac{30\,000 \cdot 5 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^{10}} = \frac{5}{1000} = 0,005 \text{ H} = 0,005 \cdot 10^9 = 5\,000\,000 \text{ cm}$$

$$\text{Kondensaatori } C_a \text{ mahtuvus leitakse valemist } \frac{1}{\omega \cdot C_a} = 0,05 R_{res},$$

$$\text{kust } C_a = \frac{1}{\omega \cdot 0,05 \cdot R_{res}} = \frac{\sqrt{CL}}{0,05 \cdot 10\,000} = \frac{5 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^{10} \cdot 0,05 \cdot 10\,000} =$$

$$= \frac{1}{3 \cdot 10^9} \text{ H} = \frac{1}{3 \cdot 10^9} \cdot 9 \cdot 10^{11} = 300 \text{ cm}$$

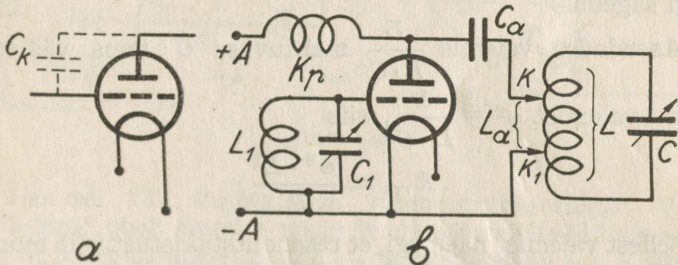
Anoodvooluallikaga rööbitiühendatud mahtuvuse  $C_s$  ülesanne on vooluallikat šuntida, s. o. paispoolist läbi pääsenud kõrgesagedusvoolu enese kaudu katoodile tagasi juhtida kadudeta.  $C_s$ -i mahtuvus valitakse umbes  $C_a$ -le vastav või viimast suurem.

Kirjeldatud kolmpunktlülitust nim. induktiivseks kolmpunktlülituseks (ka Hartley lülitus). Sama hästi on võimalik lampgeneraatorit tööle panna mahtuvusliku kolmpunktlülitusega (Collpitt'si lülitus), kus kogu lülitus (joon. 130 b) koostatakse analoogiliselt eelmisele, ainsa vahega, et sidestus anoodi ja võnkeringide vahel ei teostata ühise induktiivsusega, vaid mahtuvuslikult. Selles lülituses anood-võnkeringipool on haruühendusega, kuid mahtuvus koosneb kahest järjestikku ühendatud muudetava suurusega kondensaatorist  $C'$  ja  $C''$ , millede omavaheline keskpunkt ühendatakse katoodiga.

### 3. Huth-Kühni lülitus\*.

Tagasiside saamiseks kasutatakse generaatorlülituses ka elektronlambi võre ja anoodi vahelist sisemahtuvust. Joonisel 131 a on see mahtuvus ( $C_k$ ) kujutatud piltlikult punktiirjoonega väljaspool elektronlampi.

Mahtuvuse  $C_k$  kaudu kandub osa anoodringis võnkuvast energiast võrele. Kui näiteks võnkering  $L_1C_1$  (joon. 131 b) on



Joon. 131.

häälestatud anoodvõnkeringi  $LC$  sagedusele, siis hakkab võrele kanduv energia sama sagedusega võnkuma, kusjuures võrevõnkeringis tekkiv pinge on anoodvõnkeringi pingest poole perioodi ehk  $180^\circ$  võrra nihutatud. Et võrevõnkeringis tekkiv pinge on anoodvoolu muutustega faasis, siis tüürib ta anoodvoolu võnkumist, mis omakorda redutseerib anoodvõnkeringis esinevad energia kaod.

Mahtuvus  $C_k$  on tavaliselt väga väike (2—10 pF), mistõttu anoodringist võrele kantav energia pole kuigi suur, samuti ka võrelingi võnkumise võimsus ja võrel tekkiv pinge.

\* Mainitud lülitus on Inglismaal ja Ameerikas tuntud T. P. T. G. all (häälestatud anood — häälestatud võre).

See nn. Huth-Kühni lülitus on kohane kasutada väikese võimsusega generaatoreis ja peamiselt lühilainete puhul. Suure sageduse tõttu piisab lühilainete juures juba väikesest mahtuvusest, et võrele küllaldast energiat tagasi kanda.

Teistes generaatorlülitusis pole tagasiside elektronlambi sisemahtuvuse kaudu soovitatav, sest see tekitab ebasoovitavaid kõrvalvõnkumisi, mis põhjustavad võnkeringides sageduse kõikumist ja vähendab lambilt saadavat kasulikku võimsust. Neist nähtusist vabanemiseks täiendatakse lülitusi sageli vastavate neutraliseerimisseadistega.

Elektronlambi välisringis saadav võimsus on suurim, kui anoodringi takistus võrdub elektronlambi sisetakistusega. Seepärast tuleks ka võnkeringi resonantstakistust  $R_{res}$  kohanda

dada vastavalt kasutatavale elektronlambile. Et  $R_{res} = \frac{L}{R \cdot C}$ ,

kohandamine võib sündida nii ühe kui teise võnkeringi elemendi abil, siis tavaliselt kasutatakse kohandamiseks pooli induktiivsust, sest mahtuvuse muutumisel muutub ka võnkeringi sagedus.

Asendades valemis  $\frac{L}{R \cdot C}$  mahtuvuse  $C$  tema väärtuse kaudu valemist  $\omega^2 = \frac{1}{L \cdot C}$ , siis

$$R_{res} = \frac{\omega^2 \cdot L^2}{R}$$

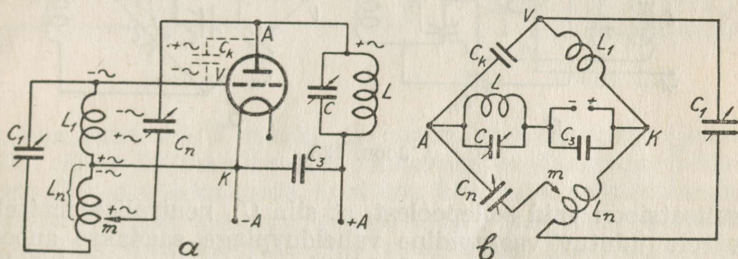
Sellest valemist näemegi, et resonantstakistust võib muuta antud sageduse juures (võnkeringi  $L$  ja  $C$  poolt määratud sageduse) ka pooli induktiivsusega. Selleks varustatakse anoodvõnkeringi pool kas ühe või kahe harukontaktiga (joon. 131 b)  $k$  ja  $k_1$ , millede abil, muutes ühe või mõlema asendit, muutub generaatorlambi anoodringi lülitatud pooliosa  $L_a$  induktiivsus ja koos viimasega võnkeringi resonantstakistus. Sellist sobitamiskiivi võib kasutada kõigis generaatorlülitusis.

#### § 44. Neutraliseerimisest ja lühilainelülitusist.

Ka eriti kõrgete sageduste tekitamiseks, näiteks lühilainete juures, on võimalik kasutada kõiki eespoolkirjeldatud generaatorlülitusi, valides vastavalt ettenähtud sagedusele sobivad võnkeringi suurused  $C$  ja  $L$ . Väga tihti tekivad lühilainete

lülitustes suured parasiitvoolud ja sageduse kõikumised, mida põhjustab elektronlambi sisemahtuvuse ja juhtmetevahelise mahtuvuse kaudu tekkinud tagasisidestused. Eriti kriitiliseks muutub olukord, kui genereeritud kõrgesageduslikke võnkumisi soovitakse enne antenni juhtimist võimendada. Saatja töö stabiliseerimiseks neutraliseeritakse elektronlambi sisemahtuvus või tarvitatakse väikese sisemahtuvusega elektronlampe, näit. tetroodi või pentoodi. Ka viimased evivad ikkagi väikest sisemahtuvust ja pole neutraliseerimata olukorras täiesti vabad tagasisidestuse mõjust.

Tarvitatavamaid sisemahtuvuse neutraliseerimisviise on võre- ja anoodneutralisatsioon.



Joon. 132.

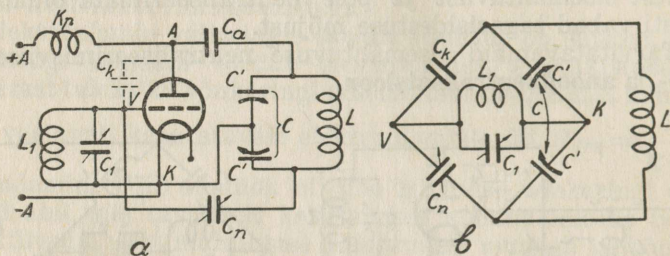
Joonisel 132 kujutatakse võreneutraliseerimist. Võre-võnkeringi pooli alumise poole ja anoodi vahele lülitakse siin neutraliseerimiskondensaator — nn. **neutrodoon**  $C_n$ . Kontakti  $m$  abil pooli osa  $L_n$  keerde valides ja mahtuvust  $C_n$  muutes, on võimalik võrele anda niisama suurt ja vastupidi suunatud vahelduvpinget, võrreldes selle pingega, mis tekib elektronlambi sisemahtuvusel  $C_k$ . Kuna need pinged on võrdsed ja  $180^\circ$  faasis nihutatud, siis hävib nende ja koos sellega ka sisemahtuvuse  $C_k$  mõju. Joonisel 132 a on selgituse mõttes vahelduvpingete suunad vaadeldaval hetkel tähistatud  $+$  ja  $-$  märgiga.

Piltlikum on neutralisatsiooni kujutella Wheatstone'i silla printsiibi järgi, kui eelmise lülituse üksikosad ehk elemendid kohandada vastavalt silla lülitusele (joon. 132 b). Tasakaalu korral, s. o. kui harude takistused või pinged neis on võrdsed

$$\frac{C_k}{C_n} = \frac{L_1}{L_n}$$

Sellest nähtub, et kui  $L_1 = L_n$ , siis peab neutrodooni mahtuvus vastama elektronlambi sisemahtuvusele, s. o.  $C_k = C_n$ . Kuna sisemahtuvus on tihti niivõrd väike, et on raskusi niisama suure mahtuvusega neutrodooni valmistamiseks, siis valitakse  $L_n$  mitu korda  $L_1$ -st väiksem, sest sellele vastavalt kasvab neutrodooni nõutav mahtuvus.

Joonisel 133 a kujutatakse anoodneutralisatsiooni, rööbiti toidetava lülituse juures. Põhimõtteliselt erineb anoodneut-



Joon. 133.

ralisatsioon vaid sellepolest, et siin  $C_k$  neutraliseerimiseks võrele juhitud vastupidine vahelduvpinge saadakse anoodvõnkeringilt. Joonisel toodud lülituse juures on anoodvõnkeringi häälestuskondensaatori elektriline keskpunkt, s. o. rootor, ühendatud katoodiga. Tasakaalu korral (joon. 133 b)

$$\frac{C_k}{C_n} = \frac{C'}{C'}$$

Et kondensaator  $C$  koosneb kahest võrdse mahtuvusega kondensaatorist  $C'$ , siis

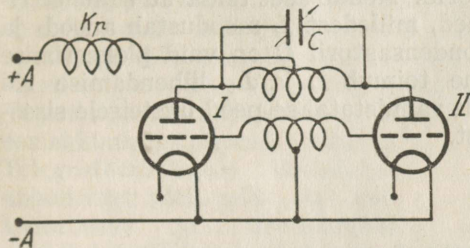
$$C_n = \frac{C_k \cdot C'}{C'} = C_k$$

Kuna selles lülituses anoodvõnkeringi sageduse muutmisel jäävad  $C'$  ja  $C'$  alati võrdseks, sest nende rootorid paigunevad ühisel võllil, siis pole tarvis kord väljareguleeritud neutrodooni mahtuvust enam muuta.

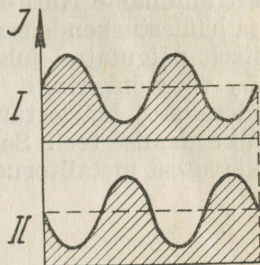
\* \* \*

Lühilainegeneraatoris saadakse häid tulemusi stabiilsuse mõttes nn. vasttakt-lülitustega, milliseid leidub mitmeis variantides. Joonisel 134 kujutatakse vasttakt-lülituse põhi-

mõtet. Siin kasutatakse kahte elektronlampi, millede võrepinged on teineteisest poolperioodi ( $180^\circ$ ) faasis nihutatud. Seetõttu töötavad elektronlambid kordamööda. Kui I lambi võrel on positiivne pinge, siis II lambi võrel on see negatiivne ja vastupidi. Seega I lambis on anoodvoolu tugevus sel ajal

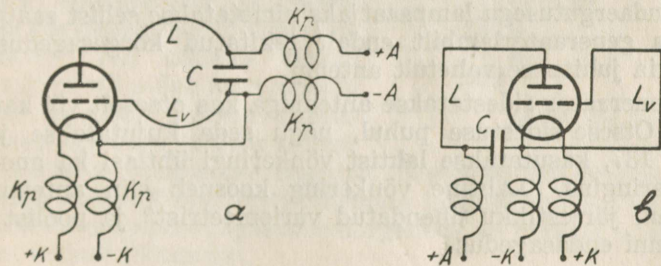


Joon. 134.



Joon. 135.

maksimaalne, kui II lambis see osutub minimaalseks (joon. 135). Selles lülituses laetakse võnkeringi kondensaatoreid  $C$  ühe perioodi kestel kaks korda, kord ühe, kord teise elektronlampi anoodvoolu igal kasvaval poolperioodil, mistõttu suureneb võnkeringi võimsus, võrreldes ühelampilise lülitustega. Et anoodvoolu tugevused muutuvad vastassuunaliselt, siis vähenevad ka juhtmetevahelistel parasaitmahtuvustel pingete tekkimise võimalused, kindlustades suuremat töötamise sta-



Joon. 136.

biilsust, kui see tavalise lülitusega on saavutatav. Suurema võimsusega vasttakt-lülitustes kasutatakse ka elektronlampide sisemahtuvuse neutraliseerimist.

Kuni 10 m lainepikkuseni on võnkumiste tekitamine teostatav eespoolkirjeldatud tagasisidestuste abil. Alla 10 m

lainepikkusega võnkumiste, s. o. ultralühilainete tekitamine, on juba teatavate raskustega seotud. Siin tuleb kasutada erilisi selleks ehitatud elektronlampe. Samuti tuleb rõhku panna juhtmete ja häälestamise seadiste sümmeetriale. Joonisel 136 a on kujutatud ultralühilaine kolmpunkt- ja 136 b ultralühilaine Huth-Kühni lülitus. Siin puuduvad võrepoolid ja häälestuskondensaatorid. Nende aset täidavad sümmeetriselt paigutatud juhtmed, milledest  $L$  moodustab anood- ja  $L_v$  võrevõnkeringi. Kondensaatoril  $C$  on vaid plokeerimise ülesanne. Häälestamine toimub  $L$  ja  $L_v$  lühendamise või pikendamise teel. Sageli valmistatakse need üksteisele sissekääivatest metalltorudest.

## X. LAMPSAATJAD.

### § 45. Endaergutusega saatja.

Lampgeneraator seoses antenniga moodustab lampsaatja, milles alalisvoolu energia muundatakse kõrgesageduslikuks energiaks ja kiirgutakse elektromagnetilise energiana maailmaruumi.

Lampsaatjad jagunevad

- endaergutusega saatjaiks ja
- võõrergutusega saatjaiks.

Endaergutusega lampsaatjaks nimetatakse sellist saatjat, milles generaatorlambilt endalt tekitatud kõrgesageduslik energia juhitakse vahetult antenni.

Generaator sidestatakse antenniga kas otseselt või kaudselt. Otsese sidestuse puhul, nagu seda kujutatakse joonisel 137, kasutatakse lahtist võnkeringi ühtlasi ka anoodvõnkeringina. Lahtine võnkering koosneb siin antennist, antenni järjestikku ühendatud variomeetrist\* ja poolist  $L$ . Antenni endasagedus

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{(L_w + L + L_A) \cdot C_A}}$$

kusjuures  $L_w$  tähistab variomeetri-,  $L$  — antennipooli- ja  $L_A$  antenni endainduktiivsust ning  $C_A$  antenni endamahtu-

\* Pidevalt muudetava induktsiooniga pool, võrdle lk. 30.

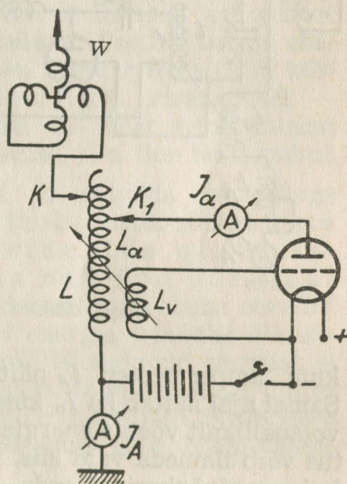
vust. Kontakti  $K$  abil toimub antenni endasageduse (enda-laine) jäme- ja variomeetri  $W$  abil peenreguleerimine.

Kontaktiga  $K_1$  kohandatakse võnkeringi resonantstakistust vastavalt elektronlambi sisetakistusele, valides pooli osa  $L_\alpha$  kas vähema või suurema keerdude arvuga. Resonants saavutatakse siis, kui antennis on voolutugevus maksimaalne, mida näitab antenni ampermeeter  $I_A$ . Selliseks kõrgesageduslikke voole mõõtvaks ampermeetriks on sobiv vaid kuumstraat- või termosüsteemiline mõõteriist. Anoodringi lülitatud ampermeeter  $I_a$  näitab keskmist anoodvoolu tugevust. Tagasiside on muudetav võrepooli  $L_v$  lähendamisega või eemaldamisega antennipoolist  $L$ . Telegraferimiseks lülitatakse anoodringi võti, mille abil katkestatakse ja ühendatakse anoodvooluallikas. Kui võtit Morse märkide taktis vajutada, siis tekib võnkeringis samas rütmis võnkumine ja võnkuva energia elektromagnetiline kiirgumine (vt. ka § 31).

Otsesidestusega saatja on kõige algelisemaid ja lihtsamaid lampsaatja tüüpe ja evib seetõttu suurel määral puudusi, milledest tähtsamad — sageduse (laine) ebastabiilsus ja võnkumine kõrvalsagedustel (harmoonilistel). Nii näiteks võivad ilmastiku või mõne muu asjaolu tõttu muutuda antenni dünaamilised suurused ja koos sellega

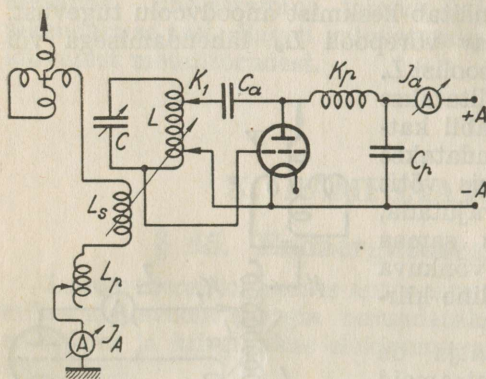
ka kiirguva võnkumise sagedus. Sageduse kõikumine raskendab vastuvõtmist, eriti lühemate lainete juures. Ka võib mainitud asjaoludel tagasiside nõrgeneda sel määral, et saatejaam lakkab töötamast.

Et nimetatud pahedest osaliseltki vabaneda, kasutatakse kaudset sidestust (joon. 138). Generaatorlambi anoodvõnkering  $LC$  on siin antenniga sidepooli  $L_s$  abil induktiivselt sidestatud. Et anoodvõnkeringist oleks energiaülekanne lahtisse võnkeringi maksimaalne, siis peavad mõlema võnkeringi endasagedused olema võrdsed, ning nende vaheline sideväärtus optimaalne.



Joon. 137.

Anoodvõnkeringi sagedust muudetakse pöördkondensaatoriga  $C$ . Kui antenni endalaine on lühem saatelainest, siis antenni häälestamiseks kasutatakse antenni pikenduspooli  $L_p$  ja peenreguleerimiseks variomeetrit. Kolmpunktlülituses võre sidet töötamise ajal tavaliselt enam ei muudeta. Laine-pikkuse muutmisel on soovitatav igakord võnkeringi resonants-takistust kontakti  $k_1$  abil järele reguleerida, seda antenniga paremini sobitades.

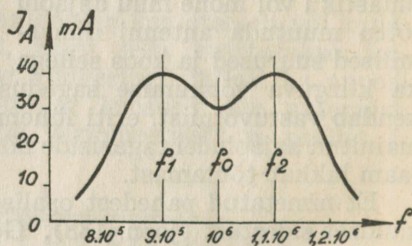


Joon. 138.

kuni ampermeeter  $I_A$  näitab maksimaalset voolutugevust. Samal ajal näitab ka  $I_a$  kõige tugevamat voolu, s. t. et anoodvooluallikalt võetav energia on maksimaalne. Resonantsi nähtus võib ilmnedä vaid siis, kui anoodvõnkeringi endasagedus  $f_0$  võrdub antenni endasagedusega  $f_1$ . Antenni sidestamisega ja häälestamisega muutub kinnise võnkeringi endasagedus, mistõttu tuleb uuesti — esiteks kinnine võnkering kondensaatoriga  $C$  abil häälestada õigele sagedusele ja selle järele antenn  $L_p$  ja variomeetri abil.

Kaudse sidestuse juures tekib endaergutusega saatejamas antenni ja anoodvõnkeringi tugeva sidestuse puhul nn.

Üldiselt toimub jaama häälestamine järgmiselt: alul häälestatakse anoodvõnkering kondensaatoriga  $C$  abil soovitavale sagedusele ja kohandatakse resonants-takistus vastavalt generaatorlambile, mil anoodringi lülitatud ampermeeter  $I_a$  näitab väikest voolu tõusu. Nüüd häälestatakse ka antenni, pikenduspooli ja variomeetri abil seni,



Joon. 139.

sageduse kõikumine (laine tuiklemine). See nähtus avaldub selles, et antenni häälestamisel leitakse kaks voolutugevuse maksimumi (joon. 139). Põhjuseks on siin sama nähtus, mida käsitleti eespool võnkeringide sidestuse juures (vt. § 23 ja joon. 60), s. t. et antennis võnkuvast energiast osa kantakse anoodvõnkeringi tagasi ja generaatorlamp ei võngu mitte põhisagedusel  $f_0$ , vaid kordamööda kõrvalsagedustel  $f_1$  ja  $f_2$ , mis põhisagedusest võrdselt nihutatud. Kõrval- ehk sidestussagedused on põhisagedusest seda enam erinevad, mida tugevam on sidestus. Generaatorlamp ei suuda oma omaduste tõttu võnkuda korruga mõlemal sidestussagedusel, vaid ainult ühel, missugune neist annab tugevama tagasi- side. Nii võib antenniringi suuruste muutudes generaator töötada kord ühel, kord teisel sagedusel. See nähtus on ebasoovitav energia kasutamise mõttes, kuna genereeritud kõr- gesageduse energia kiirgub sel puhul kahel erisagedusel, — seega jaguneb kaheks, ning kumbki osa neist evib vähemat võimsust, kui see oleks õige häälestuse, s. o. ühe laine puhul.

Et vältida sageduse kõikumisi ja sundida võnkeringe võnkuma vaid põhisagedusel, siis tuleb pidada silmas korra juba eespoolmainitud reeglit, et sidestus olgu nii- võrd tugev kui vajalik ja niivõrd nõrk kui võimalik. See tähendab, et sidestus peab olema seevõrd tugev, et anoodringi kogu võnkuv energia kanduks üle ant- enni, kuid niivõrd nõrk, et antenni ülekandunud energiat ei valguks enam anoodvõnkeringi tagasi. Õige sidestuse juures väikesed antenni suuruste  $L$ ,  $C$  ja  $R$  muutused tagasimõju praktiliselt esile ei kutsu ja sagedus jääb enam-vähem püsivaks.

Kuna suure kasuteguri saamiseks saatelambid töötavad tavaliselt II liigi võnkumistel (vt. § 42 viimane osa ja joo- nis 125), siis anoodvõnkeringis võngub energia peale põhisage- duse veel harmoonilistel sagedustel. Harmooniliste sageduste amplituud on seda väiksem, mida suurem on selle sageduse lahkuminek põhisagedusest ja mida väiksem kinnise võnke- ringi elementide suhe  $\frac{L}{C}$ .

Otsese sidestuse juures, mil antenn moodustab ühtlasi anoodvõnkeringi, kiirgub antennist välja ka kogu har- moonilistelt sagedustel võnkuv energia. Kaudsel sidestusel ja õige sidetugevuse valiku juures kandub üle peamiselt põhi- sagedusel võnkuv energia ja vaid väike osa harmooniliste

sageduste energiat. Seega osutub kaudne sidestus nagu harmooniliste võnkumiste kõrvaldajaks, s. o. filtriiks. Kaotades võnkeringide vahel kahjulikud sidestused võib neid filtri omadusi veelgi suurendada.

## § 46. Võõrergutusega saatja.

### 1. Üldpõhimõtteid.

Endaergutusega saatjais ilmnevaist pahedest vabaneamiseks, nagu näiteks võnkumiste kustumine, sageduse suur kõikumine, harmooniliste rohkus jne., kasutatakse võõrergutusega saatjaid.

Eriti lühilaineil viib väiksemgi sageduse kõikumine saatja töö vastuvõtja kuuldepiirkonnast välja. Koos sageduse muutmiselega muutub ka (näiteks moduleerimata telegraafitöö vastuvõtmisel) kuuldava tooni kõrgus. Tooni kõrguse kõikumine 200 per/sek. raskendab juba tunduvalt vastuvõttu.

Sageduse kõikumine avaldatakse protsentides, s. o.  $\frac{\Delta f}{f} \cdot 100$ , kusjuures  $\Delta f$  on kõikumise piirkond ja  $f$  on põhisagedus. Kui näiteks  $f = 1000000$ , sagedus aga tegelikult kõigub 1000100 kuni 999900, s. o.  $\pm 100$  Hz ( $\Delta f = 200$ ), siis sageduse kõikumine protsentides on

$$\frac{200}{1000000} \cdot 100 = 0,02 \%$$

Lubatav sageduse kõikumine rahvusvahelisse sidevõrku kuuluvate saatjate kohta on normeeritud vastavate rahvusvaheliste kokkulepetega\*.

Korraliku kuuldavuse kindlustamiseks peaks saatja sageduse kõikumine mitte ületama järgmisi norme ( $\Delta f = 200$ ):

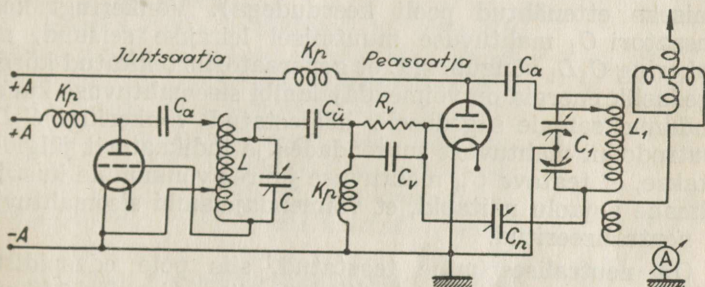
— sagedus	20 kHz	— 1 %
— „	100 „	— 0,2 %
— „	1000 „	— 0,02 %
— „	10000 „	— 0,002 %

Umbes sääraseis piires sageduse püsimist võimaldavad võõrergutusega saatjad. Põhimõttelt koosneb võõrergutusega saatja endaergutusega kõrgesagedusgeneraatorist

\* Kopenhaageni konventsioon 1931. a.

(mida nimet. **juhtsaatjaks**) ja viimase poolt tüüritavast ühe või rohkemaastmelisest kõrgesagedusvõimendajast (nim. **peasaatjaks**). Kõrgesagedusvõimendaja lõppastmest saadav energia juhitakse antenni.

Juhtsaatja võib olla ükskõik millise süsteemiline endargutusega lampgeneraator. Joonisel 140, kus kujutatakse võõrergutusega saatja põhimõttelist lülitust, on ta näidatud kolmpunktlülituses. Juhtsaatja anoodringis võnkuv energia juhitakse kas induktiivselt või mahtuvuslikul teel järgneva võimenduslambi võrele. Mahtuvus  $C_{\dot{u}}$  valitakse, olenevalt sagedusest, umbes 100—2000 pF.



Joon. 140.

Et võimendajalamp, suurema kasuteguri saamiseks, töötaks tunnuskõvera negatiivsel poolel, siis antakse sellele elektronlambile tavaliselt negatiivne eelpinge, mis vaadeldava lülituse juures saadakse võrevooringi lülitatud takistuse  $R_v$  abil. Võimendaja lambi töötamisel jääb väike osa anodi poole liikuvaist elektronest võrele. Läbides võretakistuse  $R_v$ , nad tekitavad selle otstel pingelanguse, mis muudab võre katoodi suhtes negatiivseks. Võnkuvu amplituudi kasvades kasvab ka võre negatiivne pinge.  $R_v$  suurus valitakse vastavalt vajanevale võrepinge suurusele, sõltuvalt võrevoolu tugevusest. Kõrgesagedusvoolude juhtimiseks võimenduslambi võrele ühendatakse takistusele  $R_v$  rööbiti kondensaatore  $C_v$  mille mahtuvus valitakse olenevalt sagedusest, — 500—1000 pF. Niisugune negatiivse võrepinge tekitamise viis, kuigi ta on automaatne, pole eriti stabiilne. Parem sellest on võre-eelpingeks kasutada eri vooluallikat või pingelangust, mille tekitab anoodvool katoodiga järjestikku lülitatud takistusel. Viimase eelpingestamisviisi lähem selgitus järgneb tagapool (§ 57). Kõrgesageduspaispoolide  $K_p$  —  $K_p$

ülesanne on kõrgesagedusvoolude tõkestamine antud suundades.

Anoodi tagasimõju vältimiseks neutraliseeritakse võimendajalambi sisemahtuvus neutrodooniga  $C_n$ .

Üks lihtsamaid viise neutraliseerimise teostamiseks on järgmine: Antenn lahutatakse saatjast ja neutraliseeritava võimendajalambi anoodpinge lülitatakse välja. Neutrodooni mahtuvus muudetakse minimaalseks. Anoodvõnkeringiga sidestatakse indikaator, mis näitab võnkumise ülekandumist anoodvõnkeringi (indikaatoriks võib kasutada tundlik galvanomeeter lülitatuna järjestikku kristalldetektoriga ja sidestamiseks ettenähtud pooli keerdudega). Võnkeringi kondensaatori  $C_1$  mahtuvuse muutmisel leitakse seisund, mil võnkering  $C_1L_1$  võngub, s. t. et generaatorilt tekitatud kõrgesageduslik energia on võimendajalambi sisemahtuvuse kaudu kandunud samale sagedusele häälestatud võnkeringi  $C_1L_1$ . Neutrodooni mahtuvust suurendades ja indikaatorit jälgides leitakse, et teatava  $C_n$  mahtuvuse juures võnkumine kustub. Viimane asjaolu näitabki, et võimendajalambi sisemahtuvus on neutraliseeritud.

On neutraliseerimine teostatud, siis pole edaspidistel saatja sageduse muutmistel vähemais piires (joonisel 140 näidatud lülituse juures) enam vajadust neutrodooni mahtuvust muuta.

Juhtsaatjas kasutatava elektronlambi võimsus peab tavaliselt olema selline, et ta suudaks järgneva võimendajalambi võrel tekitada küllaldast pinget, selle anoodvoolu läbitüürimiseks tunnuskõvera soovitud ulatuses, — s. o. katta täielikult võrevoolust tingitud kaod.

Kahjulike tagasisidestuste vältimiseks leiab viimasel ajal varjestatud pentood, oma väikese sisemahtuvuse tõttu, võimendajalambina rohkesti kasutamist.

## 2. Kristallergutus.

Kaudse sidestuse ja juhtsaatja kasutamine võimaldavad saatja energia sagedust hoida tavaliste nõuete jaoks küllaldase stabiilsusega. Seal, kus nõutakse eriti suurt sageduse püsivust, nagu näiteks lühilainete ja suurevõimeliste postitelegraafi- ning ringhäälingusaatjate juures, ergutatakse juhtsaatjat nn. **kristallostsillaatoriga**\*.

\* Ostsillaatoriks nimetatakse võnkumiste tekitajat.

Kristallergutus põhjeb mõnede kristallide piezo-elektrilisel omadusel. Selleks otstarbeks kasutatakse peamiselt kvartsi. Ka turmaliin kõlbab samaks otstarbeks. Kvarts ( $\text{SiO}_2$ ) ehk ränihapend on värvitu mineraal. Tema loomupärane kristall kujutab kuuetaahulist prisma, mille otsteks on kuuetaahulised püramiidid.

Kui joon. 141 kohaselt kvartsi kristallist väljalõigatud leheke asetada kahe metallplaadi vahele, siis viimaste kokkusuurumisel ilmneb plaatide vahel pinge, näiteks ühel plaadil pluss ja teisel miinus. Kui surve asendada tõmbega, siis tekib kristalli külgedel samuti pinge, kuid eelmisele juhule vastupidise polariteediga.

Sellest tuleb järeldada, et kristalli mehaanilised mõjutused tekitavad pindadel isenimelisi ja vahelduvaid elektrilaenguid.

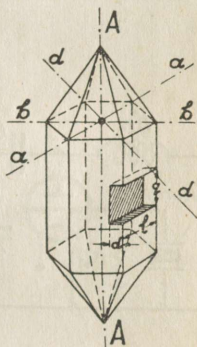
Toimides ümberpöörduvalt, s. t. kristalli metallikatete ühendamisel vooluallikaga, selle pinge mõjul ja polaarsusest olenevalt, kristall oma välismõõteilt kas laieneb või tõmbub kokku. Ühendades kristalli katteid vahelduvpingelise vooluallikaga, ühel vahelduvpinge poolperioodil kristall tõmbub kokku ja teisel poolperioodil paisub. Nii hakkab kristall vahelduvpinge mõjul mehaaniliselt võnkuma. Kui muuta voolu sagedust, siis võib tähele panna, et kristalli võnkumise amplituudid on kõige suuremad teatava voolu sageduse juures, s. o. resonantsi puhul, mil vooluallika sagedus võrdub kristalli mehaanilise endavõnkumise sagedusega. Kristall evib seega endasagedust, mille suurus on kristalli füüsilistest mõõdetest.

Kvartskristalli telge A—A (joon. 141) nimetatakse optiliseks teljeks, kuna telgi a—a, b—b ja d—d — nn. elektrilisteks telgedeks. Kasutatav kristallplaat lõigatakse tavaliselt toorkristallist välja nii, et pikkus  $l$  on rööbiti ühe elektrilise teljega, laius  $q$  on rööbiti optilise teljega ja paksus  $d$  on ristloodis optilise ja elektrilise teljega.

Kvartskristalli endasagedust (joonisel 141 kujutatud löike juures) arvutatakse valemiga umbkaudselt

$$f = \frac{2700}{d} \text{ kHz}$$

kus  $d$  tähistab kristalli paksust millimeetris.



Joon. 141.

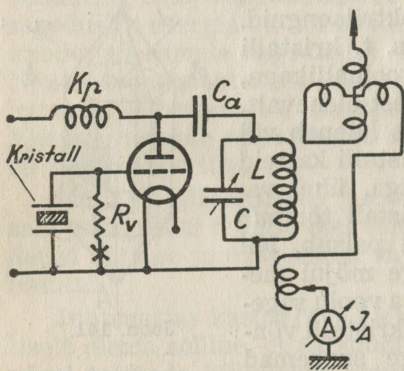
Seda valemit lainepikkusele kohandades võib ka kristalli endasagedust avaldada lainepikkusega. Umbkaudselt lainepikkus

$$\lambda = 111 \cdot d$$

kus  $\lambda$  on meetreis ja  $d$  — millimeetreis. Näiteks kui kristallilehe paksus on 0,5 mm, siis ta endaline võrdub elektrilises mõttes 55,5 meetriga.

Et kristalli võnkumine oleks vaba harmoonilistest, siis peavad kristalli vastastikused pinnad olema täiesti rööbiti ja nurkade all olevad pinnad üksteise suhtes täisnurksed. Samuti peavad kristalli ja metallkatete pinnad olema täiesti siledad, s. o. korralikult lihvitud; metallkatted tavaliselt kullatakse üle.

Kvartskristalli tema eelmaintud omaduste tõttu kasutataksegi elektronlambi tüürimiseks võnkumiste tekitamisel. Selleks lülitatakse ta ostsillaatorlambi võreringi (joon. 142), kus anoodringist, anoodi ja võre vahelise mahtuvuse kaudu, kristallile kanduv pingeteda sunnib mehhaaniliselt võnkuma. Kristalli võnkudes, tekivad selle katetel pinged, mis põhjustavad lambi anoodvoolu võnkumist kristalli endasageduse rütmis. Kui kristalli



Joon. 142.

endasagedus võrdub anoodvõnkeringi sagedusega, siis on viimases võnkuv energia maksimaalne\*.

Et kristalli endasagedus on väga stabiilne, siis on ka kristalliga tüüritavas anoodringis võnkumise energia sagedus samuti stabiilne. Kuna kristalli endasagedus muutub vähesel määral kristalli temperatuurist, siis vajaduse korral hoitakse tema temperatuur vastavate seadiste (termostaatide) abil püsiv\*\*.

\* Tegelikult häälestatakse saatja kristalli sagedusest veidi kõrgemale sagedusele, sest sageduste täpsel ühtumisel kristall moodustab lampgeneraatorile seevõrra suure koorma, et kui võnkumised küll otseselt ei lakka, siis nad võivad seda kergesti teha.

\*\* Viimasel ajal tarvitatava erilise nn. AT-lõike puhul on kristalli endasagedus kaunis vähe sõltuv temperatuurist.

Kristall tavaliselt ühendatakse lülitusse joonisel 142 näidatud põhimõtte järgi. Võrele püsima jäävad elektronid juhitakse katoodile kristalliga rööbiti ühendatud takistuse  $R_v$  kaudu. Soovitav on  $R_v$ -ga (5000—50000  $\Omega$ ) järjestikku lülitada kõrgesageduspaispooli.

Nagu teistes lülitustes nii ka kristallostsillaatoris antakse elektronlambile parema kasuteguri saamiseks negatiivne eelpinge. Selleks lülitatakse takistusega  $R_v$  järjestikku eelpingepatarei (joon. 142 ristiga märgitud kohta), negatiivse poolusega võre poole. Hea kõrgesageduspaispooli puhul takistus  $R_v$  võib isegi ära jääda. Otstarbekohane on siin kasutada automaatset eelpinget, mis saadakse ostsillaatorlambi katoodiga järjestikku ühendatud takistusel. Kuna liiga suur negatiivne võreeeltinge võib takistada võnkumise tekkimist, siis algul lastakse lamp võnkuma ilma eelpingeta ja eeltinge reguleeritakse normaalseks, kui võnkumine sünnib juba täie amplituudiga.

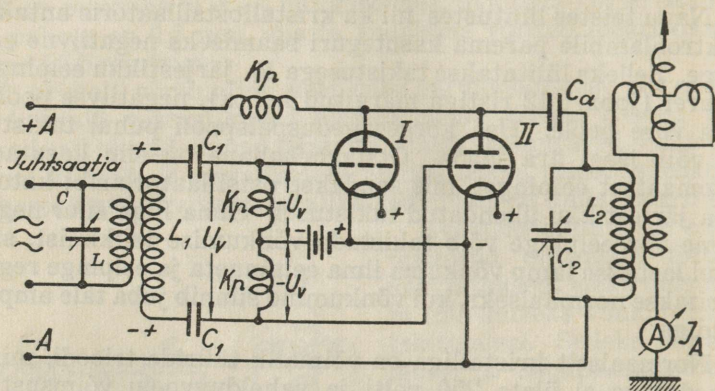
Normaalselt kristalliga on võimalik tüürida trioodi, mille anoodpinge ei ületa 250 volti ja vahelduvvoolu võimsust 5 vatti. Pentoodide juures, nende väiksema sisemahtuvuse ja seega nõrgema tagasiside tõttu, võib anoodpinge (vastavalt ka võimsus) tõusta kuni 500 volti. Suuremate võimsuste puhul anoodi tagasimõju kristallile on niivõrd suur, et kristalli mehaanilise võnkumise amplituudid liiaks kasvavad ja kristall selle tagajärjel puruneb.

Suurema võimsusega lõpplampide tüürimiseks kasutatakse mitut eelastet. Sel puhul tavaliselt 1. aste on kristall-ostsillaator, selle anoodring on sidestatud vaheastme, s. o. kõrgesagedusvõimendajaga, viimane võimendaja järgmise astmega jne., kuni võimendatud amplituud on küllaldane peasaatja (lõppastme) läbitüürimiseks. Peasaatja lamp suurtes saatejaamades on võimsusega mitukümmend, isegi mitusada kilovatti. Veel suurema lõppvõimsuse saamiseks lülitatakse neid vasttakt-lülitusviisi järgi või rööbiti.

Lühilainete juures kujuneb ergutus kristall väga õhukeks. Selle tehniline väljatöötamine on seotud teatavate raskustega. Samuti purunevad väga õhukesed kristallid juba väikese energia mõjul. Seepärast kasutatakse saatjaid lülitusega, milles on võimalik ergutussagedust anoodringides mitmekordistada. Kui näiteks kristall võngub sagedusel  $f = 3 \cdot 10^6$ , siis anoodringis kutsutakse esile võnkuv vool sagedusega  $f = 6 \cdot 10^6$ .

### 3. Sageduse mitmekordistamine.

Et kõrgete sageduste tekitamisel vabaneda kahjulikest tagasimõjudest (tavaliste generaatorlülituste juures) või kristallergutuse puhul võimaldada tugevama kvartskristalli

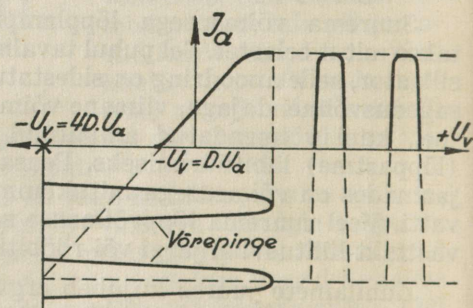


Joon. 143.

kasutamist\*, selleks tarvitatakse lülitusi, mis võimaldavad ostsillaatori sagedust mitmekordistada. Üks moodsamaid sageduse mitmekordistaja lülitusi (nn. „push-push“), on näidatud joonisel 143.

Siin peasaatja koosneb kahest trioodist, millede anoodid on rööbiti omavahel ühendatud. Nende võred on pooli  $L_1$  ja kondensaatrite  $C_1$  ja  $C_1$  kaudu kokku ühendatud järjestikku. Mõlema trioodi võrele antakse ühisest eelpinge vooluallikast, kõrgesageduspaispoolide  $Kp - Kp$  kaudu,

4–6 korda suurem eelpinge kui tavaliselt, mil  $U_v = D \cdot U_a$  (joon. 144). Selliselt eelpingestatud trioodis ilmneb anoodvool

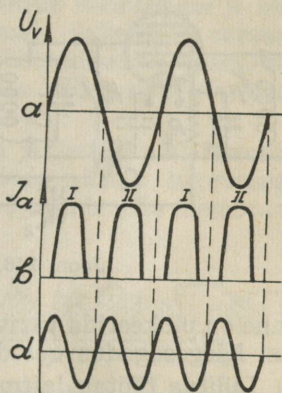


Joon. 144.

\* Lainetel alla 10 m pole mehaaniliselt võimalik vastavat kristalli välja töötada.

ainult võrepinge iga positiivse poolperioodi puhul, mille amplituud on eelpingest suurem. Seepärast tekib II liigi võnkumine, kus anoodvoolu muutused pole enam võrdelised võrepinge muutustega ja sisaldavad peale põhisageduse ohtralt harmoonilisi sagedusi (vrld. § 42, viimane osa). Harmoonilistest sagedustest kõige tugevamat amplituudi evib teine harmooniline.

Kui juhtsaatjast kanda üle trioodide võreeringi ergutuspinge  $U_v$  sagedusega  $f$ , siis trioodide I ja II võredel mõjub see ühel ja samal ajal vastupidiselt. Kui näiteks esimese trioodi võrel on pinge positiivne, siis teisel võrel on negatiivne ja vastupidiselt. Anoodvool tekib järelikult selles trioodis, mille võrele mõjub positiivne pinge. Siin elektronlambid töötavad kordamööda, s. o. üks ühel ja teine teisel ergutuspinge poolperioodil. Tähenadatud põhjustel läbib anoodvõnkeringi  $L_2C_2$  ühe võrepinge perioodi kestel kaks ühesuunalist voolu tõuget (joon. 145). Kui anoodvõnkering on häälestatud kahekordsele ergutuspinge sagedusele, s. o.  $2f$ , siis tekib selles ka võnkumine sagedusega  $2f$ .



Joon. 145.

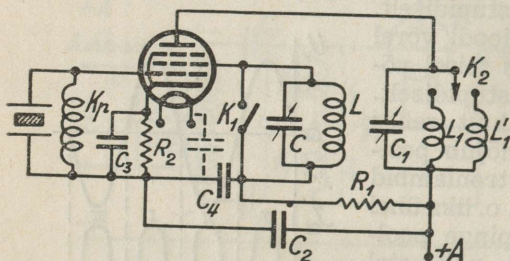
Anoodvõnkeringi võiks ka  $3f$ ,  $4f$  jne. sagedustele häälestatada, kuid teooria väidab, et nende sageduste amplituudid põhisageduslike voolu amplituudidega võrreldes on väikesed. Seepärast leiabki tegelikku kasutamist peamiselt teine harmooniline. Kahekordistatud sagedusega ( $2f$ ) võnkuvat energiat võib ka otseselt antenni juhtida; tavaliselt aga järgneb sellele uus võimendusaste. Tarbe korral võib ka järgnev võimendusaste olla uueks sageduse kahekordistajaks. Kuna sääraseis lülitusis, sageduste erinevuse tõttu üksikuis astmeis, on astmetevaheline tagasimõju väike, siis kujuneb ka väljakiirguva energia sagedus väga stabiilseks.

\* \* \*

Sageduse kahekordistamine on teostatav samuti ühe elektronlambiga, kui kasutada kristall-ergutusega pentoodi (joonis 146). Soovitakse sagedust kahekordistada, siis lüliti  $K_1$  avatud olles häälestatatakse võnkering  $CL$  kristalli endasage-

dusele  $f$ . Seejuures pentoodi töövõre, katood ja varivõre töötavad tavalise trioodina. Pentoodi anoodvoolu tüüriavad siis pingete muutused tüür- ja varivõrel. Kui anoodringi lülitatud võnkering  $C_1L_1$  on häälestatud kahekordsele kristalli enda-sagedusele  $2f$ , siis võngub ka võnkeringis  $C_1L_1$  energia sagedusega  $2f$ .

Kui sama lülitus peab võnkuma kristalli põhisagedusel  $f$ , siis ühendatakse varivõres asetsev võnkering  $LC$  lülitiga  $K_1$



Joon. 146.

lühidalt, kuna samal ajal lülitiga  $K_2$  ühendatakse anoodvõnkeringi pool  $L_1'$ , häälestades anoodvõnkeringi sagedusele  $f$ .\*

Takistusega  $R_1$  kohandatakse varivõrele antavat anoodpinget. Mahtuvusega  $C_2$  sunteeritakse kõrgesagedusvool anoodvooluallikast.  $C_4$  üles-

anne on plokeerida varivõre alalispinget katoodist ja olla ühtlasi kõrgesagedusvooludele lühiühenduseks.

Lülitus töötab laitmatult kui tarvitatakse sobivat võimsuspentoodi, mille varivõre läbitavus ei ületa 10% ja tüürvõrele on antud vajalik negatiivne konstantne eelpinge, mille suurus on umbes  $4U_a \cdot D$ .

Otstarbekam eelpinge saamise viis on kaudse küttega elektronlambi juures katoodi takistuse  $R_2$  ja mahtuvuse  $C_3$  kasutamisel.\*\* Mahtuvuste  $C_2 = C_3 = C_4$  suurused valitakse umbes 2000—10000 pF, olenevalt sagedusest.

Eespoolkirjeldatud lülitustega on näidatud vaid põhimõtteid sageduse mitmekordistamiseks. Peale nende kasutatakse praktikas veel mitmesuguseid teisi lülitusi, mis üksikasjades üksteisest rohkem või vähem erinevad. Tegelik lülituse valik oleneb ikkagi olukorrast ja saatja suhtes ülesseatud tingimustest.

\* Võnkeringi  $CL$  tõhelülitamine sageduse kahekordistamise otstarbel pole alati tingimata tarvilik; kahekordistuse efekt saavutatakse samuti — ainult anoodringi ümberlülitamisega, — väiksema kasuteguri juures.

\*\* Vaata automaatne eelpinge.

## XI. MODULATSIOON.

### § 47. Üldpõhimõtteid.

Iga heli, kui teatava sagedusega õhu võnkumist, on võimalik elektrilisel teel ühest kohast teise üle kanda. Lihtsaim helide elektriline edasitoimetamine sünnib tavaliselt mikrofonide ja telefoni abil, mis omavahel ühendatakse juhtmetega. Tavaline mikrofoni koosneb söemembraanist ja söekuulikestest. Kuna süsi on elektrijuht, siis evib ka mikrofoni mingit elektrilist takistust  $R$ , mille suurus sõltub membraani ja söekuulikeste kokkupuutepinnast ja nende vahelisest survest. Kui suruda membraani tugevasti söekuulikeste vastu, siis väheneb mikrofonide elektriline takistus. Nõrgeneb või kaob survest, siis suureneb mikrofonide takistus.

Kui ühendada mikrofoni telefoniga järjestikku alalisvooluringi (joon. 147), siis tekib selles mingi püsiva tugevusega vool  $I_0$ . Kui rääkida mikrofonide sisse, hakkab selle membraan helisageduse rütmis

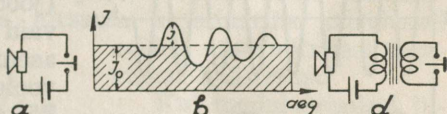
võnkuma. Kuna söemembraani võnkumisega käib kaasas samarütmiline mikrofonide takistuse kõikumine, siis saadakse vooluringis muutliku

amplituudiga ehk pulseeriva alalisvoolu, mis telefoni läbistades paneb selle membraani sama sagedusega helitekitavalt võnkuma.

Kõnelemise ajal mikrofonide läbiv alalisvool evib vahelduvvoolu komponenti, mille amplituudide suurus oleneb söemembraani mõjutanud õhuvõngete tugevusest. Vahelduvvoolu komponenti on võimalik alalisvoolust eraldada kas mahtuvuse kaudu või induktiivselt, kasutades transformaatorit (joonis 147 d).

Kõne, muusika jne. koosnevad väga mitmesuguste sageduste ja amplituudidega õhuvõngete kompleksist, seepärast evib ka nende poolt esilekutsutud vahelduvvoolu komponent sama iseloomu. Sinusoidse kuju ja püsiva sageduse ning amplituudiga vahelduvvoolu komponendi annavad kõik püsiva tugevusega muusikalised põhitoonid.

Joonisel 147 näidatud tegevust, kus helilained mikrofonide kaudu mõjutavad alalisvoolu tugevust, nimetatakse **alalisvoolu**

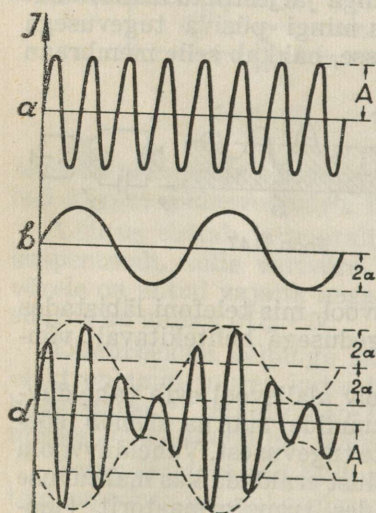


Joon. 147.

moduleerimiseks (vrdl. § 32). Modulatsioon on seda sügavam, mida suurem on vahelduvvoolu komponendi amplituud. Modulatsiooni sügavus tähistatakse nn. modulatsiooni koeffitsiendiga  $M$  ja ta iseloomustab vahelduvvoolu ja algvoolu komponentide suhet protsentides

$$M \% = \frac{I}{I_0} \cdot 100$$

Kui näiteks  $I_0 = 1A$  ja  $I = 0,5A$ , siis  $M = (0,5 : 1) \cdot 100 = 50 \%$ . Teatavasti on mikrofoniaga tekitatud kõnevoole võimalik otseselt vaid juhtmete kaudu üle kanda. Traaditul sidepidamisel saab kõne- ehk madalsageduslikke voole (joon. 148 b) ainult siis maailmaruumi levitada, kui nendega moduleeritakse kõrgesageduslikke püsiva amplituudiga voole (kustumatuid võnkumisi)\*.



Joon. 148.

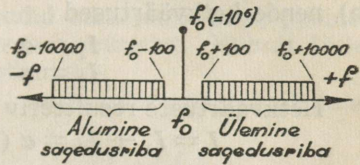
siis on võimalik nii matemaatiliselt kui ka praktiliselt (lainet mõõtes) selgusele jõuda, et moduleeritud kõrgesagedusvool ei evi enam endist sageduse konstantsust, vaid et see vool nüüd võngub teatavas laias sageduste ribas, mida iseloomus-

Kõrgesageduslike voolude moduleerimise üldiseloom jääb samaks, nagu seda käsitleti alalisvoolugi juures (joon. 147 b). Vahe on siin vaid selles, et alalisvoolu ( $I_0$ ) asemel on moduleeritavaks vooluks püsiva amplituudiga kõrgesageduslik ehk nn. põhisageduslik vahelduvvool (joon. 148 a). Moduleeritud kõrgesageduslik vool evib sümmeetriliselt, s. o. nii positiivsel kui negatiivsel poolel, amplituudide muutust madalsageduse rütmis (joon. 148d).

Kui täiesti konstantse sagedusega kõrgesagedusvoolu (näit.  $f_0 = 10^6$ ) moduleerida näiteks 100—10000 perioodi piirides muutuva kõnesagedusliku vooluga  $f$  (joon. 148),

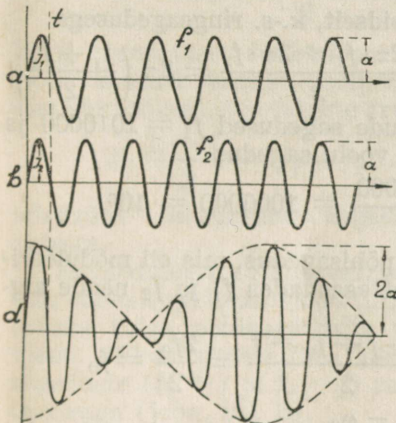
\* Algmõisteid kõrgesageduslike kustumatute võnkumiste (voolude) moduleerimisest on käsitletud §-s 32.

tab piltlikult joon. 149. Jooniselt nähtub, et moduleeritud kõrgesageduslik vool võngub ribas, mille sageduse määrajaks on moduleeriva, s. o. kõnevoolu sagedus. Käesoleval juhul on moduleeritud voolu sagedusriba üldine laius 1010000-st kuni 990000, s. o. 20000 hertsi. Sagedusriba  $f_0 + f$ , mis sisaldab põhisagedusest suuremaid sagedusi, nimetatakse ülemiseks sagedusribaks ja riba  $f_0 - f$ , mis sisaldab põhisagedusest väiksemaid sagedusi — alumiseks sagedusribaks.



Joon. 149.

Kui telegraafilise töö otsarbel (laine tüüp  $A_2$ ) moduleerida mainitud põhisagedust näit. 400-perioodilise vahelduvvooluga, siis sagedusriba laius oleks ainult  $\pm 400$ , s. o. 800 hertsi piirides\*. Moduleerimata telegraafitöö juures (laine tüüp  $A_1$ ) tuleks kasutamisele vaid põhisagedus. Sellest nähtub, et telegraafitöö jääb, näiteks kõne ülekandmisega võrreldes, hoopis kitsama sagedusriba piiridesse, evides vastuvõtmisel teravamalt häälestust.



Joon. 150.

valitud sinusoidsed ning võrdsete maksimaalamplituudidega  $\alpha$ . Graafilisel liitmisel annab resulteeriva  $I$  nende hetkväärtuste

\* Täpsemalt väljendades — saatja saadaks välja kolme sagedusega laineid —  $f_0 = 1\ 000\ 000$ ,  $f_1 = 1\ 000\ 400$  ja  $f_2 = 999\ 600$  Hz.

Kui moduleerimisel liidetakse kõrgesagedusliku vooluga madalsageduslik vool, siis vahelduvvoolude liitmisteooria järgi peab tekkima kaks erineva sagedusega vahelduvvoolu. Ühe sagedus on  $f_0 + f$  ja teise sagedus  $f_0 - f$ , kusjuures  $f_0$  tähistab põhisagedust ja  $f$  — madalsagedust. Selliselt leitavad erisageduslikud voolud  $f_0 - f = f_1$  ja  $f_0 + f = f_2$  on kujutatud joonisel 150 ja nad on lihtsuse mõttes

$I_1$  ja  $I_2$  algebraline summa. Resulteeriva voolu amplituudid muutuvad perioodiliselt — piirides 0 kuni  $2a$  kuni 0 (joonis 150 d), mis iseloomustab tuikamist.

