

N. M. IZJUMOV

**RAADIOTEHNIKA  
KURSUS**



**EESTI RIIKLIK KIRJASTUS**

PROF. N. M. IZJUMOV

RAADIOTEHNIKA  
KURSUS



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS  
TALLINN 1951



## ELEKTRONSEADISED.

## 6. TERMOELEKTRILINE EMISSIOON.

Elektronseadistest on enamkasutatavad nii saatjas kui vastuvõtjas raadiolambid. Raadiolambid on koos võnkeringidega tänapäeva saatjate ja vastuvõtjate tähtsamateks osadeks. Raadiolampe kasutatakse väga laialdaselt raadioside, kauge- ja kõrgsagedusliku traatside-, ringhäälingu- ja teistes seadmetes.

Raadiolambid leiutati käesoleva sajandi algul ning leidsid ulatuslikumat kasutamist esimese maailmasõja lõpul. Raadiolamp võimaldas raadioside tootmist kustumata võnkumise abil, samuti võimaldas raadiolambi kasutuselevõtt raadiotelefonilist sidet, ta võimaldas laiendada kasutatavat sagedusastmikku ja suurendada saatjate võimsust ning mitu tuhat korda tösta vastuvõtjate tundlikkust.

Kõikide raadiosaatjate ja raadiovastuvõtjate varustamiseks läheb vaja miljonid raadiolampe. Nende tootmisega tegeleb elektronseadiste tööstus, mis on raadiotööstuse peamiseks varustajaks.

Nõukogude elektroaakumiseadiste tööstus sündis kodusõja aastail ja arenes iseseisvalt meie teadlaste M. A. Bontš-Brujevitsi, A. A. Tšernõševi, S. A. Velšinski ja teiste juhtimisel. Väikestest töökodadest ja laboratooriumidest arenesid suured tehased, mis suutsid Isamaasõja päevil täita meie relvastatud jõudude hiiglaslike nõudmisi.

Nõukogude teadlaste teoreetilised uurimused ja katsed võimaldasid luua elektroaakumifüüsika ja -tehnika küsimusi käsitlevat mahukat kodumaist kirjandust. Sellel alal töötasid D. A. Rožanski ja M. V. Sulcišin, laialdast tähtsust omavad V. F. Vlasovi kirjutatud tööd; paljud elektronseadiseid käsitlevad tööd on määratud ülikõrgsageduste jaoks.

Raadiolamp kujutab endast seadist, mis kasutab elektrilaengu (elektronide) voolu õhutihjajas ruumis. Lambis kasutatav vabade

elektronide vool eraldub seks otstarbeks määratud metallektroodiit, mida kuumentatakse elektrivooluga. Kuumentatud metallist elektrilaengu eraldumist nimetatakse termoelektriliseks emissiooniks (elektronide kiirgamine soojuse toime).

Metallis, nagu igas teiseski tahkes materjalis, on molekulid üksteisega tugevasti seotud, kuid nende vahel on vahed (nn „aatomitevahelised koridorid“).

Metallis, erinevalt dielektrikust, liiguvad neis aatomitevahelises koridorides negatiivsed elektriosakesed — elektronid. Elektronid liiguvad metalli sisemuses korrapäralt ja neid nimetatakse poolvabadeks elektronideks, sest nad ei saa vahalt väljuda metalli pinnast.

Elektronide liikumine toimub mitmesuguste kiirustega igas suunas. Nende kiirused on üldiselt vastastikku tasakaalus ja me ei märka juhtimes elektrilist nähtust, arvestamata väga nõrku voolusid, s. o. kõrvalekalduvaine elektrilisest tasakaaluseisundist küll toimub, kuid nende avastamiseks on vajalikud äärmiselt tundlikud mõõteriistad.