Ülevaatlükuma iseloomustuse leitud resulteerivast annab alljärgnev matemaatiline selgitus: Kuna voolude  $f_1$  ja  $f_2$  faasid pole ühtivad, siis vaadeldaval hetkel  $t$  (joon. 150 a ja b) nende hetkväärtused

$$I_1 = a \cdot \sin \omega_1 \cdot t \text{ ja}$$

$$I_2 = a \cdot \sin \omega_2 \cdot t$$

Hetkväärtuste resulteeriv

$$I = I_1 + I_2 = a (\sin \omega_1 \cdot t + \sin \omega_2 \cdot t)$$

Trigonomeetriast teame, et

$$\sin \alpha + \sin \beta = 2 \sin \frac{\alpha + \beta}{2} \cdot \cos \frac{\alpha - \beta}{2}, \text{ siis}$$

$$I = 2a \cdot \sin \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t \cdot \cos \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \cdot t$$

Saadud avaldise liige  $\sin \frac{\omega_1 + \omega_2}{2}$  näitab, et resulteeriva voolu

põhivõnkumine toimub sinusoidselt, k.-s. ringsagedusega

$$\omega_k = \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} = 2\pi \cdot f_k = \frac{2\pi \cdot f_1 + 2\pi \cdot f_2}{2} = 2\pi \left( \frac{f_1 + f_2}{2} \right)$$

Kui näiteks liidetavate voolude sagedused  $f_1 = 1010000$  ja  $f_2 = 990000$ , siis resulteeriva voolu sagedus

$$f_k = \frac{1010000 + 990000}{2} = 1000000 = 10^6$$

s. t. et resulteerival on sama põhisagedus, mis oli moduleeritava kõrgesagedusvoolul, sest asendades  $f_1$  ja  $f_2$  nende algväärtustega

$$f_k = \frac{f_1 + f_2}{2} = \frac{f_0 + f + f_0 - f}{2} = \frac{2f_0}{2} = f_0$$

Avaldise liige  $2a \cdot \cos \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \cdot t$ , näitab et resulteeriva

(joon. 150 d) voolu amplituudid on muutuvad 0-st kuni  $2a$ -ni.

Kui vaadeldaval hetkel voolud on faasis, s. o. nihkenurk võr-

dub nulliga, siis ka  $\frac{\omega_1 - \omega_2}{2} \cdot t = 0$  ja  $\cos 0^\circ = 1$ . Sel juhul

liidetud voolude resulteeriv on maksimaalne ja võrdub  $2a$ -ga.

Mida suuremaks osutub vooludevaheline nihkenurk, seda väiksemaks muutub koosinuse väärtus. Kui liidetavate voolude amplituudid vaatlushetkel on maksimaalsed ja vastasuunalised, siis nihkenurk on  $180^\circ$  ja  $(\omega_1 - \omega_2) \cdot t : 2 = 90^\circ$ , mil  $\cos$  väärtus võrdub 0-ga. Sel hetkel on resulteeriva voolu amplituud minimaalne, s. o. 0. Nii viisi kasvavad ja kahanevad resulteeriva voolu amplituudid sümmeetriliselt, piirides  $0 - 2a - 0$ , olenevalt nihkenurga muutustist. Kahest liidetud voolust on saadud voolu tuikamine.

Resulteeriva amplituudide muutumise ehk tuikamise ringsagedus

$$\omega_m = \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} = 2\pi \cdot \left( \frac{f_1 - f_2}{2} \right)$$

ja tuikamise madalsagedus

$$f_m = \frac{f_1 - f_2}{2}$$

Näiteks sageduste 1010000 ja 990000 liitmisel

$$f_m = \frac{f_1 - f_2}{2} = \frac{20000}{2} = 10000$$

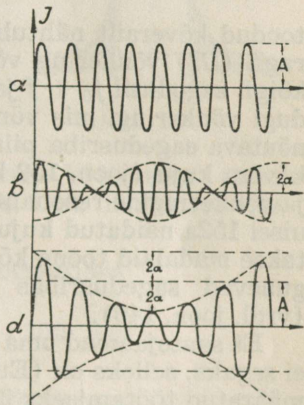
Kuna koosinuse funktsiooni periood koosneb kahest poolperioodist ehk tuikest, siis tuigete arv on

$$2 \cdot \frac{f_1 - f_2}{2} = f_1 - f_2$$

võrdues liidetavate sageduste vahega.

Et moduleeritud kõrgsagedusliku voolu kuju leida (joon. 151 d), selleks tuleb põhisageduslik vool (joon. 151 a) uuesti liita kõrvalsageduste ( $f_0 + f$  ja  $f_0 - f$ ) resulteerivaga (joon. 151 b).

Toodud joonistel on lihtsuse mõttes kõik võnkumised kujutatud sinusoididena. Samas mõttes käsitleti ka moduleerimise selgitamisel vaid ühtainust moduleerivat madalsagedusvoolu, konstantse sageduse ja amplituudiga. Kui moduleerimiseks kasutada näiteks orkestrihelide poolt esilekutsutud mitmesugu-

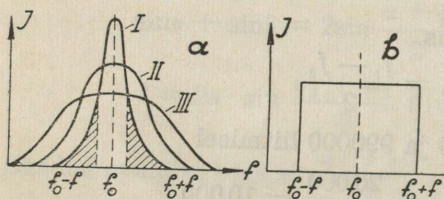


Joon. 151.

seid sageduselt ja amplituudilt üksteisest erinevaid madal-sageduslikke voolukomplekse, siis moduleeritud voolude ja tuikamiste kujud ning sagedused muutuvad väga kompli-seerituks. Üldiselt alluvad aga need nähtused kõik eespool selgitatud põhimõtetele.

\* \* \*

Eespool juba selgitati, et moduleeritud töö kiiratakse saat-jast maailmaruumi, mitte ainult põhisagedusel  $f_0$ , vaid ka viimasele sümmeetriliselt paigunevatel sagedusribadel (joon. 149), s. o.  $f_0 + f$  ja  $f_0 - f$  piirides. Ka vastuvõtja peab olema suuteline sellist sagedusriba vastu võtma.



Joon. 152.

Resonantskõverailt nähtub, et kõige tugevama voolu põhjustab võnkeringis põhisageduslik  $f_0$  võnkumine. Mida rohkem kõrvalsagedused põhisagedusest erinevad, seda nõrgemaid voole nad esile kutsuvad. Joonisel 152a

toodud kõverailt nähtub, et kõige lamedama resonantskõvera (III) võnkering võngub peaaegu ühtlase tugevusega kõigil sagedusil  $f_0 + f$  ja  $f_0 - f$  piirides. Ideaalne oleks muidugi võnkering, mis võnguks konstantse amplituudiga kogu nõutava sagedusriba piirides ja eviks nelinurkset resonantskõvera kuju (joon. 152 b). Tegelikult aga pole see teostatav ja võnkeringide resonantskõverad säilitavad enamvähem joonisel 152a näidatud kujud. Selliseis võnkeringides võimendatakse madalaid toone kõrgeist tugevamini, sest esimesed paigunevad sagedusribas põhisagedusele suhteliselt lähemal (vrld. joon. 149).

Et saatejaamad oma rohkuse tõttu üksteist vastuvõtmisel ei segaks, selleks on (Euroopas) neile rahvusvahelises korras määratud töötamiseks üldine sagedusribalaius — 9 kHz, s. t. et nii ülemise kui alumise sagedusriba laius ei tohi ületada 4500 hertsi. Mainitud norm on minimaalne ja valitud vaid seepärast, et kõne ja muusika poolt tekitatud voolude sagedused ei ületa tavaliselt 4500 perioodi. Kui näiteks jaama põhisagedus on 1000 kHz, siis moduleerimise tõttu võib sagedus kõikuda  $1000 + 4,5 = 1004,5$  kilohertsist kuni  $1000 - 4,5 =$

= 995,5 kilohertsini. Kahe, sageduse mõttes, naabersaatejaama põhisagedused ( $f_0$ ) peaksid seega teineteisest erineva vähemalt 9 kHz.

Kustumatu lainega saatjate häälestuse teravus on tavaliselt väga suur ja veel eriti aga nõrkade sidestuste puhul. Seetõttu resonantskõver on väga järsk ja saatjas võib juhtuda, et kõiki seda heli koostanud sagedusi pole võimalik vahevõnkeringidest antenni üle kanda, ilma et kõrgemad helisagedused ei kaotaks oma tugevusest suuremal või vähemal määral (joon. 152 kriipsutatud pindade ala). Sama nähtus ilmneb ka vastuvõtjas. Kui näiteks saatjas sagedused 1004000 ja 996000 (helisagedus 4000) kantakse antenni ainult poole tugevusega, vastuvõtja võtab omakorda sama sagedust ka poole tugevusega vastu, siis kuuleme selle tooni loomulikust tugevusest vaid ühe neljandiku, madalamate sagedustega võrreldes. Seepärast tulebki nii saatjas kui vastuvõtjas võnkeringe nii viimistella, et kõik ühelt jaamalt antud 9 kHz riba piiresse kuuluvad sagedused ühtlaselt üle kantaks.

Mida suurem on häälestuse teravus, seda ebahütlasemalt kantakse mitmesuguse sagedusega helid üle (joon. 152a). Sageduste  $f_0$  ja  $f_1$  ning  $f_0$  ja  $f_2$  vahet nimetatakse ka häälestuse ulatuseks, kus  $f_0$  on põhisagedus ja  $f_1$  ning  $f_2$  on sagedused, millised poole tugevusega üle kantakse (joon. 153).

Olgu näiteks  $f_0 - f_1 = 100000 - 98000 = 2000$  või  $f_0 - f_1 = 1000000 - 998000 = 2000$ , siis mõlemal juhul häälestuse ulatus (sageduse suhtes) jäi üheks ja samaks, kuid häälestuse teravus muutus.

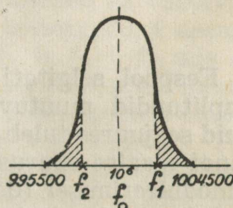
Häälestuse teravus avaldatakse protsentides

$$\frac{f_0 - f_1}{f_0} \cdot 100 \text{ või } \frac{f_0 - f_2}{f_0} \cdot 100. \text{ Kui}$$

$$\frac{f_0 - f_1}{f_0} \cdot 100 = \frac{100000 - 98000}{100000} \cdot 100 = 2\%$$

siis põhisageduse suurenemisel 10 korda

$$\frac{f_0 - f_1}{f_0} \cdot 100 = \frac{1000000 - 988000}{1000000} \cdot 100 = 0,2\%$$



Joon. 153.

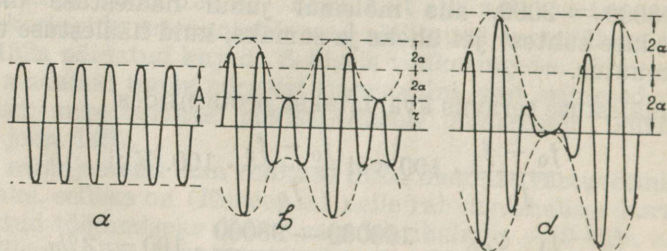
suurenes koos ka häälestuse teravus 10 korda ( $\frac{2}{0,2} = 10$ ).

Arvutusest nähtub, et jättes häälestuse ulatuse samaks, võib 10 korda suurema põhisageduse juures ka 10 korda teravamalt häälestust kasutada, ilma et seejuures samade helisageduste ülekandmisel nende tugevused üksteise suhtes muutuks.

Mida suuremaks läheb põhisagedus, seda enam kõrgesagedusvõnkeid on ühe madalsagedusvõnke kandjaks. On näiteks põhisagedus  $f_0 = 100000$ , siis 1000-perioodilise tooni juures iga perioodi kannavad 100 kõrgesagedusvõnget, kui  $f_0 = 1000000$ , siis 1000 kõrgesagedusvõnget jne. Et suurtel põhisagedustel madalsageduse ja põhisageduse vaherkord on väga suur, siis on häälestus äärmiselt terav ja juba väiksemgi põhisageduse kõikumine viib saatejaama töö vastuvõtja häälestusest välja. Seetõttu tulebki eriti lühilaineil töötavate saatjate põhisageduse stabiliseerimisele pöörata erilist tähelepanu.

\* \*  
\*

Eespool selgitati, et moduleeritud kõrgesagedusvoolude amplituudid muutuvad moduleeriva heli sageduse rütmis. Kuid seejuures tuleb tähele panna, et moduleeriv sagedus siin mingi reaalse suurusena ei esine. Alles kõrgesagedusvoolude demoduleerimisel (detekteerimisel) saadakse vool, mis evib moduleeriva voolu kuju ja mida vastuvõtmisel kasutataksegi heli tekitamiseks.



Joon. 154.

Vastuvõtul oleneb kõne ja heli tugevus modulatsiooni sügavusest, mille suuruse määrab suhe  $2a : A$  või  $a : 0,5A$  (joon. 154). Mida suurem on moduleeritud põhisagedusel kõrvalsageduse amplituud  $2a$  põhisageduse amplituudi  $A$  suhtes,

seda sügavam on modulatsioon, seda suuremad on ka demoduleeritud voolu tugevuse muutused ja seda tugevam on vastuvõtmisel saadav heli või kõne.

Modulatsiooni sügavus määratakse protsentides ja avaldatakse modulatsiooniteguri kaudu

$$M = \frac{2a}{A} \cdot 100$$

Kui näiteks vahekord  $\frac{2a}{A} = 1$ , siis  $M = 100\%$ ; vahekorra võr-

dudes  $\frac{2}{3}$ -ga,  $M = 66,6\%$ ;  $\frac{1}{2}$ -ga,  $M = 50\%$  jne.

Joonisel 154b on modulatsioonisügavus 50%, sest  $2a : A = 0,5$ . Joonisel d on kujutatud modulatsioon eriti sügav ja  $M$  väärtus läheneb 100%-le. Kui suhe  $2a : A$ -le on suurem kui üks, siis sünnib nn. ülemodulatsioon (vt. joonis 164).

Modulatsiooni sügavuse suurenedes väheneb ka vastavalt põhisageduse moduleerimata osa  $r$ . Et helisageduse asemel kiiratakse saatjast külgsagedused  $f_0 - f_1$  ja  $f_0 + f_2$ , siis on selge, et moduleeritud töö ulatus on seda suurem, mida suuremad on külgsageduste amplituudid ( $2a$ ) põhisageduse amplituudi ( $A$ ) suhtes, s. o. mida sügavam on modulatsioon. Teisest küljest tulevad vastuvõtjas esile sügava modulatsiooni juures helisageduse moonutused harmooniliste võnkumiste näol\*.

Muusikas esinevad väga suured helitugevuse erinevused orkestri helikompleksi tugevuse tõusude ja languste vahel\*\*, mistõttu on ka modulatsiooni sügavus muutuv. Saatejaamas hoolitsetakse tavaliselt, et keskmine modulatsiooni sügavus poleks liiga suurtes piirides kõikuv. Selleks tuleb muusikaliste ülekannete juures helitugevuse erinevusi elektriliselt tasanada, niveleerides moduleeriva voolu tugevust.

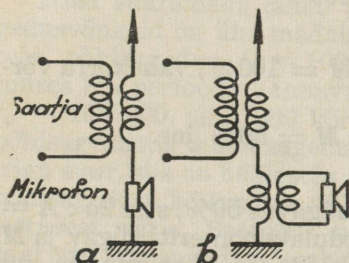
\* \* \*

\* Vt. madalsagedusvõimendajad.

\*\* Orkestri helitugevuse dünaamiline väärtus kontsertsaalis muutub vastavate mõõtmiste kohaselt umbes 60 dB ulatuses, s. o. helisurve vahekord fff (kolmekordse forte) ja ppp (kolmekordse piano) kujuneb 1 000 000 : 1; ringhäälingu ülekannetel piirduakse helitugevuste muudatustega maksimaalselt 27 dB ulatuses, mis vastab helisurve vahekorrale 500 : 1.

Kõrgesagedusvoolude moduleerimiseks kasutatakse väga mitmesuguseid moduleerimisviise. Neist tähtsamate juures peatutakse allpool üksikasjalisemalt.

Käesolevas paragrahvis vaadeldakse vaid kahte kui kõige lihtsamat ja algelisemat moduleerimisviisi, nn. **antennimodulatsiooni**.



Joon. 155.

väikeste võimsuste juures, kus antennivool ei ületa 0,1 amprit, sest vastasel korral mikrofon kuumeneb ja muutub kõlbmatuks.

Joonisel 155b kujutatakse lülitust, kus mikrofon sidestatakse antenniga induktiivselt. Mikrofoniringi takistuse muutmisel helilainete rütmis, absorbeeritakse (muundatakse soojuseks) kas suurem või väiksem osa antennis võnkuvast energiast. Selle moduleerimisviisi kasutamine on mõeldav samuti väga väikeste võimsuste juures.

Mainitud moduleerimisviisid pole kuigi otstarbekohased, sest siin muundub üks osa kiirgumiseks ettenähtud energiast soojuseks; neid kasutati siis, kui paremaid moduleerimisviise veel ei tuntud või neid ei suudetud teostada vajaliku sisse-seade (abinõude) puudumise tõttu.

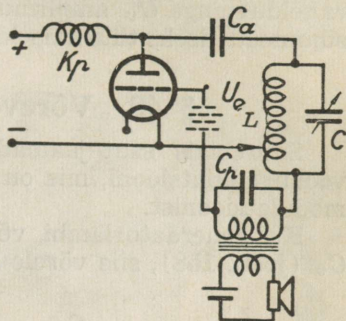
## § 48. Võrepingemodulatsioon.

Üks lihtsamaid moduleerimisviise on võrepingemodulatsioon, mida võidakse kasutada väikestes saatejaamades, kus ülekantavalt helidelt ei nõuta suurt puhtust.

Selles lülituses on mikrofon transformator lülitatud otsest generaatorlambi võrele (joon. 156). Mikrofonisse rääkides indutseeritakse transformatori sekundaarmähises helisageduslik vahelduvpinge, mis juhitakse kõrgesageduslikult

Joonisel 155a toodud lülituses paiguneb mikrofon järjestikku antennijuhtmes. Mikrofon rahulikus olukorras evivad kõrgesagedusvõnked antennis püsivat amplituudi. Niipea kui mikrofon sisse rääkida, muutub mikrofon ja ühtlasi ka antenni takistus, mistõttu kõrgesagedusvoolude amplituudid muutuvad helisageduse rütmis. Seda meetodit võib kasutada vaid

võnkuva generaatorlambi võrele. See vahelduvpinge põhjustab anoodvoolu tugevuse muutusi samas rütmis ja võnkeringis LC ilmneb muutuva amplituudiga kõrgesageduslik võnkumine sagedustel  $f_0$ ,  $f_0 - f$  ja  $f_0 + f$ . Sagedusriba voolude amplituudid (modulatsiooni sügavus) on seda suuremad, mida tugevam on anoodvoolu kõikumine, s. o. mida suuremad on võrel kõnepinge amplituudid. Et mikrofone vooluringis on kõnevoolu muutused väga väikesed, siis suurema sekundaarpinge tekitamiseks valitakse mikrofone transformaatore, keerdude vahekorraga 1 : 50 kuni 1 : 80.



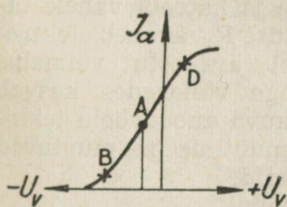
Joon. 156.

Modulatsiooni transformaatore pole mitte ainult pingevõimenduse otstarbeks, vaid mikrofone koormustakistuse sobitamiseks moduleeritava lambi võre koormustakistusega. Tegelikult mikrofon käesolevas lülituses peab suutma katta osaliselt moduleeritava lambi võreergutuse kadusid (võrevoolust tingitud kaod). Seepärast suuremais saatjais, kus kasutatakse võremodulatsiooni, pole mikrofonivõimsus küllaldane nimetamisväärse modulatsiooni tekitamiseks, vaid mikrofone ja modulatsiooni trafo\* vahele

lülitatakse erivõimendaja. Säärase võimendaja väljumisvõimsus dimensioneeritakse nii, et ta suudaks nõutaval määral katta moduleeritava lambi võreergutuse kadusid.

Et mikrofone transformaatore sekundaarmähis ei oleks kõrgesageduslikele vooludele suureks takistuseks, selleks ta plokeeritakse kondensaatoriga  $C_p$ , mis moodustab kõrgesageduslikele vooludele

võrdlemisi väikese takistuse.  $C_p$  suurus valitakse 500—1000 cm. Sellest suurema kondensaatori kasutamisel nõrgenevad kõrgemad toonid, sest  $C_p$  asub rööbitiühenduses sekundaarmähisega ja võib kujuneda ühtlasi ka kõrgemasageduslikele kõnevooludele lühiühenduseks.



Joon. 157.

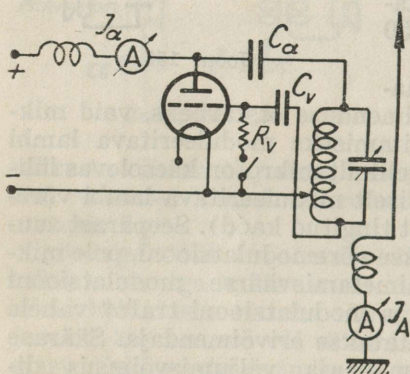
\* Transformaatore nimetuse lühend.

Selles lülituses tuleb elektronlambi tööpunkt A vastava eel- pinge andmisega viia tunnuskõvera sirgjoonelise osa kesk- punkti (joon. 157). Punktid D ja B tähistavad võrele mõjuva vahelduvpinge  $U_v$  amplituudide äärmisi suurusi, anoodvoolu sümmeetriliseks tüürimiseks.

## § 49. Võrevoolumodulatsioon.

Suuremais saatejaamades kasutatakse sageli nn. võre- voolumodulatsiooni, mis on tegelikult üks variant võrepinge- modulatsioonist.

Kui generaatorlambi võreühendusse lülida kondensaator  $C_v$  (joon. 158), siis võrele sattunud elektroonidel on äravool



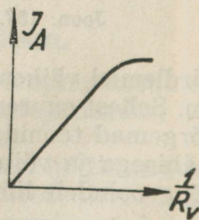
Joon. 158.

katoodile suletud. Selle ta- gajärjel muutub võre pide- valt juurdetulevate elekt- ronide tõttu üha nega- tiivsemaks, põhjustades anoodvoolu tugevuse pide- vat vähenemist kuni nul- lini. Harilikult evivad saa- telambid väga väikest läbis- tavust, seepärast juba väi- kegi negatiivne võrepinge mõjutab tunduvalt anood- voolu tugevust. Lülitades võre ja katoodi vahele ta- kistuse  $R_v$ , avaneb elektro- nidel äravoolu võimalus

võrelt katoodile. Negatiivse võrepinge vähenedes kasvab anoodvoolu tugevus, soodustades võnkuva anoodvoolu tekki- mist. Sellest järgneb, et  $R_v$  suuruse muutmisega muutuvad vastavalt ka võnkuva voolu amplituudid.

Kui graafiliselt üles märkida antenni voolu tugevus  $J_A$ , sõltuvalt võre juhtivu- sest (joon. 159), siis näeme, et mida suu- rem on võre juhtivus (s. o. mida väiksem on võretakistus), seda suurem on ka antenni ülekantud võnkuva voolu tugevus.

Moduleerimise otstarbel pole võretakis- tuse  $R_v$  muutmine toodud kujul otstarbe- kas. Selle asemel kasutatakse lisaelektron- lampi  $M$  (joon. 160), mida nimetatakse



Joon. 159.

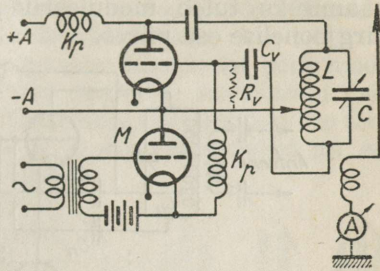
**modulaatorlambiks.** Modulaatorlambi anood ühendatakse generaatorlambi katoodiga (kütte miinusega), kuna katood ühendatakse kõrgesageduspaispooli  $K_p$  kaudu generaatorlambi võrega. Paispool  $K_p$  plokeerib kõrgesageduslikud voolud modulaatorlambi katoodist. Modulaatorlambil on siin täita täiesti  $R_v$ -le analoogiline ülesanne, s. o. oma sisetakistuse muutumisega mõjutada võnkuva anoodvoolu amplituudi.

Modulaatorlambile antakse kindel eelpinge  $U_e$ , mida muutes määratakse sellest olenevalt voolutugevuse muutused antennis. Neid andmeid graafiliselt üles tähendades leitakse nn. modulatsioonitunnuskõver (joon. 161).

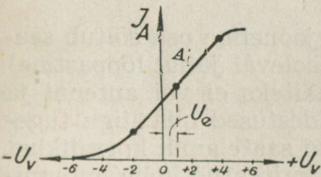
Et saada moonutusvaba modulatsiooni, valitakse eelpinge  $U_e$  suurus selline, et generaatorlambi tööpunkt  $A$  asuks antennivoolu tunnuskõvera sirgjoonelise osa keskpäigas. Juhtides modulaatorlambi võrele vahelduvat madalsageduslikku pinget  $U_v$  (moduleeriv pinge), siis võrele mõjuv üldpinge vaadeldaval hetkel võrdub  $U_e$  ja  $U_v$  algebralise summaga. Vastavalt võrepinge muutustele suureneb ja väheneb modulaatorlambi sisetakistus, mis omakorda

põhjustab antennivoolu tugevuse muutumise moduleeriva pinge rütmis. Säärane lülitis võimaldab õige väikese modulaatorlambiga suurevõimsuslikku generaatorlambi läbi tüürida. Tavaliselt on võrevoolu modulatsiooniga võimalik kuni 75% modulatsiooni sügavust peaaegu moonutusvabalt saavutada.

Joonisel 162 kujutatakse kristallergutusega\* juhtsaatja lülitust võrevoolu modulatsiooniga. Sellise saatja tööle rakendamise toimub järgmiselt. Algul häälestatakse kõik võnkeringid kristalli põhisedusele ja neutraliseeritakse lõppaste (peasaatja) neutrodooniga  $C_n$ . Häälestamise ajaks on modu-



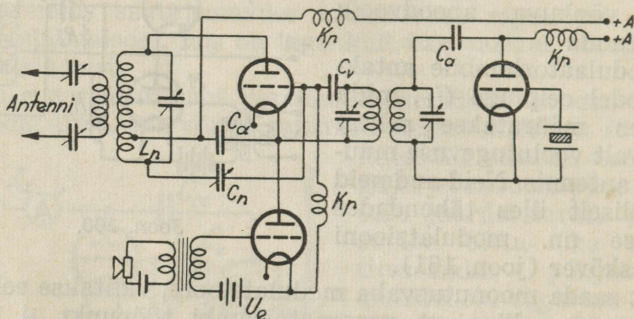
Joon. 160.



Joon. 161.

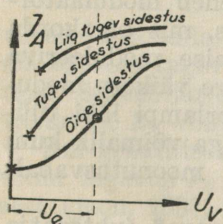
\* Tavaliselt lülitatakse kristalliga rööbiti kõrgeomiline takistus võrevoolude ärajuhtimiseks (vt. joon. 142).

laatorlamp välja lülitatud ja kondensaator  $C_v$  lühidalt ühendatud. Nüüd lülitakse modulaatorlamp sisse, kõrvaldatakse  $C_v$  lühiühendus ja modulaatorlampi eelpinge  $U_e$  kohandamisega reguleeritakse saatelambi tööpunkt antennivoolu tunnuskõvera sirgjoonelise osa keskaika (joon. 161). Selle järele võidakse moduleerimisega alata. Moonutusvaba modulatsiooni saamiseks tuleb moduleeriv pinge  $U_v$  hoida tunnuskõvera sirgjoonelise osa piires.



Joon. 162.

Modulatsiooni tunnuskõvera sirgjooneline osa sõltub saatelambile (moduleeritava lambi, käesoleval juhul lõppastme) valitud sidestuse tingimustest. Nii näiteks ei või antenni ja anoodvõnkeringi ning samuti võresidestused olla liiga tugevad, kuivõrd see pole otseselt tingitud saatelambi korralikust töötamisest. Näitena on joonisel 163 kujutatud kolm antennivoolu tunnuskõverat, erisugustes sidestustingimustes. Kui eriti tugeva sidestuse puhul võrepinge (modulatsiooni pinge) evib suuri amplituude, muutudes paiguti liiga negatiivseks, siis antennivoolu tugevus ei tee neid muudatusi võrdeliselt kaasa ja langeb viimaks järsku nullile (ristiga tähistatud). Vaatamata võrepinge amplituudide positiivsemaks muutumistele, ei teki endaergutusega generaatori juures enam võnkumist.



Joon. 163.

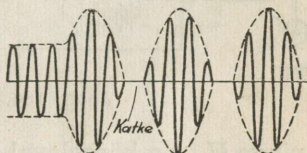
Mõõdukalt tugeva sidestuse puhul pole kirjeldatud nähtus nii kriitiline. Sellest hoidumiseks ühendatakse moduleeritava saatelambi võre vastava suurusega takistuse  $R_v$  kaudu — kaatodiga (joon. 160). Võre ei saa nüüd muutuda niivõrd nega-

tiivseks, et lamp lakkaks võnkumast ja voolutugevus antennis kahaneks nullini. Muidugi on kasulikum lisatakistus  $R_v$  ära jätta ja töötada õigete sidestustugevustega.

Suuremates saatejaamades ei moduleerita mitte otsekohe peasaatjat (lõppastet), vaid moduleerimine teostatakse mõnes lõppvõimendaja eelastmes. Sel puhul tüüritakse peasaatjat juba moduleeritud kõrgesagedusliku vooluga, mis võimaldab peasaatja energia täiuslikumat läbitüürimist.

Küllaldase modulatsiooni sügavuse saamiseks peab modulaatoraste oma võimsuselt olema suuteline saatelampi (võimendajalampi) läbi tüürima. Suuremais saatjais pole see teostatav ühe modulaatorastmega, vaid siin kasutatakse nn. eelvõimendajat, kus mikrofoni kõnesageduslikud voolud võimendatakse ja alles siis tüüritakse nendega suuremavõimsuslikku modulaatorlampi. Olenevalt lülitusest võib eelvõimendaja ühes modulaatoriga olla mitmeastmeline.

Kui modulaatori võimsus on liiga suur, s. o. kui saatelambi võrele antav madalsagedusliku pingepinge amplituudid on suuremad kui  $DU_a$ , siis ilmneb ülemodulatsioon (joon. 164). Sel puhul  $2a : A$  on suurem kui 1 ja tekib moduleeritud voolu katkemine, mis põhjustab moonutust.



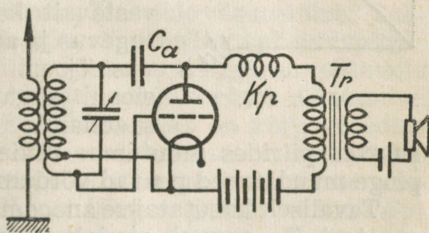
Joon. 164.

## § 50. Anoodmodulatsioon.

Anoodpinge- ehk lühendatult anoodmodulatsioon on käesoleval ajal oma stabiilsuse ja puhta ülekande tõttu kõige levinum modulatsiooniviis.

Moduleerimise üldpõhimõte seisneb siin selles, et moduleeritava saatelambi\* anoodpinge suurust mõjutatakse (muudetakse) moduleeriva (kõnevoolu) sageduse rütmis.

Lihtsaim anoodmodulatsiooni viisidest on mikrofoni transformaatori  $T_r$



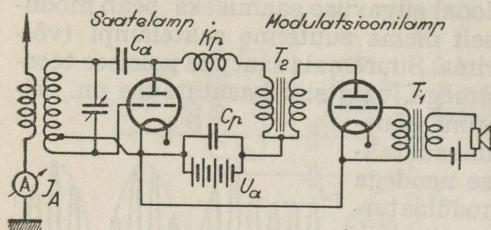
Joon. 165.

\* Saatelambina võib siin esineda, kas enda- või võõrergutusega generaatorlamp, vahe- või lõppvõimendaja astme lamp.

lülitamine saatelambi anoodvooluallikaga järjestikku (joonis 165).

Mikrofoni rahulikus olukorras on mõjuv anoodpinge  $U_a$  konstantne, samuti ka generaatorlampi läbiv anoodvoolu tugevus ja võnkuva kõrgesagedusliku energia amplituud. Niipea kui mikrofoni rääkida, siis tekib transformaatori sekundaarmähise otstel kõne taktis muutuv pinge  $U_m$ , mis alalisanoodpingega  $U_a$  algebraliselt liitudes ( $U_a \pm U_m$ ) kord suurendab

kord vähendab anoodile mõjuvat üldpinget. Sel põhjusel muutub kõnesageduse rütmis lampi läbiv anoodvoolu tugevus ja samuti võnkeringis võnkuva kõrgesagedusliku voolu amplituudid. Et mikrofoni abil tekitatud

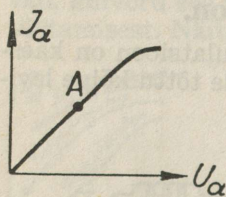


Joon. 166.

pinge  $U_m$  on käesoleval juhul väga väike, siis selline viis kõlbab vaid väga väikese võimsusega saatelambi tüürimiseks.

Suurema võimsusega saatelambi tüürimiseks kasutatakse nn. Heisingi\* ehk rööbitilampide meetodit. Selles lülituses (joon. 166) mikrofoni tekitatud kõnesageduse pinge võimendatakse modulaatorlampiga ja alles võimendatud pinge kantakse transformaatori  $T_2$  abil saatelambi anoodile. Sellise

lülituse puhul saatelambi võimsus kasvab anoodpinge ruuduga, s. o. anoodvoolu ja antennivoolu tugevused on võrdselised anoodpingega. Suureneb näiteks saatelambi anoodpinge, siis suureneb vastavalt ka lampi läbiva anoodvoolu tugevus ja antennis võnkuva voolu tugevus (joon. 167). Küllaldase modulatsiooni sügavuse saavutamiseks, peab saatelambi anoodile mõjuv pinge  $U_a$



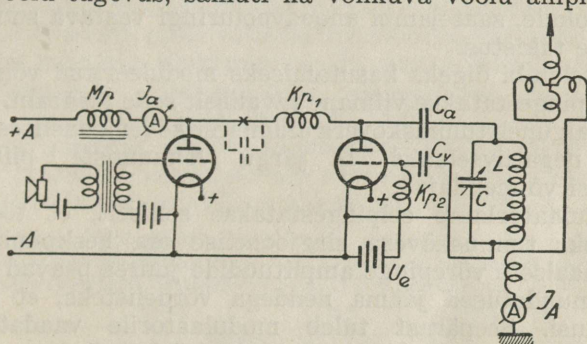
Joon. 167.

suurtes piirides muutuma. (Täieliku modulatsiooni korral pinge muutused peavad võrduma alalisanoodpingega).

Tavaliselt kasutatakse anoodmodulatsiooni puhul transformatori  $T_2$  asemel madalsageduspaispooli  $Mp$  (joon. 168), mille kaudu antakse anoodvool mõlemale lambile. Et alalis-

\* Heising oli Ameerika insener, kes seda meetodit esimesena kasutas.

pinge langus oleks paispoolis  $Mp$  väike, peab ta evima väikest oomilist takistust. Mikrofoni rääkimisel tekivad järgmised nähtused: Kui moduleeriva pinge mõjul modulaatorlambi võre muutub negatiivsemaks, siis modulaatorlambis langeb anoodvoolu tugevus. Selle tagajärjel indutseeritakse paispoolis muutuva anoodvoolu poolt anoodvooluallika suhtes samasuunaline elektromotoorne jõud  $Ev$ , mis liitub anoodvooluallika pingega. Saatelambi anoodile mõjub seega  $U_a + Ev$ , s. o. nende summa. Suurenenud anoodpinge tõttu tõuseb saatelambis anoodvoolu tugevus, samuti ka võnkuva voolu amplituudid.



Joon. 168.

Kui modulaatorlambi võre muutub positiivsemaks, siis anoodvoolu tugevus kasvab. Kasvava anoodvoolu tõttu indutseeritakse paispoolis vastupidine elektromotoorne jõud  $Ev$ , mistõttu saatelambile mõjuv anoodpinge väheneb  $Ev$  võrra. Vähenenud anoodpinge ( $U_a - Ev$ ) põhjustab saatelambis anoodvoolu tugevuse languse, mille otseseks järelduks on ka kõrgesageduslikult võnkuva voolu amplituudide vähenemine\*. Juhitides modulaatorlambi võrele kõnesagedusliku vahelduvpinge, muutuvad kirjeldatud viisil ka võnkuva energia amplituudid samasuguse sagedusega, tekitades moduleeritud võnkumise.

Kõrgesageduspaispooli  $Kp_1$  ülesandeks on kõrgesagedusvoolude tõkestamine modulaatorisse. Modulaatorpaispooli  $Mp$  impedants kõrgesageduslikele vooludele on tema suure sise-mahtuvuse tõttu niivõrd väike, et kõrgesagedusvool ilma  $Kp_1$  saaks peaaegu lühiühenduse.

\* Paispool hoiab temast läbiva üldvoolutugevuse, mis hargneb modulaatori ja moduleeritava lambi anoodide vahel, konstantsena, mistõttu Heisingi modulatsiooni nimetatakse ka „konstantse voolu modulatsiooniks“.

100%-se modulatsiooni saamiseks tuleb saatelambi anoodpinget kuni 0 väärtuseni läbi tüürida. Kui mõlema elektronlampi anoodpinged on võrdsed, siis pole see võimalik, sest vaatamata anoodvoolu tugevale kasvamisele, ei indutseeru paispoolis anoodvooluallika pingele  $U_a$  võrdset vastuelektromotoorest jõudu  $Ev$ , et nende summa  $U_a + (-Ev)$  võrduks nulliga. Seepärast tulekski modulaatorlampiks kasutada saatelambist suurema võimsusega elektronlampi ja sellele anda vastavalt ka suuremat anoodpinget. Nõutava anoodpingete vahe saamiseks lülitakse tarbe korral joon. 168 ristiga märgitud kohale, saatelambi anoodvooluringi vastava suurusega oomiline takistus.

Saatelambi õigeks kasutamiseks moduleeritud võimendajana eelpingestatakse viimane tavaliselt selle määrani, et tööpunkt paiguneb tunnuskõvera alumisest kõverjoonelisest osast veelgi negatiivsemaks, II järgu võnkumiste piirkonda (C-klassi võimendaja).

Modulaatorlamp eelpingestatakse selliselt, et tööpunkt paiguneks tunnuskõvera sirgjoonelise osa keskpunkti. Ka maksimaalsete võrepinge amplituudide juures peavad anoodvoolu muudatused jääma nendega võrdelisteks, et vältida moonutusi. Seepärast tuleb modulaatorile vaadata kui puhtakujulisele madalsagedusvõimendajale\*. Suurema võimsusega modulaatorlampid vajavad võrele tugevaid kõnesageduslike pingete amplituude, mida mikrofon pole suuteline vahetult andma. Siin tarvitatakse mitmeastmelisi madalsagedusvõimendajaid, kus lõppastmena esinebki modulaatorlamp.

Anoodmodulatsiooni juures evib erilist tähtsust modulatsiooni paispool  $Mp$  (vt. joon. 168). Paispooli induktiivsus peab olema seda suurem, mida madalamaid helisagedusi soovitakse üle kanda; sest mida aeglasem on aja mõttes modulaatorlampi anoodvoolu kõikumine, seda väiksemad on indutseeritud elektromotoorsed jõud paispoolis, seda vähemas ulatuses kõigub saatelambi (generaatorlampi) anoodpinge ja seda väiksem on modulatsiooni sügavus. Et madalate toonide, s. o. madalate kõnesageduste juures saavutada küllaldast modulatsiooni, peab paispooli induktiivsus sedavõrd suur olema, et ka modulaatorlampi aeglased anoodvoolu muuted suudaksid saatelambi anoodil esile kutsuda vajalikke pinge kõikumisi. Sellise kümnetesse henridesse ulatuva induktiiv-

\* Vt. madalsagedusvõimendaja.

suse saavutamiseks kasutatakse kinnise raudsüdamikuga paispooli.

Modulatsiooni paispooli vajalik induktiivsus leitakse valemist\*

$$L = \frac{R_{sm}}{\omega_{min} \cdot \left(1 + \frac{R_{sm}}{R_{ss}}\right)} \cdot \frac{n}{\sqrt{1 - n^2}}$$

$L$  tähistab ind. henrides,  $R_{sm}$  — modulaatorlambi sisetakistust oomides,  $R_{ss}$  saatelambi sisetakistust oomides,  $\omega_{min}$  — kõige madalama moduleeriva sageduse ringisagedust ( $2\pi \cdot f_{min}$ ) ja  $n$  — koefitsienti, mille väärtus heliriketeta ülekande juures ulatub 0,8 kuni 0,9. Elektronlampide sisetakistused on mõeldud töötamisel eelpingestatud olukordades ja anoodpinge ja anoodvoolu jagatisena ( $R_s = U_a : I_a$ ).

Toodud valemist nähtub, et paispooli nõutav induktiivsus väheneb peamiselt kõnesageduse suurenemisega ja modulaatorlambi sisetakistuse vähenemisega ning vastupidi.

Näide: Olgu näiteks saatelambi sisetakistus  $R_{ss} = 10000 \Omega$ , modulaatorlambi sisetakistus  $R_{sm} = 5000 \Omega$ ; madalaim korralikult üle kanda soovitatav helisagedus  $f_{min} = 200$  per/sek. ja  $n = 0,8$ .

$$\begin{aligned} L &= \frac{5000}{2\pi \cdot 200 \cdot \left(1 + \frac{5000}{10000}\right)} \cdot \frac{0,8}{\sqrt{1 - 0,8^2}} = \frac{5000 \cdot 0,8}{1256 \cdot 1,5 \cdot 0,6} = \\ &= \frac{4000}{1130} = 3,54 \text{ H} \end{aligned}$$

Kui aga mõlemate elektronlampide sisetakistused on  $10000 \Omega$  ja  $f_{min} = 60$  per/sek., siis  $L = \frac{10000 \cdot 0,8}{377 \cdot 2 \cdot 0,6} = 17,7$  henrit. Viimasel juhul, nagu näeme, peaks paispooli induktiivsus viis korda eelmisest suurem olema.

Modulatsiooni- (madalsagedus-) paispooli läbiv voolutugevus koosneb alalis- ja vahelduvvoolu komponentidest. Alalisvoolu komponent põhjustab südamikuga eelmagnetiseerimist, mis vähendab paispooli induktiivsust\*\*. Eelmagnetiseerimise mõju vähendamiseks valmistatakse paispool tarbe korral õhupilga.

Anoodmodulatsiooniga on võimalik saatelambi suurt kasutegurit täielikult ära realiseerida. Selle moduleerimisviisi puu-

\* Peale käesoleva valemi leidub paispooli indukt. määramiseks veel teisi valemid.

\*\* Eespooltoodud valemi järgi määratavat induktiivsust peab modulatsiooni paispool evima eelmagnetiseeritud olukorras.

duseks on vaid see, et modulaatorlambi võimsus peab vähemasti võrduma saatelambi võimsusega. Modulaatorastme võimsust tõstetakse tavaliselt mitmesuguste kõrgema kasuteguriga töötavate säästlülituste (näiteks B-klass-lülituste) valikuga.

## § 51. B-klass-modulatsioon.

B-klass-modulatsioon ei kujuta endast erimoduleerimisprintsipi, vaid ta on üks anoodmodulatsiooni, õigem modulatsiooni variante.

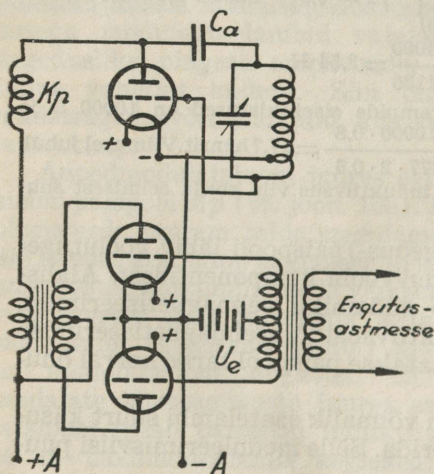
Kuna anoodmodulatsiooni juures nõutakse modulaatorlambilt suurt väljumisvõimsust moonutusteta helisageduslike voolude ülekandel, siis on tihti otstarbekohane kasutada modulaatorastmes nn. B-klassi võimendajat, mille kasutegur ulatub teoreetiliselt kuni 78,5%. On selge, et sellist kasutegurit ei anna tavalised võimendajad trioodiga, kus moonutusvaba ülekande saamiseks võidakse kasutada vaid anoodvoolu tunnuskõvera sirgjoonelist osa. Trioodide kasutegur on siin 15—20%.

Joonisel 169 kujutatakse anoodmodulatsiooni lülitust, B-klassi võimendajaga modulaatorastmes. Lihtsuse mõttes on saatelambina kujutatud tavaline generaatorlamp kolmpunkt-lülituses, kuigi selliste lülituste kombinatsioon praktiliselt ei esine eriti rohkelt.

B-klass-astmes võib kasutada kas 2 tavalist, täpselt ühesuguste andmetega (parameetritega) trioodi, või selleks eriliselt konstrueeritud kahekordset trioodi — nn. B-klassi lampi. Töötamiseks mõlemad trioodid eelpingestatakse selliselt, et

$$U_e = D \cdot U_a$$

ja et nende anoodvool, kui võret väljastpoolt ei mõjutata, oleks praktiliselt null\*. Kui võredele juhtida



Joon. 169.

\* Eri B-klassi lambid sellekohase ehitusviisi ja vastavate andmete tõttu ei vaja tavaliselt üldse eelpinget.

vahelduv kõnepinge, siis töötavad trioodid kordamööda, üks võrepinge positiivsel, teine selle negatiivsel poolperioodil. Anoodringis asuvas ühises transformatoris summeeruvad trioodide väljumisvõimsused, kusjuures ka anoodvoolu alumisil kõverikel tekitatud ebalineaarsed voolumuutused neutraliseeruvad (vt. A-, B- ja C-klassi võimendajad). Anoodringis paiguneva transformatori sekundaarmähisesse indutseerub vahelduv kõnesageduslik pinge, mis eespoolmainitud viisil tekitabki saatelambi anoodpinge muutumist.

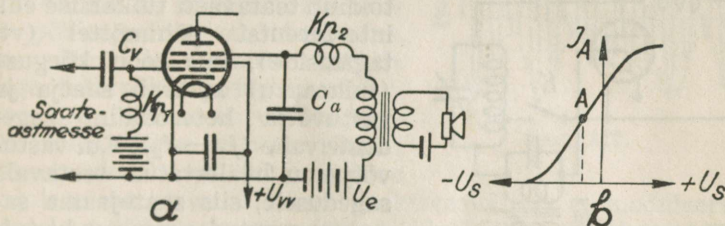
B-klassi astme ergutamiseks kasutatakse praktiliselt (kas ühte või rohkem) elastet, kus mikrofonis tekitatud kõnevooldu võimendatakse.

Elastmes on kohane kasutada trioodi, sest viimases väikese sisetakistuse tõttu ei mõjuta koormuse muutused väljumispingeid.

Et B-klassi\* võimendaja kasutegur on väga suur, siis on ta eriti kohane seal, kus soovitakse säästa anoodvoolu kulu ja suuri võimenduslampe. B-klassi võimendaja nõuab aga võrdlemisi suurevõimsuslikku ergutusastet, mis peab suutma katta B-klassi võrevooldu kadusid.

## § 52. Summutusvõre-modulatsioon.

Pentoodide laialdase levimisega on viimasel ajal saatetehnikas tarvitusele võetud nn. summutusvõre-modulatsioon (joon. 170 a). Selleks kõlbavad pentoodid, millede summutus-



Joon. 170.

võre ühendus on eraldi kolvist välja toodud. Kui säärases lülituses muuta summutusvõre pinget, siis saadakse võrdlemisi lineaarne antennivoolu muutus (joon. 170b). Summutusvõre kaudu moduleerimisel pole tüürimiseks vajatav energia kuigi

\* Samane modulatsiooniviis on kasutamisel Riigi Ringhäälingu suur-  
saatejaamas Türil.

suur, sest summutusvõre asudes kõige lähemal anoodile, evib viimasele suurt mõju. Seega oma põhimõttelt sarnleb summutusvõre-modulatsioon võremodulatsiooniga.

Mikrofoni transformaator plokeeritakse kõrgesageduslike vooludele kõrgesageduspaispooli  $Kp_2$  ja kondensaatori  $C_a$  abil.

Nagu jooniselt näha, antakse summutusvõrele transformaatori kaudu negatiivne eelpinge, mille abil valitakse pentoodile sobiv modulatsiooni tööpunkt. Transformaatori sekundaarmähises indutseeritud kõnesageduslikud pinged, liitudes summutusvõre eelpingega  $U_s$ , põhjustavadki valitud tööpunkti ümber moduleeriva pinge rütmis, kõrgesagedusliku voolu amplituudide muudatusi.

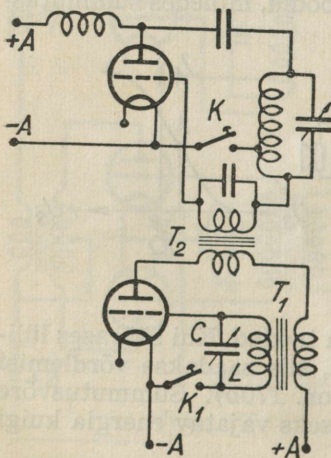
Muus osas võib pentoodi tööle rakendada soovitud lülituse kohaselt, kas endaergutusega või võõrergutusega generaatorina.

See moduleerimisviis on väikese võimsusega pentoodide juures võrdlemisi levinud.

### § 53. Toonmodulatsioon.

Endaergutusega töötavate lampsaaatejaamade moduleerimata telegraafitöö (laine tüüp  $A_1$ ) pole kuigi stabiilne, sest võnkeringi suuruste  $L$  ja  $C$  muutudes antenni tagasimõju tõttu muutub ka saate sagedus. Selliste jaamade töö vastuvõtt toimub teatavasti tuikamise ehk interferentsi põhimõttel (vt. tagasiside), kus tooni kõrguse (tuikearvu) määrab saatja ja vastuvõtja heterodüüni sageduste vahe ( $f_1 - f_2$ ). Kui vastuvõtja on häälestatud teatavale sagedusele, siis saatejaama sageduse muutudes muutub ka tuigete arv, s. o. kuuldava tooni kõrgus, mis raskendab vastuvõttu.

Telegraafi töö stabiliseerimiseks kasutatakse toonmodulatsiooni (laine tüüp  $A_2$ ), s. t. et saatja põhisagedus moduleeritakse mingile soovitud põhitoo-



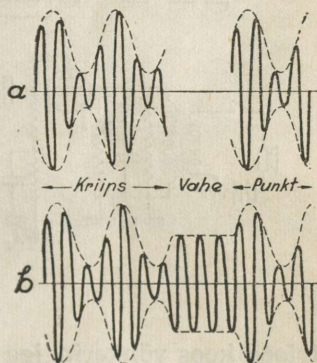
Joon. 171.

nile vastavasagedusliku vooluga. Moduleeriv sagedus valitakse umbes 400—1000 perioodi piirides. Joonisel 171 kujutatakse ühte lülituse põhimõtet tooniga moduleerimisel.

Modulaatoraste on endaergutusega lampgeneraator, mille võnkeringi suurused  $L$  ja  $C$  on nii valitud, et võnkumine toimuks soovitud tooni sagedusega. Võnkeringi ja sidepoolideks kasutatakse madalsagedustransformaatori  $T_1$  mähi-seid; sekundaarmähis ühendatakse modulaatorlambi võre-ringi ja primaarmähis anoodringi. Võnkesagedust (tooni kõrgust) muudetakse võnkeringi mahtuvuse  $C$  muutmise abil. Seda teostatakse kas suuremahtuvusliku pöördkondensaatoriga (1000—2000 pF) või plokk-kondensaatoritega — astmeliselt.

Modulaatorlambi anoodringis ilmneva madalsagedusliku vooluga tüüritakse transformaatori  $T_2$  kaudu saatelampi, võrepinge modulatsiooni põhimõtte järgi (vt. § 48).

Moduleeritud telegraafitöö saatmine võib teostuda kahel printsiibil: 1) Moduleerimine on pidev. Võti  $K_1$  on suletud; võtmega  $K$  töötatakse Morse märkide kohaselt. Morse märkide vahet kohal katkeb nii põhisageduslik kui ka moduleeritud võnkumine (joon. 172a), 2) Moduleerimine on katkev. Võti  $K$  on suletud. Töötatakse võtmega  $K_1$ . Võtme  $K_1$  ühendamisel teostub põhisageduse moduleerimine, mis võtme lahutamisel katkeb. Seega jääb põhisageduslik võnkumine kogu töötamise vältel püsivaks, kuna Morse märkide rütmis katkestatakse vaid põhisageduse modulatsioon (joon. 172 b). Praktika näitab, et moduleeritud telegr.-töoga on võimalik vältida kõiki neid ebastabiilsusi, mis moduleerimatu töö juures on paratamatud. Erilisel see aga kehtiv lühilainete kohta, kus ruumi segamist vabaks töötamiseks veel jätkub.



Joon. 172.

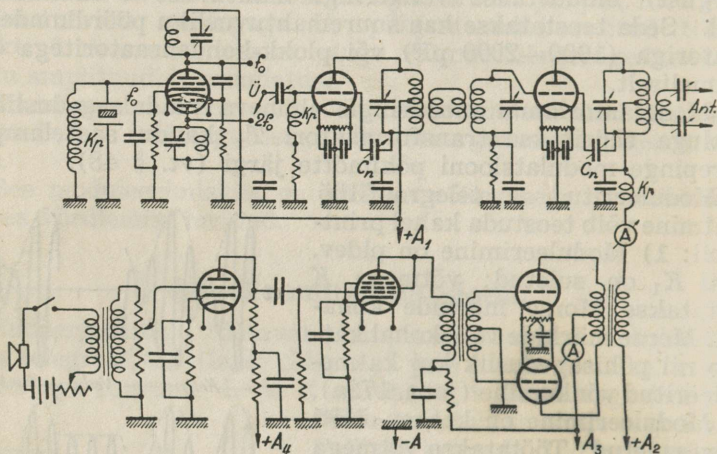
## § 54. Moduleeritud saatja üldlülitus.

Eespool vaadeldi saatja üksikuid osi ja nende töötamise üldpõhimõtteid. Joonisel 173 kujutatakse üht moduleeritud

lühilaine saatja lülituse varianti tervikuliselt, nagu ta väikeste võimsuste juures võib tegelikult esineda.

Saatja koosneb saate- (ülal) ja modulatsiooni (all) osadest.

Saateosa on kolmeastmeline. Esimene aste kujutab kristalliga tüüritavat juhtsaatjat. Ostsillaatorlambiks kasutatakse moodsat kaudse küttega kahekordset trioodi, mis võimaldab ühtlasi sageduse kahekordistamist. Ülemine



Joon. 173.

triood koos võnkeringiga häälestatakse kristalli põhisagedusele ( $f_0$ ) ja alumine triood koos võnkeringiga kristalli kahekordsele põhisagedusele ( $2f_0$ ). Katoodi on lülitatud takistus koos plokk-kondensaatoriga automaatse eelpinge andmiseks.

Teise astme moodustab kõrgsagedusvõimendaja, mida nimetatakse ka puhver-astmeks. Selle ülesanne on ostsilleeritud kõrgsageduse või kahekordistatud sagedusega võnkumisi võimendada lõppvõimendaja tüürimiseks. Ostsillaatorilt juhitakse ümberlüüjaga  $\bar{U}$  kas kristalli põhisageduslik või kahekordistatud sagedusega võnkumine puhver-astme trioodi võrele läbi pöördkondensaatori. Anoodis paigunev võnkering häälestatakse võrele mõjuva võnkumise sagedusele. Trioodi sisemahtuvus neutraliseeritakse anoodneutralisatsiooni printsibi järgi.

Puhver-aste on lõppastmega sidestatud induktiivselt lüliside (link) kaudu. Lõppastmes kasutatakse otsese küttega võimast neutraliseeritud trioodi. Siin sünnibki moduleerimine anoodmodulatsiooni põhimõtte järgi. Moduleeritud kõrgesageduse võnkumised juhitakse antenni (või ergutatakse nendega, eriti võimast järgnevat kõrgesagedusastet).

Viimse ja eelviimse astme saatelampidele antava automaatse eelpinge tekitavad võrevoolud võreringidesse lülitatud takistustel. Kütteniitide elektrilised keskpunktid ühendatakse miinusjuhtmega (maaga) ja plokeeritakse kondensatoriga.

Modulaator-osa kujutab endast kolmeastmelist madalsagedusvõimendajat\*. Tavaline süsimikrofon (siin võidakse ka teisesüsteemilisi mikrofone kasutada\*\*) ühendatakse sisendustransformaatori primaarmähisesse. Transformaatori sekundaarmähis ühendatakse trioodi võrele potentsioomeetri kaudu, mis võimaldab helitugevuse reguleerimist. Esimene ja teine aste on omavahel takistussidesuses. Lõpp- ehk modulaatorastmes töötavad kaks trioodi B-klass-lülituses. Nende anoodringis paigunev väljumis-transformaator on ühtlasi modulatsioonitransformaatoriks, mille sekundaarmähises mõjutatakse saatja lõppastmele antava anoodpinge amplituudi.

Antud lülitust võidakse toita kas patareidest või kohalikest vooluvõrkudest vastavate eriseadmete (alaldajate, filtre jne.) kaudu.

## XII. LAMPVASTUVÕTJAD.

### § 55. Üldpõhimõtteid.

Kristalldetektorit, nagu eespool nägime, on võimalik vastuvõtjana kasutada vaid saatjate läheduses, s. o. seal, kus vastuvõtte antennis indutseeritakse küllaldaselt kõrge pinge. Väikese vastuvõtte-energia juures tuleb paratamatult kasutada elektronlampe — nii õgvendamise kui ka võimenduse ülesannete täitmiseks.

\* Vt. madalsagedusvõimendaja.

\*\* Vt. mikrofonid.

Iga õgvendaja evib teatavat virgutusläve suurust, s. o. mis-sugusest pingest amplituudi väärtusest ta hakkab funktsioneerima. Sageli on kaugetest saatejaamadest vastuvõtu kohani jõudnud väljatugevus seevõrra nõrk, et vastuvõtja võnkeringides indutseeritav pingest ei ületa õgvendaja virgutusläve, mistõttu ei teostu detektsioon. Sel juhul on vaja kõrgesageduslikku energiat enne detekteerimist võimendada elektronlampide abil nn. **kõrgesagedusvõimendajas**.

Kui detekteeritud voolud ei ole suutelised peatelefonis või valjuhääldajas küllaldast helitugevust esile kutsuma, siis võimendatakse neid nn. **madalsagedusvõimendajas**.

Seega võib vastuvõtja, tarvidusest olenevalt, koosneda mitmest astmest, mis üksteisega ühendatakse vastavate lülituselementide kaudu. Nii kujuneb lampvastuvõtja detektorvastuvõtjast palju tundlikumaks, reageerides väga nõrkadele väljatugevustele.

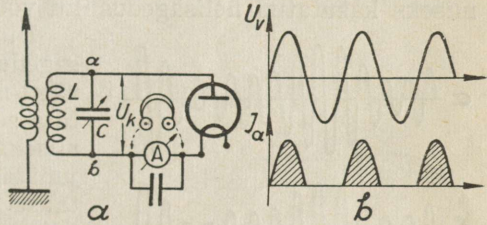
Mingi saatja poolt kiiratud elektromagnetiline väli indutseerib vastuvõtteantennis vastava sagedusega vahelduvpinge, mille amplituud on võrdeline väljatugevusega. Väljatugevuse all mõeldakse siin võnkuva elektromagnetilise energia hulka, mis on saatejaamast levinud vastuvõtja antenni. Et vastuvõtu tugevus oleneb täiesti sisenduspinge suurusest, siis väljendatakse ka väljatugevus pingega, mida see ühe meetri pikkuses vertikaaljuhtmes indutseerib. Väljatugevuse mõõduühikuks on millivolt meetrile (mV/m) ja mikrovolt meetrile ( $\mu\text{V}/\text{m}$ ).

Teatavasti koosneb moduleeritud saade peale põhisageduse ( $f_0$ ) veel külgsageduse ribadest, mis (lihtsalt öelduna) kannavad moduleerivaid helisagedusi. Seepärast võib vastuvõttepaigas vahet teha põhisagedusliku ja külgsagedusliku väljatugevuse vahel. Esimene on viimasest alati suurem, niisama nagu kiirgumist põhjustav põhisagedusliku voolu amplituud on külgsageduse amplituudidest suurem. Külgsageduste väljatugevus võrdub põhisagedusliku väljatugevusega, korrutatud saatja modulatsiooni koefitsiendiga. Kui näiteks saatja modulatsiooni koefitsient on 0,5 (50%) ja põhisageduslik väljatugevus vastuvõttepaigal on  $60 \mu\text{V}/\text{m}$ , siis kõrvalsageduste väljatugevus on  $60 \cdot 0,5 = 30 \mu\text{V}/\text{m}$ . 100% modulatsiooni juures oleks ka kõrvalsageduste väljatugevus  $60 \mu\text{V}/\text{m}$ . Mainitu iseloomustab, et mida sügavam on modulatsioon, seda suurem on kõrvalsageduste väljatugevus ja seda suurem on ka saatja moduleeritud töö ulatus.

## § 56. Demodulatsioon.

### 1. Diioddetektsioon.

Elektromagnetiline energia teatavasti indutseerib vastuvõtteantennis endasagedusliku pinget ja voolu. Seetõttu häälestamata antennis võivad ühel ja samal ajal esineda mitmesuguste saatejaamade sageduslikud voolud. Häälestades võnkeringi  $LC$  (joon. 174) mingile antennis võnkuva voolu sagedusele  $f$ , siis valgub  $f$  sageduslik energia üle võnkeringi, milles resonantsi tõttu ilmneb pinget võimendus. Võnkeringi punktide  $a$  ja  $b$  vahel ilmneva pingega tüüritakse elektronlampi.

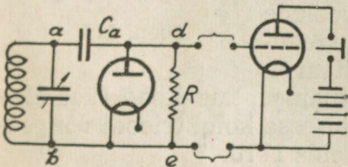


Joon. 174.

Õgvendamine elektronlambiga toimub mitmesuguselt. Mood-

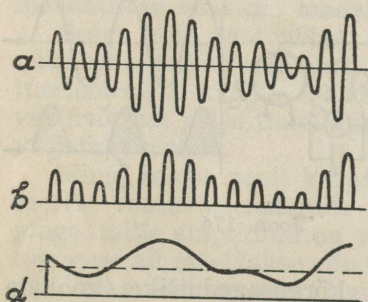
sais vastuvõtjais kasutatakse kõrgesageduslike voolude õgvendamiseks peamiselt kahe elektroodiga lambi põhimõttel töötavat diodi. Joonisel 174 a kujutatakse diodi põhimõttelist lülitust, mis töötab täpselt samadel põhimõtetel, nagu käsitleti §-s 36. Kõrgesagedusliku pinget positiivsetel poolperioodidel, mil anood on katoodi suhtes positiivne, ilmneb diodis elektronide vool, mida näitab diodiga järjestikku vooluringi lülitatud mõõteriist; vool lakkab pinget suuna muutmisega vastupidiseks (joon. 174 b). Seega läbib võnkeringi ühesuunaline kõrgesageduse taktis pulseeriv vool. Kui mõõteriist  $A$  asendada peatelefonidega, siis paneb pulseeriv vool nende membranid samuti võnkuma, nagu see toimus detektorvastuvõtjas. Teisel juhul eraldatakse kõrgesagedus-

vooluring pulseerivast voolust kondensaatori  $C_a$ -ga. (joon. 175), (umbes 100 pF).  $C_a$  tõttu läbib pulseeriv vool tarvitaja kõrgeoomilise takistuse  $R$ , tekitades selle otstel punktide  $d$  ja  $e$  vahel kõrge-sagedusvoolu positiivsete amplituudide rütmis pulseeriva pinget. Iga pulsatsiooni



Joon. 175.

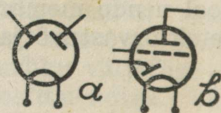
välteel kulutatakse osa voolust kondensaator  $C_a$  laadimiseks, mis pulsatsiooni vaheajal (negatiivsete poolperioodide välteel) tekitab järelvoolu läbi takistuse  $R$ . Seetõttu on takistuse otstel tekkiv pinge pulseeriv alalispinge, mis põhjustab alalis- ja vahelduvvoolu komponente evivat voolu. Kokku võttes võib ütelda, et diodi abil õgvendatakse moduleeritud kõrgesagedusvõnkumine (joon. 176 a ja b) ja muudetakse  $C_a$  ning  $R$  toimel alaliseks pulseerivaks vooluks (joon. 176 d), mille vahelduv komponent sarnaneb saatejaamas moduleerimiseks kasutatud helisagedusliku vooluga.



Joon. 176.

Diiod ei võimenda võnkumisi, siis ta pole kõlblik otseks vastuvõtuks, vaid temaga demoduleeritakse-detekteeritakse kõrgesagedusastmeis võimendatud voole. Võimenduse omaduste puudumise ja anoodvooluallika mittevajamise tõttu ei arvestata diodi vastuvõtja iseloomustamisel iseseisva elektronlambina.

Viimasel ajal kasutatakse rohkem kahekordset diodi, nn. **duodioidi** (joon. 177a). Siin asetsevad kaks diodi anoodi koos kas ühise või eraldi katoodidega ühises klaaskolvis, kusjuures ühte anoodi kasutatakse kõrgesageduslike voolude õgvendamiseks ja teist automaatse reguleerimispinge tekitamiseks\*. Sageli tarvatakse ka kombineeritud elektronlampe, kus diiod (kas ühe- või kahekordne) on paigutatud ühisesse kolbi triodi või pentoodiga. Diiod-triodi kujutab joonis 177b.

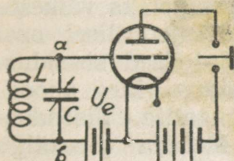


Joon. 177.

\* Diiodi praktilist töölerakendamist käsitatakse § 62.

## 2. Anooddetektsioon.

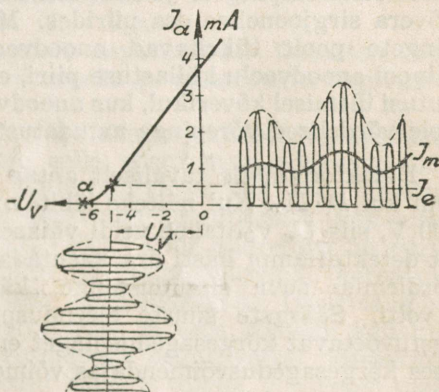
Peale diodi kasutatakse kõrgesageduslike voolude õgvendamiseks triodi, tetroodi ja kõrgesageduspentoodi, miliseid lülitatakse kahe põhimõtte järgi — kas anooddetektorina või võredetektorina ehk audionina.



Joon. 178.

Joonisel 178 kujutatakse triodi anooddetektori lülituses. Siin tuleb elektronlambi tööpunkt negatiivse eelpingega ( $U_e$ ) viia tunnuskõvera alumisele kõverikule\* (joon. 179 ristiga tähistatud kohta). Detekteerimiseks kasutatakse seda kõrgesageduslikku pinget, mis tekib võnkeringi  $CL$  punktide  $a$  ja  $b$  vahel ning mille ülesanne on võre kaudu elektronlambi

anoodvoolu tüürida. Anoodvool saab tekkida vaid ergutuspinge positiivseil poolperioodidel. Ergutuspinge negatiivsete poolperioodide puhul kahaneb eelpingega  $U_e$  määratud anoodvoolutugevus ( $I_e$ ) nullini (joon. 179). Anoodringis ilmnev vool  $I_a$  on seega pulseeriv, kõrgesagedusliku ergutuspinge positiivsete poolperioodide rütmis. Õgwendatud voolu keskmine väärtus  $I_m$  sarnaneb oma kujult moduleerimist tekitanud helisagedusliku vooluga. Seda kasutatakse kas otseselt helide tekitamiseks või järgneva madalsageduslambi tüürimiseks.



Joon. 179.

Anoodõgvendaja on diodist selles mõttes erinev, et siin kõrgesageduslikku energiat kasutatakse vaid anoodvoolu tüürimiseks võre kaudu, kuna anoodvooluringis tekkiv õgwendatud energia on võetud täies ulatuses anoodvooluallikalt. Et negatiivse eelpinge tõttu puudub võrevool,

\* Põlvikule.

siis võreringis äratarvitatav võimsus on tegelikult null. Neil põhjusil on anoodõgvendaja ehk anooddetektor diodist tundlikum ning ei avalda võnkeringile seetõttu mingit summutavat mõju.

Elektronlambi tööpunkti ei valita millalgi anoodvoolu alguspunkti  $a$  (joon. 197), kus tunnuskõvera sirgjoone osa pikendus lõikub võrepinge teljega, sest siis poleks väikeste sisenduspingete juures tunnuskõvera kõverjoonelisel osal saadavad anoodvoolu muutused enam võrdelised sisendpingega ja ilmneks moonutus, vaid sinna, kus anoodvool võrduks umbes 0,1 mA ilma signaalita. Sisendpinge amplituudid ei või normaalselt ületada võrekäigu negatiivset ulatust, sest vastasel korral ilmneb detektorlambis võrevool. Sellest hoidumiseks kasutatakse anooddetektoris kõrget anoodpinget (näiteks 200 volti) ja valitakse, vastavalt õigele tööpunktile, suurem negatiivne eelpinge  $U_e$ . Ka suurte sisenduspingete puhul töötab nüüd detektorlamp tunnuskõvera negatiivse võrekäigu poolel. Üldiselt peab nentima, et anooddetektor töötab puhtamalt suuremate sisenduspingete juures, mil anoodvool võngub tunnuskõvera sirgjoonelise osa piirides. Muidugi peavad sisenduspingete poolt tüüritavad anoodvoolu muutused toimuma allpool anoodvoolu küllastuse piiri, et vältida esinevaid moonutusi ülemisel kõverikul, kus anoodvoolu muudatused samuti pole võrdelised võrepinge muudatustega.

Detektorlambile tavaliselt antav eelpinge on veidi väiksem kui  $D \cdot U_a$ . Kui näiteks läbitavus on 3% ja anoodpinge 200 V, siis  $U_e$  valitakse veidi väiksem, kui  $0,03 \cdot 200 = 6$  V. Et detektorlampi hästi ära kasutada, siis tuleb võrele saata võrdlemisi suur sisendpinge, käesoleval juhul näiteks 5 volti. Sääraste suurte sisenduspingete saamiseks tuleb vastuvõetavat kõrgesageduspinget enne ühe- või kaheastmelises kõrgesagedusvõimendajas võimendada.

Tetroodi ja pentoodi kasutatakse trioodile täiesti analoogilises lülituses.

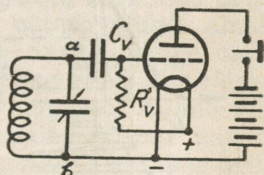
Mitme-elektroodiga lambi võimenduslike omaduste tõttu sisendpinge võimendatakse detektorlambis vastavalt viimase võimendustegurile. Et sisenduspingetele võrdeliselt saadakse pulseeriv anoodvool, mille keskmine väärtus muutub moduleeriva voolu taktis, siis mitme-elektroodiga lamp anoodõgvendajana on ühtlasi ka võimendajaks.

Üldiselt peab tähendama, et see lülitus annab õige rakeduse juures väga puhta vastuvõtu, ei koorma vooluringi, kuid vajab suurt sisenduspinget.

### 3. Võredetektsioon.

Anooddetektorist palju tundlikum on võredetektor- ehk nn. audionlülitus (joon. 180), kus kõrgesageduslike voolude õgvendamine teostub detektorlambi võrevoolude kaastegevusel. Võnkeringi punktide  $a$  ja  $b$  vahel tekkiv kõrgesageduslik pinge kantakse triodi võrele kondensaatori  $C_v$  kaudu. Lambi võre ühendatakse kõrgeomilise takistusega  $R_v$  kas katoodiga või otsese kütte puhul kütteniidi positiivse haruga. Viimasel juhul on võre kütteniidi keskpunkti suhtes positiivne ja mõjub katoodi suhtes anoodina, kutsudes esile võrevoolu\*. Et kondensaator  $C_v$  on alalisvoolule lõpmata suureks takistuseks, siis võrele sattunud elektronid peavad katoodile pääsemiseks läbima takistuse  $R_v$ , tekitades selles pingelangust ( $I_v \cdot R_v$ ), mis võrepoolisel otsal kujuneb negatiivseks. Detektorlambi rahulikus olukorras on võrevoolu ja anoodvoolu tugevused püsivad suurused.

Kui võrele kondensaatori  $C_v$  kaudu juhtida kõrgesageduspinge (ergutuspinge), siis selle positiivsete poolperioodide juures võrevool kasvab. Selle tagajärjel aga võre muutub katoodi suhtes, olenevalt võrevoolu amplituudist, kas enam või vähem negatiivseks ( $I_v \cdot R_v$ ). Mida suuremad on ergutuspinge positiivsed amplituudid, seda suuremad võrevoolu ( $I_v$ ) nad põhjustavad, seda negatiivsemaks (pingelanguse tõttu takistusel  $R_v$ ) muutub võre ja seda rohkem kahaneb anoodvoolu tugevus. Ergutuspinge negatiivsetel poolperioodidel võre elektrone katoodilt külge ei tõmba, võrevoolu tugevus kahaneb, aga anoodvool seejuures kasvab. Kuna ergutuspinge positiivsel poolperioodil tekkiv võrevool laeb ühtlasi võrekondensaatorit  $C_v$ , siis see laeng negatiivse ergutuspinge poolperioodi ilmudes ei lahendu, võretakistuse  $R_v$  kaudu selle suuruse tõttu, mitte hetkeliselt, vaid koguni negatiivse poolperioodi mõjumise vältel. Viimase asjaolu tagajärjel pinge-

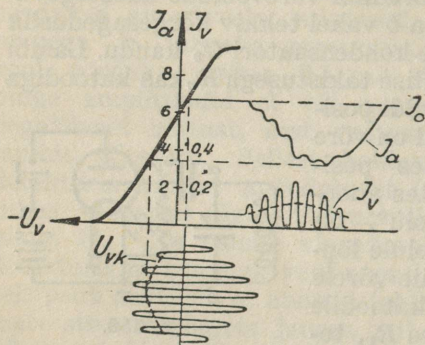


Joon. 180.

\* Kaudse küttega elektronlampide juures ilmneb võrevool juba umbes — 1,0-voldilise eelpinge juures.

langus võretakistusel  $R_v$  ei muutu kõrgesageduslikult, vaid on kõrgesageduspinge muutuste keskmine väärtus. Pinge  $R_v$ -l on kõrgesageduse amplituudide taktis pulseeriv alalispinge  $U_{vk}$  (joon. 181).

Järelikult audionlambi võre on detekteerimisel kas rohkem või vähem negatiivne. Mida suurem on vastuvõetava moduleeritud kõrgesageduspinge amplituud, seda negatiivsemaks muutub võre ja



Joon. 181.

sed rohkem kahaneb anoodvool ning vastupidi. Detektorlambi võrering töötab seega diodina ja anoodvoolu tüüritakse õgwendatud pingega\*.

Võre kondensaator (vt. joon. 180) peab kõrgesageduslikele vooludele olema väikeseks, madalsageduslikele vooludele aga suureks takistuseks, sest võrepinge (pingelangus võretakistusel)

evib ka vahelduvvoolu komponenti, mis võib suure  $C_v$  kaudu hargneda läbi võnkeringi katoodele, põhjustades trioodi anoodvoolu tüüriava pinget vähenemist.  $C_v$  suurus ei või ületada 300 cm, sest vastasel korral tekib ebahütlane helisageduste ülekande kõrgemate toonide arvel;  $C_v$  normaalne suurus, olenevalt vastuvõetava laine pikkusest, on 50—250 cm. Seevastu peab  $R_v$  olema võrdlemisi suur, et saada küllaldast pingelangust. Normaalset valitakse  $R_v$  suurus trioodidel 1—2 M $\Omega$  ja tetroodidel ning pentoodidel 0,1—1 M $\Omega$ . Vahelduvvoolu võrkvastuvõtjais ei või sageli  $R_v$ -d väga suurt valida, sest siis hakkab segavalt mõjuma nn. võrgumüra.

Anoodpinge valikuga paigutatakse audionlambis tööpunkt tunnuskõvera sirgjoonelisele osale, kus juba väikesed võrepinge muutused tekitavad suuri anoodvoolu muutusi, mis tingib suurema võimenduse kui anooddetektsiooni puhul, mil tööpunkt paigunes tunnuskõvera kõverikulisel osal, kus võimendus väike. Audion ongi sel põhjusel anooddetektorist

\* Võrdle rööbiti diodlülitust lk. 191.

tundlikum. Siin tuleb aga tähele panna, et suurte sisenduspingete juures võib anoodvoolu tugevus langeda tunnuskõvera alumisele kõverikule, kus tekivad moonutused, asetleidva anooddetektsiooni tõttu. Seepärast moonutuste vältimiseks tuleb lambile anda seda suurem anoodpinge, mida suuremad pinged võrele juhitakse.

Audionis võrevoolu tõttu ilmnevad kaod, mida peab katma võnkering, on seda suuremad, mida suurem on  $C_v$  ja mida väiksem  $R_v$ . Seepärast on siin võnkeringi häälestus, vaatamata lülituse tundlikkusele, tunduvalt lamedam kui anooddetektori juures.

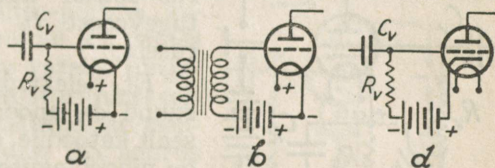
Et tetroodi ja pentoodi läbitavus on väga väike ning võimendus suur, siis annavad nad audionastmes väga häid tagajärgi, juba väikeste sisenduspingete puhul. Tuleb ainult tähele panna, et selles lülituses nende varivõrepinge oleks anoodpingest palju väiksem. Suure võimenduse tõttu võivad anoodringis ilmnedagi nii suured pinge langused, et anoodile mõjuv pinge jääb väiksemaks varivõrepingest, mis halvab audionlambi korralikku töötamist. Tavaliselt antakse neile lampidele anoodpinget 120—150 volti, varivõrepinget 15—20 volti\*, mõnikord isegi võre-eelpinget — 1,5 volti.

## § 57. Lampide eelpingestamine ja automaatne eelpinge.

Moonutusvaba võimenduse ja detekteerimise teostamiseks tuleb elektronlampe, vastavalt nende töö iseloomule, vajalikul määral anood- ja eelpingestada. Andmed elektronlambi tööle rakendamiseks annab tavaliselt valmistaja firma lambile kaasa, või need leitakse tunnuskõverailt.

Eelpingestamine toimub kõige lihtsamalt eelpinge-

patarei abil, mis lülitatakse katoodi ja võre vahele kas järjestikku (joon. 182) või rööbiti võnkeringile eraldi šuntakistuse kaudu. Patareikütte juures (otsese küttega elekt-



Joon. 182.

\* Varivõre ja varivõretakistuse vahel mõõdetud.

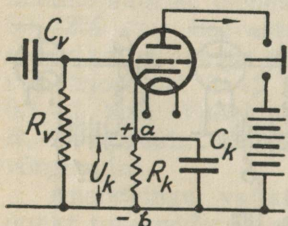
ronlampidel) ühendatakse eelpingepatarei pluss konventsionaalse kokkuleppe põhjal küttemiinusega, millisele ühendusviisile on rajatud ka elektronlambi parameetrilised andmed. Eelpingepatarei miinuspoolust ei või otseselt (vahetult) võrele ühendada, sest patarei väga väike sisetakistus, võrreldes võre ja katodi vahelise takistusega, moodustab kõrgeageduslikele kui ka madalsageduslikele vahelduvvooludele lühiühenduse, mistõttu jääb võrel tüüriv pinge väga väikeseks.

Kaudse küttega elektronlambil ühendatakse eelpingepatarei katoodiga (joon. 180 d).

Patareiga eelpingestamisel on mõningaid puudusi, eriti kui anoodvooluallikana kasutatakse anoodpatareid. Aja jooksul patareide tühjenedes ei jää algul ülesseatud pingete vahakord püsima, sest anoodpatarei tühjeneb eelpingepatareist kiiremini. Seetõttu nihkub elektronlambi tööpunkt rohkem tunnuskõvera alumisele kõverikule ja põhjustab moonutusi.

Kui anoodpinge hoitakse püsivana, näiteks võrkanoodi kasutamisel, siis eelpingepatarei vananedes nihkub tööpunkt tunnuskõvera positiivsele kõverikule lähemale, põhjustades samuti moonutusi.

Nende nähtuste vältimiseks kasutatakse automaatset eelpinget, mis on eriti lihtsalt teostatav kaudse küttega elektronlampide juures. Selleks ühendatakse katodijuhtmesse vastava suurusega takistus  $R_k$  (joon. 183), mida läbib kogu anoodvool, tekitades punktide  $a$  ja  $b$  vahel pingelanguse, mille suurus sõltub katodi läbivast voolu tugevusest  $I_k$  ja takistuse  $R_k$  suurusest.



Joon. 183.

Et elektronlambis elektronide suund on anoodilt vooluallikasse ja sealt katoodile, siis  $R_k$   $b$ -poolisel otsal on pingelanguse negatiivne ja  $a$ -poolisel otsal positiivne poolus. Et võre on takistuse  $R_v$  kaudu ühendatud punkti  $b$ -ga, siis ta evib ka katodi suhtes sama, s. o. negatiivse potentsiaali.

Nii pole võre ja katodi potentsiaalid ühesugused, vaid võre on katodi suhtes negatiivsem, takistusel  $R_k$  tekkiva pingelanguse võrra.

**Näide:** Trioodile 5-milliamprilise anoodvoolu tugevuse juures soovitatakse anda eelpinget — 2 volti. Leida  $R_k$ ?

Ohmi seaduse järgi

$$R_k = \frac{U_k}{I_a} = \frac{2 \cdot 1000}{5} = 400 \Omega$$

Kui muutub anoodpinge ja viimasest olenevalt anoodvoolu tugevus, siis muutub vastavalt ka eelpinge  $U_k$ . Et eelpinge ei muutuks tüüritud anoodvoolu tugevuse muudatuste taktis, vaid püsiks alalispingena, selleks lülitakse  $R_k$ -ga rööbiti pingetasandajana suuremahtuvuslik kondensaator  $C_k$  (joon. 183). Eelpinge püsivus on seda suurem, mida suurem on  $C_k$ . Viimase suurus on valitav vastavalt elektronlampidele ja nende töötamise tingimustele 0,1  $\mu\text{F}$  — 100  $\mu\text{F}$ .

Kui kasutatakse tetroodi, pentoodi jne., siis katoodi voolu tugevus ei koosne ainult anoodvoolust, vaid ka teiste võrede vooludest, s. o. kogu emissioonvoolust.

**Näide:** Tetroodi anoodvoolu tugevus  $I_a = 3,5$  mA ja varivõrevool  $I_{vv} = 1,5$  mA. Tetroodi normaalne tööpunkt  $a$  on — 1,5-voldilise eelpinge juures. Leida  $R_k$ ?

Katoodi läbib voolude  $I_a$  ja  $I_{vv}$  summa. Seega

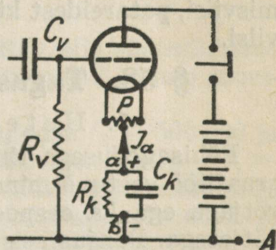
$$I_k = I_a + I_{vv} = 3,5 + 1,5 = 5 \text{ mA ja}$$

$$R_k = \frac{U_k}{I_k} = \frac{1,5 \cdot 1000}{5} = 300 \Omega$$

Otsese küttega elektronlampe on võimalik automaatselt eelpingestada kas

- eelpingestatava elektronlambi enda anoodvoolu abil või
- üldanoodvoolu abil.

Esimesel juhul ühendatakse kütteniidi vahele, umbes 500—200-oomiline takistus, mille keskpunkti  $P$  (joon. 184) ja anoodvooluallika miinus-juhtme vahele ühendatakse takistus  $R_k$ , milles tekitatakse eelpingeks vajalik pingelangus. Takistus  $R_k$  plokeeritakse eelpinge tasandamise otstarbel kondensaatoriga  $C_k$ . Takistuse  $R_k$  suurus leitakse analoogiliselt kaudse küttega elektronlambile vajaliku eelpinge suuruse  $U_k$  ja emissioonvoolu tugevuse abil\*.

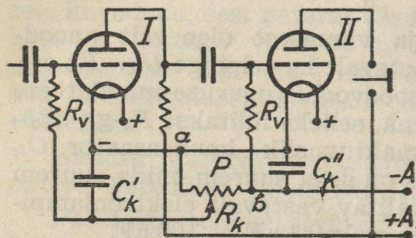


Joon. 184.

\* Kuna siin eelpinge arvestuse lähtekoht asetseb miinusjuhtmest poole küttepinge võrra positiivsemana, siis lisatakse tunnuskõvera järgi arvestatud eelpingele juurde sama palju volte.

Üldanoodvoolu abil eelpingestamiseks ühendatakse anoodvooluallika miinusjuhtmesse, enne selle ühinemist kütteniidi miinus-haruga, takistus  $R_k$  (joon. 185). Mõlema või kõigi

elektronlampide anoodvool läbides takistuse  $R_k$  tekitab selles punktide  $a$  ja  $b$  vahel II lambi eelpingestamiseks vajaliku pingelanguse. Kui lambi eelpeinge peab olema väiksem, siis võetakse see takistuselt  $R_k$  haruühenduse  $P$  kaudu. Mõlemad ühendused plokeeritakse kondensaatoritega  $C_k'$  ja  $C_k''$ .



Joon. 185.

Näide: I lambile vajalik eelpeinge 2 mA anoodvoolu tugevuse juures on  $-4$  volti (joon. 158) ja II lambile 10 mA anoodvoolu juures  $-9,6$  volti. Leida  $R_k$  üldine ja haruühenduse osa takistus? Üldine anoodvoolu tugevus

$$I_a = I_{a'} + I_{a''} = 2 + 10 = 12 \text{ mA}$$

Et II lambi vajalik eelpeinge  $U_{k''} = -9,6$  V, siis

$$R_k = \frac{U_{k''}}{I_a} = \frac{9,6 \cdot 1000}{12} = 800 \Omega$$

Et I lambile vajalik eelpeinge  $U_{k'} = -4$  V, siis harutakistus

$$R_{pa} = \frac{U_{k'}}{I_a} = \frac{4 \cdot 1000}{12} = 330 \Omega$$

Seega üldtakistus  $R_k$  võiks koosneda kahest üksikust takistust, millede suurused  $R_{pa} = 330 \Omega$  ja  $R_{pb} = 800 - 330 = 470 \Omega$ .

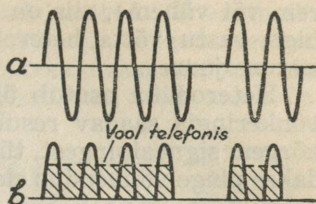
Vahelduvvoolukütte juures võrgumürast hoidumiseks otstarbekohasem kasutada esimest, s. o. üksikut eelpingestamisviisi, patareidest kütte juures aga viimast eelpingestamisviisi.

## § 58. Tagasisidestusega vastuvõtjad.

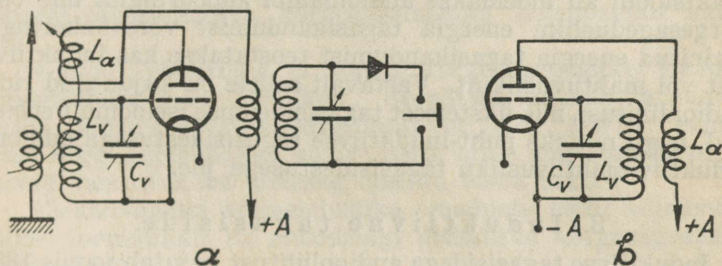
### 1. Heterodüünavastuvõtja.

Põhisagedusega ehk moduleerimatult töötava saatja telegraafitöö vastuvõtmine pole teostatav tavalise detektorvastuvõtjaga ega ka eespoolkirjeldatud lampdetektoriliste vastuvõtjatega. Põhjus seisneb siin teatavasti selles, et põhisagedusliku (moduleerimata) voolu amplituudid on püsiva suurusega (joon. 186 a) ja nende õgvendamisel (joon. 186 b) iga signaal (punkt või kriips) koosneb alalisvoolu impulsist ning kuulub telefonis vastavalt tekkimise ja kadumise hetkile

kahe naksuna (vt. § 34 eelviimane lõige), tehes korrapärasest vastuvõttu võimatuks. Selle vältimiseks kasutatakse nn. heterodüünvastuvõtjat (joon. 187 a), mis töötab interferentsi põhimõttel. Joonisel 187 a ja b kujutatud lülitusi lähemalt jälgides ilmneb, et need on elektronlampi lülituse suhtes üksteisega täiesti sarnased ja kujutavad lamp-generaatorit häälestatud võreeringiga. Kui tagasisidet, mis on reguleeritav pooli  $L_a$  abil, suurendada teatava määrani, siis hakkab elektronlamp võnkuma võrevõnkeringi sagedusel. Eri-  
neb vastuvõetav põhisagedus ( $f_0$ ) heterodüüni võnkesagedusest ( $f_1$ ), siis tekib nende võnkumiste liitumisel interferents, kusjuures tuigete sagedus võrdub  $f_0$  ja  $f_1$  vahega (vrd. joonis 150).



Joon. 186.



Joon. 187.

Et võnkeringi sagedus on vabalt valitav, siis häälestatakse see säärasele sagedusele  $f_1$ , mis  $f_0$ -ga liitumisel annab soovitud kuuldesagedusega tuikamise.

Olgu näiteks vastuvõetava saatja sagedus  $f_0 = 500\,000$  ja heterodüüni sagedus  $f_1 = 501\,000$  või  $499\,000$ , siis  $f_0 - f_1 = 1000$  ehk  $f_1 - f_0 = 1000$ . Need tuikamised õgvendatakse detektoris ja saadakse telefonis toon, mille sagedus on 1000 per. sekundis. Nüüd ei koosne signaal enam ühest voolutõukest, vaid hulgast üksikuist tooni tekitavaist voolu impulsidest.

Kuna üks ja sama tuigete arv on saavutatav kahesugusel heterodüüni sagedusel (põhisagedusest samavõrra suu-

rem või vähem), siis on teatavat jaama võimalik sama tooniga vastu võtta heterodüüni võnkeringi kahesuguse häälestuse juures.

Heterodüün osutub ühtlasi ka võimendajaks, sest võrevõnkeringis saadav resulteeriv pinge, mis on tunduvalt kõrgem signaalpingest, tüürib omakorda anoodvoolu, mil saadakse pinge võimendus elektronlambi võimendusteguri korda.

Praktikas ei kasutata eraldi õgvendajat, nagu seda kujutatakse joonisel 187 a, vaid ühendatakse heterodüün ja audion ühte lülitusse. Sellist vastuvõtjat nimetatakse tagasisidega audioniks.

## 2. Tagasisidega audion.

Tagasisidega audion on säästlikumaid ja lihtsamaid vastuvõtjaid. Ta koosneb tavalisest võredetektorist (vt. § 56 p. 3), mis on täiendatud seadisega tagasiside tekitamiseks ja selle suuruse reguleerimiseks. Tagasiside ehk reaktsiooni all mõeldakse audionlambi anoodringist ühe osa kõrgesagedusliku energia tagasikandumist võrevõnkeringi. Mainitud energia tagasikandumist teostatakse kas induktiivselt või mahtuvuslikult. Vastavalt sellele on kujunenud rida audionlülitusi, mis üksteisest tagasisidestuse iseloomult erinevad, nagu näiteks puht-induktiivse tagasisidestusega audion, induktiiv-mahtuvusliku tagasisidestusega jne.

## 3. Induktiivne tagasiside.

Induktiivse tagasisidega audionlülitust kujutab joonis 188. Tagasiside tekitatakse siin pooli  $L_a^*$  abil, mis on induktiivselt sidestatud võrevõnkeringi pooliga. Tagasiside määra on reguleeritav mainitud poolidevahelise kaugusega, s. o. side tugevusega.

Selline lülitus võimaldab muu hulgas ka põhisagedusel töötavate saatjate (moduleerimata) telegraafitöö vastuvõttu, asendades selles mõttes heterodüünvastuvõtjat. Nimelt poolide tugeval sidestusel hakkab audionlamp võnkuma nagu heterodüüangi. Võnkuva- ja sisenduspinge liitumisel tekib tuikamine (interferents), mis õgvendatult ehk detekteeritult tüürib anoodvoolu. Seega läbib anoodringi lülitatud telefoni amplituudilt muutuv alalisvool, mille pulsatsioonid järgnevad valitud tuikamise taktis.

\* Nimetatakse ka reaktsioonpooliks.

Sama lülitust kasutatakse ka moduleeritud töö vastuvõtmiseks ja võimendamiseks. Loomulikult ei või moduleeritud töö vastuvõtul audionlamp olla võnkuvas olukorras, sest siis saaksime ka moduleeritud töö tuikamisena, mis vastuvõetud voolu kuju, samuti heli, moonutaks tundmatuseeni.

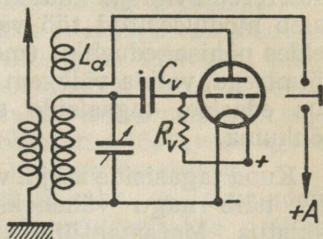
Tagasisidestusega audioni võimenduslikke omadusi seletatakse järgnevalt: tavaliselt ilmneb igas võnkeringis kustumine, mille määr sõltub võnkeringi kustumis-dekrementist. Nõrga energia vastuvõtul esile kutsutud võnkeamplituudid on niivõrd väikesed, et neilt põhjustatud anoodvoolu muutustele ei reageeri telefon. Sellise nõrga energia kuuldavaks tegemiseks tuleb seda enne võrevõnkeringis võimendada, anoodringist tagasikantava kõrgesagedusliku komponendi kaasabil.

Audioni võreringis ei toimu kõrgesageduslike voolude õgvendamine mitte täielikult. Seepärast muutub ka anoodvoolu tugevus kõrgesageduslikult (vt. joon. 176 b), evides puht-kõrgesageduslikku komponenti, mille amplituudid muutuvad vastuvõetava kõnesagedusliku voolu taktis.

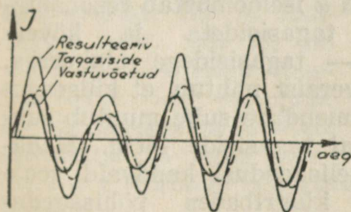
Elektronlambi võimenduslike omaduste tõttu võimendatakse loomulikult ka anoodringi ülekantud kõrgesageduslik komponent.

Võrevõnkeringiga sidestatud tagasiside pooli  $L_a$  abil kantaksegi osa anoodringis võimendatud kõrgesageduslikust energiast võreringi tagasi. Olgugi et vastuvõetav ja tagasikantav energia on omavahel veidi faasis nihutatud (voolu suure liikumiskiiruse tõttu on faaside nihkumine väga väike), siiski nende liitumisel saadava resulteeriva (joon. 189) amplituud on tunduvalt suurenenud.

Kuna ühesuguste sagedustega voolude liitmisel evib resulteeriv teatavasti täpselt liidetavate komponentide sagedusi, siis jääb ka siin sagedus muutmatuks.



Joon. 188.



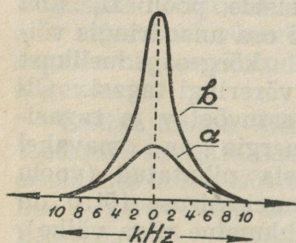
Joon. 189.

Mida tugevam on võre ja anoodringide vaheline sidestus, seda tugevam on kuuldav heli. Kui see sidestus muuta õige tugevaks, siis (muutudes endaergutusega lampgeneraatoriks, vt. § 43) hakkab audionlamp võnkuma, telefonides kuulub interferentsvile ja kuuldav heli on moonutatud. Seepärast tuleb moduleeritud töö vastuvõtul tagasiside tugevus, võrreldes põhisagedusliku (moduleerimata) telegraafitöö vastuvõtmisega, valida väiksem kriitilisest piirist, s. o. olukorrast, kus edasisel tagasiside suurenemisel audionlamp hakkab võnkuma.

Kuna tagasiside mõjul vastuvõtja häälestusteravus tõuseb, siis näib nagu väheneks võrevõnkeringi kõrgesageduslik takistus. Matemaatiline arvutus näitab, et tagasiside mõjub nn. negatiivse takistusena võrevõnkeringis. On oomiline ja tekitatud negatiivne takistus võrdsed, siis on üldtakistuse mõju  $R + (-R) = 0$  null ja vastuvõtjas võimendus suurim. Tagasiside edasisel suurendamisel domineerib võreeringis vaid negatiivne takistus, energia tarvitaja (võnkering) muutub ise generaatoriks ja audionlamp hakkab võrevõnkeringi  $L$  ja  $C$ -st tingitud sagedusega võnkuma.

Audionlambi endavõnkumine avaldub peamiselt telefonides (või valjuhääldajas) kuuldavas interferentsviles. Interferents (tuikamine) tekib vastuvõetava ja audioni enese poolt genereeritava kõrgesagedusvõnkumise liitumisest.

Võnkeringi kõrgesagedusliku takistuse mõju vähenemisega, suureneb resonantstakistus, sest  $R_{res} = L : R \cdot C$ . Joonisel 190 kujutatakse kahte ühe ja sama võnkeringi resonantskõverat. Kõverjoon  $a$  iseloomustab resonantskõverat tagasisideta ja kõverjoon  $b$  — tagasisidega olukorras. Neist kõveraist nähtub, et külgsageduste võimenduse suhe muutub suurel määral tagasiside tõttu. Madalamaid helisagedusi kandvaid voole (asuvad külgribades põhisagedusele ligemal) võimendatakse suhteliselt palju rohkem suuremate sagedustega võrreldes. Nii lõigatakse



Joon. 190.

tugeva tagasiside juures osa külgsagedust ära, mistõttu kuuldavaks tehtud heli kõlab ebaloomulikult madala tämbri-  
riga.

Kaugevastuvõtul evib tagasiside kasutamine külgsageduste piiramise omaduse tõttu vooluse, teataval määral segavaid saatjaid kui ka muid häirivaid mõjusid eraldada.

Et anoodvoolu muutused on võrepinge muutustest poolperioodi faasis ( $180^\circ$ ) nihutatud, siis peavad tagasisidepooli keerud sidestamisel olema võrepooli keerdudega vastassuunalised, et tagasisidestuse mõjul võnkeringis tekitatud pinge oleks sisenduspingega ühesuunaliselt muutuv, s. o. — faasis.

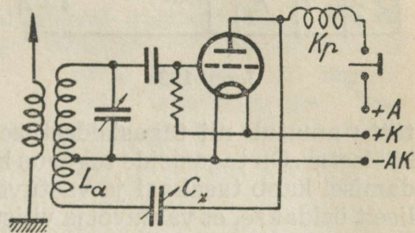
Lihtsaim on tagasisidet saavutada audionvastuvõtjaga. Anooddetektoriga, samuti diodi põhimõttel töötavate õgven-dajatega on tagasiside praktiliselt raskesti teostatav.

Ajalooliselt vanim tagasisidestuse viis on puhtinduktiivne, s. o. kus tagasiside suurust reguleeritakse poolidevahelise kauguse muutmisega. Kuna seesugune tagasiside reguleerimine rahuldavate tulemuste saamiseks on mehaaniliselt raskesti teostatav, siis teda kasutatakse viimasel ajal harva.

#### 4. Induktiiv-mahtuvusliku tagasisidestusega lülitusi.

Levinumaid on nn. Reinartz-lülitus, kus kasutatakse induktiiv-mahtuvuslikku tagasisidestamise viisi (joon. 191).

Tagasiside tugevust reguleeritakse siin pöördkondensaatori  $C_r$ -ga, mille suurusest sõltub tagasiside pooli  $L_a$  läbiv kõrgesagedusvoolu tugevus ja vastavalt sellele ka tagasiside suurus. On  $C_r$  mahtuvus suur, siis  $R_c$  on väike ja  $L_a$ -d läbib tugevam vool ning vastupidi.  $L_a$  on võrepooliga kindlalt sidestatud ja tema keerdude arv valitakse praktiliselt  $1/3$ — $1/5$  võrepooli keerdude arvust.



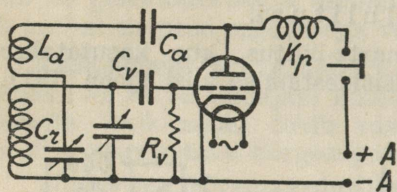
Joon. 191.

Et ära hoida võimalikku juhuslikku kondensaatori plaatide (staatori ja rootori) vahelist lühiühendust, mille otseks tagajärjeks võib olla patareivastuvõtja juures audionlambi kütteniidi läbipõlemine\* ja anoodvooluallika

\* Kui mitte kõikide lampide!

lühiühendus küttevooluallika kaudu, siis valmistatakse tagasisidestuskondensaator  $C_r$  mõnest kõvadielektrikust isolatsiooniga (näit. vilgukivi, eboniit, pertinaks ehk kõvapaber jne.). Teisest küljest võimaldab kõvadielektriku tarvitamine pöördkondensaatori välismõõteid viia miinimumini. Lampide ja anoodvooluallika kaitseks võidakse tagasiside kondensaatoriga ühendada järjestikku suuremahtuvuselise plokki-kondensaatorit (mahtuvus umb. 20—50 korda  $C_r$ -st suurem), nagu seda kujutatakse joonisel 192 ( $C_a$ ).

Võre- ja tagasisidepoolid mähitakse tavaliselt ühisele alusele, kus mõlema pooli keerud on samasuunalised. Kui  $C_r$  lõppmahtuvus on 250 cm, siis tuleb poolid tugevasti sidetada, s. o. üksteise lähedale paigutada (vahe umbes 0,5 cm). On poolid eri alusel, siis tuleb neid nii asetada või ühendada, et nende mähised töötaks, nagu juba eespool mainitud — vastassuunaliselt. Ühesuunaliste poolikeerdude juures võrepooli lõpp- ja tagasisidepooli algus ühendatakse katoodiga, s. o. üldise miinusega.



Joon. 192.

Joonisel 192 kujutatakse lülitust, kus  $C_r$  on ühendatud üldmiinuse\* ja  $L_a$  vahele. Sellise ühendusviisi juures väheneb nn. käe mõju, mis seisneb selles, et käe lähendamisel vastuvõtjale muutuvad parasitmahtuvused inimkeha voolu juhtivuse kaudu, mistõttu muutub nii tagasisidestuse tugevus kui ka vastuvõtja häälestus. On tagasiside tugevus kriitilisel piiril, siis käe lähendamisel kaob tasakaal ja vastuvõtja hakkab võnkuma (tavaliselt öeldakse, et vastuvõtja vilistab). Käe mõju vähendamine vastuvõtja häälestusele saavutatakse ka seeläbi, et häälestuskondensaatori rootor ühendatakse igal juhul üldmiinusega. Kaudse küttega lampide kasutamisel ühendatakse  $R_v$  vahetult katoodiga (joon. 192).

Kõrgesageduspaispooli  $K_p$  ülesandeks on sulgeda selles suunas tee kõrgesagedusvooludele telefoni sisemahtuvuse kaudu ja sundida neid tagasiside tekitamiseks läbima tagasisidepooli ning vastavaid mahtuvusi (näit.  $C_r$  ja  $C_a$ ).

\* Metallalusele ehitatud vastuvõtja (või mõne muu seadise) juures nimetatakse üldmiinust tavaliselt kereks ehk šassiiks.

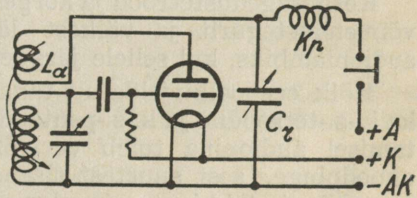
Mida suurem on  $Kp$  induktiivsus, seda suurem hulk kõrge-  
sageduse energias juhatakse pooli  $L_a$  kaudu — katoodile.  
Kuna iga pool sisemahtuvuse tõttu evib kindlat endasage-  
dust, mis tingib ebasoovitavaid tulemusi, siis lühilainete  
juures asendatakse  $Kp$  mõnikord oomilise induktiivsuvaba  
takistusega.

\* \* \*

Sageli kasutatakse, eriti lühilainete juures, nn. Šnelli lüli-  
tust (joon. 193). Siin ühendatakse tagasisidestuskonden-  
saator  $C_r$  pooli  $L_a$  anoodpatareipoolse otsa ja üldmiinuse  
vahele. Tagasiside regu-  
leerimine teostatakse kon-  
densaatori  $C_r$  mahtuvuse  
muutmisega.

Peale mainitute on ka-  
sutamisel väga mitmesu-  
guseid tagasiside lüli-  
tusi, mis õigete üksikosade  
suuruste valiku ja teata-  
vate töötingimuste juures  
annavad häid tagajärgi.

Üldine nõue on, et tagasiside peab olema käsitamisel sujuv,  
s. t. et tagasiside tugevuse pideval suurendamisel suure-  
neb ka pidevalt heli tugevus.

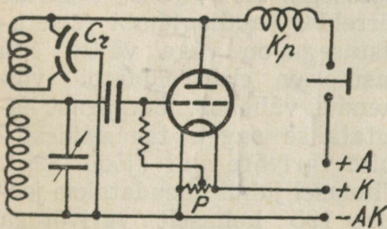


Joon. 193.

Ebaõigel dimensioneerimisel  
võib juhtuda, et tagasi-  
side suurendamisel teata-  
tava piirini helitugevus  
üldse ei suurene. Sellest  
piirist üleminekul tõuseb  
helitugevus järsku ja ühes  
sellega hakkab lamp võn-  
kuma, tehes vastuvõtu või-  
matuks. Teisest küljest  
võivad ilmned nähtused,  
et tagasiside vähendamisel

ei lakka lamp kohe võnkumast või tagasiside ei anna ühtlast  
tagajärge kõigis laineastmikes ja võnkeringi häälestuskonden-  
saatori kõigi seisundite juures.

Ebakorrapärase tagasiside põhjustajaks on tavaliselt:  
audionlambi liiaks kõrge anoodpinge, audionlambi üleküt-  
mine (lubatust tugevama vooluga), ebaõige võrepinge (eel-



Joon. 194.

pinge) või liiaks suure keerdude arvuga tagasisidepool. Need põhjused võivad esineda eraldi või koos.

Võrdlemisi sujuvat tagasisidet saavutatakse joonisel 194 kujutatud lülitusega, kus tagasiside tugevuse reguleerimiseks kasutatakse diferentsiaalkondensaatorit  $C_r$ .

Mõnikord on soovitav otsese küttega audionlambi kasutamisel lülitada kütteniidile rööbiti potentsiomeeter (joon. 194), mille abil leitakse võrepinge suhtes tööpunkt, kus tagasiside mõjub kõige paremini.

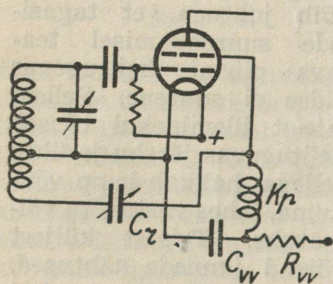
## 5. Tagasisidelülitusi kõrgesagedus-tetroodiga.

Kõrgesagedustetrood ja kõrgesageduspentood, evides suurt võimendustegurit ja väikest läbitavust, on eriti kohased audionlambiks, kui sellele järgneb veel madalsagedusaste.

Kõik eespoolkirjeldatud tagasisidelülitused on kõlblikud ka k.-s.-tetroodile ja k.-s.-pentoodile. K.-sagedustetroodi kasutamisel audionina tuleb varivõrele anda võrdlemisi väike anoodpinge, sest suurtest sisenduspingetest tingituna võib anoodringis tekkivate pingelanguste kestel anoodpinge mõju väiksemaks jääda varivõre pinge mõjust, mistõttu ilmnevad moonutused. K.-sageduspentoodi juures pole mainitud nähtus nii kriitiline. Tavalistes lülitustes (v. a. puhtindukt. tagasiside) tagasisidestuskondensaator  $C_r$  ja tagasisidepool  $L_a$  aset-

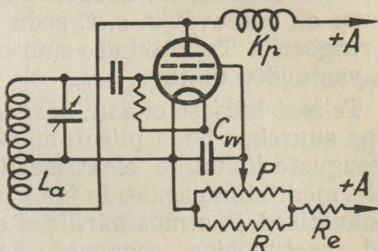
sevad rööbiti anoodringi takistusega. Et  $C_r$  ja  $L_a$  takistus võrreldes audionlambi sisetakistusega on väga väike, siis kasutatav elektronlambi võimendus väheneb. Seepärast kasutatakse sageli tagasisidestamist varivõre abil (joon. 195). Viimasel juhul ühendatakse joonise 195 kohaselt varivõre järjestikku kõrgesageduspaispool  $Kp$ . Varivõrele antakse pinge takistuse  $R_{vv}$  kaudu.  $Kp$  ja  $R_{vv}$  ühenduskoht plokeeritakse kondensaatori  $C_{vv}$ -ga (vähemalt  $0,1 \mu\text{F}$ ), paispooli läbinud kõrgesagedusvoolude otseseks juhtimiseks katoodile.

Kõigis eespoolkäsiteldud lülitusis, tagasiside tugevuse reguleerimine avaldab mõju võnkeringile, muutes vähesel



Joon. 195.

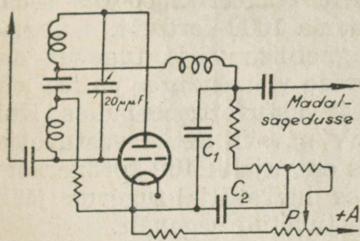
määral selle endasagedust. Normaallainete astmikus (piirkonnas) see nähtus pole kuigi segav, kuid lühilainete juures viib vastuvõtja kergesti häälestusest välja, mistõttu on vaja tülikat häälestuse järelreguleerimist. Et k.-sagedustetroodi tundlikkus sõltub suurel määral varivõrepingest, siis lühilainete vastuvõtul reguleeritakse viimasega tagasiside tugevust. Seks otsustarbeks antakse tetroadile varivõrepinge potentsiomeetri  $P$  (joon. 196) abil, millele sujuvama reguleerimise saamiseks lülitakse rööbiti takistus  $R$ .  $R$  ja  $P$  vahekord valitakse umbes 1:5. Normaalselt valitakse  $P$  suurus 50 k $\Omega$  ja  $R$  umbes 10 k $\Omega$ .



Joon. 196.

\* \* \*

Ultralühilainete vastuvõtul on audionina sobiv triood. Joonisel 197 toodud lülituses tagasiside tugevus reguleeritakse trioodi anoodpinge



Joon. 197.

muutmisega potentsiomeetri  $P$  abil.  $C_1$  ja  $C_2$  ülesanne on kõrgesagedusvoolude plokeerimine tavaliselt järgnevast madalsagedusosast. Eriti lühikeste lainete vastuvõtuks kasutatakse erilisi elektronlampe.

Audionastme ühendamist ühte lülitusse kõrge- ja madalsagedusastmega käsitatakse tagapool.

## § 59. Kõrgesagedusvõimendajad.

### 1. Üldpõhimõtteid.

Saatejaamade väljatugevused, mis jõuavad vastuvõtja antennini, on sageli niivõrd nõrgad, et vastuvõtja võreringis indutseeritud pinged ei ületa detektorlambi virgutusläve. See-

pärast tuleb antennis indutseeritud pinget enne võimendada nn. **kõrgesagedusvõimendajas**, kuni selle suurus on küllaldane detektorlambi tüürimiseks.

Mida suurem on kõrgesageduslik võimendus, seda tundlikum on vastuvõtja, s. t. seda nõrgematele väljatugevustele ta reageerib. Tundlikkuse suurendamisega kasvab loomulikult ka vastuvõtu ulatus.

Teisest küljest ei saa kõrgesagedusvõimendust arendada väga suureks. Seda piirab häireväli, mida moodustavad mitmesuguste kohalike elektriseadiste (nagu näit. elektrimasinate, meditsiinaparaatide jne.) poolt väljakiiratud elektrilised võnkumised ja atmosfäärilised elektrilahendused, mis tekitavad vastuvõtjas segavaid helisid. Häirevälja tugevus, samuti kui sageduski, on mitmesugune, sõltuvalt häirija iseloomust.

Seni kui vastuvõetava elektromagnetilise välja tugevus on suurem häirevälja tugevusest, vastuvõtt selle all ei kannata, s. o. vastuvõtjas häirivaid helisid ei teki. Kui häirevälja tugevus ületab vastuvõetava elektromagnetilise välja tugevuse, siis ilmnevad vastuvõtjas häirivad helid ja vastuvõtt muutub võimatuks. Olgu näiteks audioni korralikuks funktsioneerimiseks vajalik võrepinge (vahelduv) 0,3 volti. Kui häirevälja tugevus on 0,03 mV/m, siis 10 meetri kõrguse antenni puhul üldine häirevälja tugevus on  $0,03 \cdot 10 = 0,3$  mV. Et audion antud häireväljatugevusele reageeriks, peaks seda enne kõrgesageduslikult võimendama 1000-kordselt. Kui samal ajal vastuvõetava elektromagnetilise välja tugevus on samuti 0,03 mV/m, siis 1000-kordse võimenduse juures on mõlemad väljatugevused võrdsed ja vastuvõtt pole puhas. Kui saatja väljatugevus oleks 0,3 mV/m, siis antud vastuvõtja audioni virgutusläve ületamiseks on vajalik 100-kordne kõrgesagedusvõimendus, mille juures häirevälja tugevus jääb 10 korda nõrgemaks ega mõju vastuvõtule segavalt.

Suure kõrgesagedusliku võimenduse kasutamisel tuleb häirevälja mõju vastuvõtjast eemaldada. Selleks paigutatakse vastuvõtja antenn väljapoole häirevälja kõrgust, milleks tavaliselt loetakse umbes kolmveerand vastuvõtja antenni ümbruskonnas asetsevate majade ja esemete keskmist kõrgust. Sellise antenni sisendusjuhe varjestatakse häirevälja mõju piirkonnas metalliliselt. Häireväli esineb suuremas ulatuses peamiselt linnades ja tööstustsentrumites.

Vastuvõtjais kasutatavais kõrgesageduslikes võimenda-

jais toimub nn. pinge võimendamine.\* Pinge võimenduse määrab väljumis- ja sisenduspingete vahekord.

Kõrgesagedusliku võimenduse tekkimise eelduseks on — elektronlambi võimenduslikud omadused, kõrgesagedustransformaatorite ja tagasiside kasutamine.

## 2. Kõrgesagedusvõimendaja häälestatud anoodringiga.

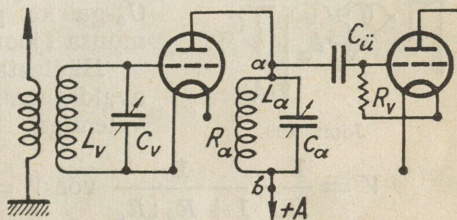
Kõrgesageduslambi ülesanne on võrele (joon. 198) juhitava pinge võimendamine. Seepärast anoodringis, võnkeringi  $L_a$  ja  $C_a$  otstel, saadakse sisenduspingest lambi võimendusteguri korda kõrgem pinge.

Võimendaja töökäik on üldjoontes järgmine:

Häälestades võre võnkeringi  $L_v$   $C_v$  soovitud sagedusele, saadakse transformatsiooni tõttu juba võreringis antennist ülekantava pinge võimendus.

Võimenduse määr sõltub ülekandetegurist (keerdude vahekorra), sidestuse tugevusest ja vastuvõetava energia sagedusest. Arvutus näitab, et maksimaalne antennist võreringi ülekantav pingeline saadakse siis, kui antenni ja võrevõnkeringi sagedused on võrdsed. Praktikas kasutatakse tavaliselt nn. häälestamata antenni (antenni endasagedus pole reguleeritav). Ülekande tegur  $\bar{u}$  valitakse 3 — 10, s. t. kui näiteks võrepooli keerdude arv on 60, siis antennipooli keerdude arv võiks olla umbes 6—20. Ülekandeteguri  $\bar{u}$  valikul tuleb silmas pidada ka häälestusteravust\*\*, sest kui  $\bar{u}$  on väike, siis häälestusteravus on väike ja vastupidi.

Võreringi ülekantud kõrgesageduspinge tüürib lambi anoodvoolu. See muutuva tugevusega anoodvool, läbides võnkeringi  $L_a$   $C_a$ , tekitab punktide  $a$  ja  $b$  vahel muutuva suurusega pinget. Kui anoodring on häälestatud võreringi sagedusele, siis  $R_a$  (näiv koormustakistus) on kõige suurem, samuti

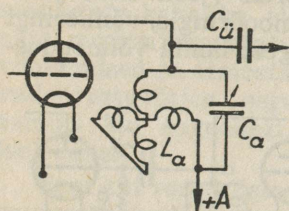


Joon. 198.