Kui metallkehale rakendada mingisuguse vooluallika pinge, siis elektronid omandavad piki elektrivälja suunatud liikumise. Elektronid annavad üksteisele liikumise edasi suunaga miinusest plussis: just sellise suunaga elektronide liikumist nimetamegi elektrivooluks.

Voolu tugevust määrab elektronide hulk, mis läbib 1 sekundi vahel juhtme ristlõiget.

Nii näiteks, kui sekundi jooksul juhtme ristlõiget läbib ühes suunas umbes  $7 \cdot 10^{18}$  elektroni, siis vool on 1 A. Siit võime järeldada, et iga elektroni laeng on väga väikene ( $10^{18}$  saadakse, kui miljon korrutatakse miljoniga ja veel kord miljoniga).

Peame kindlalt meeles, et elektrilistes skeemides loetakse voolu suundi plussist miinusesse, s. o. vastupidiselt elektronide liikumissuunale. Säärane elektrivoolu suuna määramisviis võeti kasutamisele enne seda, kui avastati elektronide olemasolu.

Poolvabad elektronid ei saa oma korrapäralt liikumisel tungida väljaspoole metalli pinda, kuna nende kiirusest ei piisa metalli positiivsete ioonide (s. o. osa elektrone kaotanud aatomite) kiigetõmbefõu ületamiseks. Selleks et elektronid võiksid väljuda metallist, on tarvis tösta nende liikumise kiirust. See on teostatav metalli kuumentamisega.



Kui metalli kuumendada, siis elektronide liikumise (korrapäratu liikumise) kiirus temas suureneb ja elektronidel on võimalus metallist väljuda (emiteeruda). Sellisel vabanenud elektronid kujundavad metalli ümbritsevas ruumis miinusega elektrilaengu. Selle ruumilaengu tihedus, s. o. elektronide arv  $1 \text{ cm}^2$  sõltub metalli temperatuurist. Antud temperatuuril juures saavutab ruumlaeng sellise tiheduse, mis katkestab edaspidise emissiooni põhjusel, et ruumlaeng tõukab metallile tagasi sealt väljuvaid elektrone (sarnanimelised tõukavad), takistades nõnda nende väljumist.

Ruumlaeng kujuneb näiteks valgustuslambi hõõgniidi ümber (hõõgniidi temperatuur ületab valgelt hõõgumisel  $2000^\circ$ ). Valgustuslampide emissiooni aga ei kasutata. Selleks, et tähele panna emissiooni ja leida võimalus tema praktiliseks kasutamiseks, tuleb valmistada eriline õhutihi seadis, mida nimetataksegi raadiolambiks (elektronitorus).

## 7. KAHE ELEKTROODIGA RAADIOLAMP.

### Raadiolambi töötamise põhimõte ja tema ehitus.

Raadiolambi lihtsaimaks tüübiks on diood — kahe elektroodiga lamp (joon. 191). Lambi elektroodid asuvad evakueeritud<sup>1</sup> klaas- või metallkestas. Üks elektroodidest, nn. k a t o o d, kujutab endast peenikest traati (niiti) ja teine elektrood — anood, meenutades oma kujult metallisilindrit, ümbritseb katoodi. Skeemidel kujutatakse elektroode leppemärkidega, nagu see näidatud joonisel 192.

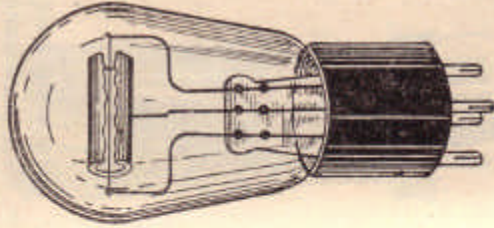
Mõlemad katoodi väljuvad juhtmed ühendatakse küttepatariiga (joon. 192); kütteniiti läbib vool soojendab teda vajaliku temperatuurini, mis tekitab katoodilt elektronide emissiooni. Anoodi ja katoodi vahele on lülitatud teine patari (anoodpatari), mis on ühendatud plussklemmiga anoodi ja miinusega katoodi ühenduste külge. Vastavalt selle patari polariteedile saidki lambi elektroodid oma nimetused a n o o d ja k a t o o d.