\* Saatjate juures esineb kõrgesagedusliku võimsuse võimendamine, kus võimenduse suuruse määrab väljumis- ja sisenduvõimsuste suhe.

\*\* Vt. selektiivsus.

sellel saadav (vahelduv) pinge. Võnkering  $L_a$  ja  $C_a$  moodustab vahelduvvoolule tõkestusringi, mille resonantstakistus  $R_{res} = L_a : C_a \cdot R$ . See  $R_{res}$ , paigunedes võimendajalambi anoodringis, moodustabki nn. anoodringi takistuse  $R_a$ . Valemist  $R_a = L_a : C_a \cdot R$  nähtub, et anoodringi takistus on muutuv sagedusega: kui  $C_a$  on väike (sagedus suur), siis  $R_a$  on suur;  $C_a$  suurendamisega (sagedus väheneb) väheneb  $R_a$ . Seega vastuvõetavas laineastmikus (kui  $C_a$  mahtuvust muuta 50—500 cm) pole anoodringis saadud pingevõimendus



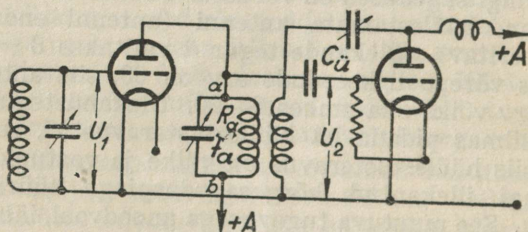
Joon. 199.

kogu astmiku ulatuses ühtlane. Et avaldis  $L_a : C_a \cdot R$  jääks kondensaatori mahtuvuse muutmisega konstantseks, siis tuleks koos  $C_a$ -ga ka pooli  $L_a$  induktiivsust muuta (joon. 199).

Häälestatud anoodringi puhul avaldatakse astme võimendus ( $V$ ) valemiga

$$V = \frac{1}{D} \cdot \frac{1}{1 + R_s : R_a} \quad \text{või} \quad V = \mu \frac{R_a}{R_a + R_s}$$

kus  $D$  tähistab võimendajalambi läbitavust,  $R_s$  sise- ja  $R_a$  lambi anoodringi välistakistust, ning  $\mu$  lambi võimendustegurit. Toodud valem näitab, et  $V$  on seda suurem, mida suurem on  $R_a$   $R_s$  suhtes. Resonantsi puhul võib selles lülituses kasutatava elektronlambi võimendust lugeda peaaegu võrdseks 1 :  $D$  ehk  $\mu$ -ga.



Joon. 200.

Kõrgesagedus-astme sidestus audionlambiga on kujutatud joonisel 200.

Punktide  $a$  ja  $b$  vahel ilmnev vahelduvpinge kantakse järgmise lambi võrele kondensaatori  $C_ü$  kaudu, mis kõrge-

sageduslikele vahelduvvooludele esineb väikese takistusena. Et audionlambi võretakistus on lülitatud  $R_a$ -ga rööbiti, siis peab esimese suurus olema nii valitud (s. o. küllalt suur), et ta  $R_a$  takistust tunduvalt ei vähendaks.

Ühe astme tegeliku võimenduse määrab pingete vahekord  $U_2 : U_1$ , kus  $U_1$  on pinge esimese lambi võrel ja  $U_2$  — võimendatud pinge järgmise lambi võrel (joon. 200). Mitmeastmelises vastuvõtjas üldine võimendus

$$V = V_1 \cdot V_2 \cdot \dots$$

kus  $V_1, V_2$  jne. on järjestikku esinevate astmete võimendused. Kui näiteks ühe astme võimendus on 50, siis kahe astme puhul  $V = 50 \cdot 50 = 2500$ .

Viimasel ajal väljendatakse võimendust (samuti sumbu-  
vust) **neperites** ja **detsibelides** (dB).

Võimendus neperites võrdub naturaallogaritmiga võrepingete vahekorra

$$V \text{ neperites} = \ln \frac{U_2}{U_1}$$

Kui näiteks  $\frac{U_2}{U_1} = 60$ , siis  $\ln 60 = 4,0943$ , s. o. umbes 4. Seega

60-kordne võimendus vastab umbes 4 neperile. Kahe üksteisele järgneva ühesuguse astme puhul võimendus  $V = 60 \cdot 60 = 3600$ , mis vastab  $4 + 4 = 8$  neperile, sest korrutamise asemel arvatakse siin arvude loomulikud logaritmid kokku.

Tavaliselt kasutatakse neperi asemel detsibeli, mille tähendus selgub järgnevast avaldisest

$$V \text{ detsibelides} = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}$$

Siin kasutatakse naturaallogaritmi asemel kümnendlogaritmi. Üks neper vastab umbes 8,7 detsibelile ja üks detsibel 0,115 neperile.

Tagasiside abil on võimalik sisendusastmes (audionvastuvõtja) saada 13—14-kordset võimendust, s. o. umbes 2,5 neperit. Vahepealses astmes on tagasisidestuse võimendus suurem. Maksimaalselt võib ühe astme võimendus olla koos tagasisidestusega kuni 9 neperit.

**Näide:** Elektronlambi anoodvõnkeringi pooli induktiivsus  $L = 200\,000$  cm,  $C = 400$  pF ja pooli kõrgesageduslik takistus  $R = 10 \Omega$ . Leida võimendus, kui lampide andmed on:

- 1) Trioodil  $D = 4\%$  ja  $R_s = 250$  k $\Omega$ .
- 2) Kõrgesageduspentoodil  $D = 0,02\%$  ja  $R_s = 2$  m $\Omega$

$$R_a = \frac{L}{C \cdot R} = \frac{200\,000 \cdot 10^{12}}{10^9 \cdot 10 \cdot 400} = \frac{200\,000}{4} = 50\,000 \Omega$$

Trioodi võimendus

$$V = \frac{1}{D} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_s}{R_a}} = \frac{100}{4} \cdot \frac{1}{1 + \frac{250\,000}{50\,000}} = \frac{100}{24} = 4,1$$

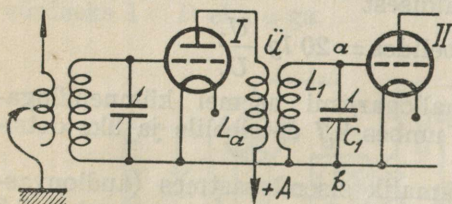
Pentoodi võimendus

$$V = \frac{10\,000}{2} \cdot \frac{1}{1 + \frac{2\,000\,000}{50\,000}} = \frac{10\,000}{82} = 122$$

Nii ühe kui teise lambi võimendust on võimalik tõsta anoodringi resonantstakistuse ( $R_a$ ) suurendamisega, s. o. suurema  $L$  ja vähema  $C$  valikuga, samuti pooli kõrgesagedusliku takistuse vähendamise.

### 3. Kõrgesagedusvõimendaja transformatorsidestusega.

Sageli kasutatakse kõrgesagedusastmeis lampide sidestamiseks kõrgesagedustransformaatoreid (joon. 201), kus sünnib pinge kõrgenemine ülekandeteguri  $\ddot{u}$  korda. Mähiste vahelise side tugevuse reguleerimine toimub  $\ddot{u}$  suurendamise või vähendamise teel. Praktiliselt  $\ddot{u}$  valitakse trioodi juures umbes 5—12\*. Suuremate sageduste vastuvõtmiseks  $\ddot{u}$  valitakse vähem ja ümberpöörduvalt. Sellises lülituses võimenduslambi anoodring on häälestamata, kuna häälestus soovitatavale sagedusele toimub võreeringis.



Joon. 201.

jaama) sagedusele, siis see võnkering koos  $L_a$ -ga moodustab koormustakistuse I-se lambile, sest anoodringist kantakse võnkuv energia üle II-se lambi võreeringi. Seejuures tuleb maksimaalse pingevõimenduse saamiseks leida vastav  $\ddot{u}$  suu-

\* Keerdude vahetegur 1 : 5—1 : 12.

rus. Arvutus näitab, et maksimaalne pingevõimendus saadakse siis, kui nn. optimaalne ülekandetegur

$$\dot{u}_{opt} = \sqrt{\frac{R_s}{R_{res}}}$$

$R_s$  tähistab I-se lambi sisetakistust ja  $R_{res}$  — II-se lambi võre võnkeringi resonantstakistust ( $R_{res} = L_1 : C_1 \cdot R$ ).

Optimaalne võimendus sel puhul

$$V_{opt} = \frac{1}{2 \cdot D \cdot \dot{u}_{opt}} = \frac{1}{2 \cdot D} \cdot \sqrt{\frac{R_{res}}{R_s}}$$

Toodud valemite abil on võimalik  $L_a$  ja  $L_1$  üksteise suhtes niiviisi kohandada, et saadakse maksimaalne pingevõimendus, s. t. et koormustakistus on kohandatud vastavalt lambi sisetakistusele, nagu see toimus häälestatud anoodringi kasutamisel. Sageduse muutmisega käib siin kaasas  $R_{res}$  ja seega ka  $V$  muutumine.

Teisest küljest on  $V$  seda suurem, mida kaovaesem on võnkeringi  $L_1 C_1$ , s. t. et pingevõimendus on sõltuv võnkeringi dekrementist. Kui võre ring on häälestatud ülekantavale sagedusele, siis I-se lambi anoodringist ülekantav pinge kõrgeneb veel nn. resonants-efekti tõttu teguri  $\frac{\pi}{d}$  korda. Kui näiteks ülekantav pinge on 2 mV, siis võnkeringi punktide  $a$  ja  $b$  vahel (joon. 201) ilmnev pinge on  $2 \cdot \frac{\pi}{d}$ , kus  $d$  tähistab võnkeringi dekrementi.

Järgnevas näites vaadeldakse lähemalt pinge kõrgenemise (võimenduse) olenevust võnkeringi dekrementist, kui võnkeringi sagedust muuta (käesoleval juhul mahtuvuse abil).

Näide: Olgu (joon. 201)  $L_1 = 200\ 000$  cm,  $C_1$  algmahtuvusega 45 cm ja lõppmahtuvusega 450 cm; vastuvõetavad sagedused on siis:

Algmahtuvuse puhul

$$f_1 = \frac{3 \cdot 10^{10}}{2\pi \sqrt{C \cdot L}} = \frac{3 \cdot 10^{10}}{2\pi \sqrt{200\ 000 \cdot 45}} = 1,59 \cdot 10^6 = 1\ 590\ 000$$

Lõppmahtuvuse puhul

$$f_2 = \frac{3 \cdot 10^{10}}{2\pi \sqrt{C \cdot L}} = \frac{3 \cdot 10^{10}}{2\pi \sqrt{200\ 000 \cdot 450}} = 0,51 \cdot 10^6 = 510\ 000$$

Seega vastuvõtja häälestuse ulatus on 510 000 hertsist 1 590 000 hertsini.

Vastavalt sagedusele leiame nüüd võnkeringi dekremendi piirid, kui võnkeringi oomiline takistus  $R = 10\Omega$ .

$$d_{min} = \frac{\pi \cdot R}{30 \sqrt{\frac{L}{C_{min}}}} = \frac{3,14 \cdot 10}{30 \sqrt{\frac{200\,000}{45}}} = \frac{3,14 \cdot 10}{1992} \approx 0,0157$$

$$d_{max} = \frac{\pi \cdot R}{30 \sqrt{\frac{L}{C_{max}}}} = \frac{3,14 \cdot 10}{30 \sqrt{\frac{200\,000}{450}}} = \frac{3,14 \cdot 10}{620} \approx 0,05$$

Seega on võnkeringi otstel tekkinud resonantspinge sagedusel

$$f_1 \frac{\pi}{d_{min}} \text{ ja sagedusel } f_2 \frac{\pi}{d_{max}} \text{ korda suurem ergutuspingest}$$

(ülekantavast pingest). Olgu näiteks ergutuspinge 1 mV, siis punktide a ja b vahel ilmnev pinge on kondensaatori algmahtuvusel

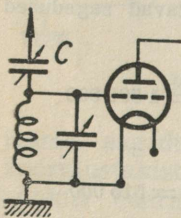
$$1 \cdot \frac{\pi}{d_{min}} = \frac{1 \cdot 3,14}{0,0157} = 200 \text{ mV ja lõppmahtuvusel}$$

$$1 \cdot \frac{\pi}{d_{max}} = \frac{1 \cdot 3,14}{0,05} = 62,8 \text{ mV}$$

Sellest nähtub, et resonantstakistus väheneb sageduse vähenemisega, põhjustades ühtlasi ka pingevõimenduse vähenemise.

Et saada kogu astmiku piirides  $f_1 - f_2$  ühtlast võimendust, siis peaks ka  $L_a$  induktiivsus olema muudetav, et  $\dot{u}_{opt}$  võiks jääda püsivaks. Niisugune toiming pole praktiliselt kuigi lihtsalt läbiviidav, mispärast valitakse mingisugusele  $f_1$  ja  $f_2$  vahepealsele sagedusele vastav optimaalne  $\ddot{u}$ .

Väiksemas vastuvõtjais, kus võimenduse reserv pole kuigi suur, on soovitatav kasutada muutlikku antennisidestust (joon. 201). Antennisidestuse tugevus on muudetav ka mahtuvuslikult (joon. 202). Selleks kasutatakse kas kindla või muudetava suurusega kondensaatorit  $C$ . Mida väiksem on  $C$ , seda väiksem on ka sidestuse tugevus ja ümberpöörduvalt. Antenn mõjub võimendajalambi võrevõnkeringi suhtes samuti nagu eespool kirjeldatud anoodring, s. o. kujutab endast energiaallikat ehk generaatorit. Seepärast ongi vajalik optimaalse võimenduse saamiseks ka siin sidestuse tugevuse kohandamine.



Joon. 202.

#### 4. Neutraliseerimine. Varjestamine.

Teatavasti esinevad kõrgesagedusvõimendajas väga kergesti ebasoovitavad tagasisidestused, mis kutsuvad esile võimenduslambi võnkumise ja halvavad võimendaja korralikku töötamist.

Nagu eespool mainitud, võivad tagasisidestused tekkida:  
 — võimenduslambi sisemahtuvuse ja lülituse juhtmetevaheliste parasiitmahtuvuste tõttu ning  
 — poolide ja juhtmete magnetiväljade vastastikusest mõjutusest.

Eriti trioodid evivad võrdlemisi suuri anoodi ja võre vahelisi mahtuvusi  $C_k$ , mistõttu anoodring sidestub mahtvuslikult võre ringiga (joon. 203). Siin ilmneb sama nähtus nagu Huth-Kühni generaatorlülituse juures.

Mida suurem on vastuvõtja võimendus, seda nõrgemast tagasisidestusest jätkub võnkuva olukorra tekitamiseks lambis.

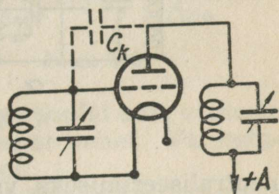
Samuti nagu mahtvuslikud tagasisidestused, mõjuvad ka poolide ja juhtmete puisteväljade poolt põhjustatud induktiivsed tagasisidestused.

Asetseb pool mingis muutavas magnetiväljas, siis magnetvooga löikumisel indutseeritakse selles pinge, mis omakorda võib tüürida vastava lambi anoodvoolu.

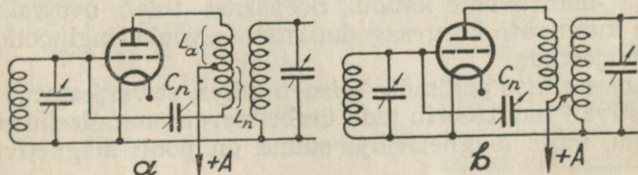
Juhtmetevaheliste elektriväljade mõju on seda intensiivsem, mida suurem on vastuvõetav sagedus. Väga suurte sageduste puhul mõjuvad juhtmed nagu võre ja anoodi vahelised mahtvused.

Neist nähtusist vabanemine on teatavas ulatuses võimalik lambi sisemahtuvuse

- neutraliseerimisega ja
- võnkeringide ning ühendusjuhtmete varjestamisega metallkatetega.

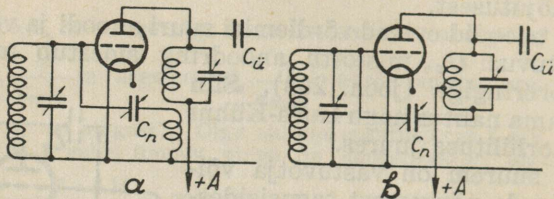


Joon. 203.



Joon. 204.

Vastuvõtja neutraliseerimise meetodeid on väga mitmesuguseid. Rohkem levinumaid neist on kujutatud joonistel 204 ja 205. Nagu juba lühilainesaatjate juures selgitatud, toimub neutraliseerimine Wheatstone'i silla printsiibil, kus lambi sisemahtuvuse mõju paraliseeritakse neutrodooni abil. Joonisel 204 a ja b kujutatakse neutraliseerimisviise transformatorsidestuse puhul. Joonisel 204 a toodud lülituses peab neutraliseerimismähis  $L_n$  sidestuspooli  $L_a$  suhtes evima sama keerdude arvu ja suunda. Joonis 204 b järgi kasutatakse



Joon. 205.

neutraliseerimiseks vajaliku pinge tekitamiseks mõningaid keerde (umbes üks kolmandik) järgneva astme võrepooli katoodipoolsest otsast. Pooli keerdude arvuga varieerudes võib  $C_n$  valida soovi järgi, kas suurema või vähema.

Joonisel 205 kujutatakse neutraliseerimist häälestatud anoodringi juures. Põhimõtteliselt ei erine nad eelmainitust.

\* \* \*

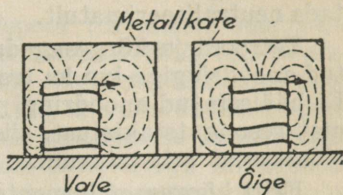
**Varjestamise\*** all mõeldakse ebasoovitavalt mõjuvate elektri- ja magnetiväljade hävitamist metallist vaheseinte ja katetega. Varjestamist vajavad näiteks võnkeringipoolid, kõrgesagedus- ja detektorlambid, teatavad lülitusjuhtmed jne. Ebasoovitavad tagasisidestused, näiteks kõrgesagedusastmeis, ei teostu seega mitte üksnes kasutatavate lampide sisemahtuvuste kaudu, vaid ka parasiidiliselt mõjuvate magnetiväljade ja -mahtuvuste kaudu. Seepärast tuleb neutraliseerimisele kuuluvate kõrgesagedusastmete võnkeringipoolid eeskätt varjestada.

Varjestamise põhimõte seisneb selles, et varjestatud pooli magnetiväli indutseerib teda ümbritsevais metallseintes pöörivoolu, mille magnetivälja suund on pooli magnetiväljale

\* Varjestamist nimetatakse ka kapseldamiseks.

vastupidine. Väljapoole varjet ulatub vaid nende magnetiväljade mõju vahe. Mida väiksem on varje metalli elektriline takistus, s. o. mida juhtivamast metallist ta on valmistatud ja mida paksema seinaga, seda tugevam on indutseeritud pöörivool ja seda rohkem suudab tema poolt esile kutsutud vastassuunaline magnetiväli varjest väljapoole tikkuvat pooli magnetivälja neutraliseerida.

Et pooli magnetivälja kuju ei muutuks, selleks ta paigutatakse täiesti varje keskele (joon. 206). Vönkeringi sumbuvuse vältimiseks tuleb varje dimensioonid nii valida, et pooli sein ja varje vahele jääks vahe, umbes 0,5 pooli diameetrit. Mida suurem on pooli läbimõõt, seda suurem peab olema mainitud vahe ja vastupidi. Ferrocart-südamikuga poolid oma väikeste puisteväljade tõttu ei vaja 1 cm suuremat vahet. Varjestamiseks sobivamaid poole on silinderpool.

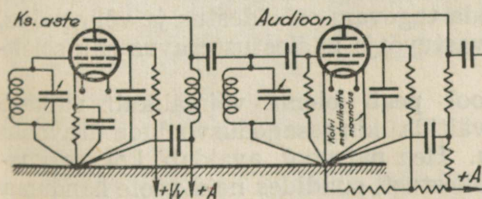


Joon. 206.

Kuna varjestamisel üks osa magnetiväljadest kulutatakse pöörivoolude tekitamiseks, siis langeb selle tagajärjel pooli induktiivsus ja suureneb näiline (kadusid põhjustav) takistus.

Sobivamaks varjemetalliks kõrgesagedustehnikas osutub vask ja alumiinium. Varje tavalisem kuju on silinder ja püsttahukas.

Ebasoovitavate elektriväljade ja mahtuvuste vältimiseks varjestatakse ka lülituse ühendusjuhtmeid metalliliselt, nn. soomuse abil (varjestatud juhe). Seejuures tuleb tähele panna, et varjestatud juhe oma konstruktsioonilt oleks mahtuvusvaene.



Joon. 207.

Ebasoovitavate tagasisidestuste vähendamiseks, eriti lühilaine juures, on soovitatav iga lambi ühendused **ühes punktis maandada** (joonis 207), s. o. üldise miinusjuhtmega või metallist valmistatud kerega ühendada.



puht-oomiline takistus  $R$ , mis suurendab paispooli tõkestavat mõju.

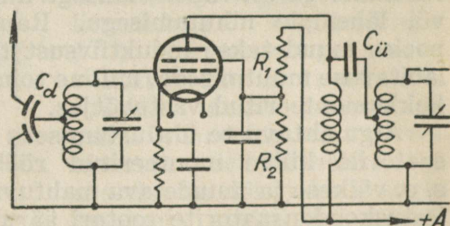
Et varivõre pingestamiseks lülitatud takistus  $R_{vv}$  tõkestab varivõrele sattuvate kõrgesageduslike voolude äravoolamist, siis maandatakse (ühendatakse katoodiga) varivõre suuremahtuvusliku (vähemalt  $0,1 \mu\text{F}$ ) kondensaatori  $C_{vv}$  kaudu.

Kergesti võib juhtuda, et paispool (tavaliselt oma sise-mahtuvuse tõttu) laseb kõrgesagedusvoole läbi, mis vooluallikate kaudu pääsevad vastuvõtja madalsagedusossa, põhjustades seal ebasoovitavaid sidestusi, mis avalduvad moonutatud heliülekanDES. Selle nähtuse vältimiseks kasutatakse eraldi filtreerimistakistust  $R_1$ , mis šunteeritud kondensaatoriga  $C$  (joon. 208). Mainitud takistuse kasutamine on oluline nii kõrgesagedus- kui ka audionastmes. Patareivastuvõtjate juures on takistusega  $R_1$  võimalik vähendada peale mainitu ka vananevate patareide tõttu esinevaid raginaid.

Kõrgesagedusastme korralikuks töötamiseks tuleb k.-s.-tetroodi ja k.-s.-pentoodi juures vältida igasugused sidestused lambi võre- ja anoodvõnkeringide vahel. Selleks tuleb eeskätt üksikud astmed hästi varjestada ja toitejuhtmed mahtuvuste abil šunteerida. Halva varjestamise tagajärjeks on mitte ainult ebasoovitavate tagasisidestuste tekkimine, vaid ka võimenduse vähenemine.

Et antenni mahtuvuse mõju võnkeringile vähendada, selleks peab antenni ja võnkeringi sidestav kondensaator evima võrdlemisi väikest mahtuvust. Tavaliselt piisab selleks  $10\text{--}50 \text{ pF}$ . Siin sobib

kasutada diferentsiaal-kondensaatorit  $C_d$  (joon. 209), mis esineb mahtuvusliku potentsiomeetrina ja millega on võimalik lambi sisenduspinget vähendada vahekorras  $1 : 500$  ja seega reguleerida vastuvõtutugevust nullist kuni maksimumini.



Joon. 209.

Konstruktiiivseil põhjusil pole igakord soovitatav kasutada puht-transformaatorlikku sidestusviisi. Mõnikord osutub otsustavaks autotransformaatorlik sidestus (joon. 209), kus keerdude valikuga on võimalik saavutada soovivat side-

tugevust, leides kompromissi võimenduse ja selektiivsuse vahel.

K.-s.-tetroodile nõutava varivõrepinge andmiseks väikese varivõrevoolu tõttu on soovitatav tarvitada eeltakistuse asemel pingejagajat (joon. 209), mille juures ka suurte sisendpinge amplituudide kestel anoodpinge ja varivõrepinge vahekord jääb enam-vähem püsivaks. Takistuse  $R_2$  suurus valitakse tavaliselt nii, et seda  $R_1$ -ga järjestikku olles läbiks vool tugevusega umbes 2 mA. Seejuures peab  $R_1$  suurus olema selline, et varivõrepinge vastaks ettenähtud normile.

Praktiliselt kasutatakse kuni kahte kõrgesagedusastet järjestikkuühenduses. Suurema arvu astmete puhul on raske astmevahelistest tagasisidestustest vabaneda. Samuti muutub tülikaks häälestusorganite käsitlemine. Näiteks kahekõrgesagedusastmelises vastuvõtjas on tavaliselt juba kolm häälestuskondensaatorit: 2 kõrgesagedusastmeis ja kolmas audionastmes. Moodsais vastuvõtjais kasutatakse häälestamiseks ühenupusüsteemi, mil häälestuskondensaatorite rootorid asetsevad ühisel võllil. Seejuures peavad kondensaatorite algmahtuvused olema täpselt ühesugused ja nende üldmahtuvused täiesti võrdselt muutuma pöördenurga suhtes. Kui kasutatavad poolid evivad samuti võrdseid induktiivsusi, siis on täidetud suurem osa nõudeid ühenupusüsteemi juures kõigi võnkeringide üheaegseks häälestamiseks ühele ja samale sagedusele.

Poolide induktiivsuste täpne ühtlustamine võib teostuda ainult vastava mõõteriista kasutamisel, keerdude arvu suurendamisega või vähendamisega ning nende üksteisest eemale või lähemale nihutamisega. Raudsüdamikuga (ferrocart) pooles muudetakse induktiivsust tavaliselt südamiku magn. läbitavuse muutmisega, milline toiming võib olla teostatav ka kokkumonteeritud vastuvõtjas.

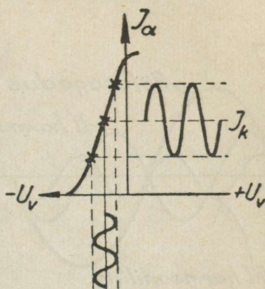
Algmahtuvuste ühtlustamiseks on igale häälestuskondensaatorile külge monteeritud rööbitilülitatud nn. trimmer, s. o. väikese ja muudetava mahtuvusega kondensaator. Häälestuskondensaatorite rootori äärmised plaadid on tavaliselt lõigatud sektoriteks, mis võimaldab vastavate sektorite painutuste teel kondensaatorite mahtuvust ühtlustada 6—8 erinevas rootori asendis.

## 6. A- ja C-klassi võimendajad.

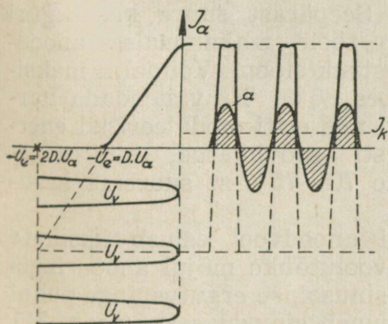
Käesolevas paragrahvis senikirjeldatud kõrgesagedusvõimendajaid kasutatakse nn. A-klassi võimendajatena. A-klassi

võimendajat iseloomustab see asjaolu, et kasutatava elektronlambi tööpunkt valitakse tunnuskõvera sirgjoonelise osa keskpunkti või selle ligidale (joon. 210), mil anoodvoolu muutused on võrdelised võrepinge muutustega kogu perioodi kestel. Sellises olukorras on anoodkaod kasuliku võimsusega (vahelduvvoolu võimsusega) võrreldes väga suured, mis tingib väikese kasuteguri. Seepärast A-klassi lülitust on otstarbekas kasutada väikeste võimsuste juures, s. o. peamiselt vastuvõtja kõrgesagedus- ja madalsagedusastmeis.

Saatelülitustes kõrgesagedusliku energia võimendamiseks ja kasuliku võimsuse tõstmiseks (anoodi kadude vähendamiseks) kasutatakse nn. C-klassi võimendajat, mille töötamise põhimõttest on juba olnud juttu eespool II liigi võnkumiste iseloomustamisel (§ 42). Selles lülituses antakse elektronlambile negatiivset eelpinget vähemalt  $-U_2 = 2DU_a$  (joon. 211), mis on umbes 2 korda suurem sellest eelpingest, mille juures anoodvool muutub juba nulliks. Sellisel töötavas lambis puudub üldse anoodvool, kui lampi väljastpoolt ei ergutata.



Joon. 210.

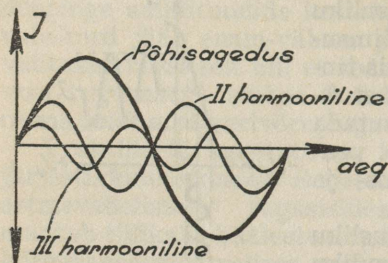


Joon. 211.

voolu muutused ( $I_a$ ) on võrdelisuse mõttes võrepinge muutustest seda lahkuminevamad, mida suuremad on võrepinge amplituudid ( $U_v$ ), sest viimased põhjustavad suureneva võre-  
voolu. Sellises anoodvooluringis esineb eriti tugevasti väik-

Kuna tööpunkt asetseb väljaspool tunnuskõverat, siis on lambi anoodvoolu tüüri-  
miseks vaja väga suurte am-  
plituudidega ergutuspinget  
( $U_v$ ). Ergutuspinge suurus  
valitakse nii, et ta suudaks  
tüürida lambi anoodvoolu  
selle tunnuskõvera terves  
ulatuses. Sellest nähtub, et  
anoodvoolu tüürijaks on ergu-  
tuspinge positiivsed tipud,  
mille tagajärjel ilmnevad  
anoodringis vaid üksikud  
anoodvoolu tõuked. Anood-

semate võrepinge amplituudide juures teine harmooniline ja suuremate võrepingete puhul, mis ületavad anoodvoolu küllastuspiiri, 3. harmooniline (joon. 212). Nõrgemalt esinevad 4., 5. jne. harmoonilised.



Joon. 212.

anoodvoolu tüürimiseks väga suuri võrepinge amplituude, mida peab suutma anda eel- ehk ergutusaste. Seega on ergutusastmelt nõutav võimsus siin palju suurem kui A-klassi võimendaja juures. Praktiliselt peab ergutusastme väljumisvõimsus moodustama vähemalt 10% C-klassi võimendaja väljumisvõimsusest.

Väljumisvõimsus C-klassi võimendajas on võrdeline anoodpinge (alalispinge) ruuduga. Seepärast suure kasuteguri saamiseks rakendatakse lamp tööle maksimaalse anoodpingega, mida lubab lambi konstruktsioon. Võimalik maksimaalne kasutegur on siin umbes 86%. Et vähendada harmooniliste sageduste tekkimist, mis eriti moduleeritud energia võimendamisel on täiesti soovimatud, siis tegelikult ei rakendata lampi tööle 70—75%-st suurema kasuteguriga.

Vaatamata sellele et lambi anoodvool esineb üksikute tõugetena, ilmneb iga üksiku voolutõuke mõjul anoodringis (võnkeringis) võnkumine, mis sinusoidse ergutuspinge puhul võnkeringi omaduste tõttu kujuneb sinusoidseks (joon. 211 kõver a).

Puht-telegraafisaatja juures pole moonutused seevõrra tähtsad kui telefonisaatja juures, seepärast võib C-klassi võimendajat eriti kohaseks pidada põhisagedusliku voolu võimendajana. Veel võidakse seda lülitust kasutada sageduse mitmekordistamisel lühilainesaatjate juures.

C-klassi võimendajas voolab anoodvool õige lühikese aja kestel võrepinge perioodi vältel, mis võimaldab anoodi küllaldast jahtumist. Anoodvooluallikast kulutatav toitevoolu keskmine tugevus  $I_k$  on siin palju väiksem, kui see oleks A-klassi lülituses.

Suure negatiivse eel- pinge tõttu vajab C-klassi võimendaja oma

Moduleeritud töö võimendamiseks kasutatakse B-klassi võimendajat, mille kasutegur on C-klassi võimendajast umbes 15 % võrra väiksem. Kuna B-klassi põhimõtte on kasutatav ka madalsagedusvõimendajates, siis käsitatakse seda küsimust lähemalt tagapool.

## § 60. Filtrid.

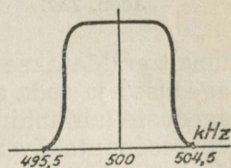
### 1. Selektiivsusest.

Kõrgsagedusvõimendajalt nõutakse peale võimenduslike omaduste veel head häälestusteravust ehk nn. selektiivsust. Selektiivsuse all, nagu eespool juba selgitatud, mõeldakse vastuvõtja omadust reageerida ühel ja samal ajal ainult soovitud sagedusega kõrgsageduslikule energiale (resp. voolule). Teisest küljest ei tohi vastuvõtja olla liiaks selektiivne, mis põhjustaks vastuvõetavate külgsagedusribade osalist kaotsiminekut ja sellest tingitud helimoonutust (kõrgemate modulatsioonisageduste puudumist). Väikese selektiivsuse juures, mil resonantskõver on lame, jäävad külgribad alles, heli sisaldab kõiki ülekantavaid toone, kuid halbusena kuulub vastuvõtjas ühel ja samal ajal ka teisi naabersagedusribades töötavaid jaamu. See üldnimeliselt tuntud „läbilöömine“ mõjub vastuvõtule segavalt või muudab selle üldse võimatuks.

Ideaalne resonantskõver lainete jaotuskava kohaselt Euroopa ringhäälingute laineribades peaks evima 9 kHz piirides joonisel 213 toodud kuju, mis näitab, et kõik selles ribas (piirkonnas) asetsevad sagedused peaaegu ühesuguse tugevusega vastu võetakse, kuna samal ajal sagedused väljaspool seda piirkonda järsult ära lõigatakse.

Sellest järgneb, et vastuvõtjalt nõutakse peale hea selektiivsuse veel head vastuvõttu kogu 9-kHz-lise sagedusriba ulatuses. Neid mõlemaid nõudeid on senini olnud võimatu 100%-selt täita. Tegelikult valitakse nende mõlemate tingimuste vahel kompromiss.

Ühe võnkeringi puhul, vaatamata kui kaovaene see võnkering ka oleks, pole võimalik saavutada kuigi suurt selektiivsust. Selektiivsus suureneb koos võnkeringide arvuga ja oleb veel naaberribal töötavate jaamade energiast. Kui näiteks ühe võnkeringiga vastuvõtja juures naaberjaamade välja-

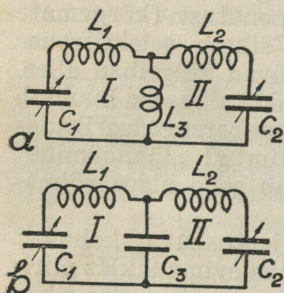


Joon. 213.

tugevused on mõnikümmend või enam korda suuremad vastuvõtava jaama väljatugevusest, siis kostavad need kuulatava jaamaga ühetugevuselt, s. t. et segamine on maksimaalne. Kahe võnkeringi puhul oleks segamine juba poole nõrgem jne. Teatavasti aitab tagasiside tõsta vastuvõtja eraldusvõimet. Nii näiteks kahe võnkeringiga tagasisidevastuvõtja võib evida sama selektiivsust, kui kolme võnkeringiga ja tagasisideta vastuvõtja.

## 2. Ribafilter.

Tavaliste võnkeringidega pole kompromissi leidmine selektiivsuse ja helikvaliteedi suhtes kuigi hõlpus. Seepärast kasutatakse nn. **ribafiltreid**\*. Ribafiltri moodustavad kaks teineteisega sidestatud võnkeringi. Sidestus võib olla kas induktiivne või mahtuvuslik (joon. 214 a ja b). Joonisel 214 a moodustavad esimese võnkeringi  $L_1$  ja  $C_1$ , teise võnkeringi  $L_2$  ja  $C_2$ . Mõlemasse võnkeringi kuulub veel ühine induktiivsus, mille kaudu nad omavahel sidestatakse. Siin on joonisel 213 näidatud-kujulise resonantskõvera saamine enamvähem võimalik, kui valida nõrk side (pooli  $L_3$  keerdude arv väga väike) ja võnkeringid (I ja II) häälestada erinevaile sagedusile. Siis nad mõjuvad resulteerivalt mõlemate võnkeringide äärmiste sageduste  $f_1$  kuni  $f_2$  ulatuses (joon. 215). Mida ka-

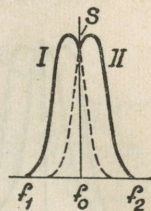


Joon. 214.

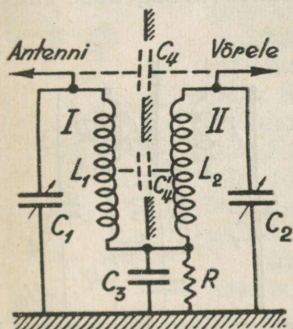
vaesemad on võnkeringid, seda järjestumalt eraldatakse  $f_1$ -st allapoole ja  $f_2$ -st ülespoole minevad sagedused ja seda suurem on selektiivsus. I ja II võnkeringi sageduste lahkumine ei või olla väga suured, sest siis ilmneb resonantskõvera tipus liiga sügav sadul  $s$ , mis vastuvõtjal põhjustab madalamate toonide nõrgenemist. Teisest küljest võib sama olukorda tekitada ka I ja II võnkeringi täpse häälestamisega ühele ja samale sagedusele ja tugeva sidestuse valikuga, mil tekib nn. kahelainelisus. Siis võib resulteeriv resonantskõver, sidetugevusest sõltuvalt, evida joonisel 215 näidatud kuju. Selline nähtus ilmneks näiteks ka joonisel 214 b näidatud lülitusega, kui sidetugevust  $C_3$  abil vastavalt muuta.

\* Ribafiltrit nimetatakse ka paelfiltriiks.

Õige sidestuse ja võnkeringide dekremendi\* valikul võib saavutada 9 kHz piirides resonantskõvera, mis rahuldab nii selektiivsuse kui ka heli kvaliteedilt. Joonisel 214 näidatud lülituste põhimõtteid pole veel kumbki ideaalne, sest  $L_3$  induktiivse ja  $C_3$  mahtuvusliku takistuse tõttu on sidestuse tugevused muutuvad sagedusega, mis põhjustab ka resonantskõvera kaju muutumise. Nii näiteks vastuvõetava sageduse suurenemisega suureneb  $L_3$  induktiivne takistus ja sidestuse tugevus; mahtuvusliku sidestuse puhul aga  $C_3$  mahtuvuslik takistus ja sidestuse tugevus väheneks. Selline sidestuse tugevuse muutumine pole kuigi otsustavkohane seni kirjeldatud otsevastuvõtjais. Samuti pole otsevastuvõtjas mitme ribafiltri kasutamine reguleeritavate organite (häälestuskondensaatorite) paljuse tõttu kuigi sobiv.



Joon. 215.



Joon. 216.

Küll oleks aga mitme ribafiltri kasutamine soovitatav, et saada ideaalsele enam-vähem lähedast resonantskõverat. Kasutatavad ribafiltrid täidavad oma ülesannet peaaegu täiuslikult tagapoolkirjeldatavas supervastuvõtjas.

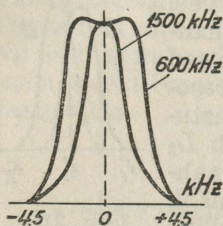
Ribafiltri üksikud võnkeringid tavaliselt varjestatakse üksteisest. Praktikas levinumaid sidestamisviise on mahtuvuslik, milleks mõlemal võnkeringidel on ühine sidestuskondensaator  $C_3$  (joonis. 216), mille suurus sõltub kasutatavast ribalaiusest. 9 kHz riba-

laiuse juures ringhäälingu kesklainete piirkonnas on  $C_3$  suuruseks 30 000 — 50 000 pF, sõltuvalt vastuvõetavast sagedusest.

Et sageduse vähenemisega  $R_c$  suureneb, siis näiteks 1500 kHz sageduse juures on resonantskõver (riba laius) palju kitsam kui 600 kHz juures (joonis 217). Seega võimendatakse suurematel sagedustel kõrgemaid toone madalamatest suhteliselt vähem, mille all kannatab heli kvaliteet.

\* Kui võnkeringid on liiaks kaovaesed, siis 9-kHz-lise riba puhul on sadul liiga sügav.

Riba laiuse ühtlasemaks hoidmiseks, sagedusest sõltumalt, ühendatakse sageli pooli ülemiste otste vahele väiksem



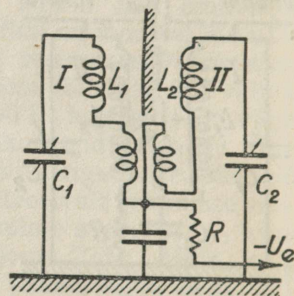
Joon. 217.

sidekondensaator  $C_4$  (joon. 216), mis sageduse suurenemisel juhib tugevamat voolu ja tekitab suuremat sidestuse tugevust; seega  $C_4$  mõjutab nii, et suurematel sagedustel on riba laius suurem kui vähematel sagedustel. Kui  $C_4$  ühendada poolidega haruühenduste abil (asendis  $C_4'$ ), siis vastava  $C_4$  suuruse ja haruühenduse keerdude valikuga on võimalik saavutada ühtlast riba laiust kogu laineastmikus, näiteks 550—1500 kHz. Mida lähemal  $C_4$  asetseb  $C_3$ -le, seda

suurem võib olla  $C_4$  mahtuvus.

Kasutamisel on veel kombineeritud induktiivne ja mahtuvuslik sidestus (joonis 218). Sellises lülituses sageduse suurenemisel poolide induktiivne takistus  $R_i$  suureneb ja  $R_c$  väheneb, kuna sageduse vähenedes  $R_i$  väheneb ja  $R_c$  suureneb. Seega sõltvalt  $R_i$  ja  $R_c$  takistuste iseloomust püsib riba laius astmiku ulatuses ühtlasena.

Kokkuvõttes peab tähendama, et hea heli kvaliteedi saamiseks peab resonantskõver evima trapetsi kuju (joon. 213). Ühe ribafiltriga pole säärane kuju saavutatav, vaid selleks tuleb kasutada vähemalt 2 kuni 3 ribafiltrit.



Joon. 218.

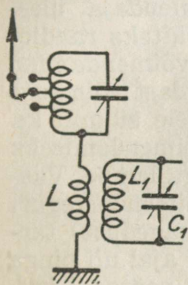
### 3. Sõel- ja tõkestusfilter.

Tavalisis ja ka isegi ühe ribafiltriga vastuvõtjais võnkeringide resonantskõvera tõus ei taga tugevate saatejaamade läheduses küllaldast selektiivsust, s. o. tugevad naabersaatjad kostavad läbi. Segavate naabersaatjate väljatugevuste mõju vähendamiseks või hävitamiseks kasutatakse filtreid, mis oma töötamise iseloomu järgi jaotuvad sõel- ja tõkestusfiltriks.

**Sõelfilter** kujutab endast tavalist kinnist võnkeringi (joonis 219), mis sidestatakse vastuvõtja antenni pooliga. Kui filter  $a$  häälestada segava saatejaama sagedusele, siis piltli-

kult üteldes „valgub“ selle saatejaama väljatugevuse poolt antennis indutseeritud energia suuremalt osalt üle filtrisse ja vastuvõtja võnkering vabaneb segava saatejaama mõjust.

**Tõkestusfiltriks** kasutatakse samasugust võnkeringi, ühendades seda järjestikku antenni (joon. 220). Kui filter häälestad segava saatejaama sagedusele  $f$ , siis ta avaldab sagedusele  $f$  suurt tõkestust\* ja segav  $f$  sageduslik vool ei pääse antenni pooli ( $L$ ) ega vastuvõtjasse. Nii kõrvaldubki segava saatejaama mõju. Et tõkestusfilter segava saatejaama sagedusele  $f$  lähedal olevaid teiste saatjate väljatugevusi ei nõrgendaks (omaks suuremat selek-



Joon. 220.

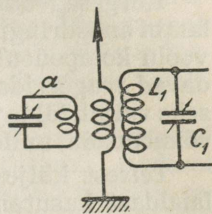
tiivsust), selleks ühendatakse antenn tavaliselt filtri pooli keskkohaga või valitakse vastava haruühenduse abil mõni muu keerdude arvu suhtes sobiv koht.

Mida kaovaesem on filtri võnkering, seda rohkem kõrvaldatakse segava saatejaama mõju. Selleks valmistatakse poolid hea isolatsiooniga ja väikesoomilise takistusega traadist. Sagedustel 2 MHz kuni 150 kHz on eriti sobivad raudsüdamikeyga (ferrocart) poolid. Samuti on soovitatav filtri kondensaatoreiks valida õhkdielektrikuga pöördkondensaatoreid.

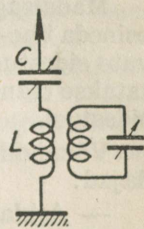
Vastuvõtja selektiivsuse tõstmiseks võib kasutada ka häälestatud antenni (joon. 221).

Selleks lülitatakse antenni pool (tavaliselt võrepooliga võrdse keerdude arvuga) järjestikku pöördkondensaatoriga  $C$  (500 kuni 1000 cm).  $C$  abil häälestatatakse antenn vastuvõetavale sagedusele  $f$ , kus samasagedusliku väljatugevuse tõttu ilmneb pingeresonants ja antenni läbib tugev  $f$  sageduslik vool, mis põhjustab vastuvõtja võnkeringis, segava saatejaama väljatugevusega võrreldes, palju suurema pinget (välja arvatud muidugi kohalik saatejaam, mida sel viisil on raske eraldada).

Seega paraneb nii vastuvõttetugevus kui ka selektiivsus. Häälestatud antenni puuduseks on see, et vastuvõtja käsitlemine muutub ühe reguleeritava organi võrra komplitseeritumaks.



Joon. 219.



Joon. 221.

\* Vt. vooluresonants.

## § 61. Madalsagedusvõimendajad.

### 1. Üldpõhimõtteid.

Kõrgesageduslike võnkumiste detekteerimisel detektorlambi anoodringis saadav heli- ehk madalsageduslik vahelduvvoolu komponent on tavaliselt seevõrra väike, et sellele suudavad reageerida vaid peatelefonid. Tugevama heli tekitamiseks valjuhääldaja kasutamisel, on vajalik detekteeritud voole võimendada, milleks kasutataksegi madalsagedusvõimendajat.

Teisest küljest leiab madalsagedusvõimendaja teatavasti laialdast kasutamist iseseisvalt (s. o. lahus raadiovastuvõtjast), näiteks saatejaama modulaatorastmeis, kõnevõimendajais ja igal pool mujal, kus vajatakse helisageduse piirkonda kuuluvate vahelduvvoolude võimendamist.

Üldpõhimõttelt jaguneb madalsagedusvõimendaja ülesanne pinge- ja võimsuse võimendamiseks. Näiteks raadiovastuvõtjas sünnib algul detekteeritud pinge võimendamine selleks, et võimendatud pingega tekitada küllaldast võimsust valjuhääldaja toitmiseks. Vastavalt ülesannetele sünnib ka võimendajalambi valik. Nii kasutatakse pinge võimendamiseks suure võimendusteguriga ja väikese võimsusega lampe. Vastandina sellele sobib võimsuslambiks väikese võimendusteguri ja suure võimsusega lamp. Pentoodide (madalsageduse) tarvitamine võimaldab ühe lambiga ühel ja samal ajal nii pinge kui ka võimsuse võimendamist. See tähendab, et pentoodi juures on võimalik väikese sisenduspingega tüürida suurt väljumisvõimsust.

Madalsagedusvõimendajad, vastavalt ülesandele, võivad esineda ühe- või mitmeastmelistena\*, koos sinna juurde kuuluvate sidestusosadega. Astmetevaheliseks sidestamiseks kasutatakse transformaator-, paispooli ehk impedants- ja takistusidestusi.

Võimenduse iseloomult jagunevad madalsagedusvõimendajad:

— A-klassi võimendajaiks, kus kasutatakse võimendajalambi tunnuskõvera sirgjoonelist osa;

— B-klassi võimendajaiks, kus kasutatakse lambi tunnuskõverat täies ulatuses.

\* Astme all mõistetakse teatavasti ühte (ja ka rohkem, kui nad töötavad paralleelselt või vasttaktis) võimenduslampi selle võre ja anoodvooluringidesse kuuluvate seadmetega.

## 2. Madalsagedusvõimendajad transformaatorsidestuses.

Madalsagedusvõimendajais on lampide sidestamine transformaatrite abil sobiv siis, kui kasutatakse väikese sisetakistusega lampe (trioode). Transformaatrorsidestuse hüve seisneb peamiselt selles, et siin on võimalik peale lambi võimenduslike omaduste veel transformaatrite abil järgmise lambi võrele juhitavat pinget kõrgendada.

Joonisel 222 kujutatakse audioni ja sellega sidestatud kaheastmelise madalsagedusvõimendaja lülitust. Audioni anoodringis on peatelefonide asemele ühendatud madalsagedustransformaatori, nn. sisendustransformaatori primaarmähis. Et transformaatror moodustab audionlambile koor-

mustakistuse, siis selle primaarmähise impedants peab olema kohandatud lambi sisetakistusele.

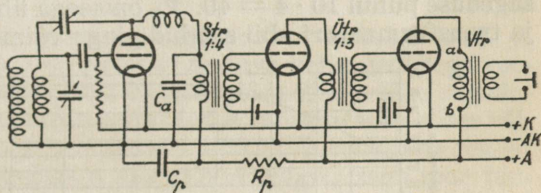
Kuna primaarmähisist läbiv vool, sõltuvalt vastuvõetavast helisagedusest, evib 50—15000 perioodil. sagedust, siis ka transformaatrite induktiivne takistus ( $\omega L$ ) on muutuv. Seega pole lambi koorem konstantne ja kõigub koos voolusagedusega. Koormustakistuse muutus põhjustab lambi võimenduse kõikumist olenevalt sagedusest, mistõttu kõiki vastuvõetavaid toone ei võimendata ühtlaselt. Kõrgemaid toone üldiselt võimendatakse rohkem, madalamaid vähem.

Kui näiteks transformaatrite primaarmähise induktiivsus on 10 henrit ja voolusagedus 100, siis  $R = 2\pi \cdot f \cdot L = 6,28 \cdot 100 \cdot 10 = 6280 \Omega^*$ . Olgu kasutatava elektroni lambi läbitavus  $D = 10\%$  ja tõus  $S = 2 \text{ mA/V}$ . Nende andmete abil on võimalik välja arvutada lambi võimendust.

Eespooltoodud valemit (lk. 129)

$$U_a = \frac{U_v}{D + D \cdot \frac{R_s}{R_a}}$$

\* Primaarmähise oomiline takistus oleks võrreldes induktiivse takistusega väga väike ja on arvutusest välja jäetud.



Joon. 222.

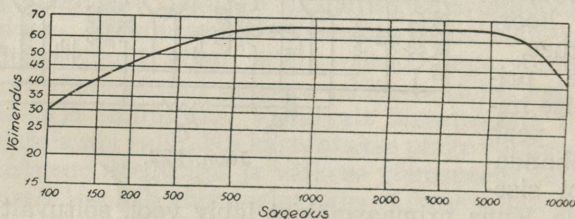
ümber kujundades saame, et võimendus

$$V_1 = \frac{U_a}{U_v} = \frac{1}{D + D \cdot \frac{R_s}{R_a}} = \frac{1}{D + \frac{1}{S \cdot R_a}}, \left( R_s = \frac{1}{S \cdot D} \right)$$

Seega eespool antud suurustel lambi võimendus

$$V_1 = \frac{1}{0,10 + \frac{1}{0,002 \cdot 6280}} \cong 6$$

Kui voolusagedus oleks 1000 Hz, siis lambi võimendus on umbes 10. Kui näiteks transformaatori ülekandetegur  $\ddot{u}$  on 4, siis 100 Hz sageduse puhul  $V_2 = V_1 \cdot \ddot{u} = 6 \cdot 4 = 24$  ja 1000 Hz sageduse puhul  $10 \cdot 4 = 40$ .  $V_2$  on seega ühe astme, s. o. lambi ja transformaatori abil saadud pinge võimendus.



Joon. 223.

Sidestustransformaatori primaarmähis evib suure keerdude arvu tõttu võrdlemisi suurt sisemahtuvust, mis asetseb rööbiti induktiivsusele. Seepärast suuremate sageduste puhul  $R_a$  väheneb ja võimendust võib lugeda hea transformaatori juures 200—8000 Hz piirides peaaegu konstantseks (joonis 223).

Järgmises võimendusastmes on töökord täiesti analoogiline, kusjuures üldreeglina iga järgneva sidestustransformaatori ülekandetegur  $\ddot{u}$  peab olema eelmisest väiksem.

Võimenduse suurendamiseks madalamail sagedusil tuleks tõsta transformaatori primaarmähise induktiivsust. See on saavutatav eeskätt primaarmähise keerdude arvu suurendamisega. Sekundaarmähise keerdude arv peab primaarmähisest ülekande teguri võrra suurem olema. Keerdude arvu suurendamisega kasvab sekundaarmähise sisemehtuvus seevõrra suureks, et sekundaarmähis ise selle sisemahtuvuse kaudu kõrgemate kõnesageduste juures on lühiühenduses. Selle nähtuse otseseks tagajärjeks on järgneva lambi võrel kõrgemasagedus-

like pingete suhteline vähenemine ja kõrgemate toonide võimenduse langus. Mainitud nähtus piirabki sekundaarmähise keerdude arvu ja koos sellega transformaatore ülekandeteguri suurendamist. Sama põhjus piiritleb ühtlasi ka primaar keerdude arvu ja sunnib otsima teatavat kompromissi. See pärast polegi transformaatore sidestuse juures võimalik suuremate sisetakistustega lampide, näit. pentoodide ja tetroodide võimenduslikke omadusi täiel määral ära kasutada, mistõttu neid lampe praktikas harva kasutatakse transformaatore sidestustes.

Primaarmähise induktiivsuse tõstmiseks on ainuke võimalus suure ristlõike pinnaga ja hea permeaablusega südamikuvallik, millisest nõudest peetaksegi kinni paremate madalsagedustransformaatorete juures.

Kuna transformaatore mähised evivad induktiivsust ja mahtuvust, siis nad moodustavad teatava helisagedusega voolule resonantstakistuse, mis ühtlasi põhjustab sellise sagedusega tooni tugevamat võimendamist. Kui mitmeastmelises võimendajas kõik transformaatoreid evivad resonantstakistust ühele ja samale sagedusele, siis säärase sagedusega toon tuuakse teiste hulgast eriti tugevasti esile, kuna selle kõrvalolevad sagedused jäävad tunduvalt nõrgemaks. Nii ilmneb vastuvõtjas (resp. võimendajas) nn. **lineaarne** ehk **sirgjooneline moonutus\***. Puht-tehnilistest põhjustest väljudes esinevad transformaatorete resonantstakistused erinevatel sagedustel, mistõttu ka lineaarsed moonutused jäävad lubatud piiridesse.

Teisest küljest võivad vastuvõtjas (resp. võimendajas) ilmnedada nn. **ebalinearsed** ehk **kõverjoonelised moonutused\*\***. Ebalineaarsete moonutuste all me mõistame seda nähtust, kus võimendatud pinge (resp. vool) ei sarnane oma kujult ja iseloomult sisenduspingega, s. t. et väljumispinge pole aja kestel võrdeline sisenduspingega. Need moonutused võivad muuhulgas olla tingitud sellest, et lambi anoodringi koormustakistuse  $R_a$  suurus muutub koos voolutugevusega. Anoodvoolu muutused võivad seega sattuda ka tunnuskõvera kõverikulistele osadele, põhjustades harmoonilisi sagedusi. Samuti on harmooniliste tekkimine võimalik vastuvõtjas, vastuvõetava saatja kandealaine liiga sügava modulatsiooni puhul.

Et õgvendatud vool evib veel kõrgesageduskomponenti, siis nende kõrvalejuhtimiseks plokkeeritakse transformaatoreit kon-

\* Nimetatakse ka amplituudi moonutuseks.

\*\* Nimetatakse ka sageduslikuks moonutuseks.

densaatoriga  $C_a$  (joon. 222), mille suurus valitakse umbkaudselt 50—1000 cm piirides.

Õgvendatud vool evib peale kõrgesageduskomponendi veel 2. harmoonilist, mille olemasolu näitab järgnev kaalutus. Meie teame, et moduleeritud vool evib enne õgvendamist põhisagedust  $f_0$  ja kõrvalsagedusi  $f_0 + f$  ja  $f_0 - f$ . Õgvendamise puhul saadud resulteeriv sagedus on  $f_0 - (f_0 - f) = f_0 - f_0 + f = f$  ja  $(f_0 + f) - f_0 = f_0 - f_0 + f = f$ . Saadud  $f$  ongi madalsagedus, millega saatjas põhisageduslikku voolu moduleeriti, kuid külgsageduste  $f_0 + f$  ja  $f_0 - f$  vahe, kus  $(f_0 + f) - (f_0 - f) = f_0 - f_0 + f + f = 2f$ , on moduleeriva tooni teine harmooniline, milline sagedus moduleerimisel tegelikult puudus.

Toodud sagedustega  $f_0, f_0 + f, f_0 - f, f$  ja  $2f$  vooludest läbivad transformaatori primaarmähise ainult  $f$  ja  $2f$ , kuna kolm esimest, kas kondensaatori  $C_a$  või transformaatori sise-mahtuvuse kaudu, sekundaarmähisesse ülekandmatult ära juhitakse.  $2f$  sageduslik vool, mis koos  $f$  sagedusliku vooluga madalsagedusena võimendatakse, on ülearune ja põhjustab heli ehk ülekande moonutusi. Vastuvõtjas pole  $2f$  sagedusliku voolu kõrvaldamine võimalik, küll aga on võimalik sellest hoiduda saatja modulatsiooni sügavuse vähenemisega, sest sügava modulatsiooni puhul on kõrvalsageduslike voolude  $f_0 + f$  ja  $f_0 - f$  amplituudid väga suured.

Võimendaja viimase ehk nn. lõpplambi anoodvooluringi (joon. 222) punktide  $a$  ja  $b$  vahele ühendatakse peatelefonid või valjuhääldaja, kas vahetult või väljumistransformaatori  $V_{tr}$  kaudu.

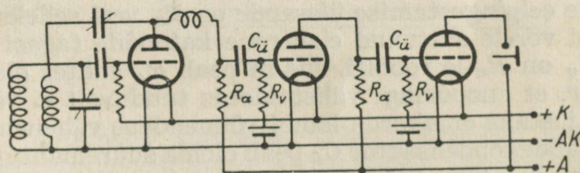
Väljumistransformaatori abil kohandatakse lõpplambi sisetakistusele vastav koormustakistus, s. o. valjuhääldaja. Koos sellega kõrvaldatakse valjuhääldajast, lõpplambi anoodvoolu alalisvoolu komponendist tingitud eelmagnetiseerimis-oht, mis põhjustab sageli ebalinearseid moonutusi. Väljumistransformaatoris toimub alalis- ja vahelduvvoolu komponentide eraldumine ja valjuhääldaja mähiseid läbib vaid helisageduslik vahelduvvool. Dünaamilist valjuhääldajat, eriti lõpp-pentoodide puhul, pole juba puht-konstruktiiivsetel põhjustel otstarbekohane kasutada väljumistransformaatorita.

Väljumistransformaatori kohandamine lõpplambile ja valjuhääldajale on võrdlemisi komplitseeritud toiming. Arvutuste abil pole täpne sobitamine alati võimalik ja seda tuleb paratamatult viimistella katseliselt, vastavate mõõtmiste abil.

Mitmeastmelise (näit. 3- ja 4-astmelise) transformaatoritega sidestatud madalsagedusvõimendaja tegelikul ehitamisel tekivad sageli ebasoovitavad tagasisidestused, mistõttu kogu võimendaja kaldub võnkumisele. Selle vältimiseks varjestatakse üksikud astmed või nende osad oma vahel raud- või teraskapslitega ning varustatakse võimendaja eelastmed vastavate lahtisidestusfiltritega.

### 3. Madalsagedusvõimendaja takistus- sidestuses.

Suurte sisetakistustega ja võimendusteguritega lampide puhul on sidestustransformaatori impedants eespoolmainitud kaalutlustel liiga väike, et võimaldada nende lampide võimenduslike omaduste ära kasutamist täies ulatuses. Seepärast on neil juhtudel otstarbekam kasutada nn. **takistussidestust** (joon. 224). Oma odavuse, lihtsuse ja teiste hüvede tõttu on takistussidestus kasutatavamaid sidestusviise ja seda tarvitatakse hea eduga ka tetroodide ning pentoodide, s. o. kõrge sisetakistusega lampide sidestamiseks. Selles lülituses anoodi- ehk koormustakistusena kasutatakse kõrgeoomilist takistust  $R_a$ , mille suurus peab olema kohandatud lambi sise-



Joon. 224.

takistusele. Takistust  $R_a$  läbiv muutuva tugevusega vool tekitab selle otstel muutuva suurusega pingelanguse, mille vahelduv komponent juhitakse ülekandekondensaatori  $C_u$  kaudu järgmise lambi võrele. Mida suurem on järgmise lambi võrele juhitud vahelduvpinge, seda suurem on eelmise astme võimendus.

Astme võimendus sõltub täiel määral võrepinge muutmise tõttu takistel  $R_a$  tekitatud anoodpinge muutustest. Valemiline arvutus näitab, et takistel  $R_a$  pinge langus

$$U_a = \frac{U_v}{D + \frac{1}{S \cdot R_a}}$$

Seega pingelangus  $U_a$  on anoodringis antud võrepinge juures seda suurem, mida väiksem on lambi läbitavus ja mida suuremad on lambi tõus ja koormustakistus  $R_a$ .

Samast valemist nähtub, et astme võimendus

$$V = \frac{U_a}{U_v} = \frac{1}{D + \frac{1}{S \cdot R_a}} \text{ või } V = \mu \frac{R_a}{R_a + R_s}$$

Teisest küljest pole väga väikese läbitavusega lambi kasutamine madalsagedusvõimendajas sobiv, sellise lambi liiga lühikese võrekaigu tõttu. Samuti pole otstarbekas ka liiga suure  $R_a$  kasutamine, sest juba miljonist oomist suuremate takistuste puhul võimendustegur suureneb väga vähe. Pealegi nõuab suur  $R_a$  suurte anoodpingete tarvitamist. Tegelikult  $R_a$  suurus, sõltuvalt lambi sisetakistusest, küünib 50 000—1 000 000 oomini.

Et takistussidestuseks kõlblikud lambid on väikese läbitavusega, siis tuleb neid õieti eelpingestada. Eelpingestamine toimub võretakistuse  $R_v$  kaudu kas automaatselt või eelpinge patareist.

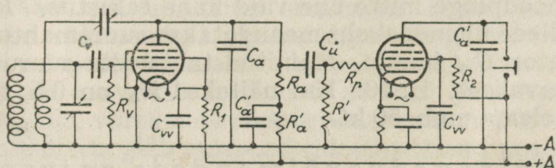
Peale eelpingestamise ülesande on  $R_v$  veel selleks vajalik, et lambi võrele sattunud elektrone katoodile tagasi juhtida. Kuna  $R_v$  on  $R_a$ -le rööbiti, siis ta peab  $R_a$  suhtes olema küllalt suur, et anoodringi välistakistus tunduvalt ei väheneks, mis põhjustaks omakorda lambi võimenduse vähenemise.

Ülekandekondensaator  $C_{\bar{u}}$  peab olema suuremahtuvuseline, et olla madalamasageduslikele vooludele väikeseks takistuseks.\* Praktiliselt valitakse  $C_{\bar{u}}$  suurus 0,005—0,1  $\mu\text{F}$ .  $R_v$  ja  $C_{\bar{u}}$  suurused tuleb korralikuks töötamiseks üksteise suhtes sobitada. Suuremahtuvuselise  $C_{\bar{u}}$  ja suure takistusega  $R_v$  puhul ilmneb nähtus, et suurte momentaansete sisendpinge-amplituutide tagajärjel tekkinud võrelaengute aeglase äravoolamise tõttu ilmneb ebalineaarseid moonutusi. Praktiliselt tuleks sobitamise aluseks võtta, eriti pentoodide puhul,  $C_{\bar{u}} = 0,01 \mu\text{F}$  ja  $R_v = 1\text{m}\Omega$ . Kui  $C_{\bar{u}}$ -d suurendada 5 korda, siis  $R_v$  tuleks vähendada 5 korda; seega  $C_{\bar{u}}$  olles 50 000 pF, peaks  $R_v$  olema 0,2m $\Omega$ . Trioodide puhul ei valita  $R_v$  suurus 0,5 m $\Omega$ -st väiksemat. Tavaliselt on siis  $C_{\bar{u}}$  suurus 0,005—0,01  $\mu\text{F}$  ja  $R_v$  suurus 1—2 m $\Omega$ .

\* Suurema  $C_{\bar{u}}$  puhul tuuakse madalamad toonid enamvähem loomulikult esile.

Mainitud tingimuste juures on praktiliselt võimalik saada ühtlast võimendust kõigi tarvitataivate helisageduste piires.\* Takistussidestuse puhul puuduvad transformaatorsidestuses esinevad pahed, mistõttu ka heli ülekanne on siin loomupärasem. Ainukeseks takistussidestuse puuduseks transformaatorsidestusega võrreldes võiks arvata seda, et siin jääb järgmise lambi võrele juhitud pinge üles transformeerimata, mistõttu saadakse väiksem võimendus. Seda tasub aga moonutusvaba ülekanne. Tavaliselt loetakse trioodide kasutamisel kolmeastmeline takistusvõimendaja oma võimenduslike omaduste poolest võrdseks kaheastmelise transformaatorsidestusega võimendajaga.

Pentoodi ja tetroodi annab takistussidestus võrdlemisi head võimendust juba ühe madalsagedusastme kasutamisel. Selline lülitus kaudse küttega lampidele on näidatud joon. 225.



Joon. 225.

Pentoodi töötamisel audionina tuleb teatavasti selle varivõrele anda võrdlemisi madal anoodpinge. Tavaliselt antakse varivõrepinge üldpingest kõrgeoomilise takistuse  $R_1$  kaudu, mille suurus 0,5—1 M $\Omega$ . Kõrgesagedusvoolude madalsagedusosast eemaldamiseks šunditakse audionlambi anood väikesemahtuvusliku kondensaatori  $C_a$ -ga ja ühtlasi tõkestatakse lõpp-pentoodi võres asetseva takistusega  $R_p$  (0,05—0,3 M $\Omega$ ). Audioni võretakistuse  $R_v$  suurus on sõltuvalt lambi iseloomust 0,5—2 M $\Omega$  ja võre kondensaator  $C_v$  100—200 pF. Ülekande kondensaator  $C_u$  ja  $R_v'$  valitakse eespool selgitatud põhimõtetel. Peab tähendama, et varivõrelampide kasutamisel ei või  $R_a$ -d valida väga suure takistusega, sest vastasel korral võib suurte sisenduspingete juures lambi anoodile mõjuv pinge muutuda väiksemaks varivõrepingest, mis

\*) Piiri panevad siin kõrgematele sagedustele lambi anoodi ja võre mahtuvused maa suhtes, mis eriti suuri sidestustakistusi kasutades šundivad kõrgemad helisagedused maha, neid vähem võimendades.

halvab lambi korralikku töötamist. Pentoodide kasutamisel pole see nähtus seevõrra kriitiline.

Kuna pentoodis eriti kergesti esineb võimendatava sageduse 3. harmooniline, siis selle ja muude kõrgemasageduslike häirivate helide vähendamiseks šunditakse lõpplambi anood kondensaatoriga ( $C_a'$ ), mille suurus 5000—20 000 pF.

Lõpplambi võimaliku ülekoormuse vältimiseks antakse sageli selle varivõrele pinge takistuse  $R_2$  kaudu, mille suurus 5—15 k $\Omega$ . Šuntimiseks kasutatav kondensaator  $C_{vv}'$  peab olema vähemalt 0,5  $\mu$ F. Moodsamate lampide juures saab varivõre anoodiga võrdse pinge; sel juhul  $R_2$  ja  $C_{vv}'$  jääb lülitusest välja.

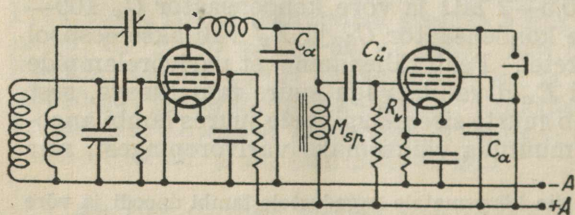
Audionaste on eriti tundlik igasuguste häirivate kõrvalmõjude suhtes. Häirivaid helisid võivad siin esile kutsuda, näit. vahelduvvooluküte nn. „võrgumüra“ näol, vananenud anoodpatarei jne. Nende nähtuste vältimiseks ei anta audionlambile anoodpinge mitte ühe vaid kahe takistuse  $R_a'$  ja  $R_a$  kaudu, millede ühenduskoht maandatakse suuremahtuvuselise kondensaatori  $C_a'$  kaudu. Mainitud takistuste suuruse vahekorrd on tavaliselt 1 : 10. Kui näiteks  $R_a$  on 0,5 m $\Omega$ , siis  $R_a'$  peaks olema umb. 50 k $\Omega$ .

#### 4. Madalsagedusvõimendaja paispoolisidestuses.

Suurte sisetakistustega lampide (tetroodide ja pentoodide) kasutamisel audionina tekib tavalise takistussidestuse juures suur anoodvooluallika pingelangus anoodtakistusel  $R_a$ . Et alal hoida nõutavat suhtelist vahet anood- ja varivõrepingete vahel, siis ollakse sunnitud töötama väga kõrgete anoodpingetega. Selle nähtuse vältimiseks kasutatakse puhtoomilise koormustakistuse asemel induktiivset takistust, nn. madalsageduspaispooli  $M_{sp}$  (joon. 226). Paispool peaks 3—5-milliamprilise alalisvoolu koormuse juures evima induktiiv-

sust 200—300 H, et ülekandel ei tekiks lineaarseid moonutusi.

Paispooli väikesoomiline takistus, mis ulatub mõnesaja oomini, põhjustab minimaalse



Joon. 226.

alalispinge languse. Kuna paispool on oma suure induktiivsuse tõttu madalsageduslikele vooludele suureks takistuseks, siis tekib selles suur madalsageduslik pingelangus ja järgnev lamp saab võrele suurte amplituudidega tüürimispinge.

Paispooli kasutamisel on sidestustugevus olenev sagedusest, s. t.  $\omega L$ -ist, seepärast analoogiliselt transformaatori sidestusele võimendatakse ka siin väiksemasageduslikke voole, eriti allapoole 300 Hz, suhteliselt vähem.

Et paispool evib keerdude vahelist mahtuvust, siis ka suuremate sageduste juures võimendus väheneb, sest osa kõrgemasageduslikest vahelduvvoolukomponentidest juhitakse paispooli sisemahtuvuse kaudu, ilma et see satuks järgneva lambi võrele. Et vältida, eriti madalamate sagedustega voolude võimendamisel, peamiselt resonantssagedusist tingitud moonutusi, valitakse sidestuskondensaatori  $C_{\bar{u}}$  ja võretakistuse  $R_v$  väärtused tavalistest suuremad. See asjaolu võimaldab ühtlasi vähendada kõrgema sagedustega voolude juures ilmnevat paispooli sisemahtuvuse mõju; madalama sagedustega vooludele avaneb seejuures avaram juurdepääs järgmisele lambile, võrekondensaatori suurema mahtuvuse tõttu. Muis põhimõtteis jääb paispooli sidestus täiesti analoogiliseks takistussidestusele.

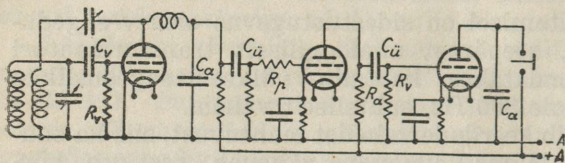
## 5. Madalsagedusvõimendaja eelastmed. Lülitusi diodiga.

Magalsagedusvõimendajas võib esineda mitu võimendusastet enne lõplampi. Tavaliselt toimub eelastmeis pinge võimendamine selle määran, mis on vajalik lõplambi anoodvoolu läbitüürimiseks. Seepärast peavadki eelastmeis kasutatavad lambid olema suure võimendusega, lõplamp aga väikese võimendusega ja suure läbitavusega, nn. võimsuslamp.

Praeguste moodsate lampidega vastuvõtja madalsagedusvõimendaja osas kasutatakse harva rohkem kui kahte astet. Kaheastmelises võimendajas esimest madalsagedusastet nim. eelastmeks.

Eelastmes on kasutatav nii triood kui pentood. Praktiliselt on triood eelistatum, sest siin esineb pentoodidega võrreldes vähemal määral harmoonilisi sagedusi. Takistussidestusega eelaste, mille põhimõttelist lülitust kujutatakse joon. 227, annab küllaldase võimenduse lõplambi tüürimiseks.

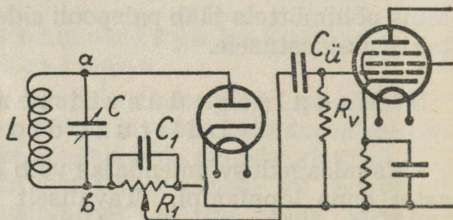
Takistussidestuses on teatavasti kõlblikud väikese läbitavusega (umbes 3—5%) ja suure tõusuga lambid, et kindlustada lõplambile küllaldast tüürimispinget. Moodsais vastuvõtjais, kus on vähemalt kaks kõrgesagedus- (resp. vahesagedus-) astet, kasutatakse de-



Joon. 227.

tekteerimiseks eranditult diodi või diodtriiodi. Diodtriiodiks nim. lampi, mis koosneb diodi\* ja

triiodi-süsteemist. Diod-osa kasutatakse õgvendamiseks, kuna trioodi — madalsageduse võimendamiseks.\*\* Esinevad ka diod-pentoodid, kus trioodi asemel kasutatakse pentoodi-süsteemi. Joonisel 228 kujutatakse diodi lülitust madalsageduseelastmega. Diodi võnkeringis, punktide *a* ja *b* vahel tekib vastuvõetava väljasageduslik pingeline, mille positiivsed poolperioodid põhjustavad läbi diodi elektronide voolu. Saadud voolupulsatsioonid tekitavad takistusel  $R_1$  madalsagedusliku pingelanguse, mille vahelduv komponent juhitakse sidestuskondensaatori  $C_{ii}$  kaudu järgneva madalsageduslambi võrele. Kondensaatori  $C_1$  ülesanne on olla kõrgesageduslikele vooludele lühi-



Joon. 228.

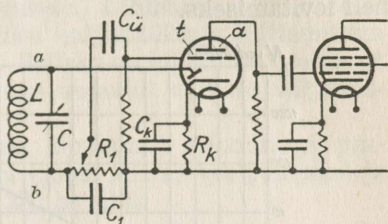
ühenduseks ja ühtlasi muuta takistust  $R_1$  läbivate alaldatud kõrgesagedusvoolu pulsatsioonide tagajärjel tekkiv pingelangus, helisageduse taktis muutuva suurusega alalispingeks. Kui  $R_1$  asendada potentsiomeetriga, siis on järgneva lambi võrele antava tüürimispinge suurus selle abil reguleeritav.

Üheastmelise kõrgesagedusvõimendaja puhul pole diodile antav kõrgesageduspinge, eriti nõrgemate väljatugevuste juures, küllaldane tema tööle rakendamiseks. Sellistel juhtudel tuleb diodi kasutamisest loobuda ja valida mõni tundlikum detektorlülitus (näiteks audion).

\* Kas ühe- või kahekordsest.

\*\* Ka kõrgesageduse võimendamiseks.

Joonisel 229 kujutatakse lülitust diood-trioodiga, kus triood-osa kasutatakse lõppastmele eelastmena. Diod-osa moodustab siin katood ja selle lähedal asetsev dioodi anood. Nende vahele ühendatakse võnkering  $CL$ . Triood-osa koosneb töövõrest  $t$ , anoodist  $a$  ja katoodist, mis on mõlemale süsteemile ühine. Diodi takistus  $R_1$  tekitatud madalsageduslik pingeline juhatakse  $C_{\bar{u}}$  kaudu triood-osa töövõrele, anoodvoolu tüürimiseks. Selles lülituses triood-osa esineb tavalise madalsagedusvõimendajana ja sidestatakse järgneva lambiga takistuslikult.



Joon. 229.

Trioodile antakse eelpinge automaatselt, katoodi takistuse  $R_k$  ja kondensaatori  $C_k$  abil. Et dioodi anood on  $R_1$  kaudu ühendatud katoodiga, siis evib see katoodi suhtes sama eelpinget, mis trioodi võrele.

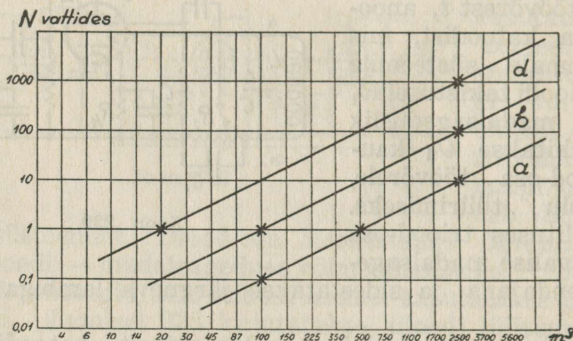
Sellise lülitusega on ühtlasi võimalik vähendada häiriva välja mõju. Olgu näiteks eelpinge —4 volti, siis diood-osas võib ilmnedada detekteerimine, kui punktide  $a$  ja  $b$  vahel tekivad vahelduvpinge amplituudid ületavad 4 volti. Kui näiteks häiriva välja poolt tekitatud pingeline amplituud on 3 volti ja vastuvõtava saatejaama välja poolt tekitatud pingeline 10 volti, siis häiriv pingeline ei ületa üldse dioodi virgutusläve (s. o. jääb kuulmatuks), kuna vastuvõtava saatejaama poolt tekitatud pingeline ületab selle 6 voldi võrra. Seega on saatejaama töö häirevabalt kuuldav. Eelpingeline reguleerimisega on võimalik valida dioodi virgutusläve suurust. Mida suurem on käesoleval juhul katoodi takistusega tekitatud eelpingeline, seda väiksem on dioodi tundikkus ja vastupidi. Sellised vastuvõtjad on tuimad ega reageeri nõrga väljatugevustega saatjaile.

Vastuvõtja tundlikkuse suurendamiseks ehk dioodi virgutusläve vähendamiseks tuleb  $R_1$   $C_1$  katoodipoolsed otsad ühendada katoodi takistuse  $R_k$  lambipoolse otsa külge.

## 6. Madalsagedusvõimendaja lõppaste.

Lõppastmes, nagu juba mainitud, kasutatakse võimsuslampi, et saada valjuhääldaja tööerakendamiseks küllaldast väljumisvõimsust. Nõutav väljumisvõimsus sõltub kasuta-

tavast valjuhääldajast, ruumi mahust, kus valjuhääldajaga tekitatud heli peab levima ja selles ruumis leiduvaist esemeist. Joonisel 230 on graafiliselt kujutatud väljumisvõimsuse sõltuvust ruumi mahust, küllaldase tugevusega ja moonutuseta heli levitamiseks.



Joon. 230.

Kõver *a* iseloomustab inimestega väheselt täidetud (pooltühja) ruumi, kõver *b* — rohkelt täidetud ruumi ja *d* — läririkast ruumi. Näiteks inimestega väheselt täidetud ruumis, mahuga 100 m<sup>3</sup>, on kuuldava heli tekitamiseks vajalik võimsus vähemalt 0,1 vatti, kuna samas ruumis hulga inimeste ja lärmi puhul on nõutav väljumisvõimsus 10 vatti.

Peale küllaldase helitugevuse on veel nõutav, et heli oleks moonutusvaba. Selleks tuleb nii eel- kui ka lõppastmeis valida küllaldase võrekaigu, vastava väljumispinge ning võimsusega lambid. Nagu juba eespool selgitatud, arvutatakse võimsust anoodikadude ja vahelduvvoolu, s. o. väljumisvõimsusega. Teatavasti võrduvad anoodikaod anoodpinge  $U_a$  ja anoodvoolu  $I_a$  korrutisega, seega  $N_a = U_a \cdot I_a$ . Olgu meil lõpplambiks näiteks triood, millel anoodpinge on 250 volti ja anoodvoolu tugevus 25 mA. Siis  $N_a = 250 \cdot 0,025 = 6,25$  W. Moonutusvaba väljumisvõimsus moodustab tavaliselt lõpplambi anoodikadudest 20—30%, seega käesoleval juhul 1,25—1,87 vatti. Trioodi juures on võimalik moonutusvaba väljumisvõimsust arvutada umbkaudse empiirilise valemiga, kus

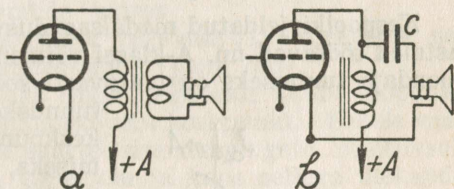
$$N_v = \frac{U_a^2}{18 R_s}$$

siin  $U_a$  tähistab anoodpinget voltides ja  $R_s$  lambi sisetakistust oomides.

Teisest küljest on moonutusvabaks ülekandeks vajalik lõpplambile vastavat valjuhääldajat sobitada, s. o. koormustakistust kohandada sisetakistusele. Lihtsaim sobitamisviis saavutatakse vastavataktusliku valjuhääldaja lülitamisega vahetult lõpplambi anoodringi. Selleks on kõlblikud peamiselt magnetilised valjuhääldajad, mis vajavad väikese väljumisvõimsusega lõpplampe.

Valjuhääldajad ühendatakse lõpplambi anoodringi peamiselt väljumistransformaatori (joon. 231 a) või paispooli ja kondensaatorsidestuse (joon. 231 b) abil.

Transformaatorsidestuse puhul ühendatakse väljumistransformaatori primaarmähis lõpplambi anoodvooluringiga ja sekundaarmähis valjuhääldaja võnkepooliga. Transformaatori primaarmähise impedants peab vastama



Joon. 231.

lõpplambi sisetakistusele, sekundaarmähise impedants — valjuhääldajale. Tavaliselt antakse igale lambile valmistaja firma poolt kaasa andmed koormustakistuse suuruse kohta. Samuti varustatakse valjuhääldajad vastava väljumistransformaatoriga, mille impedants on teada. Nii võib valida kas valjuhääldajat lõpplambi või lõpplambi valjuhääldaja järgi.

Paispooli ja kondensaatori  $C$  (joon. 231 b) abil on lõpplambile valjuhääldaja sobitamine lihtsam. Paispooli induktiivsus tuleb valida küllalt suur, et avaldada ka kõige madalama sagedusega vooludele küllaldast takistust. Anoodringi vahelduvvõimsus kantakse kondensaatori  $C$  abil valjuhääldaja võnkepooli mähisesse.  $C$  suuruseks valitakse 2—4  $\mu\text{F}$ . Seda sobitamisviisi kasutatakse ka dünaamiliste valjuhääldajate puhul, ühendades siis sobitustransformaatori primaarmähise  $C$ -ga järjestikku.

Lõpptrioidid valitakse teatavasti suure läbitavusega ja tõusuga. Selliste võimsuslampide võimendustegur on väike, samuti sisetakistus.

Lõppentoidid erinevad oma iseloomult trioididest sellega, et nad evivad ühtlasi suurt võimendustegurit ja selle

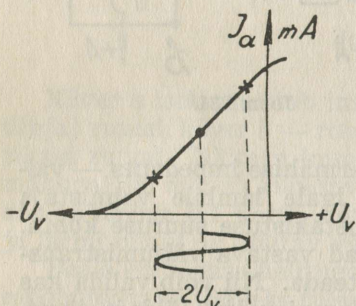
tõttu ka väiksemat läbitavust; seepärast on nende võrekaigu ulatus väiksem sama võimsusega trioodist.

Lõpp-pentoodi puuduseks on tema suur sisetakistus, mistõttu madalad toonid tuuakse suhteliselt kõrgetega nõrgalt esile. Vastavalt dimensioneeritud väljumistransformaatoriga on seda nähtust võimalik küllaldaselt määral kõrvaldada.

Tavaliselt antakse lõpppentoodi varivõrele anoodiga võrdne pinge. Võrkvastuvõtjais on mõnikord siiski vajalik võrgumüra vähendamiseks anda varivõrepinge 5—10k $\Omega$  takistuse kaudu, šuntides seda 0,5—2  $\mu$ F kondensaatoriga varivõrepoolset takistuse otsalt.

## 7. A - klassi ja vasttaktivõimendajad.

Eespoolkirjeldatud madalsagedusvõimendaja eel- ja lõppastmed töötavad nn. A-klassi võimendajatena. A-klassi võimendaja tunnuseks on teatavasti see, et tööpunkt valitakse



Joon. 232.

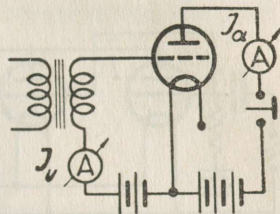
tunnuskõvera sirgjoonelise osa keskpunkti. Võrevoolude vältimiseks, mis põhjustavad moonutusi, on nõutav, et lambi tunnuskõvera sirgjooneline osa asetseks täies ulatuses negatiivsete eelpingete piirkonnas. Lambi võrekaigu ulatus peab vastama tunnuskõvera sirgjoonelise osa ulatuses kahekordsele võre vahelduvpinge amplituudile voltides (joon. 232).

Kui eelmiselt lambilt järgneva lambi (lõpplambi) võrele juhitava vahelduvpinge amplituudid on niivõrd suured, et tüürivad anoodvoolu ka tunnuskõvera kõverikes, siis ilmnevad lambi anoodvooluringis ebalineaarsused, s. o. anoodvoolu muutused pole enam võrdelised ehk tõetruud koopiad võrepinge muutustest. Moonutuste kindlaksmääramiseks lülitatakse koormatud lambi võre- ja anoodvooluringidesse milliampermeetrid (joon. 233). Moonutusvaba võimenduse juures ei tohi võre milliampermeeter mingil juhul näidata voolu; samuti peab anoodringi milliampermeetri osuti ka maksimaalsete sisenduspinge amplituudide puhul paigal püsima. Näitab aga võre milliampermeeter siiski voolu, siis asetseb tööpunkt liiaks lähedal positiivsete eelpingete piirkonnale.

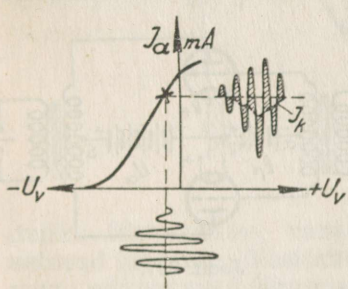
Kui anoodringi milliampermeetri osuti näitab suure võrepinge amplituudi juures (näit. muusikas fortissimo-kohad) kahanevat väljalööki (keskmine anoodvoolu tugevus  $I_k$  väheneb), siis asetseb lambi tööpunkt samuti liiaks positiivsete võrepingete läheduses, s. o. tunnuskõvera ülemisel otsal ja ülekanne on moonutatud (joon. 234), s. o. tekib võre-detektsioon.

Kui tööpunkt on valitud liiaks negatiivsete eelpingete piirkonda, s. o. tunnuskõvera alumisele otsale, siis anoodmilliampermeeter näitab suurte sisenduspingete amplituudide juures kasvavat keskmist anoodvoolu tugevust  $I_k$ ; võrevoolu sel puhul pole; tekib anooddetektsioon (joon. 235).

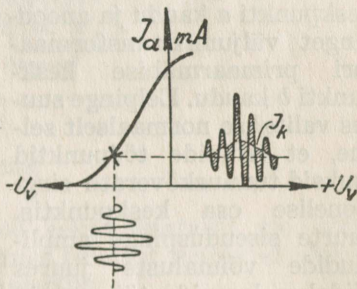
Moonutuste vältimiseks tuleb kõigepealt lambi tööpunkt paigutada dünaamilise tunnuskõvera keskpunkti. Sellele vaatamata võivad ülemäära suurte sisenduspingete positiivsed amplituudid põhjustada võrevoolu ja koos sellega ülekande moonutuse. Sel puhul osutub kas lambi võrekäik antud sisen-



Joon. 233.



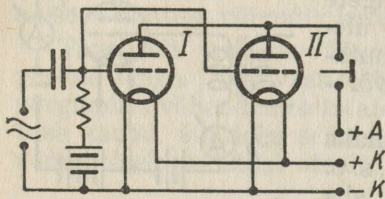
Joon. 234.



Joon. 235.

duspingetele lühikeseks või anoodpinge on liiga madal. Viimase nähtuse kõrvaldamiseks tuleb tõsta lambi anoodpinget lubatava tasemeni ja eelpinge suurendamisega valida uuesti tööpunkt. Kui ka selle tõttu võrevool ei kõrvaldu või anoodringi milliampermeeter ei lakka väljalööke näitamast, siis tuleb lõpplamp asendada suurema võrekäigulise, s. o. suurema läbitavusega lambiga. Suurema väljumisvõimsuse saamiseks lõppastmes ühendatakse vahest kaks (joon. 236) või

rohkem lampi rööbiti. Sel puhul saadav üldvõimsus võrdub I ja II lambi võimsuste aritmeetilise summaga. Rööbitilülituses peab kasutama ühesuguste andmetega (parameetritega) lampe, sest vastasel korral võivad esineda moonutused.



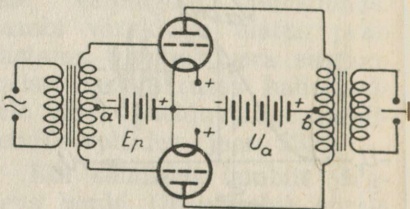
Joon. 236.

Hoopis paremaid tagajärgi on võimalik saavutada nn. vasttakt- ehk push-pull-lülitusega (joon. 237), kus kahe lambiga saadakse umbes sama võimsus mis rööbitilülitatud kolme lambiga, kui võtta aluseks, et nii ühes kui teises lülituses on lampide parameetrid ühesugused.

Jooniselt 237 nähtub, et vasttaktilülituses antakse lampidele eelpinget sisendtransformaatori sekundaarmähise keskpunkti  $a$  kaudu ja anoodpinget väljumistransformaatori primaarmähise keskpunkti  $b$  kaudu. Eelpinge suurus valitakse normaalselt selline, et lampide tööpunktid asuksid tunnuskõverate sirgjoonelise osa keskpunktis. Suurte sisenduspinge amplituudide võimaluste juures võidakse lampide tööpunktid valida isegi rohkem negatiivsele poolele. Vasttaktilülituse töö iseäralduse tõttu hävitavad tunnuskõvera kõverikel põhjustatud ebalineaarsused üksteist vastastikku (2-ne harmooniline).

Lampide põhimõttelist töökäiku kujutatakse joonisel 238. Sellest on näha, et lambid töötavad  $180^\circ$  faasis nihutatult. Kui II lambil on anoodvoolutugevus maksimum, siis I lambil on see miinimum jne.

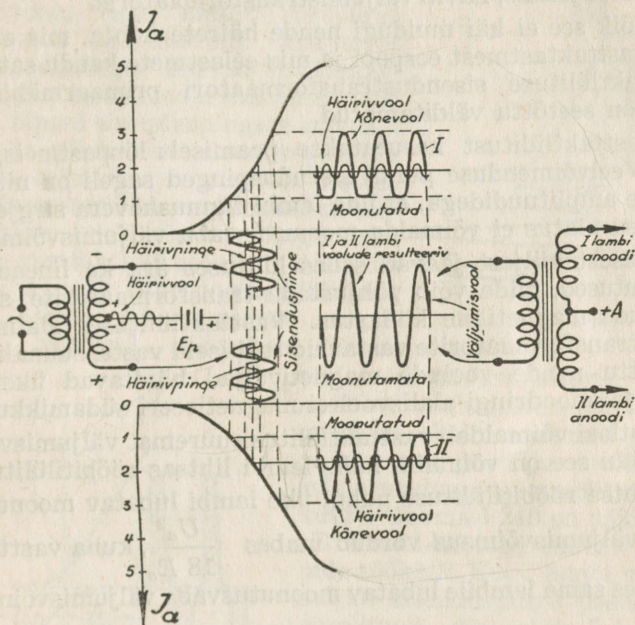
Lampide anoodringi vahelduvvoolu komponendid liitudes väljumistransformaatoris indutseerivad sekundaarmähises



Joon. 237.

puhtakujulise sinusoidse voolu, muidugi seda eeldusel, et sisendtransformaatorisse juhiti ka sinusoidne ergutuspinge.

Vasttaklülituse hüve seisneb veel selles, et ta on tuim nende häirete vastu, mis koos eel- ja anoodpingega, kas puu-



Joon. 238.

duliku filtreerimise, vananenud eelpingepatarei jne. tõttu satuvad lülitusse. Vasttaklülituse tuimust mainitud häirete vastu põhjustavad järgmised asjaolud:

— Oletame, et anoodvooluallikas annab pulseerivat anoodpinget (alaldaja filter on puudulik). Ühel ja samal hetkel on siis mõlemate lampide anoodidel täpselt ühesuurune pinge — korra kõrgem ja korra madalam. See pinge kõikumine põhjustab mõlemates lampides üheaegselt anoodvoolu võrdse suurenemise ja vähenemise. Kuna need anoodvoolu võrdsed impulsid on ühel ja samal ajal väljumistransformaatori primaarmähises üksteisele vastassuunalised, siis hävivad neilt esilekutsutud magnetiväljad vastastikku ja sekundaarmähisesse nende mõjul voolu ei indutseerita.

— Kui koos eelpeingega satub võrele mingi häiriv vahelduvpinge või mõni korrapärase pinge impulss, siis ta mõjub täpselt üheaegselt ja ühenimeliselt mõlemate lampide võrele, põhjustades samuti üheaegselt mõlemates lampides kas anoodvoolu kasvu või kahanemise, mille mõju, analoogiliselt eelmisele juhule, hävib väljumistransformaatoris.

Kõik see ei käi muidugi nende häirete kohta, mis sünnivad vasttaktastmest eespool ja mis eelastmete kaudu satuvad vasttaktilülituse sisendustransformaatori primaarmähisesse ning on seetõttu välditamatud.

Vasttaktilülitust kasutatakse peamiselt lõppastmeis, kus suure eelvõimenduse puhul sisenduspinged sageli on niivõrd suurte amplituudidega, et ühe lambi tunnuskõvera sirgjoonelise osa ulatus ei võimalda moonutusvaba väljumisvõimsust.

Teisest küljest jäävad selles lülituses ära ka lineaarsed moonutused, mida võib põhjustada transformaatorite südamikude magnetiline küllastus. Vasttaktilülituses alalisvool läbib transformaatorite vastavaid mähiseid vastassuunaliselt, mistõttu nende voolude magnetiväljad hävitavad üksteise mõju ja anoodringi alalisvool ei magnetiseeri südamikku.

Ühtlasi võimaldab vasttaktilülitus suuremat väljumisvõimsust, kui see on võimalik kahe lambi lihtsas rööbitilülituses.

Lihtsa rööbitilülituse puhul ühe lambi lubatav moonutusvaba väljumisvõimsus võrdub umbes  $\frac{U_a^2}{18 R_s}$ , kuna vasttaktilülituses sama lambile lubatav moonutusvaba väljumisvõimsus

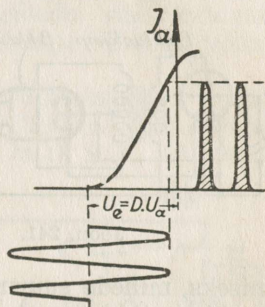
$$N_v = \frac{U_a^2}{8 R_s}$$

on enam kui kaks korda suurem normaallülituse moonutusvabast väljumisvõimsusest.

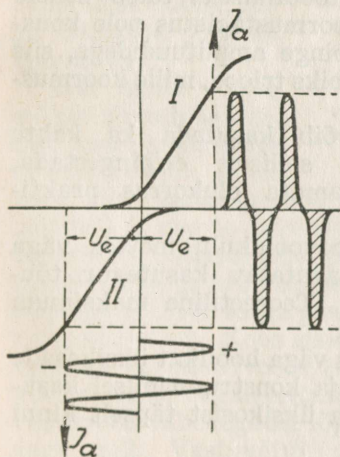
## 8. B-klassi-võimendajad.

Anoodvoolu kokkuhoiu mõttes kasutatakse madalsagedusvõimendajais viimasel ajal erilisi säästlülitusi. Levinud on nn. B-klassi-lülitus, mis oma üldprintsipiilt sarnaneb vasttaktilülitusega (joon. 237). Lampide töötingimused on siin vasttaktilülitusest erinevad, samuti nad võivad erineda nii konstruktiivsete kui ka elektriliste omaduste poolest tavalistest võimendajalampidest.

„B“-klassi-lülituses kasutatakse lambi tunnuskõvera sirgjoonset osa terves ulatuses (joon. 239). Selleks eelpingestatakse lampi, kuni tema anoodvool praktiliselt muutub nulliks ( $I_a = 0$ ), seega  $U_e = D \cdot U_a$ . Sääraselt eelpingestatud lambis kutsuvad anoodvoolu esile ainult võrepinge positiivsed amplituudid, kusjuures anoodvooluringis tekivad ebalineaarsused, s. o. anoodvoolu muutused pole enam täpsed sisenduspingete koopiad, vaid on võrdelised sisenduspingega ainult positiivse poolperioodi kestel. Ebasümmeetrilisuse vältimiseks kasutatakse selliselt eelpingestatud lampe vasttaktilülituses, mil sisenduspinge jaguneb kahe vasttaktilülituses oleva lambi vahel, millede anoodvoolu impulsid liidetakse ühises



Joon. 239.



Joon. 240.

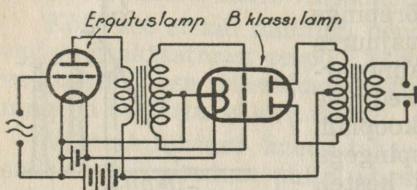
väljumistransformaatoris. Tunnuskõvera alumistel põlvikutel tekivad ebalineaarsused neutraliseeruvad ja väljumisvõimsus evib sisenduspinge amplituudide kuju\*. Joonisel 240 on näidatud „B“-klassi-lülituses olevate lampide töökäik. Kui I lambi võrele mõjub sisenduspinge positiivne amplituud, siis tekib I lambis sellele vastav anoodvoolu impulss, kuna II lambis on samal ajal anoodvoolu tugevus null. Järgneval sisenduspinge negatiivsel poolperioodil toimub see vastupidiselt. Nii töötavad siin lambid kordamööda. Et püsiva anoodvoolu väärtus, mil signaale vastu ei võeta, on väga väike, siis töötavad lambid anoodvoolu

kokkuhoiu mõttes väga säästlikult.

Joon. 241 kujutatakse „B“-klassi-võimendaja lülitust, kus võimenduslambina kasutatakse vaid ühte — nn. „B“-klassi

\* Täpsemalt „B“-klassi-võimendajate juures väljumisvõimsus on võrdeline sisenduspinge ruuduga.

lampi. See lamp koosneb kahest trioodisüsteemist ja on elektriliselt nii konstrueeritud, et võrede ühendamisel katoodiga on anoodvool ilma sisendus- ehk ergutuspingeta praktiliselt null. Et suurte sisenduspinge amplituudide tõttu



Joon. 241.

lambid (trioodisüsteemid) töötavad ka tunnuskõverate ülemistel kõverikudel, siis võrekäigu ühe osa ulatuses ilmneb paratamatult võrevool, mis põhjustab kadusid võreringis ja on ühtlasi sisendustasmele koormuseks. Nende koormuskadude tasakaalustamiseks, millede suurus oleneb sisenduspinge amplituudist ja lambi sisetakistusest, peab eel- ehk ergutusaste suutma anda küllaldast väljumisenergiat; seega vajab ergutusaste väikest võimsuslampi.

„B“-klassi astme korralikuks töötamiseks tuleb sellele valida sobiv ergutusaste. Kuna koormustakistus pole konstantne suurus, vaid muutub võrepinge amplituudidega, siis osutub otstarbekamaks ergutuslambiks triood, mille koormustakistuse suurus pole eriti kriitiline.

„B“-klassi erilambi asemel võib kasutada ka kahte tavalist lampi, mil neid tuleb selliselt eelpingestada, et nende anoodvool oleks ergutamata olukorras praktiliselt null.

„B“-klassi-võimendaja on anoodvoolukulu mõttes väga ökonoomne lülitis ja temaga saavutatav kasutegur tõuseb praktiliselt umbes 68—72%. (Teoreetiline maksimum 78,5%.)

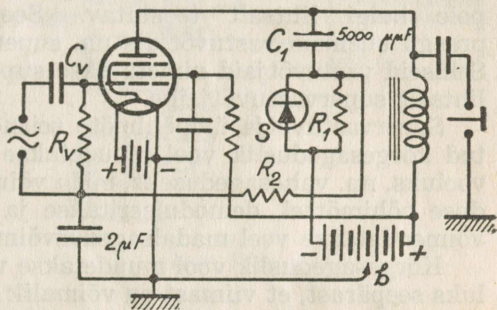
Üldiselt nõuab „B“-klassi-lülitis väga hoolikat üksikosade sobitamist, seepärast on võimendaja konstrueerimisel kasulik vastavaist vabriku andmeist ja üksikosist täpselt kinni pidada.

Eriti laialt on viimasel ajal levinud nn. „AB“-klassi-võimendaja, missugune ei evi küll säärast suurt kasutegurit kui „B“-klassi-võimendaja, kuid on lihtsam dimensioneerida. See võimaldab patareivastuvõtjates saavutada väga kõrgekvaliteedilist ülekannet. „AB“-klassi-võimendaja nõrkade võresignaalide puhul töötab tavalise „A“-klassi-võimendajana, kuna suurte võresignaalide puhul „B“-klassi-võimendajana. Vastavalt sellele pole lõpplambid eelpingestatud nul-

lise anoodvooluni, vaid keskmiselt  $\frac{1}{3}$ — $\frac{1}{2}$  normaalanoovoolust. Säärase lülitusega välditakse võimalikke amplituudi rikkeid nõrkade võresignaalide puhul, mis puht „B“-klassi-lülituses võivad olla väga suured. Kuna puhtakujulises „B“-klassi-lülituses on otstarbekam kasutada trioode, siis osutavad „AB“-klassi-lülituses sobivamaks paarikaupa lülitatud võimsuspendoodid, eriti aga jugatetroodid.

Patareivastuvõtjate lõppastmeis kasutatakse veel erilist joonisel 242 kujutatud anoodvoolu säästlülitust. Võimendajalambile antakse siin takistuste  $R_1$  ( $0,4 \text{ M}\Omega$ ) ja  $R_2$  ( $0,3 \text{ M}\Omega$ ) kaudu selline eelpinge, et lambi anoodvool oleks ergutamata olukorras väga väike, umbes  $1\text{--}2 \text{ mA}$ . Eelpinge antakse kas eripatareist või anoodpatarei miinusepoolsest otsast, nagu näidatud joonisel (punkt *b*).

Kui lambi võrele mõjub sisenduspinge, siis osa anoodringi vahelduvvoolu komponendist juhitakse  $C_1$  kaudu kuivõgvendajasse (kuprooksuüd)  $S$ , kus ta õgvendatakse. Õgvendatud vool, läbides takistuse  $R_1$  tekitab sellel pingelanguse, mis on eelpingele vastassuunaline ja neutraliseerib osa sellest mõjust. Võrele mõjuv eelpinge muutub seega positiivsemaks ja anoodvoolu keskmine tugevus tõuseb. Koos sisenduspinge amplituudi muutumisega muutub ka anoodvoolu tugevus, s. t. et lambi tööpunkt on automaatselt reguleeritav. On eelpinge õieti valitud, siis on vastuvõtu vaheaegadel lõpplambi anoodvool praktiliselt peaaegu null. Vastuvõtul, vastavalt ergutuspinge amplituudi suurusele, kasvab anoodvool selle määraneni, mis on vajalik moonutusvabaks töötamiseks. Kuna lõpplamp tarvitab tavaliselt rohkem anoodvoolu kui eelmised lambid kokku, siis hoitakse sellise lülitusega anoodvoolukulus palju kokku.



Joon. 242.

## § 62. Superheterodüün-vastuvõtja.

### 1. Üldpõhimõtteid.

Saatjate rohkuse tõttu on vastuvõtjailt nõutav häirimata vastuvõtuks hea selektiivsus. Selektiivsuse tõstmine on võimalik kõrgesagedus-astmete arvu suurendamisega. Sageli ei anna 1—2 kõrgesagedusastme kasutamine veel küllaldasi tulemusi, vaid nende arvu peaks tõstma isegi kuni 5-ni. Ühenopusüsteemi juures nõuaks sellise suure arvu kõrgesagedusastmete tarvitamine täpset võnkeringide kokkujooksu kogu häälestuskondensaatorite pöördenurga ulatuses, mis pole kuigi lihtsalt teostatav. Seepärast kasutataksegi praegu uuemais vastuvõtjais nn. superheterodüün-printsiipi. Selliseid vastuvõtjaid nimetatakse superheterodüünideks või lihtsalt supervastuvõtjaks.

Supervastuvõtja üldpõhimõte seisneb selles, et vastuvõetud kõrgesageduslik vool muudetakse vähemasageduslikuks vooluks, nn. vahesageduseks, mida võimendatakse kõrgesageduse põhimõttel, demoduleeritakse ja demoduleeritud voolu võimendatakse veel madalsagedusvõimendajas.

Kõrgesageduslik vool muudetakse vahesageduslikuks vooluks seepärast, et viimast on võimalik palju hõlpsamini muudetamatul sagedusel kõrgesageduslikult võimendada.

Kõrgesagedusliku voolu muutmiseks vahesageduslikuks, kasutatakse juba heterodüüni juures selgitatud printsiipi (vt. § 58 p. 1), kus kahe erineva sagedusega voolu liitmisel saadud resulteeriv vool evib liidetavate voolude sageduste summat või vahet.

Olgu näiteks soovitav vahesagedus 100 kHz ja vastuvõetava sagedus 1000 kHz, siis heterodüün lokaalselt tekitatud ja vastuvõetava sagedusega liidetav sagedus peab olema kas  $1000 - 100 = 900$  kHz või  $1000 + 100 = 1100$  kHz. Liites voolud sagedusega 1000 kHz ja 900 kHz saame resulteeriva, mis sisaldab sagedusi  $1000 - 900 = 100$  kHz, 1000 kHz ja 900 kHz, milliseid voole on tarbe korral võimalik üksteisest eraldada vastavate võnkeringide abil. Kuna käesoleval juhul vahesageduslik vool on 100 kHz, siis peavad vastuvõtja vastavad organid reageerima ka ainult sellesageduslikule voolule.

Põhimõttelist lülitust vahesagedusliku voolu tekitamiseks kujutab joonis 243. Lülituse I osa kujutab tavalist audioni, mida siin nimetatakse esimeseks detektoriks ehk modulaa-

toriks. II osa on heterodüün- ehk saatelülitus ja seda nimetatakse ostsillaatoriks.

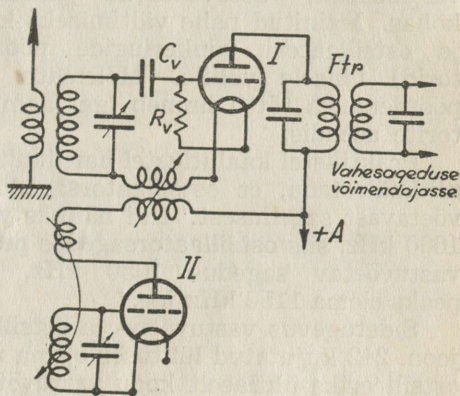
Lülituse I osa võnkering häälestatakse vastuvõetavale sagedusele 1000 kHz. Kui soovitakse saada 100 kHz vahesagedust, siis tuleb ostsillaatorastme võnkering häälestada kas sagedusele 900 või 1100 kHz. Ostsillaatori anoodringis tekitatud kõrgesageduslik vool juhitakse modulaatori võre- ringi, kus see segunedes vastuvõetava sagedusega annab resulteeriva voolu, mis

peale vahesageduse sisaldab veel liidetud kõrgesageduslikke voole. Resulteeriv vool peab läbima modulaatori anoodvooluringis asetseva filter- transformaatore (Ftr)

primaarmähise, mis on häälestatud vahesagedusele 100 kHz ja mis selle sagedusega voolule avaldab suurt tõkestust, kuna samal ajal muude sagedustega voolud hõlpsasti läbi pääsevad. Seetõttu tekib Ftr primaarmähises vahesageduslik pingelangus, mis kantakse üle samale sagedusele häälestatud transformaatore sekundaarringi ja sealt viimasega ühendatud järgneva vahesagedusastme võimendajalambi võrele.

Vastuvõetud kõrgesagedusliku voolu muutmisel vahesageduslikuks peab selle modulatsioon jääma muutmatuks, et vältida helirikkeid. Vastuvõetava ja ostsillaatorsageduslike voolude lihtsal liitmisel pole see teostatav, vaid vastuvõetavaid kõrgesageduslikke voole tuleb enne õgvendada, mille tagajärjel moduleeritakse ka vahesageduslik vool.

Kasutades modulaatorastmes audionlülitust, ilmneb paratamatult võrevõnkeringis võrevoolude tõttu sumbus, põhjustades vastuvõtja tundlikkuse vähenemist. Mainitud puudusest vabanemiseks on soovitatav kasutada selliseid lülitusi, kus detekteerimine toimub anoodringis.



Joon. 243.

Eespooltoodud näite juures juba selgitati, et 1000 kHz sagedusliku signaali vastuvõtmisel võib 100-kilohertsilist vahesagedust saada ka ostsillaatorsagedusel 1100 kHz. Sellest tuleb järeldada, et vastuvõetav jaam kostab ostsillaator-kondensaatori kahe erineva seisundi juures; teiste sõnadega väljendatult, vastuvõetavad jaamad tulevad välja kahes kohas. Mainitud pahe vältimiseks kinnitatakse modulaatori ja ostsillaatori vönkeringide pöördkondensaatorid (rootorid) ühisele völliile. Mõlemate kondensaatorite võrdse pöördenurga tõttu ilmneb iga jaam ainult ühes kondensaatorite asendis.

Praktilistel kaalutlustel harilikult on soovitatav vönkeringe nii häälestada, et ostsillaatorsagedus oleks suurem vastuvõetavast sagedusest. Kui näiteks vastuvõetav sagedus on 1000 kHz, siis ostsillaatorsagedus peaks olema 1100 kHz; on vastuvõetav sagedus 1050 kHz, siis ostsillaatorsagedus peaks olema 1150 kHz jne.

Sidetugevus vastuvõtte- ja ostsillaatorringide vahel peab juon. 242 kujutatud lülituses olema muudetav, et ostsillaator ostsilleeriks ühtlaselt kogu vastuvõtu sageduspiirkonna ulatuses; sellega tekiks tarvidus ühe täiendava reguleerimisorgani järele. Praktiliselt on moodsais lülitusis see küsimus ratsionaalsemalt lahendatud, mistõttu pole sidetugevuse reguleerimise järele tarvidust.

Supervastuvõtja peamiseks vooruseks on teatavasti suurem selektiivsus, kui see otsevastuvõtjaga saavutatav. Kui näiteks otsevastuvõtjaga vastu võtta 1000 kHz-lise sagedusega saatejaama tööd ja samal ajal sama väljatugevusega naabersaatja töötab sagedusel 1009 kHz (sageduste vahe normaalne, s. o. 9 kHz), siis protsentuaalne häälestuse ulatus nende jaamade vahel on umbes 0,9% ( $\frac{1009 - 1000}{1009} \cdot 100$ ).

Kui sama jaama võtta vastu supervastuvõtjaga, mille vahesagedus on 100 kHz ja ostsillaatorsagedus on 1100 kHz, siis vastuvõetav sagedus 1000 kHz annaks vahesageduse 100 kHz; samal ajal annaks naabersaatja sagedus (1009 kHz) 1100 kHz ostsillaatorsageduse juures vahesageduse 91 kHz. Viimasel juhul on häälestuse ulatus vahesageduse tõttu samade jaamade vahel umbes 9% ( $\frac{100 - 91}{100} \cdot 100$ ). Sellest selgub, et

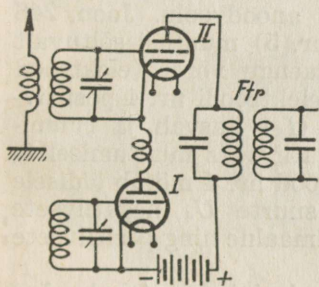
supervastuvõtja häälestusteravus (selektiivsus) on näites toodud sagedustel umbes 10 korda otsevastuvõtjast suurem.

## 2. Ostsillaator-modulaator.

Põhimõtteline ostsillaator-modulaator-lülitus on kujutatud joonisel 243. Nagu juba eespool mainitud, on sellise vastuvõtja tundlikkus modulaatori võreeringi sumbuvuse tõttu väike. Tundlikkuse suurendamiseks on pikema aja kestel pidevalt ostsillaator-modulaator-astet täiendatud. Kõiki neid arenemisastmeid ei luba kirjeldada käesoleva raamatu ulatus. Lähemale vaatlusele võiks tulla vaid käesoleval ajal rohkem levinud ostsillaator-modulaatori tüüpe. Joonisel 243 kujutatud ja terve rea anoloogiliste süsteemide juures toimub vastuvõetava ja ostsillaatorsageduste segunemine, mis annab vahesageduse ning mida detekteeritud voolu poolt kas võre- või anoodringis (anooddetektsiooni puhul) moduleeritakse.

Uuemais lülitusis kasutatakse erilist segunemismeetodit, mis tugineb järgmistele üldprintsipiilidele põhimõtetele.

Ostsillaator- ja modulaatorlamp ühendatakse anoodvooluallikaga järjestikku (joon .244). Kui I lambi võrepinget muuta, siis muutub selle lambi anoodvoolu tugevus. Elektronid, vastavalt I lambi anoodvoolu muutustele voolavad II lambi kaatoodile ja sealt sama lambi kaudu anoodvooluallikasse edasi. Kui samal ajal muuta ka II lambi võrepinget, siis põhjustab see veel omakorda üldist anoodvoolu tugevuse muutumist. Üldise anoodvoolu tu-



Joon. 244.

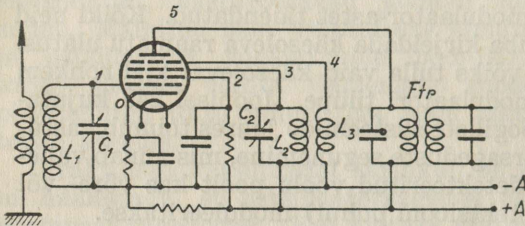
gevuse muutusi põhjustavad seega mõlemate järjestikkulülitatud lampide tüüriivate võrepingete resulteervad väärtused.

Tegelikult ei toimu siin tüüriivate pingete liitumine, vaid ühe kui teise mõju tagajärjel tekib nn. elektronide segunemine, millest tingitult saadakse uuesageduseline vool, mis I ja II lambi võrele mõjuvate sageduste vastava vahekorra juures moodustab nõutava vahesageduse.

Praegu kasutatakse Euroopas ostsillaator-modulaatorina peamiselt kahe lambi asemel ühte lampi, kas nn. **heksoodi** või **oktodi**. Heksood evib kuus elektroodi (joon. 245)\*, milliseid ülevaatlikkuse mõttes võiks jaotada kahe lambi ülesannete

\* Joonisel on toodud heksoodi põhimõtteline lülitus. Heksoode on mitmesuguseks otstarbeks (k.-s.-võim., v.-s.-võim., ostsillaator-modulaator jne. lambena) ja mitmesuguste erinevate lülitusviisidega.

järgi, kusjuures elektroodid 0, 1, 2 ja 3 moodustavad tetroodi ning elektroodid 3, 4 ja 5 kahe võrega lambi. Tetrood-osa katoodi moodustab 0-ga märgitud elektrood. Sellele mõjub otseselt töövõre (elektrood nr. 1) pinge. Elektronid, liikudes töövõre poole, saavad kiirenduse varivõre (elektrood nr. 2) pingelt. Kui võred 3 ja 4 ei evi mingit pinget, siis elektronid voolavad töövõre pinge taktis anoodile.

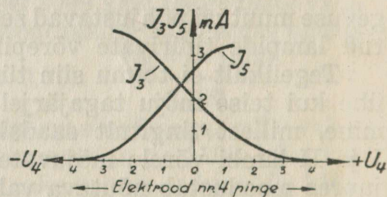


Joon. 245.

semgi muutus mõjutab juba üldist anoodvoolu. Joon. 246 kujutatakse anoodvoolu (elektrood nr. 5) muutusi sõltuvalt elektrood nr. 4 pingest. Kui ruumilaengu võrel (elektrood nr. 3) on suur positiivne pinge, siis elektroodi nr. 4 positiivseks muutumisel üldine anoodvool ( $I_5$ ) kasvab ja ruumilaengu võrevool  $I_3$  kahaneb.  $U_4$  negatiivseks muutumisel  $I_5$  kahaneb ja  $I_3$  kasvab. Niiviisi elektrood nr. 4 mõjub üldisele anoodvoolule jaotavalt, kusjuures suurte  $U_4$  negatiivsete väärtuste puhul  $I_5$  on null ja  $I_3$  maksimaalne ning positiivsete väärtuste juures vastupidi.

Kõige eelmainitu põhjal võib ette kujutada, et kahevõre lambi osa katood, nn. mõjuv katood, asetseks nagu elektroodide nr. 3 ja 4 vahel.

Heksoodi töökäiku joonisel 245 toodud lülituses võiks kujutada järgmiselt. Töövõreaga ühendatakse vastuvõttevõnkering  $L_1C_1$ , mis reageerib vastuvõtetavasagedusliku pingele. Elektroodi nr. 3 (ostsillaatori anoodi) külge ühendatakse ostsillaatorvõnkering, mis häälestatakse ostsillaatorsagedusele. Ostsillaatorvõnkeringist kantakse pooli  $L_3$  kaudu ostsillaatorsageduslik pinge ostsillaatori võrele (elektroodile nr. 4), mis mõjub jaotavalt vooludele  $I_5$  ja  $I_3$  ning põhjustab nõutava vahesageduse elektronide jaotamise põhimõttel. Heksoodi anoodringis teki-

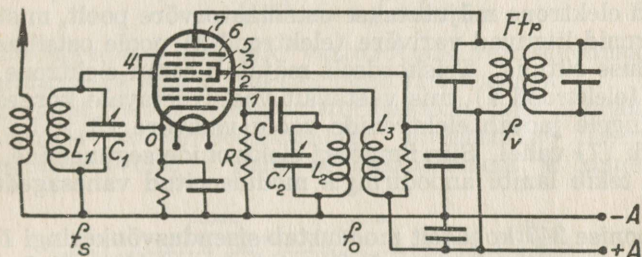


Joon. 246.

tatud moduleeritud vahesageduslik vool juhitakse filtertransformaatorisse.

Vanemais lülitusis, kus modulaator- ja ostsillaatorastmed olid teineteisest eraldatud, tekkis tarvidus kõrgesageduslike voolude õgvendamiseks, et moduleerida vahesagedust. Õgvendamiseks tuli kasutada lambi tunnuskõvera alumist kõverikku, mis põhjustas suuremal määral harmooniliste tekkimist. Samuti võisid ostsillaatorlambis võnkuva voolu amplituudid kergesti paisuda niivõrd suureks, et lambi anoodvoolu tüürimine toimus tunnuskõvera terves ulatuses, mis veelgi suurendas harmooniliste sageduste tekkimist ja nende poolt põhjustavaid ülekande moonutusi.

Et heksoodi juures pole õgvendamine vajalik, siis võib lampi tööle rakendada anoodvoolu tunnuskõvera sirgjoonelise osa ulatuses ja koos sellega vabaneda harmoonilistest sagedustest peaaegu täielikult.



Joon. 247.

Joon. 246 toodud lülitus tavalise heksoodiga ei anna küllalt häid tagajärgi. Otstarbekam on heksoodi kasutada modulaatorlambina, kuna ostsillaatorina eraldi lampi – trioodi. Küll on aga otstarbekas kasutada heksoodi kõrgesagedus- kui ka vahesagedusvõimenduslambina. Viimasel ajal on heksoodist arendatud eriline muunduslambi tüüp nn. triood-heksood. Selles on ühte kolbi asetatud tetroom- ja trioodsüsteemid. Siin triood-osa kasutatakse ostsillaatorina ja tetroom-osa kõrgesagedusvõimendajana. Oma töötamisviisis ta ei erine palju alljärgnevast oktoidist, vahe seisneb vaid selles, et ta mõjutab töövõrega otseselt katoodi, kuna oktoidil töövõre on katoodist varivõre abil varjestatud.

Praegu kasutatakse Euroopas heksoodi asemel peaaegu eranditult 8 elektroodiga lampi ehk nn. oktoidi (joon. 247).

Oktood oma põhimõtteliselt töötamisviisilt ei erine kuigi palju heksoodist, kuid on sellest rohkem viimisteldud. Oktoodi töötamise hõlpsamaks selgituseks võib teda samuti ette kujutada koostatult kahest süsteemist — trioodist ja kõrgesageduspentoodist.

Triood-osa koosneb katoodist (elektrood 0), ostsillaatori võrest (elektrood 1) ja ostsillaatori anoodist (elektrood 2); selle osaga tekitatakse lambis ostsillaatorsagedust.

Pentood-osa moodustavad varivõre (elektroodid 3 ja 5), tüürvõre (elektrood 4), summutusvõre (elektrood 6) ja anood (elektrood 7). Summutusvõre täidab siin sama ülesannet mis kõrgesageduspentoodigi juures ja ta ühendatakse tavaliselt lambi katoodiga.

Varivõre 3 varjestab triood-osa anoodi mõjust; seega ülemist lambi osa võib ette kujutada tavalise pentoodina, mille mõjuvkatood nagu asetseks elektroodide 3 ja 4 vahel.

Lambi töökäik on järgmine: katoodilt (elektrood 0) väljuvaid elektrone mõjutatakse ostsillaatorvõre poolt, mistõttu elektronid liiguvad varivõre (elektrood 3) poole ostsillaatorsageduse rütmis. Teiskordselt mõjutab samu elektrone töövõre (elektrood 4), mis vastavalt vastuvõetavale kõrgesageduspingele jaotab elektronide voolu varivõre (3 ja 5) ning anoodi (7) vahel. Siin ilmnebki elektronide segunemine, mistõttu tekib lambi anoodiringis moduleeritud vahesageduslik vool.

Joonise 247 kohaselt moodustab sisendusvõnkeringi  $L_1C_1$ , ostsillaatorvõnkeringi —  $L_2C_2$ , ning tagasisidepooli  $L_3$ . Tagasiside tugevus tuleb valida niisugune, et ostsillaator võnkuks ühtlase tugevusega kogu vastuvõetava sageduspiirkonna ulatuses. Praktiliselt on leitud, et oktoodi juures on side tugevus kõige normaalsem, kui ostsillaator-võnkeringi  $L_2C_2$  otstel mõõdetud pinge on umbes 8,5 volti. Et ostsillaatori võnkeringis hoiduda kadudest (sumbuvusest), siis tekitatakse ostsillaatorile takistuse  $R$  kaudu negatiivne eelpinge, mis peab 0,5—1 voldi võrra suurem olema ostsillaatori võnkuvast pingest. Eelpinge saadakse võnkuvast olukorras automaatselt võrevoolu mõjul, takistuse  $R$  ja mahtuvuse  $C$  abil.

Oktoodi, samuti nagu iga teisegi lambi juures tuleb kinni pidada vabriku poolt ettekirjutatud tööpingetest, milledega tavaliselt saavutatakse parimad tulemused.

Meil on praegu koos oktoodiga levinud Ameerika algupäraga lamp heptood ehk nn. „pentagriid“, mis oma töötamise iseloomu ja üldise konstruktsiooni poolest sarnaneb

oktoodiga — ainult selle vahega, et tal puudub summutusvõre. Kuna oktoodi ülemine osa on teatavasti ehitatud pentoodi põhimõttel, siis ta evib väga suurt võimendustegurit.

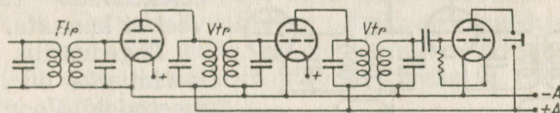
Olgugi et oktood on tehnika uuemaid saavutusi, pole ta töö lühemal lainel kuigi stabiilne. Allapoole 30 m (10 MHz) pole ostsillaatorsagedus enam püsiv. Väiksemastki kõrvalmõjust võib tekkida nn. laine tuiklemine (sageduse muutumine), mis muudab ka vahesagedust, ja vastuvõetav jaam viiakse kuuldepiirkonnast välja. Sellest tekivad nagu feedingtonaolised nähtused, millede kõrvaldamiseks on olemas mitmesuguseid lülitustehnilisi vahendeid. Parimaid tagajärgi saavutatakse ikkagi eraldi ostsillaatori tarvitamisel, muidugi eeldusel, et modulaatorlambina tarvitatakse oktoodi või heksoodi.

Tavaliselt lampi, mis täidab modulaator- ja ostsillaatorlambi ülesandeid, nimetatakse muundajaks ehk muunduslambiks.

### 3. V a h e s a g e d u s.

Helisageduse ülekande vastuvõtjais vahesagedusastmed ehitatakse eranditult transformaatorsidestusega.

Esimest vahesagedustransformaatorit, mis ühendatakse modulaator- või muunduslambiga, nimetatakse filtertransformaatoriks (Ftr). Selle primaarmähisest ja kondensaa-



Joon. 248.

torist koosneva võnkeringi ülesanne on muunduslambi anoodvooluringis ilmnevatest mitmesugustest sagedustest reageerida ainult vahesagedusele ja seda üle kanda järgneva vahesagedusastme võimenduslambi võrele. Nii filtertransformaator kui ka järgnevad vahesagedustransformaatorid häälestatakse ühele ja samale sagedusele.

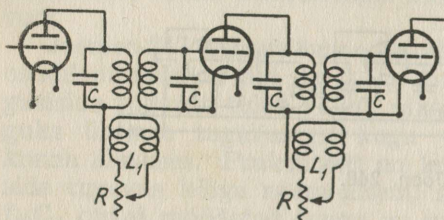
Vahesagedusastmeid, sõltuvalt nõutavast võimendusest, võib olla mitu (eriti trioodide kasutamisel). Moodsate lampide juures, nagu tetroodid ja kõrgesageduspentoodid, nende suurte võimenduslike omaduste tõttu piisab tavaliselt juba küllaldase võimenduse saamiseks 1—2 vahesagedusastmest.

Võimendatud vahesagedus õgvendatakse nn. teises detektoris, milleks võib olla iga tavaline lamp (näit. triood, tetroom jne.), kuid milleks praktiliselt peaaegu eranditult kasutatakse diodi. Õgvendatud vool muundatakse kas otsestelt heliks või võimendatakse seda enne tavalises madalsagedusvõimendajas.

Nagu öeldud, häälestatakse vahesagedusvõimendaja võnkeringid täpselt ühele ja samale sagedusele. Korralikes vastuvõtjais need võnkeringid ehitatakse ja häälestatakse eranditult ribafiltri-süsteemi järgi, et tagada enam-vähem ühtlast võimendust kogu heliriba (sagedusriba) ulatuses. Normaalselt valitakse sidestuse tugevus parajasti nii suur, et sagedusriba laius oleks 9 kHz. Sageli varustatakse vastuvõtjaid sagedusriba laiuse reguleerimisorganitega, mis võimaldab valida kas normaalsest laiemat või kitsamat sagedusriba. Sagedusriba suurema laiuse puhul paraneb kuuldava heli kvaliteet tunduvalt, kuna vastuvõtja selektiivsus seevastu halveneb. Kitsama helisagedusriba puhul vastuvõtja selektiivsus suureneb, heli kvaliteet aga halveneb, sest kõrgemaid toone võimendatakse suhteliselt vähem või jääb osa neist üldse võimendamata; selle tõttu esinevad kuuldavas helis peamiselt madalad toonid.

Sagedusriba reguleerimise ulatus peab jääma piiresse, kus heli kvaliteet ega selektiivsus tunduvalt veel ei kannata.

Sagedusriba reguleerimiseks on mitmeid meetodeid. Joonisel 249 kujutatakse üht lihtsamat, kuid praktiliselt ka rohkem levinud meetodit. Selleks otstarbeks varustatakse vahesage-



Joon. 249.

dustransformaatorid lisamähistega, milledega ühendatakse järjestikku reguleeritavad oomilised takistused  $R - R$ . Kui takistused  $R - R$  on lisamähistega järjestikku, siis lisamähiste oomiline takistus, võrreldes vahesagedustransformaatorite ülekande takistusega, on väga suur. Seepärast transformaatorite primaar- ja sekundaarmähised sidestuvad ainult vastastikuse induktiivsuse tõttu ning helisagedusriba on kõige kitsam. Takistuste  $R - R$  suuruse vähendamisega ilmneb lisamähistes  $L_1 - L_1$  vool; energia ülekandumine toi-

mub ka lisamähiste abil, mistõttu sidestuse tugevus primaar- ja sekundaarmähise vahel tõuseb ja resonantskõver muutub lamedamaks. Samal ajal ilmnevad ka lisamähiste takistustes ( $R - R$ ) energiakaod ( $I^2R$ ), mis põhjustavad vahesagedustransformaatoris kustumise suurenemist. Kahel mainitud põhjusel väheneb selektiivsus, kuna ülekantava helisagedusliku riba laius suureneb. Nii on võimalik lihtsalt reguleerida sagedusriba laiust võrdlemisi laiades piirides.

Vahesagedus valitakse nii, et ta ei ühtiks mingi saatejaama sagedusega, mis võiks põhjustada interferentsvileid. Vahesagedusena on kasutamiskõlvulised sagedused piirides 75—150 kHz ja 300—500 kHz. Praktiliselt on enam kasutatav vahesagedus kas ca 110 kHz või ca 460 kHz. Nii ühe kui teise vahesageduse valik sõltub vastuvõtjale ülesseatud tingimustest.

Supervastuvõtjais esinevad häirivana nn. peegelsagedused. Teatavasti annab iga vastuvõetav sagedus  $f$ , vahesageduse  $f_1$  kahe erineva ostsillaator-sageduse juures. Seega ostsillaatorsagedus  $f_0 = f + f_1$  või  $f_0 = f - f_1$ . Kui ostsillaatorsageduseks on valitud  $f + f_1$ , siis sagedus  $f - f_1$  on sellele sagedusele peegelsageduseks. Olgu näiteks vahesagedus 100 kHz ja vastuvõetav sagedus 1000, siis ostsillaatorsagedus oleks  $1000 + 100 = 1100$  kHz või  $1000 - 100 = 900$  kHz. Tavaliselt valitakse ostsillaatorsageduseks suurem — seega 1100 kHz, millele esineb nüüd peegelsagedusena 900 kHz. Sama kord jääb kehtivaks ka teiste vastuvõetavate sageduste juures.

Võtame näiteks vastu sagedust 1000 kHz — ostsillaatorsagedusega — 1100 kHz. Kui seejuures esineval peegelsagedusel (900 kHz) töötab mõni tugev saatja, siis võib halva eelselektiivsusega vastuvõtja juures ka peegelsagedusel töötava jaama energia pääseda muunduslambi võrele ja moodustada vastuvõetava 1000-kilohertsilise sagedusega, — vahesageduse 100 kHz. Sel kombel moodustavad ostsillaatorsagedus ja peegelsagedus vastuvõetava sagedusega vahesageduse, mis sisaldab kahte erinevat modulatsioonisagedust. Need tekitavad liitumisel tuikamisi, mis valjuhääldajast kostavad interferentsviledena.

Arvutus näitab, et supervastuvõtja häälestusteravus on seda suurem, mida madalam on vahesagedus. Kahjuks 100-st kHz allapoole ei saa tegelikult minna, sest siis võimendatakse kõrgemaid toone suhteliselt madalamatega palju vähem.

Madalate vahesageduste kasutamisel ilmneb palju interferentsvilesid, mida saab kõrvaldada ainult küllaldase arvu häälestusringide kasutamisega ostsillaatori ees ehk nn. eelselektsooniga.

Praktikas kasutatakse nelja- ja enamlambiliste supervastuvõtjate juures madalat vahesagedust, umbes 110 kHz, kus vajalik eelselektsoon saadakse kas kõrgesagedusribafiltritena või kõrgesagedusvõimendaja-astmetega. Sel puhul jääb peegelsagedus küllaldaste filterringide tõttu niivõrd nõrgaks, et ei suuda enam esile kutsuda interferentsi.

Lihtsamais supervastuvõtjais, kus eelselektsoon puudub, kasutatakse suuremasageduslikku vahesagedust, näiteks 460 kHz, millega hõlpsamalt vabanetakse peegelsagedusest põhjustatud interferentsviledest. Häälestusteravuse suurendamiseks võetakse tarvitusele rohkem vahesagedusastmeid ja kasutatakse tarbe korral ka kõrgesagedus-ribafiltreid.

Üldiselt on madalamasageduslik vahesagedus oma sobivate võimendamismodulite poolest olnud Euroopas eelistatum kõrgemasageduslikest vahesagedusist. Kuid viimasel ajal ikka enam ja enam kaldutakse kõrgemasageduslike vahesageduste kasutamisele.

Vahesagedustransformaatorid võivad olla kas õhk- või ferrocart- (kõrgesagedusrauast) südamikuga. Õhksüdamike puhul vahesageduse ribafiltri (transformaatorite) häälestuskondensaatorid peavad olema võrdlemisi väikese mahtuvusega, et vältida kadusid. See asjaolu nõuab omakorda, et poolide induktiivsused oleksid täpselt võrdsed, mil väikeste mahtuvuste, nn. trimmerite abil (joon. 249) c-c-c-c kom-penseeritakse vaid ühendusjuhtmete ja üksikosade vastastikusel paigutusest sõltunud poolide induktiivsuste muutusi.

Ferrocart-südamikega poolid on õhksüdamikega poolidest palju kaovaesemad, seepärast võib nende häälestamiseks kasutada suuremamahtuslikke trimmereid, ilma et nende poolide võimenduslikud omadused väheneks õhksüdamikega poolide tasemeni. Seepärast pole ferrocart-südamikega vahesagedustransformaatorite juures nõutav eriti täpne induktiivsuste ühtivus, kuna seda on võimalik trimmeritega kohandada. Mainitud asjaolu on hõlbustuseks isehitajaile, kellel puuduvad induktiivsuse mõõteabinõud.

Seal, kus vastuvõtjalt nõutakse eriti head selektiivsust, nagu telegraafitöö vastuvõtmisel, kasutatakse vahesageduse võnkeringides kristallfiltreid. Filtril on omadus õige kitsasagedusribas kaasa võnkuda. Seetõttu kristallfilter laseb

läbi enda põhisagedusega voole või sellest õige vähe lahku- minevaid, kuna suuremate erinevustega sagedustele osutub tõkestuseks.

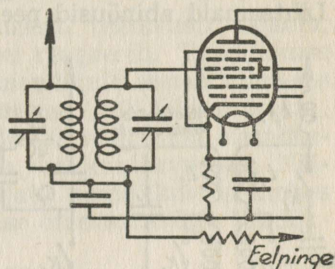
#### 4. Elastmed.

Nagu eespool tähendatud, on eelselektsoon eriti vajalik madalate vahesageduste kasutamisel. Kõige lihtsamalt on eelselektiooni võimalik saavutada ribafiltri abil, nagu seda kujutatakse joonisel 250. Toodud lülitus ei vasta siiski kõigile supervastuvõtja juures ülesseatud nõuetele. Kui näiteks võnkeringid pole küllalt kaovaesed, siis võivad ka siin ilmnedada interferentsviled. Kuid suuremaks puuduseks on asjaolu, et muunduslambi töövõrele mõjuvate kõrgesageduspinge amplituudide suurused pole mitte püsivad, vaid sõltuvad vastuvõetavast väljatugevusest.

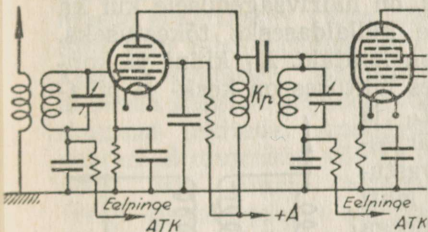
Kuna heksoodi, heptoodi või oktoodi kasutamisel muundajana on nende korralikuks tööks nõutav, et vastuvõetava pinge amplituudid töövõrel oleksid alati kindlas vahekorras ostsillaatori poolt tekitatud pinge amplituudidega, siis pole võimalik seda nõuet täita tavalise ribafiltriiga.

Paremaid tulemusi annab muundaja-astme ees kas ühe (joon. 251) või kahe kõrge- sagedusastme kasutamine, mil saavutatakse küllaldane eelselektioon. Ühtlasi avaneb siis võimalus alal hoida kindlat vahekorda muundus-

lambi töövõrele mõjuva ja ostsillaatori pinge amplituudide vahel. Seejuures on nõutav, et eel- ehk kõrgesagedusastmes kasutataks muutuva tõusuga ehk eksponentsiaallampe\* ja automaatset tundlikkuse reguleerimise lülitust (ATK)\*\*.



Joon. 250.



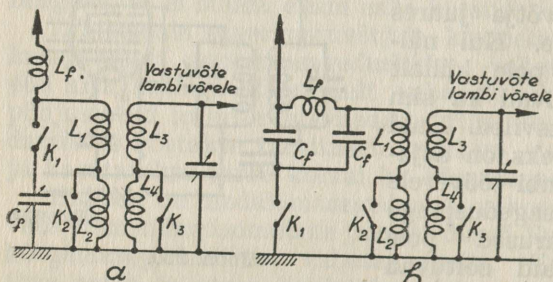
Joon. 251.

\* \* \*

\* Inglisekeelne termin — variable „Mu“.

\*\* Vt. automaatne tundlikkuse kontroll.

Peegelsagedused võivad esineda peale eespoolmainitud juhtude veel halva või mitteküllaldase varjestuse puhul. Kõrgema vahesageduse (460 kHz) kasutamisel satuvad peegelsagedused teatavasti väljapoole vastuvõtja häälestuspiire, näiteks keskmiste lainete vastuvõtul — 200 m allapoole ja pikkadel lainetel keskmiste lainete piirkonda, mistõttu ei mõju häirivalt. Madalama vahesageduse juures (110 kHz) on vähese eelselektsooniga vastuvõtja häirimine võimalik. Lihtsamaid abinõusid peegelsageduste kõrvaldamiseks, eriti



Joon. 252.

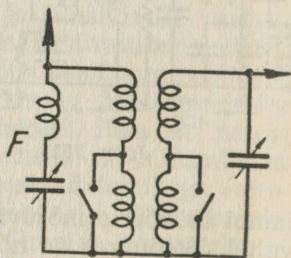
pikkade lainete vastuvõtul, on nn. peegelsageduste tõkestusfiltrid (joonis 252).

Joonisel 252a kujutatakse lihtsat filtrit, mis koosneb poolist  $L_f$  ja kondensaatrist  $C_f$ .  $L_f$  ja  $C_f$  suurused va-

litakse nii, et filtri endasagedus oleks suurem häirivast peegelsagedusest. Olgu näiteks häirivagedus 200 kHz, siis filter, endasagedusega 190 kHz, on häirivagedusele kui ka sellest suurematele sagedustele küllaldasesks tõkestuseks. Vastuvõtul pikalaineastmikus on kontakt  $K_1$  kinni ja kontaktid  $K_2$  ja  $K_3$  lahti, sest selles lülituses on kesk- ja pikalaineastmikude antennipoolid  $L_1$  ja  $L_2$ , samuti võrepoolid  $L_3$  ja  $L_4$  järjestikku ühendatud. Kesklainete vastuvõtul lülitakse filtri kontakt  $K_1$  lahti ja kontaktid  $K_2$  ja  $K_3$  kinni. Seega kõrvaldatakse filtri mõju kesklaineastmikus.

Joonisel 252 b kujutatakse komplekseeritumat filtrilülitust, mis leiab tegelikult rohkem kasutamist.

Vahesagedusele võrduva sagedusega töötavate saatjate või nendelt tekitatud vahesagedusega ühtivate harmooniliste sageduste kõrvaldamiseks on kõlblik filter  $F$ , nagu seda kujutatakse joonisel 253.



Joon. 253.

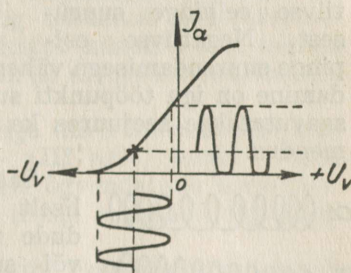
Peale eespoolmainitud filtrite tekib mõnikord tarvidus eriti tugevate vahesageduslike häirete puhul kasutada erifiltrit detektori ees. Parimaks vahendiks vahesageduse häirete vältimisel osutub tavaliselt hoolikas ja täiuslik varjestus.

### § 63. Eksponentsiaallamp. Automaatne tundlikkuse kontroll. Lülitusi duodiidiga.

Vastuvõtja tundlikkust iseloomustab teatavasti asjaolu, kui suurele väljatugevusele ta veel reageerib. Tundlikkuse normiks on väljatugevus, mis võimendatult annab viimases astmes 50-millivatilise väljumisvõimsuse (heli tekitamiseks). Seega määratakse vastuvõtja tundlikkus väikseima sisenduspingega, mis tekitab valjuhääldajas veel kuuldava heli. Näiteks 4—5-lambiliste supervastuvõtjate tundlikkus on umbes 10 ja vähem  $\mu\text{V}/\text{m}$ , kuna 2-lambilise otsevastuvõtja tundlikkus — 100 ja rohkem  $\mu\text{V}/\text{m}$ .

Elektronlambi tundlikkuse määrab teatavasti samuti sisenduspinge, mis ületab lambi virgutusläve; see on väikseima amplituudiga võrepinge, mis on veel suuteline lambis anoodvoolu muutusi esile kutsuma.

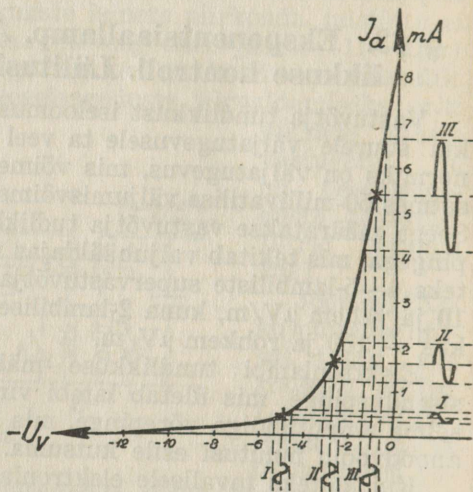
Kui näiteks tavalisele elektronlambile anda suur negatiivne eelpinge, siis lambi tööpunkt nihkub tunnuskõvera alumisele kõverikule\* (joon. 254). Siin võib tähele panna, et väikesed võrepinge amplituudid ei suuda kuigi suuri anoodvoolu muutusi tekitada. Anoodvoolu suuremad muutused võivad esineda vaid suurte võrepinge (resp. sisenduspinge) amplituudide juures. Sellest nähtub, et negatiivse eelpinge suurendamisega on võimalik lambi võimenduslikke omadusi (tundlikkust) vähendada. Tavaliste lampide juures pole võimenduse määra reguleerimine sellisel viisil otstarbekas, sest lambi anoodvoolu ebasümmeetrilise muutumise tõttu ilmnevad tunnuskõvera alumisel kõverikul töötades moonutused.



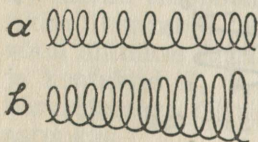
Joon. 254.

\* Tunnuskõvera alumist ja ülemist kõverikku nim. ka vastavalt alumiseks ja ülemiseks põlvikuks.

Peaaegu lambi moonutusvaba võimenduslike omaduste reguleerimist on eeltähtendatud viisil võimalik saavutada eksponentsiaal-elektronlambiga, mis tavaliselt esineb tetroodina, kõrgesageduspentoodina ja vastavatuübiliste muunduslampidena. Selles lambis on sisemise konstruktsiooni viimistlemisega antud anoodvoolu tunnuskõverale eksponentsiaalne kuju (joon. 255). Kui sellise lambi töövõrele juhtida ühe ja sama amplituudiga vahelduvpinge, mitmesuguste tööpunktide juures, näiteks  $U_e$  on  $-1$  V,  $-2,8$  V, ja  $-5$  V, siis näeme, et anoodvooluringis saadav voolu võimendus on igas tööpunktis isesugune, olenedes seega tööpunkti asukohast, s. o. negatiivse eelpinge suuruselt. Negatiivse eelpinge suurendamisega väheneb lambi tõus; kuna tõusu vähendamine on iga tööpunkti suhtes peaaegu sümmeetriline, siis saavutatakse seejuures ka enam-vähem moonutusvaba võimendus.



Joon. 255.



Joon. 256.

Säärases lambis pole töövõre tavaliselt ühtlane spiraal, vaid kas keerduvade muutuva vahuga (joonis 256 a) või suurenevate diameetritega (joonis 256 b).

Eksponeentsiaallambi tundlikkust võib reguleerida eelpinge muutmise teel kas käsitsi, vastava potentsiomeetriga, või automaatselt. Praegu on peaaegu eranditult domineeriv automaatne reguleerimisviis.

\* \* \*

**Automaatne eelpinge reguleerimine** on läbi teinud rea arenemisastmeid, kuni saavutati praegu eranditult tarvilisel olev viis — diodi abil, mille põhimõttelist lülitust kujutatakse joonisel 257.

Dioodis toimub teatavasti kõrgesageduslike voolude õgvendamise järgmiselt:

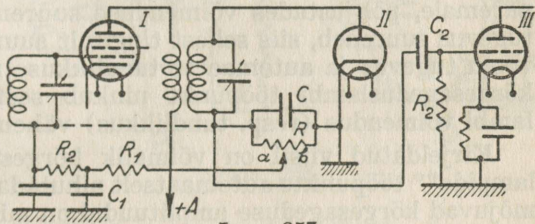
I lambi anoodvooluringist II lambi (diodi) võnkeringi ülekantud kõrgesageduslik vool tekitab diodi anoodi ja katoodi vahel kõrgesagedusliku pinge. Kui diodi anoodile mõjub kõrgesagedusliku pinge

positiivne poolperiood, tekib diodis elektronide vool katoodilt anoodile. Kuna diodis ei teki voolu, kui selle anoodile mõjub pinge

negatiivne poolperiood, siis seetõttu toimubki kõrgesageduslike voolude õgvendamine. Õgvendatud kõrgesageduslik vool, läbides takistuse  $R$ , laeb üksikute impulsside tippväärtuste ajal kondensaatorit  $C$ , mille laeng lahendub tippväärtuste vaheaegadel. Seetõttu kõrgesageduslik pulseeriv vool tekitab takistuse  $R$  otstel pinge, mille suurus muutub modulatsiooni rütmis.

Takistuse  $R$  kõrge potentsiaaliga ots  $a$  ühendatakse kondensaatori  $C_2$  kaudu võimendus- (III aste) lambi võrega. Peale selle kasutatakse sama pinget õgvendatuna kõrgesagedusvõimendaja (I astme) lambi (resp. lampide) automaatseks eelpingestamiseks.

Nagu eespool mainitud, sõltub eksponentsiaallampide tundlikkus ehk võimendusmäär tööpunkti valikust, s. t. negatiivse eelpinge suurusest. Et käsitsi eelpinge reguleerimine on tülikas, siis kasutataksegi selleks automaatset eelpinge reguleerimist ehk automaatset tundlikkuse kontrolli (lühendatult ATK). Elektronide vool on välisvooluringis diodi anoodilt katoodile, seepärast tekib takistuse  $R$  —  $a$ -pooltsel otsal negatiivne pingelangus, mida võikski juhtida kõrgesageduslambi võrele (joonisel 257 punktiirjoonega näidatud). Tegelikult see pinge pole vahetult ATK jaoks veel kohane, kuna ta muutub modulatsiooni rütmis. Modulatsiooni mõju



Joon. 257.

hävitamiseks kasutatakse mahtuvusest  $C_1$  ja takistusest  $R_1$  koosnevat erilist filtrit-silujat.  $C_1$  ja  $R_1$  suurused valitakse nii, et nende ajakonstant  $T^*$  oleks umbes 0,1—0,2 sekundit. Sellise seadise tõttu mõjub eelpingestamata kõrgesageduslambile ainult kandevasageduse õgvendamisest saadud pinge, s. o. alalispinge, mille suurus on sõltuv kandevasageduse amplituudist, seega väljatugevusest. Kui väheneb saatja väljatugevus, väheneb ka automaatselt diodis õgvendatud kõrgesagedusliku voolu amplituud, ning seetõttu ka negatiivse eelpinge suurus; kõrgesageduslambi tööpunkt nihkub paremale, põhjustades võimenduse suurenemist. Kui väljatugevus suureneb, siis sellest tingitult suurenevad ka silutud voolu tugevus ja automaatse tundlikkuse reguleerimispinge; kõrgesageduslambi tööpunkt nihkub seetõttu vasakule ja lambi võimendus (resp. tundlikkus) väheneb.

Kirjeldataud viisil on võimalik kõrgesagedusvõimendaja lampide\*\* tööpunkte automaatselt nihutada, mistõttu diodile mõjuvad kõrgesageduse amplituudid on mitmesuguste vastuvõtivate väljatugevuste juures enamvähem ühtlased. Kui näiteks feedingu tõttu väljatugevus nõrgeneb, siis väheneb reguleerimispinge ja kõrgesagedusvõimendus kasvab; väljatugevuse kasvades toimub see ümberpöörduvalt. Tavaliselt ühe kõrgesagedusastme puhul pole ATK veel küllaldane, vaid on nõutav rohkem astmeid.

Automaatse reguleerimispinge suurus sõltub peamiselt vastuvõtja eelvõimendusest. Kuid selle suurust on võimalik ka soovikohaselt vastuvõtjas määrata. Kõige lihtsamalt on see teostatav kui  $R$ -iks (joon. 257) kasutada potentsiomeetrit. Kui  $R$  osad  $a$  ja  $b$  valida vahekorraga 1:1, siis  $R$  keskpunkti võetav reguleerimispinge on pool takistuses  $R$  tekkivast pingelangusest; kui  $a : b = 2 : 1$ , siis reguleerimispinge on üks kolmandik  $R$ -il tekkivast pingelangusest, jne.

Praktilistest kaalutlustest tingitult valitakse  $R$  umbes 0,1—1 M $\Omega$  ja  $C$  umbes 50—200 pF. Et  $R$  moodustab diodile koormustakistuse, siis selle liiga suure või väikese suuruse puhul ilmnevad diodis märgatavad moonutused.  $R_1$  suuruse võib valida 0,5—2 M $\Omega$ . Valitud  $R_1$  suurusest sõltub ka  $C_1$  suurus, et saada nõutavat ajakonstanti  $T$ .  $T = C_1 \cdot R_1$ , kus  $C$  on  $\mu$ F-tes ja  $R$  — M $\Omega$ -des. Kui näit.  $R_1 = 1$  M $\Omega$  ja  $C = 0,2$   $\mu$ F, siis  $T = 0,2$  sekundit.

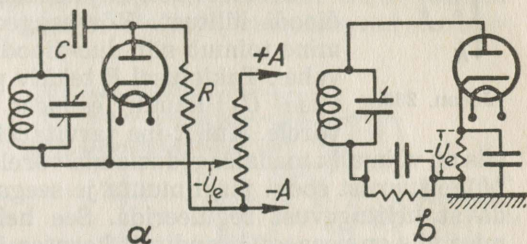
\* Aeg, mille kestel kondensaator takistuse kaudu lahendub.

\*\* Ka vahesagedusvõimendaja ja muunduslambi.

Kui  $T$  valida 0,2 sekundist suurem, siis kõrgesageduslam-pide reguleerimispinge püsib suurte väljatugevuste tagajärjel kaua negatiivne ja ATK töötab seetõttu aeglaselt. Kui  $T$  valida väga väike, siis ATK töötab liiga kiiresti, sisaldades ka modu-latsiooni mõju, mis põhjustab helirikkeid.

Õigete  $R$ ,  $C$ ,  $R_1$  ja  $C_1$  suuruste valiku puhul ATK töötab laitmatult ja reguleerimispinge mõjub tavalise eelpingena, mille suuruse muu-tused olenevad ainult väljatugevuse muutumisest.

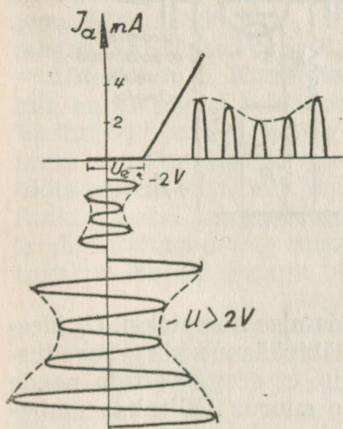
Diiodi eelpin-gestamisega on võimalik muuta diiodi virgutusläve. Kui näiteks anda diiodi anoodile ka-toodi suhtes nega-tiivset eelpinget,



Joon. 258.

joonistel nr. 258 a või 258 b kujutatud viisil, siis diiod reageerib neile kõrgesageduspinge amplituudidele, mille väärtused

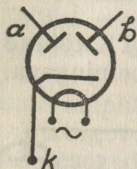
on suuremad kui eelpinge. Tavaliselt valitakse eelpinge suurus sõltuvalt kohaliku häirevälja tugevuse poolt tekitatud ja diiodile mõjuvast häirivpinge suurus-st. Olgu näiteks diiodil koha-liku häirevälja pinge 2 volti, siis see ei kutsu esile õgvendamist, kui diiodi eelpinge on samuti 2 volti. On vastuvõetava välja-tugevuse poolt tekitatav pinge 2 voldist suurem, siis reageerib sellele diiod (joon. 259). Eel-pingestatud diiodis väheneb küll tundlikkus, kuid kõrvaldub häi-revälja mõju. Eelpingestamisega pole küll võimalik häiretest täie-likult vabaneda, kuna häired võivad mõnikord seevõrra tuge-



Joon. 259.

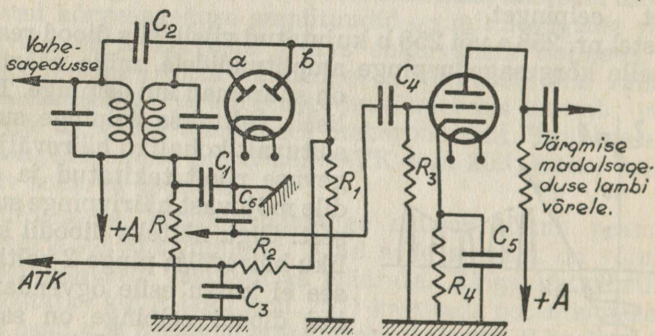
vad olla, et nende jaoks eelpingestatud diiod muutub ka vastu-võetavate saatjate väljatugevuste vastu kas osaliselt või täie-likult tummaks.

Sageli kasutatakse diodi asemel nn. kahekordset ehk duodi (joon. 260), mis tavalisest diodist erineb sellega, et evib kaks anoodi  $a$  ja  $b$ . Tavaliselt neist ühte, näiteks  $a$ , kasutatakse kõrgesagedusvoolude õgvendamiseks ja järgneva madalsagedusastme tüürimiseks, kuna teist diodi anoodi  $b$  — automaatse reguleerimispinge tekitamiseks.



Joon. 260.

Joonisel 261 kujutatakse põhimõttelist duodi lülitust. Kõrgesagedusvoolude õgvendamine toimub siin duo-diodi anoodi  $a$  ja katoodi vahel. Takistus  $R$  tekkiv pinge kandub mahtuvuse  $C_4$  kaudu esimese madalsageduslambi võrele. Kui  $R$ -ina tarvitatakse potentsiomeetrit, siis on võimalik madalsageduslambi võrele juhivat tüürimispinge suurust soovi järgi muuta ja seega valjuhääldajas saadavat helitugevust reguleerida. See helitugevuse reguleerimise viis on peaaegu eranditult kasutamisel vastuvõtjais, kus detektorina tarvitatakse diodi. Mahtuvus  $C_1$  kuulub, nagu



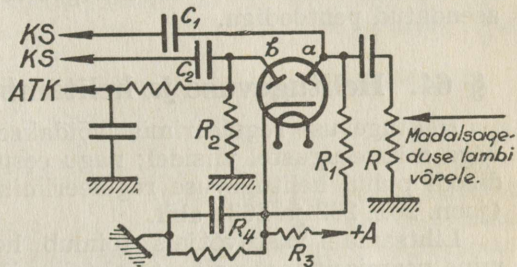
Joon. 261.

$R$ -gi, kõrgesageduse voolude õgvendamise kompleksi.  $C_6$  ülesandeks on diodist õgvendamatult läbipääsnud kõrgesageduslike voolude ärajuhtimine katoodile, et seega vältida nende pääsemist madalsagedusossa; selle suurus valitakse umbes 50—200 pF.  $R_3$ ,  $R_4$  ja  $R_5$  abil toimub madalsageduslambi eelpingestamine tavalises korras (vt. § 57). Duo-diodi anoodi  $b$  kasutatakse automaatse reguleerimispinge soetamiseks. Selleks juhatakse mahtuvuse  $C_2$  (umbes 25—100 pF) kaudu kõrgesageduslik pinge harilikult eelmise lambi anoodringist (transf. primaarmähisest) diodi anoodile  $b$ . Õgvendatud vool

moodustab vooluringi takistuse  $R_1$  kaudu, mille suurus valitakse 0,5—1 M $\Omega$ . Takistuse  $R_1$  anoodipoolselt otsast, mis katoodi suhtes negatiivne, võetaksegi reguleerimispinge (ATK), mille ajakonstandi määravad  $R_2$  ja  $C_3$  suurused.

\* \* \*

Duo-diodi kasutatakse ka nn. viivitatud ehk aeglustatud automaatseks eelpingestamiseks (aeglustatud ATK), millist lülitust kujutatakse joon. 262.  $C_1$  ja  $R_1$  moodustavad siin kõr-  
gesageduse õgven-

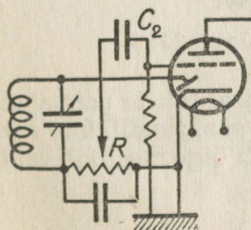


Joon. 262.

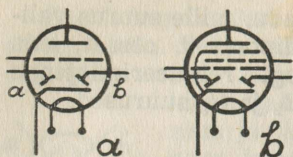
Kui näit.  $U$  (+ $A$ , joon. 262) on 300 V,  $R_3$  on 180 K $\Omega$  ja  $R_4$  on 20 K $\Omega$ , siis pingelangus takistustel  $R_3$  ja  $R_4$  on vahekorras 9 : 1, sest  $R_3 : R_4 = 180 : 20 = 9$ . Kuna pingelangus takistusel  $R_4$  on 30 volti, siis on ka anood  $b$  katoodi suhtes 30 V võrra negatiivsem. Vastuvõtul peab  $C_2$  kaudu anoodile  $b$  juhutama 30 voldist suurema amplituudiga kõrgesageduslikku pinget, et saada ATK töötamiseks vajalikku reguleerimispinget. Seepärast ATK ei funktsioneerigi nõrgemate signaalide puhul ja kõrgesageduslambid töötavad täie tundlikkusega; alles siis, kui signaalide tugevus ületab teatava piiri, algab ATK tegevust. Viivitus-

pinge suurus on vabalt valitav  $R_3$  ja  $R_4$  vahekorraga, samuti positiivse pinge  $A$  suurusega. Kui  $R_3$  ja  $R_4$  asendada potentsiomeetriga, siis on ATK tegevusse astumise piir hõlpsasti reguleeritav.

On kasutamisel elektronlambid, mis koosnevad diod- ja triood-süsteemist, nn. dioodtriood (joon. 263). Selles lambis kõrgesagedus õgvendatakse diood-osas, ning õgvendatud pinge kantakse takistuselt  $R$ , mahtuvuse  $C_2$  kaudu



Joon. 263.



Joon. 264.

triiod-osa võrele. Siin triiod-osa töötab nagu tavaline madalsagedusvõimendaja. Praegu kasutatakse sageli duo-diod-triiodi (joon. 264 a). Selle lambi üht diodi anoodidest kasutatakse tavaliselt detektorina, teist anoodi ATK teostamiseks ja triiod-osa madalsagedusvõimendajaks.

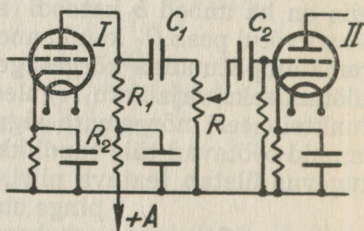
Peale selle esineb veel duo-diod-pentood (joon. 264 b), mis eelmisest lambist erineb sellepoolest, et siin on triiod-osa asendatud pentoodiga.

## § 64. Helitugevuse ja helitämbri reguleerimine.

Helitugevuse reguleerimist võidakse praktiliselt teostada väga mitmesugustel viisidel; nagu eespool mainitud, toimub diodi puhul helitugevuse reguleerimine diodi takistuse  $R$  (joon. 261, 262 ja 263) abil.

Lihtsamais vastuvõtjais toimub helitugevuse reguleerimine peamiselt tagasiside (reaktsiooni) ja antenni sidestuse muutmise teel.

Suuremais vastuvõtjais (kus puudub diod) kasutatakse potentsiometri printsiipi kas antennisidestuse, kõrgesageduslambi eelpinge või madalsagedusosas tüürimispinge reguleerimiseks. Potentsiomeetrit madalsagedusosas kujutab joon. 265. Siin I madalsageduslambi anoodringis, takistusel  $R_1$  tekkiv madalsageduslik pinge, moodustab voluringi  $C_1$  ja  $R$  kaudu. Libiseva kontakti asendi muutmiselega on võimalik muuta ka  $C_2$  kaudu II lambi võrele juhitava tüürpinge suurust.



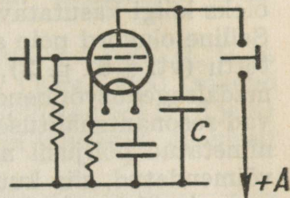
Joon. 265.

Üldiselt tuleb helitugevuse reguleerimisel tähele panna, et selle all ei kannataks vastuvõtja selektiivsus, tundlikkus ega helitämbri. Seepärast pole küllaldane ainult õige meetodi, vaid ka üksikosade elektriliste suuruste valik.

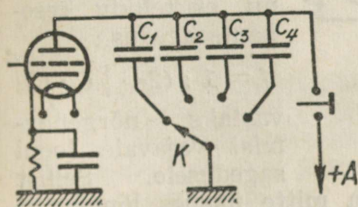
\* \* \*

Võimenduslampide omaduste tõttu võivad neis tekkida 2-ne harmooniline (trioidis) ja 3.-s harmooniline (pentoodis). Seega sisaldab kuuldav heli sageli ebasoovitavaid kõrgeid toone, mis põhjustavad helirikkeid ebaloomupärase tämbri näol. 2-ne harmooniline ei häiri kõrva siiski seevõrra kui 3.-s harmooniline võrdse moonutusprotsendi puhul.

Lihtsaima abinõuna, nendest kõrgematest toonidest vabanemiseks, lülitatakse valjuhääldajale (resp. telefonidele) rööbiti vastava suurusega mahtuvus  $C$  (joon. 266).  $C$  kaudu juhitakse osa kõrgemaid toone põhjustavaist vooludest, valjuhääldajast mööda, sest  $C$  moodustab kõrgematele sagedustele palju väiksema takistuse kui valjuhääldaja mähise induktiivsus. Seega valjuhääldajas kuuldav heli evib rohkem madalamat tooni ja tundub loomulikumana. Liiga suure  $C$  mahtuvuse puhul muutub helitämbr liiga madalatooniliseks (lamedaks), mistõttu ilmnevad jällegi moonutused.

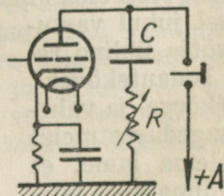


Joon. 266.



Joon. 267.

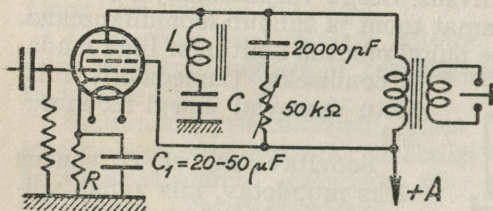
suurused kõiguvad, vastavalt olukorrale 3000—50 000 pF. Joon. 267 kujutatud lülituse juures toimub reguleerimine suurte hüpetena. Suurema pidevuse saavutamiseks vajaneks palju kondensaatoreid. Seepärast pideva reguleerimise võimaldamiseks on praktikas levinud lülitus (joonis 268), kus kasutatakse mahtuvust  $C$  ja reguleeritavat takistust  $R$  järjestikku.  $C$  suuruseks valitakse tavaliselt 20 000—40 000 pF ja  $R$  umbes 20 000—50 000  $\Omega$ . Vähendades  $R$  suurust, väheneb  $R$  ja  $C$  üldine takistus ja helitämbr muutub madalatooniliseks ning vastupidi. Ühtlasi on tämbri reguleerimine takistuse abil soo-



Joon. 268.

vitav veel seetõttu, et kõrgemate helisageduste mahašuntimine toimub paindlikumalt kui ainult mahtuvuse puhul.

Nagu eespool mainitud, on laitmatu heli ülekande saavutamiseks vajalik, et võimenduse suhet iseloomustav kõver oleks kõigi kasutatavate helisageduste piirides sirgjooneline. Selline olukord pole alati saavutatav lineaarsete moonutuste tõttu (vt. § 61 p. 2), mille teatavasti põhjustavad peamiselt madalsagedusvõimendaja üksikosades ilmnevad ebasoovivad resonantsnähtused. Kui näiteks sagedus 1000 Hz on eelnimetatud põhjusil naabersagedusist suhteliselt palju enam võimendatud, siis kuulub ka vastav toon teistest üle karjuvana ja ülekande loomupärasus on rikutud. Sellised domineerivad sagedused tehakse vastavate mõõtmiste abil kindlaks ja nende mõju hävitamiseks kasutatakse erilisi filtreid, mis mõjuvad pingerezonantsi põhimõttel. Joonisel 269 kujutatakse ühte sellist filtrit. Ta koosneb madalsageduspaispoolist  $L$  ja sellele järjestikku lülitatud kondensaatorist  $C$ , millede suurused valitakse nii, et tekivad resonantsisagedus



Joon. 269.

list  $L$  ja sellele järjestikku lülitatud kondensaatorist  $C$ , millede suurused valitakse nii, et tekivad resonantsisagedus

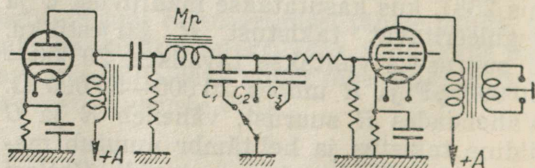
$$f = 1 : (2\pi \cdot \sqrt{C \cdot L})$$

vastaks nõrgendamist vajavale tooni sagedusele. Sellist

summutusfiltrit võidakse kasutada mitte üksnes lõplambi järel, vaid ka eelastmes, kus segav sagedus on avastatud. On soovitatav säärasele filtrile lülitada järjestikku takistus, mille suurus valida nii, et filter ei hävitaks täielikult resonantsisagedust ja sellele naabruses olevaid sagedusi, vaid vähendaks ainult vajalikel määral.

Sageli on soovitatav, et ülekantavate helisageduste piirkond ehk riba oleks madalsagedusosas reguleeritav. Muidugi peab

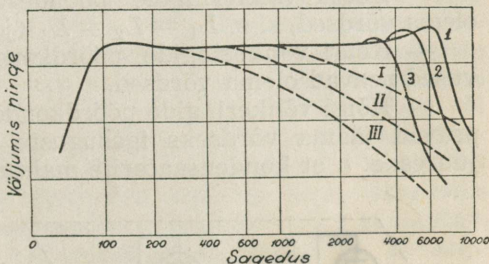
sel juhul vastu võtja üldine resonantskõver (kõrge- ja vahe-sagedusastmeis) olema lame, et võimaldada laiemat kõrgesage-



Joon. 270.

dusriba (näiteks 12 kHz) vastuvõttu. Säärase madalsagedusseadme põhimõttelist lülitust kujutab joonis 270. Koos riba laiuse reguleerimisega, kondensaatorite  $C_1$ ,  $C_2$  ja  $C_3$  ümberlülitamise teel, toimub siin ka helitämbri muutumine.

Joonisel 271 kujutatakse kriipsutatud joontega (I, II ja III) lihtsa helitämbri\* reguleerijaga (joon. 268) saadud madalsageduse muutumise kõveraid ja täisjoontega (1, 2 ja 3) joonisel 270 kujutatud lülitusega saadud kõveraid. Jooniselt nähtub, et tavalise helitooni reguleerimise juures on madalsageduslik võimendus (väljumispinge) normaalse helisagedusriba 4,5 kHz (s. o. pool moduleeritud kõrgsagedusribast) piirides ebaühtlane.



Joon. 271.

Seevastu joon. 270 kujutatud seadmega saavutatakse ühtlane madalsagedusvõimendus, kusjuures sõltuvalt  $C_1$ ,  $C_2$  ja  $C_3$  suurustest on ribalaius ka reguleeritav (näiteks kuni 6 kHz-ni). On  $C$  suurus vähem, siis on ribalaius kõrgemate toonide piirides suurem (kõver 1) ja vastupidi. Vastavate  $Mp$ ,  $C_1$ ,  $C_2$  ja  $C_3$  (s. o. summutusringi) suuruste juures evib ülekantav helisageduslik riba joonisel 271 kõveratel kas 1, 2 või 3 näidatud kuju.

Selline madalsageduslik ribalaiuse reguleerimine aitab ühtlasi suurendada ka vastuvõtja üldist selektiivsust.

Kõrgekvaliteetseis madalsagedusvõimendajais sageli ollakse sunnitud tarvitusele võtma eri nn. toonikorrektsiooniastet. Selle keskmine võimendus mõnikord ei ületa 1-te, kusjuures aga nõrkadeks osutunud helisageduse ribad vajaduse kohaselt suuremal või vähemal määral üles paisutatakse ja liigsed resonantskohad alla surutakse. Igal juhul tuleb arvestada, et üks aste suudab korrigeerida sagedusi suhteliselt ainult niipalju, kui võimaldavad tema võimendusomadused.

\* Nim. ka kõlavärvija.

## § 65. Ühenupuhäälestus.

Mitme võnkeringiga otse- ja supervastuvõtjate juures on suurima tundlikkuse ja selektiivsuse saavutamiseks nõutav võnkeringide täielik kokkujooks ehk ühtivus.

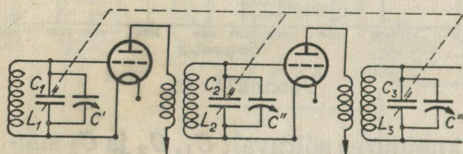
Moodsais vastuvõtjais kasutatakse nn. ühenupusüsteemi, kus kõik võnkeringid häälestatakse korraga, üheainsa häälestusorgani abil. Täpse kokkujooksu tagamiseks esitatakse siin võnkeringide üksikosade elektrilistele suurustele järgmised kindlad nõuded:

— Kõigi võnkeringide poolide induktiivsused peavad olema võrdsed, s. o.  $L_1 = L_2 = L_3$  (joon. 272).

— Kõigi võnkeringide pöördkondensaatorite algmahtuvused peavad olema võrdsed.

— Kõigi võnkeringide pöördkondensaatorite mahtuvused peavad jääma võrdseks igasuguste rootori pöördenurkade juures, s. t. et kondensaatorite mahtuvuste muutumise kõve-  
rad peavad ühtima.

Võnkeringide induktiivsuste ühtlustamine on hõlpus vastavate mõõteriistadega. Nende puudumisel tuleb poolid valmistada piinlikult samamõõtelised.



Joon. 272.

Korralikkude tulemuste saavutamiseks on vajalik, et kasutatavad mitmekordsed kondensaatorid oleksid ehituselt esmaklassilised. Nende üksikkondensaatorite mahtuvuste lahkumine ei tohi ületada 1%. Võnkeringi ümbruses asetsevad metallesemad, juhtmestik jne. lisandavad igale võnkeringile teatava lisamahtuvuse, mis põhjustab võnkeringide algmahtuvustes lahkuminekuid. Algmahtuvuste ühtlustamiseks on tavaliselt iga üksiku häälestuskondensaatori külge ehitatud ja viimasega rööbiti lülitatud nn. trimmer (joon. 272  $C'$ ,  $C''$ ,  $C'''$ ). Trimmer kujutab endast väikest kruvi abil reguleeritavat kondensaatorit, mille lõppmahtuvus on umbes 30—60 pF.

Trimmeritega häälestatakse laineastmiku alguses kõik võnkeringid ühele ja samale algsagedusele, näiteks 1500 kHz. Kui häälestuskondensaatorite mahtuvuste muutmisel mõne pöördenurga juures ilmneb võnkeringide sagedustes lahkumine, siis ühtlustatakse need kondensaatorite rootorite äärmiste plaatide murdmisega. Tavaliselt on need plaadid sel-

leks varustatud vastavate sektoritega. Otsevastuvõtjate juures on võnkeringide ühtlustamine võrdlemisi lihtne.

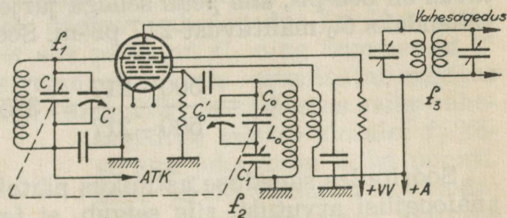
Supervastuvõtjate juures on eelmainitud toiming hoopis komplitseeritud, sest siin on peale võnkeringide tavalise kokkujooksu veel nõutav vastuvõetava sageduse  $f_1$  ja ostsillaatorsageduse  $f_2$  vastastikune püsivus, kuna nende sageduste vahe annab vahesageduse  $f_3$ . Seepärast peab ka vahesagedus häälestuskondensaatorite igasuguse pöördenurga juures jääma konstantseks, mis pole enam nii lihtsalt teostatav.

Selle läbiviimine oleks küll hõlpsam sageduskondensaatorite kasutamisel, kusjuures vastavalt vahesagedusele võiks kondensaatorite rootoreid ühisel võllil üksteise suhtes nihutada. Kui näiteks vastuvõtu-häälestusringide kondensaatorite rootorid asuvad teatava pöördenurga juures, siis ostsillaatori rootor asuks teistest teatava pöördenurga võrra kas ees või taga. Seega jääks nõutav sageduste diferents pidevalt püsivaks kondensaatorite igasuguste pöördenurkade juures. Et sageduskondensaatorid tarvitavad plaatide kuju tõttu suuremat ruumi, siis on see moodus praktiliselt vähe kasutatav. Praegu kasutatakse häälestuskondensaatoriteks peaaegu eranditult võrdsemahtvuslikke logaritmilise löikega kondensaatoreid, millede mahtvuslik tolerants (erinevus) ei ületa 0,5%.

Ühesuuruse ehk püsiva vahesageduse saamiseks kogu laineastmiku piires tuleb supervastuvõtja vastuvõtu- ja ostsillaator-võnkeringide dimensioneerimisel talitada järgnevate põhimõtete kohaselt. Lihtsuse mõttes on vaadeldav vastuvõtja ainult ühe vastuvõturiniga (joonis 273).

Ostsillaatorvõnkering koosneb häälestuskondensaatorist  $C_0$ , mis  $C$ -ga ühisel võllil, ja poolist  $L_0$ .  $C'$  ja  $C_0'$  on vastavad trimmerid. Ostsillaatorvõnkeringi on lülitatud veel vajalik lühendus-kondensaator  $C_1^*$ .

Ostsillaatorvõnkeringi võiks dimensioneerida järgmiselt. Olgu näiteks vastuvõetav sagedus  $f_1 = 1500$  kHz ja vahesage-



Joon. 273.

\* Nimetatakse sageli ka padinguks ehk padingkondensaatoriks.

duš  $f_3 = 460$  kHz. Kuna on soovitatav, et ostsillaatorsagedus  $f_2$  oleks suurem vastuvõetavast sagedusest  $f_1$ , siis  $f_2 = f_1 + f_3 = 1960$  kHz. Selle ostsillaatorsagedusele ja kondensaatori  $C_0$  algmahtuvusele  $C = 50$  pF vastavalt leitakse Thomsoni valemi abil vajalik ostsillaatorpooli induktiivsus —  $L_0$ .

$$f_2 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{C_0 L_0}} \text{ ja } L_0 = \frac{1}{(2\pi \cdot f_2)^2 \cdot C_0} = \\ = \frac{1 \cdot 10^{12}}{(2 \cdot 3,14 \cdot 1960000)^2 \cdot 50} \cong 0,125 \text{ mH.}$$

Seega ostsillaatorpooli induktiivsus peab olema 0,125 mH, mis vastuvõtu pooli induktiivsusest on väiksem (vastuvõtu pooli induktiivsus 1500 kHz sageduse ja  $C_0 = 50$  pF juures, on 0,22 mH).

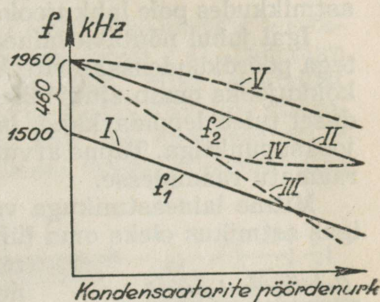
Kui võtame vastu saatejaama tööd, mille sagedus on 500 kHz, siis ostsillaatorringi sagedus  $f_2$  peaks olema  $f_1 + f_3 = 500 + 460 = 960$  kHz. See sagedus pole võnkeringiga  $L_0 C_0$  ilma lühenduskondensaatori  $C_1$ -ta saavutatav. Lühenduskondensaatorita mõjuks võnkeringi kondensaatori lõppmahtuvus 500 pF ja saadav sagedus  $f_2$  oleks nõutavast 960 kHz-st väiksem.  $C_0$  lõppmahtuvus peaks olema sel puhul 217 pF (nõutav  $C_0 = \frac{1}{(2\pi \cdot f_2)^2 L_0}$ ), et saada 0,125 mH induktiivsusega pooli juures —  $f_2 = 960$  kHz. Et  $C_0$  lõppmahtuvus on 500 pF, siis peab sellega järjestikku lülisma  $C_1$ , mis vähendaks  $C_0$  mahtuvust 217 pF-ni. Seega

$$C_1 = \frac{500 \cdot 217}{500 - 217} = 385 \text{ pF}$$

Sooritades sageduse astmikus näiteks 1500—500 kHz rea analoogilisi arvutusi, siis selgub, et iga vastuvõetava sageduse juures, on nõutav isesugune  $C_1$  mahtuvuse suurus, et sageduste  $f_1$  ja  $f_2$  vahe annaks nõutava vahesageduse  $f_3$ , mis peab igal juhul võrduma 460 kHz-ga, et oleks tagatud võnkeringide vajalik kokkujooks.

Kui  $C_1$  jääb muutmatuks (385 pF), siis võnkeringide kokkujooks ilmneks ainult vastuvõetavate sageduste 1500 ja 500 kHz juures. Kui joonisel 274 tähistaks täisjooned I ja II sageduste  $f_1$  ja  $f_2$  muutumist, sõltuvalt kondensaatorite roo-

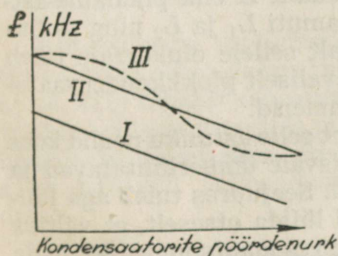
torite pöördenurgast, siis oleks  $f_3$  suurus pidevalt 460 kHz. Kuna aga  $C$  ja  $C_0$  on võrdmahtuvuslikud, siis tegelikult ( $L_0$  on väiksem kui  $L$ )  $f_1$  ja  $f_2$  suuruste muutumine ei toimu rööbiti, vaid  $f_2$  muutuks näiteks katkendilise joone III järgi; seega oleks vahesagedust 460 kHz võimalik saavutada vaid pöördkondensaatrite algmahtuvuste juures. Kui võtta abiks trimmerid  $C'$  ja  $C_0'$  ning selliselt, et näiteks nõutava  $f_3$  saamiseks  $C_0'$  on minamaalsele ja  $C'$  maksimaalsele algmahtuvusele reguleeritud, siis  $f_2$  muutuks joone V järele ja vahesagedus oleks jällegi saavutatav kondensaatrite algasendis. Kui



Joon. 274.

lühendus-kondensaatori  $C_1$  mahtuvus jääb konstantseks (385 pF), siis  $f_2$  muutuks näiteks kõverjoone III ja IV järgi ja vajalik  $f_3$  on saavutatav  $C$  ja  $C_0$  alg- ja lõppmahtuvuste juures, seega kahes kondensaatrite asendis. Et otsillaatorringi sagedus  $f_2$  muutuks II kõvera järgi, selleks tuleks alati  $C_1$  mahtuvust vastavalt häälestuskondensaatrite igale seisule järele reguleerida. See toiming on võrdlemisi tülikas ja ei leia praktikas kasutamist.

Praktiliselt valitakse trimmerite ühesuguse mahtuvuse juures (tavaliselt trimmerite mahtuvuse keskmine väärtus) ning kondensaatrite keskmise pöördenurga juures  $L_0$  suurus niisugune, et saadakse nõutav vahesagedus  $f_3$ . Kui nüüd lühendus-kondensaatrit ehk padingut  $C_1$  ning trimmereid  $C'$  ja  $C_0'$  vastavalt järele reguleerida, siis otsillaator-sagedus muutuks kõvera III järgi (joon. 275) ja häälestus eviks vahesageduse mõttes ideaalse  $f_2$  kõveraga juba kolm ühist punkti.



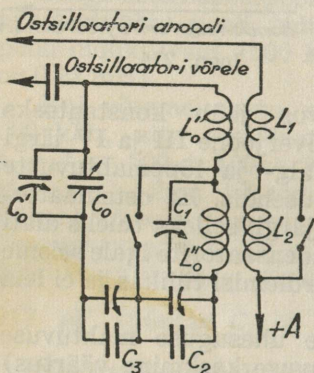
Joon. 275.

Selle järele painutatakse vastavalt kogu astmiku ulatuses kondensaatrite  $C$  ja  $C_0$  rootrite äärmisi plaate, mis võimaldab kõvera III kuju muuta nii, et ta peaaegu ühtub ideaalse kõveraga II. Seega on saavutatud praktiliselt küllaldane kokkujooks kogu sageduse või laineastmiku ulatuses.

See kokkujooksu taotlemismeetod võimaldab teoreetiliselt täpset kokkujooksu ainult kolmes punktis. Kui võnkeringide üksikelemendid on õieti arvutatud, siis kesk- ja pikalaineastmikkudes pole lahkujooksud kuigi suured.

Igal juhul nõutava laineastmiku katmiseks antud suurus- tega pöördkondensaatorite kompleksi puhul säärane 3 punkti kokkujooks omab ainult ühe õige lahenduse. Ebaõigel lahendusel tuleb leppida kahe, halvemal juhul ainult ühe kokkujooksupunktiga. Täpne arvutusmeetod ei kuulu aga käesoleva raamatu raamidesse.

Mitme laineastmikuga vastuvõtjate juures on vajalik, et igas astmikus oleks oma lühendus-kondensaator ehk pading, mille suurus arvutatakse igale astmikule eraldi ja mis laineastmiku muutumisel oleks ümberlülitatav (joon. 276).



Joon. 276.

Joonisel 276 on  $L_0'$  ühe laineastmiku ja  $L_0''$  teise astmiku ostsillaator-poolid,  $L_1$  ja  $L_2$  neile vastavad tagasisidepoolid.  $C_0$  on ostsillaatorvõnkeringi häälestuskondensaator ühes trimmeri  $C_0'$ -ga. Tavaliselt toimub esialgne häälestamine astmikus 1500—500 kHz (200—600 m). Harilikult osutub tarvilikuks 350—150 kHz piirkonnas lülitada poolile  $L_0''$  veel rööbiti trimmer  $C_1$  (joon. 276), mis võimaldab  $L_0''$  täpsemat kohandamist

vastuvõtu-võnkeringiga. Nagu jooniselt näha, lülitatakse 350—150 kHz astmikus lühendus-kondensaatoriga  $C_2$  esimese lühendus-kondensaatoriga  $C_3$  järjestikku. I astmikku kasutades ühendatakse  $L_0''$ ,  $L_2$  ja  $C_2$  lühidalt. II ehk pikalaine-astmikuga vastuvõtul on  $L_0'$  ja  $L_0''$ , samuti  $L_1$  ja  $L_2$  ning padingud  $C_2$  ja  $C_3$  järjestikku. Vastavalt sellele olukorrale tuleb valida ka  $C_2$  suurus.  $C_2$  ja  $C_3$  on tavaliselt plokk-kondensaatorid, milledele lülitakse rööbiti trimmerid.

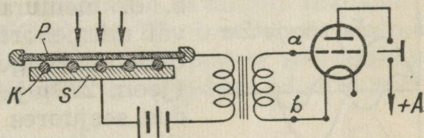
Lühilainete juures on soovitatav, et selle astmiku poolid koos padingutega oleksid täiesti iseseisvalt ümberlülitatavad ja teistest poolidest eraldi varjestatud. Seejuures tuleb aga lülitamisel vabaks jäävad võnkeringid lülida otseselt, et vältida ostsilleerimise katkemist võimalikel resonantspunktidel, mida tekitavad vabaksjäänud poolid enda sisemahtuvusega.

### XIII. MIKROFONID.

#### § 66. Üldpõhimõtteid.

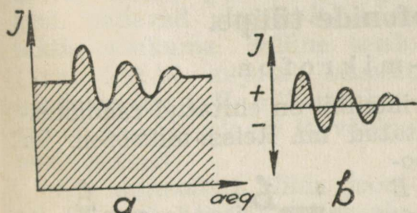
Helienergia abil, sellele vastava elektrilise energia tekitamiseks kasutatakse teatavasti mikrofoni (vrdl. § 47). Lihtsaim mikrofoni põhjendab söekontakti omadusil, mille elektrilist takistust on võimalik muuta õhusurve mõjul. Tavaline mikrofoni koosneb enamasti söeplaadist ehk nn. membraanist  $P$  (joon. 277), mis asetub söekuulikeste vastu. Söekuulikesed omakorda asetsevad nn.

söekarikas  $S$ . Kui mikrofoni membraani ees näiteks rääkida, siis kõne tõttu vibreeriv õhk vastavas rütmis surub membraani kord tugevamini ja kord nõrgemini söekuulikeste vastu. Et söe pind evib teralist kuju, siis kokkusurumisel membraani ja kuulikeste kokkupuutepind suureneb, surve nõrgenemisel aga väheneb. Kuna juhtme takistus sõltub teatavasti selle ristlõike pinna suurenemisest, siis õhuvõngete mõjul kontakti elektriline takistus kord suureneb ja kord



Joon. 277.

väheneb. Kui selline seade lülida vooluringi, siis muutub rääkimise ajal voolutugevus helisageduse rütmis\* (joon. 278 a). Saadud voolutugevuse muutused on seda suuremad, mida tundlikum on mikrofoni, s. o. mida suuremad on söekontakti elektrilise takistuse muutused.

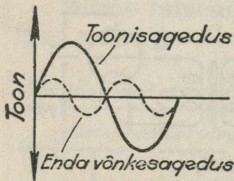


Joon. 278.

Kui sellisesse vooluringi ühendada veel transformator  $Tr$ , siis viimase sekundaarmähise otstel, punktide  $a$  ja  $b$  vahel (joon. 277) ilmneb vahelduvpinge (joon. 278 b), mille sagedus võrdub helisagedusega ja mille amplituudid olenevad mõjunud helilainete tugevusest. Saadud vahelduvvoolu on võimalik soovi kohaselt võimendada tavalises madalsagedusvõimendajas.

\* Täpsemalt, mikrofoni ringis tekitatud vahelduvvoolu energia on võrdeline akustilise helienergiaga.

Mikrofonilt on nõutav suur tundlikkus, s. t. ta peab reageerima õige nõrkadele helidele ja olema ühtlasi moonutusvaba. Moonutused võivad ka siin olla lineaarsed ja ebalineaarsed. Lineaarsed moonutused sõltuvad peamiselt membraani omadustest teatavil sagedusel tugevamini kaasa võnkuda. Viimase asjaolu tõttu pole mikrofone membraani võnkeamplituud kogu ülekantava helisagedusriba ulatuses ühtlane (pole võrdeline helilaine tugevusega). Ebalineaarsusi tekib peamiselt siis, kui mikrofone membraanil on omadus võnkuda veel



Joon. 279.

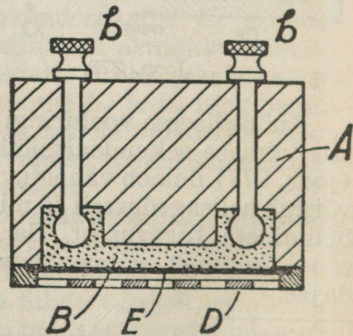
mõjuva heli sagedusest erineva sagedusega, s. o. membraani enda võnkesagedusega või mitmekordse algsagedusega. Kui näiteks tooni sagedus on üks periood sekundis (joon. 279) ja mikrofone enda võnkesagedus seejuures on kaks perioodi sekundis, siis voolumuutused mikrofone vooluringis evivad kaht sagedust — toonisageduse ja mikrofone enda võnkesageduse —, praegusel juhul teise harmoonilise, ja edasiantud heli on moonutatud, s. t. et ta pole enam loomupärane teisend mikrofonisse räägitud helist. Mikrofonide ehitamisel lähtutaksegi eelmainitud põhimõttest, et ta olgu tundlik ja vaba moonutustest.

## § 67. Mikrofonide tüüpe.

### 1. Reissi-mikrofon.

Söekontakti muutumise printsiibil on ehitatud raadiotehnikas võrdlemisi laialt tarvitatud nn. Reissi-mikrofon. Ta koosneb marmorplokest *A* (joonis 280), milles vastav õõnsus *B* on täidetud peene pulbritaolise söepuruga. Söepurusse ulatuvad elektroodid *b—b*. Söepuru vastu on pinguli tõmmatud kummist või vilgukivist membraan *E*, mida väljastpoolt kaitstakse metallist võrega *D*.

Nagu jooniselt nähtub, on elektroodid omavahel ühenduses söepuru kaudu. Mikrofonisse kõnelemisel õõtsub membraan õhu võnkumisele kaasa, liikudes oma



Joon. 280.

normaal-asendist välja nii ühele kui teisele poole. Sellest tingitult muutub söepuru kontakt ja elektriline takistus. Reissimikrofon on võrdlemisi kahinavaba (rahulikus olukorras) ja evib 60—10000 Hz piirides, ühtlase helisurve juures, peaaegu sirgjoonelist tunnuskõverat. Ainult eriti tugevate helilainete amplituudide juures võivad esineda ebalineaarsused.

Tavaliste süsimikrofonidega (telefoniaparaadis esinevad) võrreldes on Reissi-mikrofon tuimem. Tema alalisvoolu takistus (rahulikus olukorras, s. o. kui helilained ei mõju) on umbes 200  $\Omega$  ja teda võidakse koormata umbes 10—20 mA-ga. Moonutuste vältimiseks teda lülitatakse tavaliselt muusikalist ettekannete puhul enne töö algust 15 minutiks voolu alla.

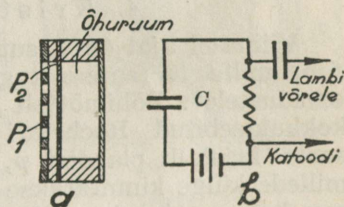
Peale Reissi-mikrofoni leiab süsimikrofonidest veel edukat kasutamist (eriti Ameerikas) nn. kahe kapsliga (double-button) süsimikrofon.

## 2. Kondensaator-mikrofon.

Kondensaator-mikrofon oma töötamise põhimõttelt tugineb elektrostaatiliselle printsiibile. Ta koosneb kahest metallplaadist  $P_1$  ja  $P_2$  (joon. 281 a), mis asetsevad isoleeritult teineteise vastas. Plaat  $P_1$  on tavaliselt augukestega või valmistatud metallvõrgust. Kui rääkida mikrofonisse, siis kõne mõjul õõtsuapandud õhu osakesed, läbides plaadi  $P_1$  augukesi, panevad plaadi  $P_2$  kõne taktis võnkuma. Selline seade (joon. 281 b) kujutab enesest kondensaatorit  $C$ , mille mahtuvus on muutuv plaadi  $P_2$  võnkumiste rütmis.

Kui mikrofonilülida joonisel 281 b kohaselt alalisvooluringi, siis mahtuvuse muutumise tagajärjel muutub ka laengu suurus, mis tekitab takistuse  $R$  otstel kõnesagedusliku vahelduvpinge. Kuna need pinged amplituudid on väga väikesed ja seepärast vahetult raskesti kasutatavad, siis esineb kondensaator-mikrofon peaaegu alati koos (ühtehingatult) eelvõimendajaga, et nõrku kõnesageduslikke voole väljaspool häirivaid ohte võimendada, enne kui need juhitakse vastavasse modulatsiooni seadmesse.

Plaadi ehk membraani  $P_2$  endavõngete vähendamiseks ja ühtlasi selle elastsuse suurendamiseks varustatakse kondensaator-mikrofon kinnise õhuruumiga plaadi  $P_2$  taga, mistõttu

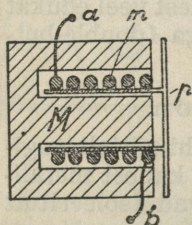


Joon. 281.

lineaarsed moonutused ilmnevad alles sagedustel 15 000 Hz alates. Kondensaator-mikrofon töötab sagedustel 20 kuni 15 000 Hz piires peaaegu moonutusvabalt ja teda kasutatakse väga hea eduga muusika ning kõne ülekanneteks.

### 3. Dünaamiline mikrofon.

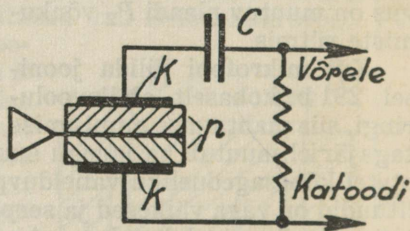
Põhimõttelt dünaamiline mikrofon koosneb magnetist  $M$ , mille pooluste vahel asub liikuv mähis  $m$  (joon. 282). Mähise külge on kinnitatud membraan  $p$ . Kui membraanile rääkida, siis hakkab viimane koos pooliga helitaktis võnkuma, kusjuures pooli keerud lõikuvad magnetvooga. Selle tagajärjel tekib mähise otstel  $a$  ja  $b$  pinge, mida võidakse kasutada kas otseselt või võimendatult moduleerimise otstarbeks. Dünaamiline mikrofon on viimasel ajal eelistatumaid mikrofone, võimaldades täiesti kahinateta ülekannet kogu kuuldava helisageduse ribas, peaaegu moonutusvabalt. Ühtlasi evib ta suurimat tundlikkust võrreldes teiste tuntud mikrofonidega. Ta isegi reageerib kõrvale kuulmata signaalidele.



Joon. 282.

### 4. Kristallmikrofon.

Viimasel ajal on kasutamisele võetud nn. kristallmikrofon, mille töötamine tugineb kristallide piezo-elektriliste omadustele\*. Põhimõttelt kristallmikrofon koosneb kahest kokkukleebitud Rochelle'i soola kristalli plaadist  $p$ , millede külge kinnitatakse membraan (joonis 283). Kristallplaadid asetsevad metallkatete  $k-k$  vahel. Viimased ühendatakse joonise kohaselt võimenduslambi vastavate elektroodidega. Mikrofonisse rääkides helilained panevad membraani kaudu kristalli mehaaniliselt võnkuma, mistõttu kristallile toetuvail metallkatetel tekivad helirütmis muutuvad pinged, mida võidakse



Joon. 283.

\* Vt. lk. 159.

kasutada moduleerimise otstarbeks. Kuna mainitud helisageduslikud pinged on väga nõrgad, siis neid tavaliselt võimendatakse veel vastavas eelvõimendajas.

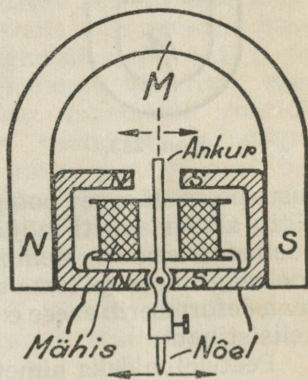
Kristallmikrofoni loetakse oma moonutuste puudumise tõttu ligikaudu võrdseks dünaamilisele printsiiobile põhjelineva mikrofoniga.

## § 68. Elektriline helikarp (pick-up).

Töötamise iseloomult on mikrofonidega väga lähedased heliplaadi ülekannete juures tarvitataavad nn. elektrilised helikarbid. Viimaste juures on membraan asendatud terasnõelaga, mis pannakse võnkuma heliplaadi massi sisse lõigatud helivõngetele vastavate jäljendite abil. Helikarp on seadis, mis nõela kaudu edasiantavad mehaanilised võnkumised peab muutama elektrilisteks, s. o. vastava sagedusega vahelduvvooluks.

Tarvitusel on tavaliselt magnetilised ja kristallhelikarbid. Magnetilise helikarbi põhimõttelist ehitust kujutatakse joonisel 284. Nõela kaudu võnkuma pandud ankrus muutub vastavalt võnkumise sagedusele magnetvoo tihedus ja suund, mistõttu indutseeritakse teda ümbritsevas pooli mähises vahelduv EMJ. Magnetiline helikarp on suuteline üle kandma helisid sagedusega kuni 6000 per/sek.

Kristallhelikarp on levinud eriti viimasel ajal. Ta töötab täiesti kristallmikrofoni põhimõttel ja võimaldab üle kanda helisid kuni 10 000 per/sek. Moodsamaid, kuid praegu veel vähe levinud on dünaamiline helikarp, mis oma omadusilt on moonutusvabam senituntuist.



Joon. 284.

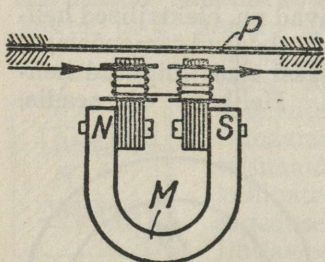
## XIV. VALJUHÄÄLDAJAD.

### § 69. Valjuhääldaja tüüpe.

#### 1. Peatelefonid.

Raadio teel vastuvõetud elektrilise energia muundamiseks helienergiaks kasutatakse peatelefone ja valjuhääldajaid.

Telefoni ehitus ja töötamise printsiip on järgmine (joonis 285): Alalismagneti  $M$  otstele (poolustele  $N$  ja  $S$ ) toetuvad kaks polariseeritud pehmest rauast südamikuga elektromagnetit, millede mähised on keritud vastassuunaliselt. Nende südame



Joon. 285.

mike (pooluste) ees, viimastest mõnevõrra eemal, kinnitub pehmest raudplekist (tavaliselt ringikujuline) membraan  $P$ , mis on tõmmatud alalismagneti mõju tõttu pooluste poole. Kui elektromagnetit läbib selline vahelduvvoolu poolperiood, mis aitab suurendada alalismagneti mõju, siis tõmbub membraan veel suurema jõuga pooluste poole. Järgnev poolperiood mõjub aga vastupidiselt, mistõttu alalismagneti mõju nõrgendatakse ja membraan liigub poolustest eemale. Membraani liikumise sagedus sõltub seega voolusagedusest ja tema amplituud — voolutugevusest. Membraan deformeerib enese ees olevat õhku, tekitades kõrva kaudu heliaistingut.

Peatelefonideks nimetatakse kahte tavaliselt teineteisega järjestikku lülitatud üksikut telefoni, mis on seotud vedru või paela abil peas hoidmiseks.

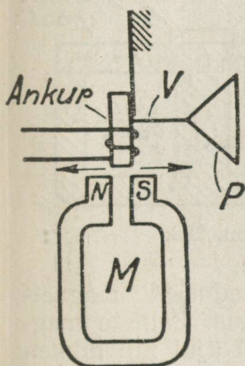
Raadio otstarbeks kasutatavate telefonide mähised on elektronlampidega sobitamiseks valmistatud suure keerdude arvuga ja väga peenest traadist. Normaalselt on peatelefonide oomiline takistus 2000—4000  $\Omega$ .

#### 2. Elektromagnetilised valjuhääldajad.

Vastavalt dimensioneeritud telefon, milles membraani poolt tekitatud õhuvõnked juhitakse ruuporisse, moodustab lihtsaima nn. toru-valjuhääldaja. Sageli kinnitatakse telefoni membraani keskkoha külge metallvardakese ( $a$ ) abil koonusekujuline ja suurepinnaline paberist või mõnest muust kergest aineist valmistatud erimembraan (joon. 286). Nii esimesel

kui teisel juhul esinevad valjuhääldaja membraanis peale elektrivoolu poolt tekitatud võnkumiste veel nn. harmoonilised võnkumised. Sellest järgneb, et ka valjuhääldaja pole vaba moonutustest.

Elektromagnetiline valjuhääldaja on aastate jooksul läbi teinud terve rea arenemisastmeid. Viimasel ajal kasutati nn. vabavõnke-süsteemi, kus konstruktsioonist sõltunud helimootused on suuremalt osalt kõrvaldatud. Vabavõnke-süsteemi juures (joonis 287) on ankur kinnitatud elastse



Joon. 287.

metallehekese külge ja asetseb tugeva alalismagneti  $M$  nabade ees. Kui ankrut ümbritsevast mähisest läbi juhtida muutuva tugevusega voolu, siis muutub koos sellega ankru magnetiline tugevus ja ta hakkab voolu iseloomule vastavalt võnkuma. Kui ankrut mähisesse juhtida vahelduvvoolu, siis vastavalt voolusagedusele muutub ka ankrut otste magnetiline polariteet, mistõttu igal poolperioodil ankrut ots alalismagneti ühe pooluse poolt tõmmatakse ja teise poolt tõugatakse.

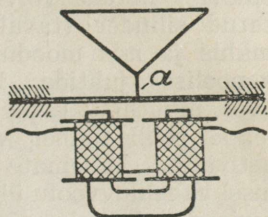
Ankrut külge on kinnitatud elastse metallvardakese  $V$  kaudu valjuhääldaja kooniline membraan  $P$ , mis ankrut võnkumisel tekitab heli.

Kuna vabavõnke-süsteemi juures ankrut ei asu piiratud ruumis (nabade vahel), siis ta evib vaba käiku ka tugevate voolu amplituudide puhul ega põhjusta nn. klirisemist. Ankrut viiakse algasendisse õige nõrga ja elastse vedru abil, mistõttu puuduvad ankrut enda vetruvusest tingitud endavõnkumised.

### 3. Elektrodünaamiline valjuhääldaja.

Kõigile püüetele vaatamata pole läinud korda ehitada täiesti moonutusvaba valjuhääldajat. Küll aga on moonutused suudetud viia miinimumini nn. dünaamilistes valjuhääldajates, mida kasutatakse praegu kõikjal.

Dünaamilise valjuhääldaja töötamise põhimõte seisneb selles, et tugevajõulise magneti pooluste vahel (joonis 288),

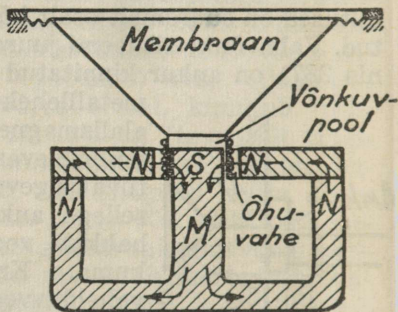


Joon. 286.

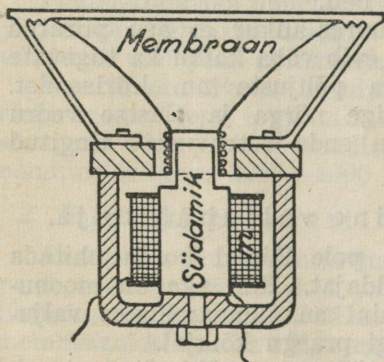
püsiva tugevusega homogeenses magnetvoos, asetseb hästi tsentreeritud ja vabalt üles-alla (alalismagnetvoole risti suunas) liikuda võiv ühest otsast membraani külge kinnitatud silinder (tavaliselt presspapist), millele on keritud mähis ja mis moodustab enesest nn. **võnkepooli**. Kui võnkepoolist juhtida läbi helisageduslikku vahelduvvoolu (või muutliku tugevusega alalisvoolu), siis tekitab viimane pooli ümber vahelduva muutliku tugevusega magnetvälja. Mõlemate magnetiväljade vastastikusel mõjutusel vahelduvvoolu ühe poolperioodi kestel võnkepool koos membraaniga tõugatakse üles ja teise poolperioodi kestel tõmmatakse alla.

Püsiva magnetvoo tekitamise iseloomult elektrodünaamilised valjuhääldajad esinevad kas permanent- või elektromagnetitega.

Permanentmagnetiga valjuhääldaja ehituse põhimõtet kujutab joon. 288. Magnet *M* peab olema eriti tugevajõuline, et tekitada õhuvahes küllaldase tihedusega magnetvoo, millest on valjuhääldaja tundlikkus. Selliste magnetite valmistamiseks kasutatakse viimasel ajal nn. nikkelalumiinium-terast, mis tavalise terasega võrreldes magnetiseerub 5—6 korda tugevamalt.



Joon. 288.



Joon. 289.

Valjuhääldajat, kus kasutatakse elektromagnetit, kujutatakse joonisel 289. Südamikku ümbritseb siin nn. ergutismähis *m*, mida toidetakse alalisvooluga.

Praktikas esinevad mõlemat liiki valjuhääldajad, kusjuures tugevajõulised eriotstarveteks (kinodes, väljakutel jne.) kasutatavad suurejõulised valjuhääldajad on pea-

aegu eranditult ergutusega. See asjaolu näitab, et tegelikult pole veel saadud permanentmagnetiga tekitada elektromagnetile võrdset magnetvoo tihedust\*.

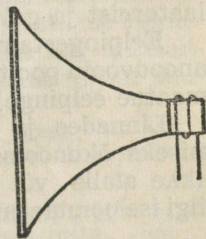
Permanentmagnetiga valjuhääldaja paremused on ergutusega valjuhääldajaga võrreldes:

- ergutusvoolu kokkuhoid,
- „võrgumüra“ vähenemine, kuna ergutuseks kasutatakse tavaliselt pulseerivat (õgvendatud) alalisvoolu.

Tähtsamaid probleeme valjuhääldaja ehituse juures on membraani kuju, selle materjal, suurus, kinnitamis- ja tsentreerimisviis jne. Tavaliselt valmistatakse membraan erilisest immutatud paberist ja ta evib koonuse kuju. Membraani läbimõõdust oleneb asjaolu, milliste helisageduste ülekandmiseks on valjuhääldaja kohasem: mida vähem ja kergem on membraan, seda kõrgemaid helisid on võimalik täiuslikumalt üle kanda; madalate toonide ülekandmine hõlbustub suurepinnaliste membraanidega. Tavaliste siledast paberist valmistatud membraani külgedes tekib sageli töötamisel lainetus, mille otseseks järelدuseks on harmooniliste tekkimine ja ülekande moonutus. Selle vältimiseks püütakse paremate valjuhääldajate juures membraanile anda kas erilist kuju või kindlustada tema pinda mõnel muul viisil, näiteks soonte sissepressimisega. Joonisel 290 kujutatakse erilist kõverapinnalist, nn. navi-membraani.

Dünaamilised valjuhääldajad ehitatakse peaaegu eranditult madalaloomilise võnkepooli mähisega, seepärast on lõpp-lambiga sobitamiseks vajalik kasutada väljumistransformaatorit.

Valjuhääldajalt korralikuks madalamate helisageduste ülekandmiseks on nõutav, et ta eviks enese ees nn. kõlapinda. Kõlapinnana võib esineda vahesein, suurepinnaline (vähemalt 1 m<sup>2</sup>) puust, paksust vineerist, tselloteksist jne. valmistatud kõlapind või küllaldaste mõõdetega kasti (kapi) välispind.



Joon. 290.

\* Väidetakse, et viimasel ajal valmistatavat dünaamilise valjuhääldaja permanentmagnetid, mille õhuvahes väljatihedus ulatub 12 000 gausini.

## XV. RAADIOSEADMETE TOITMINE.

### § 70. Üldpõhimõtteid.

Raadioseadmed vajavad vooluallikaid kolmeks peamiseks ülesandeks:

- lampide kütteks,
- anoodpingestamiseks (anoodringide toitmiseks) ja
- eelpingestamiseks.

Küttevoolu iseloomu määrab peamiselt antud elektronlampi konstruktsioon ja selle kasutamise otstarve. Vastavalt olukorrale tarvitatakse küttevooluks alalisvoolu (saadakse akumulaatoreist, galvani elementidest, masin-generaatoreist ja alaldajaist), pulseerivat voolu (saadakse õgvendajaist ja filtreerimata alalisvoolu masin-generaatoreist) ja vahelduvvoolu.

Anood- ja eelpingestamiseks kõlbab eranditult alalisvool. Anoodvooluallikana esinevad suurte võimsuste juures alalisvoolu masin-generaatorid vastavate filтритеga ja alaldajad; vähemate ja väikeste võimsuste juures — alaldajad, akumulaatoreist ja galv. elementidest koosnevad patareid jne.

Eelpingestamiseks kasutatakse kas eri vooluallikaid või anoodvoolu poolt eri takistustel tekitatud pingelangust (automaatne eelpeing).

Linnades ja asulates kasutatakse raadioseadmete toitmiseks ökonoomsuse ja mugavuse mõttes peamiselt kohalike alalis- või vahelduvvooluvõrke. Vastavalt võrguvoolu liigi iseloomule on kohandatud ka kasutatavad raadioseadmed.

### § 71. Alalisvooluvõrk.

Raadioseadmete toitmiseks kasutatakse normaalselt alalisvooluvõrke, mille pinget on normaliseeritud 110 või 220 volti. Et elektronlampide küttepinge on võrgu üldpingest tavaliselt palju madalam\*, siis tuleb ülearune pinget takistustes  $R_1$  ja  $R_2$  (joon. 291 a, b ja d) hävitada. Küttepinge

$$U_k = U_v - R_1 \cdot I_k - R_2 \cdot I_k = U_v - (R_1 + R_2) \cdot I_k$$

kus  $U_v$  tähistab võrgupinget,  $R_1$  ja  $R_2$  küttejühtmeisse lülitatud takistusi ja  $I_k$  lampi küttevoolu.

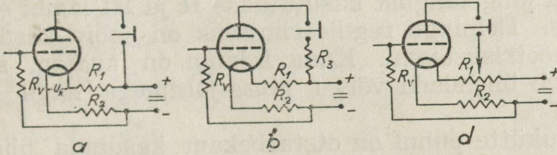
\* Viimasel ajal toodetakse juba võrgupingeliste küttepingetega (näit. 220 ja 110 V) elektronlampe.

**Näide:** Lambi küttepinge on 20 V, võrgupinge 220 V ja küttevoolu tugevus 0,2 A. Leida  $R_1 + R_2$ .

$$R_1 + R_2 = \frac{U_v - U_k}{I_k} = \frac{220 - 20}{0,2} = \frac{200}{0,2} = 1000 \Omega$$

Seega  $R_1 + R_2$  peab olema 1000 oomi, et lampi üle ei köetaks.

Kui soovitakse lampile võrgupingest väiksemat anoodpinget anda, siis tuleb kasutada kas eeltakistust  $R_3$  (joon. 291 b) või potentsiomeetri-lülitust (joon. 291 d).



Joon. 291.

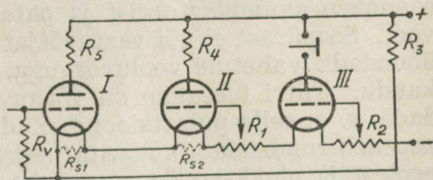
Mitmeastmeliste vastuvõtjate juures võib esineda kaks lampide kütteilülitusviisi: kütteniidid rööbiti või järjestikku. Kuna esimene pole majanduslikult kasulik, siis leiab kasutamist järjestikune lülitusviis. Joonisel 292 kujutatakse kolmelampilise vastuvõtja (audion + 2 madalsagedusastet) toitülülitust. Takistuste  $R_1 + R_2 + R_3$  suurus valitakse nii, et lampid ei köetaks üle ja

$$R_1 + R_2 + R_3 = \frac{U_{võrk} - U_I - U_{II} - U_{III}}{I_k}$$

Kui lampide küttevoolu tugevused pole võrdsed\*, siis väiksema küttevooluga lampide kütteniitudele tuleb lülida rööbiti lisatakidused (šundid)  $R_{s1}$  ja  $R_{s2}$  (joonisel näidatud punktirjoonega).

**Näide:** Olgu näiteks lõpplambi küttevoolutugevus  $I_{III} = 100$  mA ja eelmistel lampidel kummalgi 60 mA. Kui suured on šundid  $R_{s1} = R_{s2}$ , kui I ja II lambi kütteniidi takistused ( $R_s$ ) on  $\approx 80 \Omega$ .

I ja II lambi kütteniite tohib läbida ainult 60 mA. Ülejäänud 40 mA tuleb juhtida läbi šunttakistuste  $R_{s1}$  ja  $R_{s2}$ .



Joon. 292.

\* Esineb harilikult tavaliste patareilampide kasutamisel.

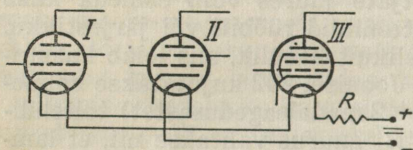
Et haruvoolude tugevused on vastuvõrdelised harutakistustega, siis  $R_{S_1} : R_S = 60 : 40 = 3 : 2$ , seega

$$R_{S_1} = R_{S_2} = \frac{R_S \cdot 3}{2} = \frac{80 \cdot 3}{2} = 120 \Omega$$

Kui iga lamp on erineva küttevoolu tarvitusega, siis tuleb šunttakistused arvutada igale lambile eraldi.

Takistuste  $R_1$  ja  $R_2$  suurus valitakse sõltuvalt lampide eelpinge suurusest, sest neil takistustel küttevoolu poolt tekitatud pingelangust kasutatakse II ja III lambi eelpingestamiseks. Eelpinge reguleerimiseks on sobiv kasutada potentsiomeetrisüsteemi. Kuna I lamp on audion, siis selle võre tuleb ühendada võrgu pluss-juhtmega, nagu näidatud joonisel.

Võrgukütte puhul on otstarbekam kasutada ühesuurse küttevooluga ja kaudse küttega lampe, nagu neid vabrikute poolt praegu toodetakse. Kaudse küttega lampide põhimõt-



Joon. 293.

telist küttelülitust kujutatakse joonisel 293. I võiks kujutada kõrgesagedus-, II audion- ja III madalsagedusastme lampi. Audionastme lamp lülitakse tavaliselt küttepinge suhtes vahetult võrgu miinusjuhtmega.

Lambid eelpingestatakse siin tavalise korra kohaselt, s. o. katodi lülitatud takistuse ja plokkkondensaatori abil.

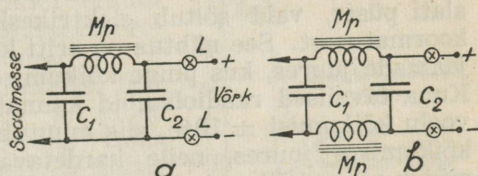
\* \* \*

Alalispingelise võrgu vool pole puhas alalisvool, nagu seda saadakse akumulaatoreist ja patareidest, vaid nn. pulseeriv vool. Seepärast ei või vastuvõtjat (või mõnda muud seadet) ühendada vahetult vooluvõrguga, vaid vastava silumisfiltri kaudu. Filtri ülesanne on võrguvoolu kasutamiseks kohandada, s. o. selle pulsatsioone siluda ehk tasandada\*. Filter koosneb raudsüdamikuga, tarbe korral ka kõrgesageduspaistpooldest ja plokk-kondensaatoreist (joon. 294).

Paispool  $Mp$  peab evima küllaldast induktiivsust (2 H ja rohkem), et olla küllalt suureks takistuseks esinevaile pulsatsioonilistele voolumuutustele (mida võib vaadelda vahelduv-

\* Silumisfiltri lähem käsitletu vt. § 73 p. 2.

voolu komponendina). Mainitud nõude täitmiseks peab paispool evima suure ristlõikepinnaga südamikku, et antud alalisvoolu tugevuse juures südamik ei küllastuks, mis põhjustab induktiivse takistuse vähenemist. Tavaliselt paispool arvutatakse ja ehitatakse vastavalt vajanevale voolutugevusele, näit. 100 mA, 150 mA jne. Filtri kondensaatorid  $C_1$  ja  $C_2$  peavad evima suurt mahtuvust, tavaliselt  $4 \mu\text{F}$  ja rohkem. Paispoolid ühendatakse kas ühte või mõlemasse võrgu juhtmesse. Esimesel juhul see peab asetsema võrgu maandamata juhtmes. Lühühenduste vältimiseks ühendatakse võrgujuhtmesse kait-

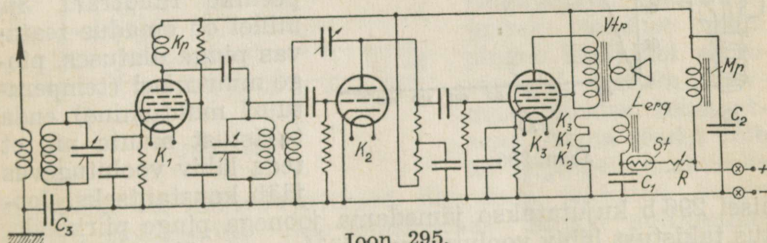


Joon. 294.

sed  $L-L$  (tavalise vastuvõtja juures kõlbavad ka vastava küttevoolutugevusega taskulampipirnid).

Joonisel 295 kujutatakse alalisvooluvõrgust toidetava kolmelambilise vastuvõtja põhimõttelist lülitust.

Selles lülituses võrgufilter koosneb  $C_1$ ,  $C_2$  ja  $M_p$ . Lampide küttejühtmesse on lülitatud järjestikku reguleeritav takistus  $R$ , stabilisaator\* küttepinge võimalikkude kõikumiste



Joon. 295.

vältimiseks, ja dünaamilise valjuhäldaja ergutusmähis  $L_{erg}$ .  $C_1$  peab olema normaalselt  $4 \mu\text{F}$  ja  $C_2$  —  $6 \mu\text{F}$ . Takistus  $R$ , stabilisaator  $St$  ja valjuhäldaja ergutusmähis  $L_{erg}$  moodustavad eeltakistuse lampide küttevoolu kohandamiseks (joonisel on kütteniidid tähistatud  $K_1$ ,  $K_2$  ja  $K_3$ ).

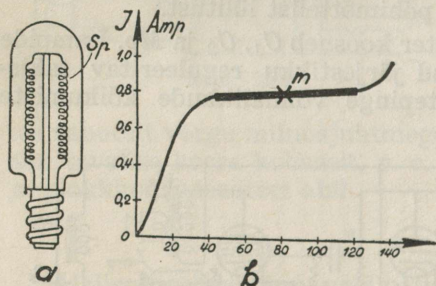
\* Vt. järgnev §.

Alalisvooluvõrgust toidetavat vastuvõtjat ei tohi tavalises korras otsekohe maandada, vaid seda tuleb teostada kondensaatori  $C_3$  (umbes  $0,1 \mu\text{F}$ ) kaudu, sest vastasel korral võib tekkida võrguvoolu lühiühendus.

## § 72. Pinge stabiliseerijad.

Valgustus- ja tööstusvoolu elektrivõrkudes pole pinge alati püsiv, vaid sõltub elektrikeskjaama (või alajaama) koormatusest. See nähtus on eriti kriitiline väiksemate jõujaamade juures, kus pinge kõikumised sageli ületavad 10%. Kuna tavalised raadiolambid kannatavad ettenähtud küttevoolu kõikumisi  $\pm 10\%$ , siis muutub võrgupinge, suuremate kõikumiste juures, neile kardetavaks. Iseäranis halvasti mõjub pinge kõikumine kaudse küttega alalisvoolulampidele, millede küttevool ei tohi ületada ettenähtust 5%.

Pinge reguleerimine ettenähtud piiridesse võib toimuda muudetava takistusega  $R$  (joon. 295), kuid see toiming pole kuigi käepärane, nõudes alalist valvelolekut. Praegu on kasutamisel automaatsed pingereguleerijad, nn. tasandajad.



Joon. 296.

Joonisel 296 b kujutatakse jämedama joonega pinge piirkonda, kus takistust läbiv voolutugevus jääb enam-vähem püsivaks. Normaalne tööpunkt peaks asuma punktis  $m$ .

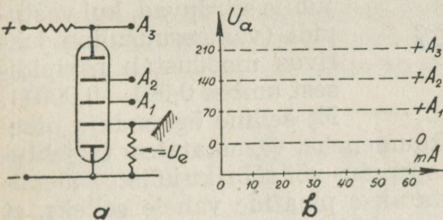
Nii alalis- kui ka vahelduvvooluvõrgust köetavate lampide kütteniitude takistused on jahtunult palju väiksemad kui kuumutatud olekus; näiteks teataval lambitüübil on kuumas olekus kütteniidi takistus  $111 \Omega$ , jahtunud olekus aga kõigest  $13 \Omega$ . Seega voolu sisselülitamisel tõuseb lampide küttevoolu tugevus mitmekordselt üle lubatud piiri. Jooniselt 296 b nähtub, et kirjeldatud stabilisaatori takistus allub

Levinuma tasandaja ehitus on järgmine: vesinikuga täidetud klaaskolvis asetseb (joon. 296 a) spiraalikeritud peenike raudtraat  $S_p$ , millel on omadus teatavas pinge ulatuses, pinge muutmisel (temperatuuri muutumine) enda takistust muuta nii, et teda läbiv voolutugevus jääb konstantseks. Joo-

samale nähtusele, seega ta pole antud kujul suuteline lampe voolu sisselülitamise hetkel kaitsma ülekütmise eest. Mainitud nähtuste vältimiseks valmistatakse tasandajad veel nn. urdokstakistusega, mis evib negatiivset temperatuuri koefitsienti, s. t. et temperatuuri tõusuga väheneb oomiline takistus; voolu sisselülitamisel on takistus väga suur ja väheneb soojeenedes (joon. 297). Neid mõlemaid tasandajaid järjestikku lülides lahendub küttevoolu automaatne reguleerimisprobleem täielikult.

Kuna tasandajaid ehitatakse teatavatele voolutugevustele ja pinge reguleerimise ulatusele, siis tuleb nende valikul lähtuda lampide küttevoolu tarvitusest ja reguleerimise ulatusest.

Seal, kus on vajalik püsiv anoodpinge, kasutatakse erilisi stabilisää-toreid, mis ehitatud huumlambi põhimõttel. Klaaskolb (joon. 298 a) täidetakse mitmesuguste gaaside seguga, millest suurema osa moodustab neongaas. Kolvis paigunevad metallist

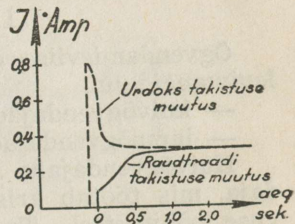


Joon. 298.

elektroodid, mida kasutatakse harupingete saamiseks. Seega stabilisaator kujutab endast pingejagajat, evides seejuures omadust hoida pinget üksikutel elektroodidel teatava koormuse piirides konstant-sena. Sama seadet võib ka eelpingete saamiseks kasutada, kui miinus-elektrood ühendada takistuse kaudu lähema elektroodiga, mis moodustaks ühtlasi nulljuhtme. Nagu jooniselt 298 nähtub, püsib pinge kogu lubatava koormuse (60 mA) ulatuses konstantsena.

### § 73. Vahelduvvooluvõrk.

Sagedamini esinev vahelduvvooluvõrk on kolmefaasiline, faasidevahelise pingega 220 V ja sagedusega 50 per/sek. Radioseadmetes kasutatakse vahelduvvoolu (selle algkujul) allatransformeeritult ainult elektronlampide kütteks. Muuks



Joon. 297.

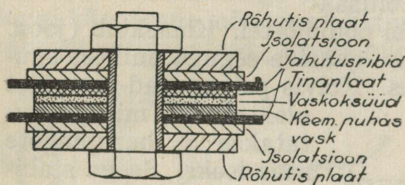
otstarbeks tuleb vahelduvvool enne kasutamist muundada alalisvooluks. Selleks otstarbeks kasutatakse nn. **alaldajaid**. Alaldaja koosneb **õgvendajast** ja **silumisfiltrist**. Õgvendaja ülesanne on vahelduvvoolu muuta pulseerivaks alalisvooluks (õigemini püsiva polariteediga vooluks). Silumisfilter silub ehk tasandab pulsatsioone, muutes õgvendatud voolu täielikuks alalisvooluks.

### 1. Õgvendajad.

Õgvendamise viise on palju. Raadio seadmete juures on levinumaid nn.

- kuivõgvendajad ja
- lampõgvendajad.

Kuivõgvendajana esineb peamiselt kuprooksüüd-õgvendaja, mis töötab kristalldetektori, s. o. unipolaarse juhtivuse põhimõttel. Ta koosneb kahest vaskplaadist, milledest üks on puhtast vasest ja teine kaetud vaskoksüüdiga\*



Joon. 299.

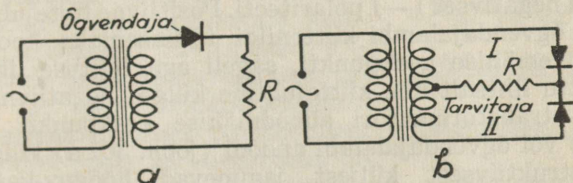
(joon. 299). Vaskoksüüd juhib voolu ainult ühes suunas, kusjuures ilmneb nähtus, et elektronid healt juhilt kergemini halvale juhile siirduvad, kui vastupidi (vastassuunaline juhtivus moodustab päripidise umbes 0,001—0,0001).

Et selline õgvendaja pikemaajalisel tarvitamisel ei kuumeneks, varustatakse ta jahtumiseks suurepinnaliste (kas ruudu- või sõõrikujuliste) metallist ribidega. Tinaleht asetatakse plaatide vahele selleks, et saavutada kogu pinna ulatuses ühtlast kontakti. Tugevamate voolude õgvendamiseks kasutatakse vastavalt suuremapinnaliste plaatidega õgvendajaid. Kõrgemate pingete õgvendamisel lülitakse mitu kirjeldatud plaatide paari ehk õgvendaja elementi järjestikku. Valmistaja firma kirjutab tavaliselt ette, kui kõrget vahelduvpinget võib ühele õgvendaja elemendile rakendada ja millise voolutugevusega seda koormata.

Vahelduvvoolude õgvendamine võib olla kas „ühepoolne“, või „kahepoolne“. Esimesel juhul (joon. 300 a) kasutatakse ainult vahelduvvoolu ühesuunalisi (näiteks positiivseid) pool-

\* Tekib kõrge temperatuuri juures vase pinnale, vase ja hapniku ühinemisel.

perioode, teisel juhul (joon. 300 b) — mõlemasuunalisi poolperioode. Paremate filtrimise eelduste tõttu leiab kahepoolne õgvendamine praktiliselt enam kasutamist, vaatamata sellele, et siin vajatakse kahte kuivõgvendajat, mis lülitakse teineteisele vastupidiselt. Õgvendajat kasutatakse tavaliselt koos nn. võrgutransformaatoriga, mis võimaldab õgvendamisele kuuluvaid pingeid valida vastavalt tarvidusele.

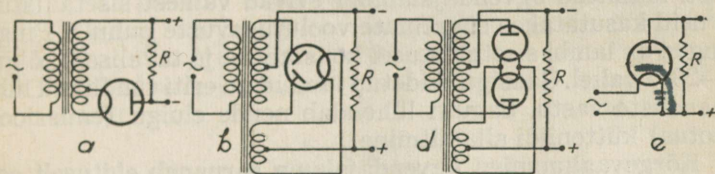


Joon. 300.

Joonisel 300 tähistab  $R$  tarvitajat, mida läbib ühesuunaline vool — ühepoolsel aldamisel (a) — näiteks ainult positiivsetel poolperioodidel, kahepoolsel aldamisel (b) igal poolperioodil. Õgvendatud vool filtritakse enne tarvitamist.

\* \* \*

Lampõgvendajad on raadiotehnikas kõige rohkem levinud. Selleks kasutatakse kahe elektrodiga lampe. Õgvendamine toimub diodi töötamise põhimõttel, nagu seda käsitleti §-s 36.



Joon. 301.

Ühepoolse aladaja lülitust kujutatakse joonisel 301 a. Lamp juhib igal poolperioodil, mil anoodil on positiivne pinge, elektronid katoodilt anoodile, negatiivsel poolperioodil elektronid katoodilt anoodile ei pääse. Sel viisil toimub ühepoolne ehk poolperioodi õgvendamine.

Kahepoolseks ehk täisperioodi õgvendamiseks (joonis 301b) kasutatav õgvendajalamp evib ühise katoodi juures kaks anoodi, mis lülitatakse nii, et ühel poolperioodil töötab üks, teisel teine anood. Kuna elektronide voolusiht jääb mõlemal

poolperioodil katoodilt anoodile, siis läbib tarvitajat  $R$  pidevalt ühesuunaline vool. Sageli, eriti kõrgemate pingete alaldamisel kasutatakse kahepoolseks õgvendamiseks kahte ühepoolset õgvendajalampi (joon. 301 d). Ka triood on kõlblik õgvendamise otstarbeks, mil võre ühendatakse anoodiga.

Õgvendatud voolude polariteedi (märgi) määramisel tuleb silmas pidada, et õgvendajalambi katood evib positiivset (+) ja anood negatiivset (—) polariteeti. Positiivne toitejuhe ühendatakse õgvendajalambi kütteniidi ühtlasemaks koormamiseks küttemähise keskpunkti, sageli aga lülituse lihtsustamise tõttu lihtsalt ühe küttejühtme külge; negatiivne toitejuhe — transformaatori anoodmähise keskpunkti (joonis 301 b, d) või õgvendajalambi anoodi (joon. 301 a) külge.

Konstruktiivsest küljest jagunevad hõõguv-katoodiga õgvendajalambid

- gaasiga täidetud ja
- kõrgevaakuumiga õgvendajalambeks.

**Gaasiga täidetud õgvendajalamp** kujutab endast tavalist kahe elektroomiga ja otsese küttega elektronlampi, mis on täidetud teatavat liiki gaasiga (elavhõbedaurud, heelium, argoon jne.). Kütteniidi kuumendamisel vabanevad kütteniidi pinnalt elektronid, mis suure kiirusega liiguvad positiivse anoodi poole. Sellel teekonnal elektronid põrkuvad gaasi aatomitega, lüües ka viimastest välja elektrone, mis samuti liiguvad anoodi suunas, suurendades nii üldist anoodvoolu tugevust. Mainitud õgvendajalambid evivad väikest sisetakistust ja neid kasutatakse suuremate voolutugevuste puhul\*. Pingelangus on lambi sisetakistusel konstantne ja tavaliselt kõigub 5—20 V vahel. Gaasiga täidetud lambid on eriti tundlikud lühiühenduste vastu. Samuti lühendab nende eluiga (emissiooni kaotus) kütteniidi allakütmine.

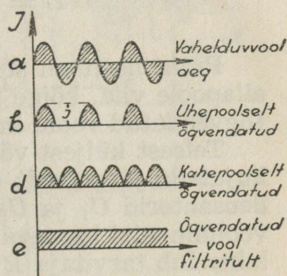
**Kõrgevaakuumiga õgvendajalamp** sarnaneb ehituselt eespool kirjeldatud lambiga, kuid evib kõiki tavalise kahe elektroomiga elektronlampi omadusi. Kuna anoodvool on siin piiratud otseselt kütteniidi emiteerimisvõimega, siis leiab selline lamp kasutamist ainult väiksemate voolutugevuste juures (näiteks vastuvõtjais, väiksemais võimendajais jne.). Odavais seadmeis tarvitatakse sageli võrgupingelise küttega vaakuum-õgvendajalampi, mis lülitatakse ilma transformaatorita, s. o. vahetult vahelduvvooluvõrku (joon. 301 e).

\* Väga suurte võimsuste juures kasutatakse eritiübilisi elavhõbedauru õgvendajaid.

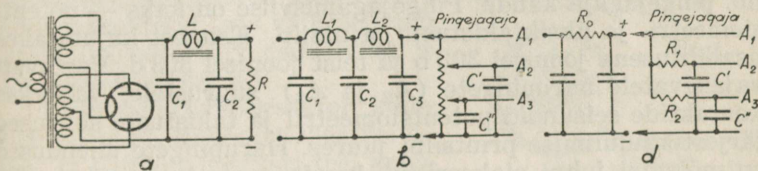
## 2. Silumisfilter.

Õgvendatud vahelduvvool evib vastavalt õgvendamise ise-loomule joonisel 302b ja d näidatud kujud. Silumisfiltri üles-  
anne on käesoleval juhul üksikud vooluimpulsid kaotada ja  
õgvendatud vool muuta püsiva tuge-  
vusega alalisvooluks (joonis 302 e).  
Teiste sõnadega ta peab tõkestama  
õgvendatud voolu vahelduvaid kom-  
ponente sattumast tarvitajasse. Fil-  
ter koosneb suuremahtuvuslikest, ta-  
valiselt nn. elektrolüüt-kondensaato-  
reist, raudsüdamikuga paispoolidest  
ja harvemal juhul ka oomilistest tak-  
istustest. Filtri elementide arvult ja  
nende lülitamiselt võib filtri kuju olla  
väga mitmesugune.

Kolme sagedamini kasutatavat va-  
rianti kujutatakse joonisel 303. Neist  
kõige tavalisem on esimene (a), millist kujutatakse koos kahe-  
poolse õgvendajaga. Kummas juhtmes paiguneb induktiiv-  
sus  $L$ , pole oluline. Praktilisest seisukohast väljudes ühenda-  
takse see enamasti õgvendaja plussjuhtmesse.



Joon. 302.



Joon. 303.

Filtril (joon. 303 a) on omadus tõkestada kõiki neid voo-  
lusagedusi, mis on suuremad filtri enese nn. piirisagedusest  
( $f_0$ ). Piirisagedust määratellakse Thomsoni valemiga, nagu  
iga tavalist resonantssagedust:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}, \text{ kus } C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} *$$

\* Sageduse arvutamise mõttes on filtriringis  $C_1$  ja  $C_2$  järjestikku.

kusjuures  $L$  on henrides ja  $C$  faradites. Kui näiteks võrguvoolu sagedus on 50 per/sek. ja  $C = 4 \mu\text{F}$  ( $C_1$  ja  $C_2$  à  $8 \mu\text{F}$ ), siis vajaneks eelmise valemi järgi õgvendatud voolu filtrimiseks induktiivsust ( $L$ ), niisama suure piirisageduse tekitamiseks

$$L = \left( \frac{1}{50 \cdot \pi} \right)^2 \cdot \frac{10^6}{4 \cdot 4} = 2,5 \text{ H}$$

Praktiliselt on soovitatav piirisagedust vähemalt 20—30% allapoole viia, kõige madalamast esinevast segavsagedusest\* (õgvendatud voolu impulsside sagedus).

Teisest küljest võib silumisfiltri elementide tegevust ette kujutada järgmiselt (joon. 303 a). Suuremahtuvuslikud kondensaatorid  $C_1$  ja  $C_2$  laetakse paispooli omaduste tõttu iga vooluimpulsi kasvava osa vältel. See laeng voolu kahanemisel lahendub tarvitaja  $R$  kaudu, põhjustades ka siis voolu, kui õgvendajalambi anoodringides seda pole.

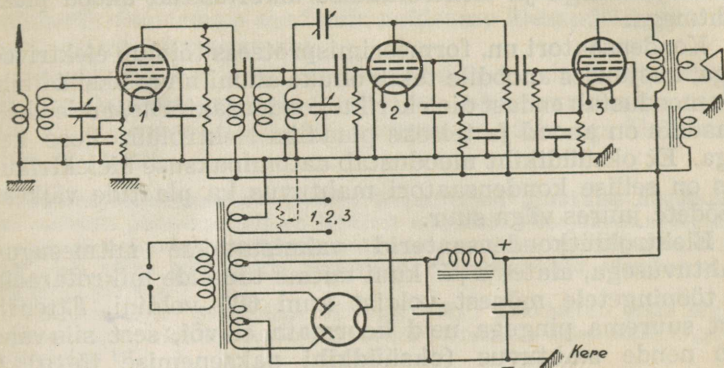
Joonisel 303 b kujutatakse komplitseeritumat ja eelkirjeldatast suurema silumisvõimega filtrit. Joonis 303 d iseloomustab päris lihtsat filtrit, kus eriti suurte  $C_1$  ja  $C_2$  mahtuvuste juures paispool on asendatud oomilise takistusega; tarvatakse seda väikeste voolude juures odavates seadmetes.

Filtri väljumisnäpitsail saadud alalisvoolu juhitakse mitmesuguseid pingesuurusi vajavasse tarvitajasse (seadmesse) nn. **pingejagaja** kaudu. Pingejagamisviise on kaks — potentsiomeetri- ja üksiktakistuste printsiip. Esimest kujutatakse lisalülitusena joonisel 303 b ja teist joonisel 303 d. Vastavalt vajanevatele harupingete ( $A_2$  ja  $A_3$ ) suurustele, valitakse kontaktide seisundid potentsiomeetril ja takistuste suurused järjestikkulülimise printsiibi juures. Harupingete ühendused on mõlemal juhul plokeeritud kondensaatoritega  $C'$  ja  $C''$  (tavaliselt 0,5—2  $\mu\text{F}$ ), et tasandada lampide töötamisel tekki- vaid anoodvoolu kõikumisi, mis võiks saada tagasisidestuste põhjuseks.

Joonisel 304 kujutatakse tavalist alaldajat seoses vastuvõtjaga, mida üheskoos nimetatakse vahelduvvooluvõrkvastuvõtjaks. Lampidele, mida köetakse õgvendaja transformatorilt erimähise abil, antakse anoodpinge üksiktakistuste kaudu. Alaldatud voolu kasutatakse siin veel dünaamilise valjuhääldaja elektromagneti ergutamiseks, mille mähis on

\* Segavsageduse all tuleb käesoleval juhtumil mõista (50 per/sek. vahelduvvooluvõrgu puhul) ühepoolse õgvendamise juures 50 per/sek. ja kahepoolse juures 100 per/sek.

alaldaja pingele vastavalt kohandatud. Kuna valjuhääldaja ergutusmähis evib küllaldast induktiivsust, siis lülitatakse see sageli filtrimise ülesanneteks paispooli asemele.

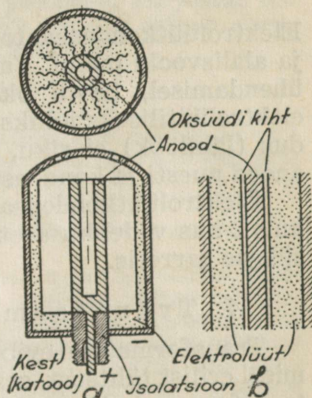


Joon. 304.

### 3. Elektrolüüt-kondensaatorid.

Silumisfiltrites, nagu nägime, tuleb sageli kasutada eriti suure mahtuvusega plokkkondensaatoreid. Paberdielektrikuga plokkkondensaatorid on selleks otstarbeks liialt kallid ja mõõdetelt väga suured. Seepärast kasutatakse nn. elektrolüüt-kondensaatoreid, mis väikese kogu juures evivad suurt mahtuvust ja on hinnalt odavamad.

Elektrolüüt-kondensaator koosneb anoodist, katoodist, elektrolüüdist ja elektrokeemilisel teel anoodi pinnale tekitatud isolatsioonikihist (dielektrik). Anood valmistatakse alumiiniumist. Võimalikult suurema välispinna saavutamiseks ta evib sageli joonisel 305 näidatud või spiraalse plekkriba kuju. Anood asetseb elektrolüüdi sees ja on ümbritsetud alumiiniumkestaga, mis moodustab ühtlasi teise elektroodi, s. o. katodi\*. Elektro-



Joon. 305.

\* Tegelikult moodustab elektrolüüt ise katodi ja väline metallkest on vedelikule vaid anumaks ning elektrilise kontakti loojaks.

lüüdiks tarvitatakse teatavate tüüpide juures, glütseriini, boorhappe ja ammoniaagi vesilahuse segu.

Elektrolüüt-kondensaatoril ühendatakse keel ehk katood miinusjuhtmega ja elektrolüüdist ümbritsetud anood plussjuhtmega.

Kondensaatori nn. formeerimisprotsess toimub elektrivooluga, kusjuures anoodile tekib õhuke alumiinium-oksüüdikiht, mis moodustab endast dielektriku kondensaatorile, mille üheks plaadiks on anood ja teiseks plaadiks elektrolüüt koos keelaga. Et oksüüdikiht moodustab aatomipaksuse dielektriku\*, siis on sellise kondensaatori mahtuvus ka plaatide väikeste mõõdete juures väga suur.

Elektrolüüt-kondensaatorid valmistatakse mitmesuguse mahtuvusega, alates 4  $\mu\text{F}$  kuni mitme tuhande mikrofaradini ja tööpingetele mõnest voldist kuni 600 voldini. Ettenähtust suurema pingega neid koormata ei või, sest siis väheneb nende mahtuvus (oksüüdikihi paksenemise tõttu) ja pikema töötamisaja kestel võib kondensaator rikneda. Suuremate pingetega töötamisel tuleb neid lülida järjestikku. Kui näiteks kaks 450 V tööpingega kondensaatorit lülida järjestikku, siis võib neid 900 V pingega tööle rakendada. Üldmahtuvuse arvutamiseks jääbki siin kehtima valem, kus

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

Elektrolüüt-kondensaatoreid võib tarvitada ainult pulseeriva ja alalisvoolu puhul. Vahelduvvoolu juures, samuti vastupidi ühendamisel, hävib oksüüdikiht ja kondensaator muutub elektrolüütiliseks juhiks. Elektrolüüt-kondensaatorit lühiühendus (läbilöökk) ei riku, sest õieti lülimise järele oksüdeerub anood uuesti ja kondensaator töötab endiselt.

Elektrolüüt-kondensaatoreid valmistatakse ka nn. poolkuivi, kus vedeliku aset täidab vastava keemilise koostisega sültjas tarretis.

#### 4. Transformaatorid ja paispoolid.

Transformaator evib vahelduvvooluvõrgu energia tarvitamisel erilist tähtsust, sest sellega kohandatakse üles- või allatransformeerimise teel kõiki raadioseadme toitmiseks vajalikke pingeid.

\* Oksüüdikihi paksus on võrdeline formeerimispinge suurusega.

Väiksemis seadmeis (näiteks vastuvõtjas) kasutatakse harilikult ühte transformaatorit, mis sekundaarosas võib vajalikul määral iseseisvaid mähiseid (näiteks üks või mitu lampide küttemähist ja õgvendajalambi anood- ning küttemähiseid). Suuremais seadmeis neidsamu ülesandeid täidavad sageli eritransformaatorid.

Suurem osa harilikes raadioseadmeis tarvitata väärid võrgu- ehk jõutransformaatoreid kuulub nn. väiketrasformaatorite liiki, kuna nendega ülekantav võimsus on väike ega ületa harilikult 500 vatti.

Selliste väiketrasformaatorite lihtsustatud praktilise arvutamise ühte varianti püütakse allpool lühidalt selgitada. Seejuures arvestame asjaolu, et sekundaarosa koormamisel ei kasutata induktiivseid takistusi\*, mis võiks põhjustada pimevoole. Vahelduvvoolu sageduseks on vöetud 50 per/sek.

**Võimsus ( $N$ ).** Sekundaarvõimsuse ( $N_s$ ) moodustab kõigi sekundaarosa mähiste kaudu äratarvitata vate võimsuste üldsumma; olgu see näiteks 100 W.

Oletades algul, et sellise transformaatori kasutegur  $\eta = 0,8$ , siis võrgust vöetav primaarvõimsus

$$N_p = \frac{N_s}{\eta} = \frac{N_s}{0,8} = \frac{100}{0,8} = 125 \text{ vatti}$$

**Raudsüdamik ( $S$ ).** Südamiku puhta raua ristlõikepind leitakse empiirilise valemi abil

$$S = 0,8 \cdot \sqrt{N_p} = 0,8 \cdot \sqrt{125} = 9 \text{ cm}^2$$

Kuna aga südamik koosneb üksikuist, kas paberiga või lakiga ühelt poolt isoleeritud (0,25—0,5 mm paksustest) plekkidest, siis peavad isolatsioon ruumi võrra tegeliku südamiku ( $S'$ ) ristlõike mõõted suurema. Oletades, et raua täitefaktor on 0,8, leiame, et

$$S' = \frac{S}{0,8} = \frac{9}{0,8} = 11,25 \text{ cm}^2$$

Kui kasutada joonisel 306 kujutatud mõõdetega (0,5 mm dünamopl.) plekke, siis plekipaketi paksus peaks olema  $11,25 : 3 = 3,75$  cm, milleks kuluks umbes 70 üksikplekki.\*\*

\* Alaldaja filtri paispool ei esine siin transformaatori suhtes induktiivse takistusena.

\*\* Kui on saadaval (joonisel 306 näidatud kujuline) valmis plekitüüp, siis selle ära kasutamiskõlblikkust vöidakse (enne arvutamisele asumist) otsustada järgneva umbkaudse valemi abil:  $N_p = K \cdot S \text{ cm}^2 \cdot q \text{ cm}^2$ .  $N_p$  tähistab võimalikku maksimaalset primaarvõimsust vattides,  $K$  — arvulist koefitsienti,  $S$  — ruudukujulise südamiku puhta raua ristlõikepinda ja  $q$  — aktiivset mähise aknapinda (aknapind  $\times$  vase täitefaktor). Kui lubatav  $B \leq 12\,000$  gaussi ja mähised keritakse keerd-keeru kõrvale, siis  $K \cong 1,6 - 1,8$ . Neil tingimustel ja joonisel kujutatud plekimõõdetega juures

$$N_p \cong 1,8 \cdot (3 \cdot 3 \cdot 0,8) \cdot (9,1 \cdot 2 \cdot 0,6) = 140 \text{ vatti.}$$

Primaarkeerdude arv ( $n_p$ ) leitakse valemist

$$n_p = \frac{U_p \cdot 10^8}{4,44 \cdot f \cdot B \cdot S} = \frac{220 \cdot 10^8}{4,44 \cdot 50 \cdot 10000 \cdot 9} = 1100 \text{ keerdud}$$

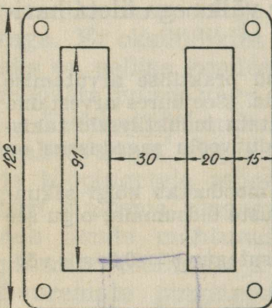
kuusjuures  $U_p$  on võrgupinge,  $f$  — võrguvoolu sagedus,  $B$  — maksimaalne lubatav magnetiline induktsioon südamikurauas — gaussides ja  $S$  südamiku ristlõikepind (puhas raud)  $\text{cm}^2$ . ( $B$  väärtus oleneb rauasordi magnetilistest omadustest; dünamopleki juures ei ole soovitatav  $B$ -d valida üle 10 000, sest vastasel korral tekivad ebasoovitavad puiste-

väljad, — pealegi põhjustab südamiku kuumenemine rauakadude suurenemist).

Ühele voldile vastab seega  $n_p : U_p = 1100 : 220 = 5$  keerdud.

**Sekundaarkeerdude arv ( $n_s$ )** tuleb leida vastavalt igale iseseisva sekundaarmähise pingele sel teel, et ühele voldile vastavat keerdude arvu (5) korrutatakse mähise pingega. On näiteks mähiselt nõutav pinge  $2 \times 400 \text{ V}$  (kahepoolse õgvendajalambi anoodmähis), siis keerdude arv  $n_a = 2 \times 5 \cdot 400 = 2 \times 2000$  keerdud; 5-voldilise küttega õgvendajalambi küttemähise keerdude arv  $n_{ok} = 5 \cdot 5 = 25$  keerdud jne.

**Traadi läbimõõdu valikul** on vajalik teada voolutugevust  $I$  igas mähises. Voolutihedus valitakse selline, et mähis pikaajal



Joon. 306.

lisel töötamisel ei kuuneneks üle lubatava piiri. Tavaliseks määraks on — 2,5 A/mm<sup>2</sup>.

Traadi läbimõõdu valikut ja mähiste ruumilist kalkulatsiooni hõlbustab lk. 305 asetsev andmete tabel lakk-isolatsiooniga vasktraatide kohta.

Toodud näites voolutugevus primaarmähises  $I_p = N_p : U_p = 125 : 220 = 0,57 \text{ A}$ , millele vastab tabelis (2,5 A/mm<sup>2</sup>) traat  $d = 0,55 \text{ mm}$ . Tarvitab näiteks õgvendajalamp kütteks 2 A, siis tuleb küttemähis valmistada 1 mm traadist jne.

**Mähiste ruumi** kalkuleerimise juures selgitatakse, milline tuleb teha pooli alus, kui palju jääb vaba ruumi mähiste jaoks ja kas kõik vajalikud mähised koos kihtide- ja mähistevahelise isolatsiooniga mahuvad kasutada-olevasse ruumi. Seejuures tuleks arvestada valitud traatide välisläbimõõdudega ( $d_v$ ) ning sellega, et kihid keritakse keerd-keeru kõrvale ja et iga kihi vahele pannakse 0,1 mm paksune lakkpaberist isolatsioon.

**Vasekadudeks ( $N_v$ )** nimetatakse seda võimsust, mis muundub soojuseks transformatori mähiste oomiliste takistuste tõttu  $N_v = I^2 \cdot R$ .

Mähiste takistuste ( $R$ ) leidmiseks on vaja teada iga mähise keskmist keerupikkust\*. Viimane korrutatult keerdude arvuga annab mähise traadi üldpikkuse, mille järgi määratakse  $R$  (vt. tabel). Kui toodud näites primaarmähise keskmine keeru pikkus on 20 cm = 0,2 m, siis

$$R_p = \frac{0,2 \cdot 1100}{100} \cdot 7,48 = 16,5 \Omega$$

\* Lihtsaim on seda leida graafiliselt, kui mähiste paigutus joonestatakse läbilõikes kindla mõõtkava järgi paberile.

Vasekadu primaarmähises  $N_v = I_p^2 \cdot R_p = 0,57^2 \cdot 16,5 = 5,3$  vatti. Kõigi mähiste vasekadude summa moodustab üldised vasekaod  $N_v$ .

Pingelangus ( $u$ ) sekundaarmähistes oleneb vastava mähise oomilisest takistusest  $R$  ja voolutugevusest  $I$ ;  $u = I \cdot R$ . Kui näiteks õgvendajalambi anoodmähise takistus\* on  $100 \Omega$  ja voolutugevus  $120$  mA, siis pingelangus  $u = 0,12 \cdot 100 = 12$  V. S. t., et  $12$  V võrra jääb pinge õgvendajalambi anoodil ettenähtust ( $400$  V) madalamaks. Analoogiliselt leitakse pingelangused kõigi iseseisvate mähiste kohta, et hiljem nende alusel teha keerdude arvudes vastavaid korrektsioone.

### Andmeid lakkisolatsiooniga vasktraatide kohta.

Isolatsioonita traadi läbimõõt mm (d)	Lubatav voolutihedus A/mm <sup>2</sup>			Ristlõikepind mm <sup>2</sup>	100 m traadi takistus $\Omega$	1 m traadi kaal grammi	Isolatsiooniga traadi väline läbimõõt ( $d_v$ ) mm
	2 A	2,5 A	3 A				
0,10	0,016	0,02	0,024	0,0078	228	0,080	0,138
0,15	0,035	0,045	0,053	0,0177	100,4	0,178	0,200
0,20	0,063	0,080	0,094	0,0314	56,7	0,314	0,259
0,25	0,098	0,120	0,147	0,0491	36,3	0,487	0,316
0,30	0,141	0,175	0,212	0,0707	25,2	0,694	0,374
0,35	0,190	0,240	0,289	0,0962	18,5	0,946	0,430
0,40	0,251	0,310	0,377	0,1257	14,2	1,22	0,487
0,45	0,318	0,400	0,477	0,159	11,2	1,54	0,540
0,50	0,390	0,490	0,588	0,196	9,08	1,88	0,595
0,55	0,476	0,600	0,714	0,238	7,48	2,27	0,650
0,60	0,566	0,700	0,849	0,283	6,29	2,69	0,700
0,65	0,664	0,830	1,0	0,332	5,36	3,17	0,750
0,70	0,770	0,960	1,16	0,385	4,62	3,65	0,810
0,75	0,884	1,1	1,33	0,442	4,03	4,30	0,860
0,80	1,01	1,25	1,51	0,503	3,54	4,96	0,920
0,85	1,14	1,41	1,70	0,568	3,13	5,48	0,970
0,90	1,27	1,6	1,91	0,636	2,80	6,00	1,03
0,95	1,42	1,77	2,13	0,709	2,51	6,70	1,08
1,00	1,57	1,96	2,36	0,785	2,27	7,40	1,13
1,10	1,90	2,38	2,85	0,950	1,88	8,95	1,23
1,20	2,26	2,83	3,39	1,131	1,58	10,65	1,34
1,30	2,65	3,32	3,98	1,327	1,34	12,5	1,44
1,40	3,08	3,85	4,62	1,539	1,16	14,52	1,55
1,50	3,53	4,42	5,30	1,767	1,01	16,40	1,64
1,60	4,02	5,03	6,03	2,010	0,887	18,85	1,75
1,70	4,54	5,67	6,81	2,270	0,785	21,20	1,86
1,80	5,09	6,36	7,64	2,545	0,700	23,80	1,96
1,90	5,67	7,08	8,50	2,835	0,628	26,50	2,07
2,00	6,28	7,87	9,42	3,141	0,567	29,40	2,18
2,50	9,82	10,3	14,73	4,909	0,363	45,80	2,80
3,00	14,14	17,7	21,20	7,069	0,252	66,00	3,35
3,50	19,24	24,05	28,86	9,62	0,185	90,50	3,90
4,00	25,14	31,43	37,71	12,57	0,142	118,00	4,45

\* Kahepoolse õgvendamise juures võetakse arvesse ühekordse mähise takistust.

Rauakaod ( $N_r$ ) koosnevad südamikü hüstereesi ja pöörisvoolu kadude summast, milliseid arvutatakse südamiku kaalu järgi

$$N_r = N_1 \cdot \left( \frac{B}{10000} \right)^2 \cdot G$$

kusjuures  $N_1$  tähistab rauakadusid ühe kilogrammi kohta 10000 gausi juures\*,  $B$  — maksimaalset magn. induktsiooni südamiku rauas ja  $G$  raua kogukaalu kg. Kui näiteks  $G = 2$  kg ja  $N_1 = 3,4$  W, siis

$$N_r = 3,4 \cdot \left( \frac{10000}{10000} \right)^2 \cdot 2 = 6,8 \text{ vatti}$$

#### Korrektsoone.

Teades sekundaarvõimsust ja tegelikke kadusid, leitakse nüüd tegelik võimsus, mida transformaatore koormatult võtab primaarmähise kaudu võrgust  $N_p = N_s + N_v + N_r$ . Oletame, et  $N_p = 115$  vatti, seega tegelik voolutugevus primaarmähises  $I_p = 115 : 220 = 0,52$  A ja pingelangus primaarmähises  $u_p = I_p \cdot R_p = 0,52 \cdot 16,5 = 8,6$  volti. Tegelikult primaarmähises mõjub mitte kogu võrgupinge ( $U_p$ ) 220 V, vaid  $U_p - u_p$  s. o.  $220 - 8,6 = 211,4$  V.

Arvestades primaarmähise pingega 211,4 V ja eespool leitud 5 keeruga voldi kohta ning pingelangustega sekundaarmähistes, leitakse üksikute mähiste lõplikud keerdude arvud:

— primaarmähis  $n_p = 5 \cdot 211,4 = 1057$  keerdude;

— anoodmähis  $n_a = 5 \cdot (400 + 12) = 2060$  keerdude;

jne.

Transformaatori tegelik kasutegur  $\eta = \frac{N_s}{N_p} = \frac{100}{115} = 0,87$

\* \* \*

**Paispool** on silumisfiltri tähtsam element. Paispoolilt nõutakse suurt induktiivsust, seepärast neid valmistatakse transformaatoretele analoogilistele raudsüdamikudele. Kuna filtris olevat paispooli läbib pidevalt alalisvoolu komponent, siis südamiku eelmagnetiseerumise tõttu väheneb induktiivsus. Võib juhtuda, et paispooli südamik magnetiseeritakse alalisvoolu poolt küllastuseni, mil induktiivsus ja koos sellega ka paispooli otstarve peaaegu kaob. Selle vältimiseks varustatakse raudsüdamik sageli õhupiluga, mis suurendab magnetilist tõkestust ega luba samade amperkeerdude arvu juures südamikul küllastada.

Kinnise raudsüdamikuga paispooli induktiivsust arvutatakse järgmise valemiga

$$L = \frac{1,25 \cdot n^2 \cdot \mu \cdot S}{10^8 \cdot l}$$

\* Rauakaod on omased igale rauasordile ja selle suurust (antud vabriku poolt) peaks teadma plekki müüv äri.

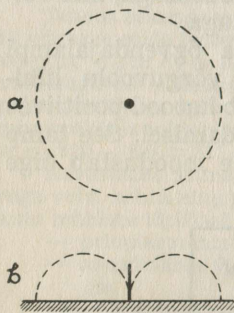


## XVI. SUUNDSAATMINE.

### § 75. Saateantennide suunaline mõju.

Suundsaatmise ülesanne on saateenergiat levitada vaid soovitud suunas, mis tõstab sidepidemise ulatavust ja vähendab teataval määral saate avalikkust.

Nõrka suunalist mõju, nagu eespool mainitud, evib ka „L“-antenn, kusjuures energia maksimaalne kiirgus sünnib antenni vertikaaljuhtmepoolse otsa suunas.

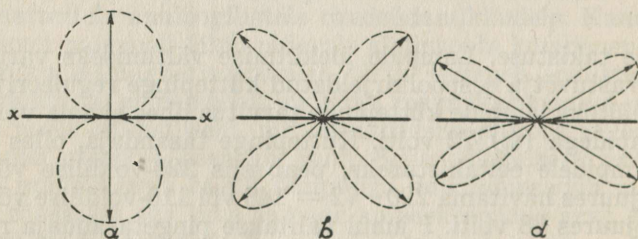


Joon. 308.

Suuna mõjust on enam-vähem vaba põhilainel töötav vertikaalne veerandlaineantenn. Joon. 308 kujutatakse graafiliselt sellise antenni kiirguse suunalist intensiivsust ( $a$  — horisontaal ja  $b$  — vertikaalpinnas). Kuna kiirgus ülespoole puudub, siis tekib tugev kontsentrilise ulatavusega pinnalaine; ruumilaine puudumise tõttu ei ilmne sellise saatja töö vastuvõtul feedingu-nähtusi\*.

Üldiselt võib suundsaatmine kui niisugune kõne alla tulla lühilainete juures.

Horisontaalne Hertzi- ehk dipoolantenn evib juba märgatavat suuna mõju, mille iseloomu määrab asjaolu, kas töötatakse dipooli põhilainel ( $\lambda = 2,1 l$ ) või harmoonilistel. Jooni-



Joon. 309.

sel 309 kujutatakse dipoolantenni mõju suunda:  $a$  — põhilainel,  $b$  — 3-dal ja  $d$  — 5-dal harmoonilisel.

\* Ka meie Türi saatejaamas kasutatakse neil põhjusil vertikaalantenni.

Jooniselt nähtub, et põhilainel töötava dipoolantenni kiirguse suund on antennijuhtme suunale  $x-x$  risti, mis pole igakord kohane, kui tahetakse saavutada suurt ruumilaine ulatavust\*. Viimasel juhul töötatakse harmoonilistel, mil tekivad lamedamad kiirguse suunad (joonis 309 b, d).

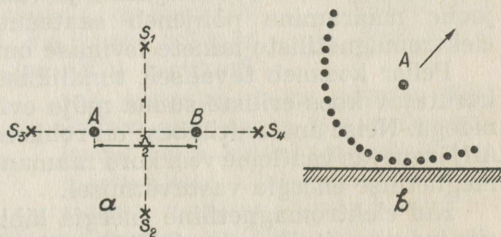
Peale mainitute kasutatakse kiirguse suuna mõjutamiseks erilisi suundantenne. Üks selliseid printsiipe seisneb selles, et tarvitatakse kahte

rööbitiasetsevat vertikaalantenni  $A$  ja  $B$  (joonisel 310 a kujutatakse nende ristlõikeid), mille kaugus teineteisest võrdub poole lainepikkusega. Kui neis antennides tekitada võrdsed ja faasisolevad võnkumised, siis mingis

eemalolevas punktis  $S_1$  (või  $S_2$ ), mis asub suunale  $AB$ -risti, on tekitatud elektromagnetilise välja tugevus kahekordne, võrreldes üksiku antenni võimsusega. Võimsus, mis tuleb ühe pinna ühiku peale, on 4 korda suurem, kui seda suudaks tekitada üks kõne all olev antenn. Suundades  $S_3 - S_4$  pole peaaegu mingit kiirgust, kuna see on ühtlasi  $AB$  suund, kus lainete faasid on nihutatud  $180^\circ$  võrra, mil väljad üksteist hävitavad.

Selliseid faaside mõju kombinatsioonidele põhjenevaid elektromagnetilise kiirguse suunamismeetodeid on mitmeid.

Uuemal ajal kasutatakse lühilaineliste kaugeühenduste juures kiirguse suunamiseks juhtmeist või vaskplekist parabolisüsteemilisi reflektoreid (joonis 310 b läbilõikes), mille tulipunktis asub tegelik antenn (vibraator). Sellise reflektoriga on võimalik kiirgust suunata sobiva nurga all, et katta ruumilainega suuri kaugusi.



Joon. 310.

\* Teatavasti vertikaalne kiirgus pole lühilainete juures võimeline murduma ega peegelduma Heaviside kihis.

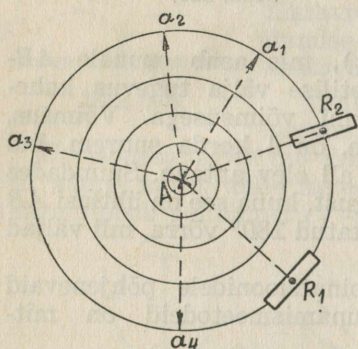
## XVII. RAADIOGONIOMEETRIA.

### § 76. Üldpõhimõtteid.

Raadiogoniomeetria all mõeldakse saatejaamade asukohade kindlaksmääramist raadiotehnilisel teel. Selleks ettenähtud seadiseid nimetatakse raadiogoniomeetriteks (radio nurgamõõtja) ehk peileriteks ja tegevust ennast — peilimiseks. Peilimine, s. o. saatejaama ja vastuvõtjat läbiva suundjoone määramine põhjeneb saateantennist väljakiirgunud elektromagnetiliste lainete levimise omadusil.

Peiler koosneb tavaliselt tundlikust vastuvõtjast, mis on kasutatav koos eriliste suuna mõju evivate vastuvõtteeantennidega. Neist antennitüübdest on rohkem levinud raamantenn. Alljärgnevas vaatleme veel kord raamantenni omadusi elektromagnetilise energia vastuvõtmisel.

Kui elektromagnetiline energia läbib raamantenni pinda, siis indutseeritakse raamis EMJ, mille tagajärjel raamis tekib

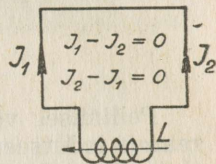


Joon. 311.

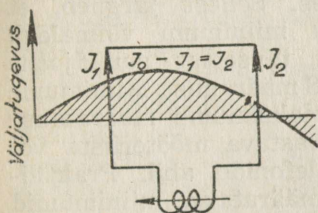
vool. Peamise tegurina esineb siin elektromagnetilise välja horisontaalne komponent, s. o. magnetiväli. Teatavasti magnetilised tungjooned eemalduvad saateantennist A kontsentrilise väljana (joon. 311), mille mõjuvektoreid võime ette kujutada iga mõeldava väljaraadiuse ( $a_1$ ,  $a_2$  jne.) suunas. Neid ettekujutavaid mõjuvektoreid nimetatakse kokkuleppeliselt **elektromagnetilisteks kiirteks**. Elektromagnetiline kiir levib sirgjooneliselt, s. o. kõige lühemat teed

mööda. Elektromagnetilises väljas asetsevas raamantennis indutseeritud voolu tugevus sõltub raami asetusest selle välja suhtes. Kui raam asetseb oma pinnaga (joon. 311 asend  $R_1$ ) kiire suunas, siis raamis indutseeritud voolu tugevus pooli  $L$  suhtes (joon. 312) on minimaalne (praktiliselt null), sest mõlemad raami külgi mõjutab samafaasiline magnetiväli, indutseerides neis mõlemas võrdse tugevusega ja ühesuunaliselt mõjuvad elektrivoolud, mis resulteerides tasakaalustuvad, ja ei tekita poolis mingisugust voolu. Et praktiliselt pole võimalik ehitada raame, mille külgede elektrilised omadused oleksid

täiesti võrdsed, siis võib ilmned, et  $I_1$  ja  $I_2$  mõju ei tasakaalustu, vaid pooli  $L$  läbib väga nõrk resulteeriv vool  $I_0$ , mille väärtus võrdub  $I_1 - I_2$  või  $I_2 - I_1$ . Kui raam asetseb küljega elektromagnetilise kiire suunas (joon. 311 asend  $R_2$ ), siis resulteeriva voolu tugevus  $I_0$  raamis on pooli  $L$  suhtes maksimaalne\*. Siin ei mõjuta raami mõlemaid külgi üheaegselt mitte võrdsefaasiline väljatugevus (joon. 313), mistõttu  $I_1$  ja  $I_2$  ei tasakaalustu ja nende summa mõju  $I_0$  on alati võimalikult maksimaalne, kusjuures kord on ülekaalus  $I_1$ , kord  $I_2$  jne. Kui vertikaalselt asetatud raami pöörata  $360^\circ$



Joon. 312.



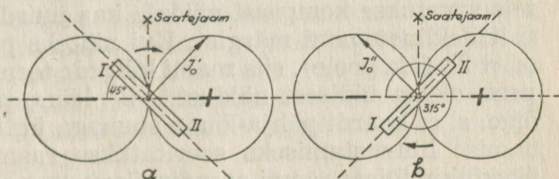
Joon. 313.

ümber oma telje, siis pööramise kestel raami küljed asuvad elektromagnetiliste kiirte suhtes mitmesuguste nurkade all (võrdle elektrimasinaga, kui katsa pöörleb, magnetvoos). Raami pooli  $L$  läbiv voolu tugevus ja suund muutuvad pidevalt, evides väärtusi nullist kuni maksimumini, jälle nullini jne.

Vastavail mõõduandmeil on võimalik

voolutugevuse muutusi raami täispöörde ( $360^\circ$ ) kestel kujutada graafiliselt kahekordse sõõrina. Näiteks kui raam on pöörelnud elektromagnetilises väljas  $45^\circ$  (joon. 314 a), siis voolutugevust poolis  $L$  tähistab  $I_0'$ , olles kokkuleppekohaselt pooli suhtes  $+$ -suunaline ja väiksem maksimaalsest suurus.

Kui raam on pöörelnud  $90^\circ$ , siis on ta külgedega saatejaama suunas ja voolu vektor võrdub ringi diameetriga, s.o. maksimaalne.



Joon. 314.

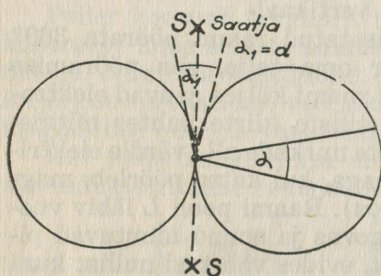
Kui raam on algasendist pöörelnud  $180^\circ$ , siis  $I_0'$  on minimaalne. Edasisel raami pöörlemisel vool muudab pooli  $L$  suhtes suunda ja suurst pidevalt 0 — maksimum ja 0. Mainitust paneme tähele,

\* Eeldusel, et raami külgede vahe on väiksem kui  $\frac{\lambda}{4}$

et raamis indutseeritud voolutugevus sõltub raami asendist saatejaama suhtes. Neid raami vastuvõtteomadusi kasutatakse saatejaama ja vastuvõtjat läbiva suundjoone leidmiseks, s. o. peilimiseks.

## § 77. Peilimine.

Peilimisel võib kasutada suundjoone määramiseks kas raamis indutseeritud voolu maksimumi või miinimumi. Maksimumis voolutugevus muutub hoopis aeglasemalt (joon. 315)



Joon. 315.

kui miinimumis, raami ühe ja sama pöördenurga  $\alpha = \alpha_1$  suhtes. Sellest järgneb, et voolu miinimum võimaldab palju täpsemat suundjoone  $S - S$  määramist. Miinimume või maksimume määratakse kas vastava mõõteriista või peatelefonide abil. Praktiliselt määratakse miinimumid kuulamise teel peatelefonidega, mis annab küllaldase täpsuse.

Suundjoone määramiseks on peileri raamiga ühendatud  $360^\circ$ -lise jaotusega limb, millelt loetakse suuna näitu.

Enne töö algust orienteeritakse peileri raam kompassi abil nii, et selle küljed asetsevad põhja-lõuna suunas. Raami suunamisel tuleb arvestada paiga magnetilist deklinatsiooni, mis arvatakse kompassi näidule kas juurde või maha, olenevalt deklinatsiooni märgist. Kui näiteks paiga deklinatsioon on  $+2^\circ$  (ida poole), siis raami külgede tsentrit läbistav suund peab olema üldisest näidust  $-2^\circ$  lääne poole\*, et ta oleks õige, s. o. kaardi põhja-lõuna suunaga ühtiv. Tegelikult suunamise lihtsustamiseks sooritatakse raami väljasuunamine ükskõik millises raami asendis. Seejuures arvestatakse raami külgede tsentrijoone ja põhja suuna vahel oleva nurgaga  $\pm$  deklinatsioon. Sellele nurgale vastavalt ühendatakse raamiga limb. Asetades nüüd raami küljed geograafilisse põhja-lõuna suunda, siis peab limb näitama  $0$  ( $360^\circ$ ) kraadi. Kui selliselt suunatud raamiga saatejaama peilida maksimumi

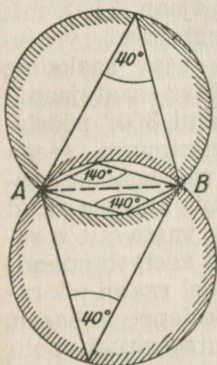
\* Käesoleval juhul raami põhjapoolse külje suhtes.

järele, siis näitab limb otsekohe suundjoone ja põhja-lõuna suuna vahelist nurka.

Peilimise juures kasutatavale kaardile kantakse peileri küllaldaselt täpne asukoht. Leitud nurk märgitakse kaardile nii, et peileri asukoht jääb nurga tipuks; nurga ühe külje moodustab geograafiline põhja-lõuna suund, kuna nurga teine külg tähistab saatejaama ja peilerit läbivat suundjoont.

Et tavaliselt peilimine sooritatakse miinimumi abil, siis tuleb limbilt loetud nurgale kas  $90^\circ$  juurde panna või maha arvata, sest miinimum läheb maksimumist lahku  $\pm 90^\circ$ . Peilimisel nurga lugemise hõlbustamiseks, võetakse juba peileri orienteerimisel nurk  $\pm 90^\circ$  arvesse, s. o. peileri raam suunatakse geograafilisse ida-lääne suunda, mil limb kinnitatakse nullasendis. Sel puhul peilimisel limbilt loetud kraadid näitavad otsekohe peilitava saatejaama asimuuti.

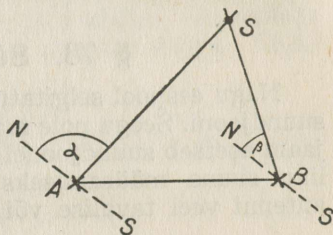
Saatejaama asukoha määramiseks vajatakse vähemalt kahte eripaikadesse ülesseatud peilerit (joon. 316). Peilerite asukohti A ja B ühendavat joonlõiku nim. peilimise baasiks. Kui peilimisel saadud nurgad  $\alpha$  ja  $\beta$  vastavalt kaardile kanda, siis sirgjoonte AS ja BS lõikepunktis S on peilitud saatejaama asukoht.



Joon. 317.

Suurema täpsuse saavutamiseks kasutatakse kolme peilerit, mis annavad kolm, ideaalsel juhul ühes punktis lõikuda võivat suundjoont. Tavaliselt moodustavad kolm suundjoont üksteisega lõikumisel väikese kolmnurga, milles tõenäoliselt asub peilitav jaam.

Baasi pikkus ja peileri tundlikkus määravad võimaliku peilimise ulatuse ja pindala. Normaalselt loetakse peilimise ulatuseks baasi AB pikkus, kusjuures peilimise pindala asub kahes sõõris, mis läbivad baasi alg- ja lõppunkte (joon. 317). Praktiliselt on võimalik määrata kõigi saatejaamade asukohad, millede suundjoonte lõikepunkt asetseb  $40^\circ$ — $140^\circ$  vahel, seega mõlema ringi osa-

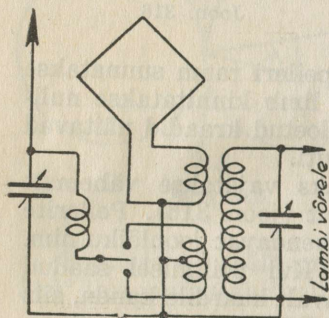


Joon. 316.

des, mis joonisel seestpoolt kriipsutatud. Ülejäänud pindala, mis mõlemale sõõrile ühine ja väljaspool kujutatud sõõre, pole peilimiseks otstarbekohane, sest saadud nurgad on kas liiga tõmbid või liiga teravad, mistõttu tekivad liiga suured vead löikepunktide määramisel. On peilerid suure tundlikkusega, siis võib baasi pikkus olla sadaid kilomeetreid.

## § 78. Suuna määramine.

Nagu eespool selgitatud on raamiga võimalik leida ainult suundjooni. Seega pole määratud kindlaks kas peilitav saatejaam asetseb suundjoonel peilerist ühel või teisel pool. Tegelik suuna määramiseks varustatakse peiler peale raamantenni veel tavalise või keppantenniga (joon.318). Keppantennis (või ka L- ja T-antennis)



Joon. 318.

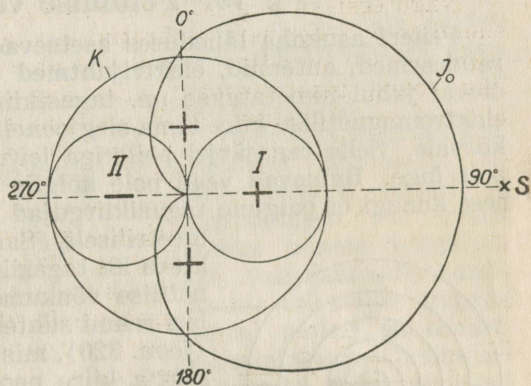
püsib peilitava saatejaama poolt indutseeritud voolutugevus alati teatava kindla suurusena. Kui peilitavat saatejaama, raadiusega  $r$  maastikul ümber peileri vedada ja graafiliselt üles märkida saatjalt vastuvõetud voolu tugevus peileri antennis, siis saaksime antennis indutseeritava voolu muutumise kõvera — sõõri  $k$  (joon. 319), mis iseloomustab konstantset voolutugevust. Samal ajal saaksime raamis, iga peilitava saatejaama asendi kohta, raami  $360^\circ$  pöörle-

misel, kaks voolu maksimumi ja kaks miinimumi, seega kaksiksõõri I ja II (joon. 319). Kaksiksõõri võib mõõdu andmetel graafiliselt ehitada sõõri  $k$  sisse, kui indutseeritud voolutugevusi raamantennis ja keppantennis vastavalt tasakaalustada. Oletame, et peilitav saatejaam  $S$  asetseb suundjoonel  $90^\circ - 270^\circ$  ja raamis indutseeritud vool raami pöörlemisel  $0^\circ$  kuni  $180^\circ$ -ni (I poolpöõre) on kokkuleppe kohaselt tähistatud  $+$ -märgiga; keppantennis indutseeritud voolu tähistame samuti  $+$ -märgiga. Need voolud, sattudes vastuvõtja võreringi, summeeruvad, andes resulteeriva  $I_0$ . Esimesel poolpöördel resulteeriv  $I_0$  on maksimaalne siis, kui raami küljed asetsevad saatejaama suunas. Raami II poolpöördel, s. o.  $180^\circ$  kuni  $0^\circ$  kraadini peilitava saatejaama suhtes, on voolude resulteeriv minimaalne — praktiliselt null, sest vool

raamis on nüüd eelmisele juhule vastupidine ja tähistatud vastupidine, s. o. —märgiga. Sel viisil on võimalik raami ja keppantenni abil saadud voolu maksimumi või miinimumi järgi määrata peilitava jaama tegelikku suunda.

Tavaliselt kepp- ja raamantenn sidestatakse joonisel 318 kujutatud põhimõtte järgi: antenni sidepool koosneb kahest sektsioonist, millede keskpunkt on maandatud ja millede otsad on vastufaasiliselt lülitatavad antenni külge. Lülitati

$k$  abil nii üht kui teist sidepooli sektsiooni võnkeringi lülides, leiame, et üks sektsioon annab tugeva ja teine nõrga jaamatöö kuuldavuse. Kui antenni- ja raami voolud on omavahel faasis, siis nad kutsuvad esile voolumaksimumi (tugev vastuvõtt). Lülitit teise sidepooli otsa külge ühendades, mõju-



Joon. 319\*.

vad raami ja antenni voolud vastuvõtja suhtes vastufaasiliselt, mis kutsub esile voolu miinimumi (nõrk vastuvõtt). Kuna lülitati maksimum-asend ühe raami külge suhtes määratakse tavaliselt varem kindlaks (mingi teadaoleva saatja järgi), siis ei tekita peilitava saatejaama suuna määramine mingeid raskusi.

Peilimine koosneb seega kahest tegevusest:

a) suundjoone määramisest raami abil vastuvõtu miinimumi järgi;

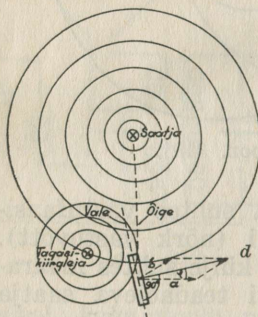
b) pärast seda pööratakse raami  $90^\circ$  võrra, s. o. maksimum-asendisse, ja lülitatakse antenni sidepooli üks sektsioonidest sisse; seejuures saadakse kas voolu maksimum või miinimum, mille kohaselt toimub peilitava jaama suuna määramine. Tavaliselt peilerid on nii ehitatud, et suuna määramine toimub resulteeriva miinimumi abil. Et saada suuna määramisel puhast miinimumi, selleks varustatakse antenni

\* Joonisel kujutatakse vooluvektori suund raamikülgede suunaga ühtivana.

sidepool vastava reguleerimisseadega, mis võimaldab antennis ja raamantennis indutseeritud voolu komponente võrdustada. Moodsad peilerid on varustatud kahe  $90^\circ$  nurga all oleva raamiga (teine raam asendab keppantenni). Sel puhul ühe, limbige ühendatud raamiga otsitakse suundjoon, kuna teine raam lüliti  $K$  sisselülimisel, vastavalt lüliti asendile, näitab peilitava jaama suunda.

## § 79. Peilimise vead.

Peileri asukoha läheduses asetsevad metallmassid, nagu raudesemed, antennid, elektrijuhtmed jne., milliseid käesoleval juhul nimetatakse nn. tagasikiirgujateks, kallutavad elektromagnetilise kiire tema sirgjoonelisest levimise suunast kõrvale. Selle tagajärjel peileriga leitud saatejaama suund pole õige. Ilmnevad vead pole kõigile suundadele ühtlased, sest kunagi ei paigune tagasikiirgujud peileri suhtes sümmeetriliselt. Saatejaama energia tekitab ka tagasikiirgijas elektromagnetilise võnkumise, mille kiired peileri raami suhtes pole sama nurga all (joon. 320), mis saatja kiired. Seega saatja kiire poolt raamis tekitatud voolu maksimumi graafilist väärtust kujutab vektor  $a$  ja tagasikiirguja kiire poolt tekitatud vektorit —  $b$ . Neid vektoreid geomeetriliselt liites saame resulteeriva voolumaksimumi  $d$  suunas. Nende kahe komponendi mõjul ei esine resulteeriv voolumaksimum mitte siis, kui raami asend on külgedega saatja suunas, vaid siis,

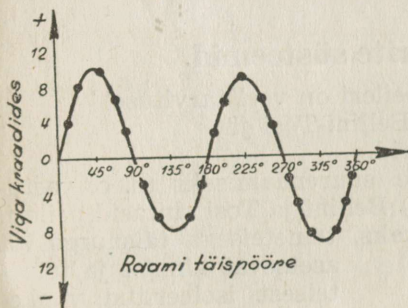


Joon. 320.

kui raami külgedega suund on kõrvale kallutatud nurga  $\varphi$  võrra. Niiviisi saadakse mitte üksnes valesuund, vaid ka ebapuhtad ehk ebateravad maksimumid või miinimumid.

Selliste nähtuste vältimiseks tuleb eeskätt peileri asukoht valida võimalikult eemale metallmassidest ja elektri juhtmeist. Igal juhul pole see siiski välditav, näiteks laevadel. Neil puhkudel valmistatakse veakõver, kasutades selleks kas väikest abisaatjat või ringhäälingusaatjaid. Esimesel juhul veetakse abisaatja 4—5 km ringiga peileri ümber ja tehakse üheaegselt optilised ja elektrilised peilimised. Nende lahkumine annab vea nurgad, mis vastavasse tabelisse

kantakse ja graafiliselt kõverjoonena kujutatakse (joon. 321). Olgu näiteks elektriline peiling  $30^\circ$  ja optiline  $32^\circ$ , siis viga on  $+2^\circ$ ; kui optiline peiling oleks  $27^\circ$ , siis viga oleks  $-3^\circ$ . Niiviisi leitakse lahkuminekuud raami  $360^\circ$  pöörde jaoks. Sümmeetrilise tagasikiirguja puhul veakõver on raami  $360^\circ$  pöörde juures kahekordne sinusoid (näiteks raudkeregale laevadel). Maastikul võib vea kõver olla ühekordne sinusoid, ja ebakorrapäraste tagasikiirgujate paigunemise ja suuruste



Joon. 321.

peilitud ja arvutatud (s. o. tõeliste nurkade vahel annavad veanurgad, millede abil valmistatakse veakõver.

Veakõver näitab, et vead on raami täispöördel positiivsed ja negatiivsed. Vastavalt arvatakse ka peilimisel saadud nurgale veanurk kas juurde või maha.

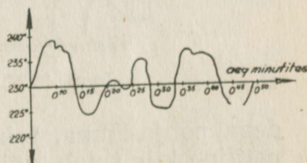
Moodsad peilerid on varustatud seadmega, mis kord leitud vigu võimaldab peilimisel automaatselt arvestada. Eri-liste seadmetega varustatud peilerite juures on võimalik viga ka peilimisel suuremalt osalt kõrvaldada.

Nagu varem mainitud, kasutatakse peilimiseks ainult otsest kiirt, s. o. pinnalainet. Tegelikult aga tekib ioniseeritud õhukihtidesse suundunud lainega tagasimurdumine või peegeldumine korrapäraste nurkade all, mistõttu ta (ruumilaine) pole enam ühtiv nii suunalt kui faasilt otseselt peilerisse saabuva lainega ning tekitab seetõttu peilimisel vigu.

Seesugune elektromagnetilise kiire kõrvalekaldumine võib öösel olla päevasest korrapäratult erinev. See kõrvalekaldu-

puhul mingi ebamäärane kõver; s. o. viga esineb ainult mõnes suunas, kuna ülejäänud suundades ta hoopis puudub.

Teise viisi järgi leitakse veakõver järgmiselt: esmalt leitakse peileri ja ringhäälingu- või teadaolevate muude kohtkindlate saatejaamade kordinaatide abil nende jaamade suunad peileri asukohast. Lahkuminekuud peilimisel



Joon. 322.

mine võib ulatuda nii ühele kui teisele poole kümnete kraadide piirides (joon. 322). Mainitud nähtust nimetatakse ööefektiks. Eriti suured on kiire kõrvalekaldumised päikese tõusu ja loojangu ajal. Samuti suurenevad kõrvalekaldumised lainepikkuse vähenemisega. 100 m ja lühemal laineil pole kiire suund ka päeval püsiv, missugune asjaolu raskendab tunduvalt lühilainetel töötavate jaamade peilimist. Soodsamaks lainepiirkonnaks, kus ööpäeva mõjust tingitud kiire kõrvalekaldumised on kõige väiksemad, on 900—1000 m.

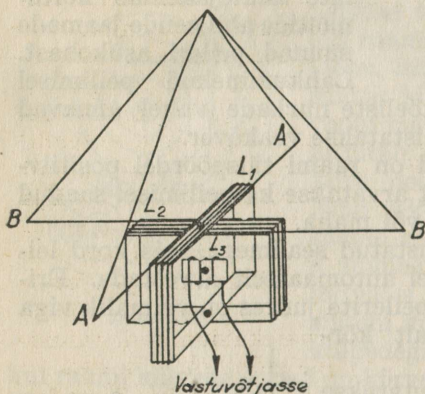
## § 80. Peilerite süsteemid.

Peale pöörleva raamiga peileri on veel tarvitusel

— pöörleva pooliga ehk Bellini-Tosi ja

— Adcock-süsteemi peilerid.

Raami efektiivse kõrguse suurendamiseks (s. o. vastuvõtu ulatuse suurendamiseks) Bellini ja Tosi ehitasid peileri, mille raami aset täidavad kaks, teineteisega täisnurga all asetsevat kinnist ja teineteisest isoleeritud võnkeringi  $A-A$  ja  $B-B$  (joon. 323), millede kõrgus on tavaliselt 10—20 m. Kinnised võnkeringid sidestatakse vastuvõtjatega teineteisele  $90^\circ$  nurga all paigutnevate poolidega  $L_1$  ja  $L_2$ , mis on samuti liikumatud. Poolide  $L_1$  ja  $L_2$  tsentris asetseb ümber telja pöörlevad võim otsimispool  $L_3$ .



Joon. 323.

Kinnised võnkeringid  $A-A$  ja  $B-B$  orienteeritakse ülesseadmisel nii, et üks neist asetseb külge-

dega põhja-lõuna, teine ida-lääne suunas. Kui elektromagnetiline kiir tuleb näiteks ühe kinnise võnkeringi külgedes suunas, siis selles indutseeritud voolutugevus on maksimaalne, kuna teises raamis on voolutugevus samal ajal minimaalne. Vastavalt sellele on voolutugevus ka poolides  $L_1$  ja  $L_2$ . Kui otsimispool  $L_3$  asetada keerdudega vastava kinnise võnkeringi pooli keerdudega ühesuunaliselt, siis on voolutugevus ka poolis  $L_3$  maksimaalne ja selle asendi järgi või-

dakse määratella peilitava saatejaama suundjoont. Kui kiir tuleb kinniste võnkeringide suhtes mingi nurga all, siis indutseeritakse vool mõlemas võnkeringis ja poolile  $L_3$  mõjub nende resulteriv. See resulteriv on poolis  $L_3$  maksimaalne siis, kui  $L_3$  asetseb oma külgedega peilitava saatejaama suunas (joon. 324). Suuna määramine viiakse ka siin läbi miinimumi abil, kui sellele vastavalt on orienteeritud limb.

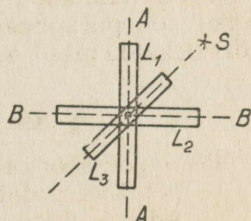
Lühilainete peilimisel kasutatakse nn. Adcock-süsteemi peilereid (joon. 325). Selle süsteemi juures kasutatakse vertikaalantenni  $A_1, A_2, A_3$  ja  $A_4$ , millede horisontaalosad on varjestatud. Sümmeetrilisuse saavutamiseks on igas antennis pöördkondensaatorid ja antennipaarid asetsevad teineteisele  $90^\circ$  nurga all.

Kumbki antennipaar evib sidestuspoole  $L_1$  ja  $L_2$  ning otsimispooli  $L_3$ , nagu Bellini ja Tosi süsteemi juureski. Kui mõlemate antennipaaride kõrgesageduslikud takistused kondensaatoritega  $C_1, C_2, C_3$  ja  $C_4$  on tasakaalusstatud, siis mõjub antennides voolutekitavalt ainult elektromagnetilise välja horisontaalne komponent. Seega Adcock-süsteem evib teiste süsteemidega võrreldes paremusi, sest kiire kõrvalekaldumised ruumilaine mõjul on väikesed.

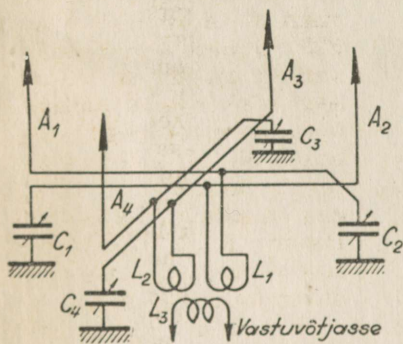
Kuna Bellini-Tosi ja Adcock-süsteemilised peilerid evivad teatavaid pa-

remusi raampeileri ees, on nad oma konstruktiivse paindumatus tõttu kasutatavad siiski ainult statsionaarsetes seadmetes.

Peilerite orienteerimise ja kasutamise üksikasjad on võrdlemisi komplitseeritud. Nende käsitus ei kuulu käesoleva raamatu ülesandesse. Olgu muuseas tähendatud, et käsitamise ja töötamise juhendid antakse tavaliselt valmistaja firma poolt peileriga kaasa.



Joon. 324.



Joon. 325.

A-10481

2  
6

Hind 4 krooni