Anood tõmbab oma poole katoodist emiteeruvaid elektrone ja nende katoodilt anoodile lendavate elektronidega suletakse anoodvooluring: anoodpatari plussilt anoodile, seejärel läbi anoodi ja

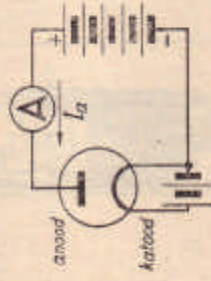
<sup>1</sup> Kesta evakueerimine — tähendab esmaldana temaist spetsiaalsete pumpade abil gaasi.

katoodivahele ruumi katoodile ja edasi — anoodpatari miinus klemmidele. Anoodvooluringi alalisvoolu suunda loeme, nii nagu see leiab kasutamist ka elektrotehnikas, anoodpatari plussilt läbi tühjuse miinusele, s. o. vastupidiselt elektronide liikumissuunale. See vool on võrdne sekundi väitel anoodini lendavate elektronide laengu summa; teda mõõdetakse anoodvooluringi lülitatud mõõteriistaga (amperimeetriga).

Kui anoodpatari polariteet oleks ümber vahetatud ja anood osutuks kütteniidi suhtes negatiivseks, siis ei tõmmataks temale ka elektrone; järelikult, anoodvooluringis ei saa olla vastassuunalist voolu. See omadus lubab dioodi kasutada vahelduvvoolu



Joon. 191. Diod.



Joon. 192. Diodi tähistamine.

suunajana lülitustes, mis leiavad lähemat vaatlust edaspidi. Peatume lühidalt raadiolambi kesta ja sokli ehitusel.

Kest on klaasist või metallist, mille sisse on monteeritud lambi elektroodid (anood, katood ja lisaelektroodid, kui need olemas). Selleks, et kesta liikuvad elektronid ei pörkuks kokku gaasi osakestega ega kaotaks selle tulemusena oma energiat, pumbatakse kestaist õhk välja ja temas tekitatakse kõrge vaakum (s. o. surve kesta sisemuses jääb tähtsusetult väikeseks võrreldes atmosfääriga).

Kuid isegi väikene hulk gaasi, mis jääb lampi peale selle tühjapumpamist või mis eraldub lambi sisemuses tema töötamise väitel, tekitab kahju: gaasi molekulide ja elektronide kokkupõrgete tagajärjel tekivad positiivsed ioonid liiguvad katoodile ja neutraliseerivad tema ümber oleva negatiivse ruumlaengu; see tugev-



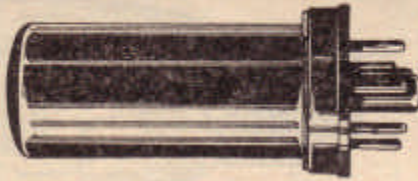
dab anoodivoolu ebanormaalselt, mis mõnikord põhjustab isegi katoodi purunemist loonide pommitamise tagajärjel.

Pärast lambi tühjakpumpamist sinna jäänud või seal ilmnenuid gaaside kõrvaldamiseks pannakse lampi absorbeeruv aine, mis keemiliselt ühineb gaasidega. Absorbeeruva aine koosseisu kuuluvad tavaliselt keemiliselt aktiivsed metallid: baarium, magneesium, tantaal jt. Aine tolmustub lambi kuumutamisel ja sageli sadestub läbiipaistmatu peegelkihina klaaskesta siseosale.

Kestad valmistatakse klaasist (Joon. 193) ja metallist (Joon. 194). Metallkest on vastupidavam ja varjestab lambi elektroode välismõjude eest. Et metall-lampide töötlemine on



Joon. 193. Klaaskestaga lamp.



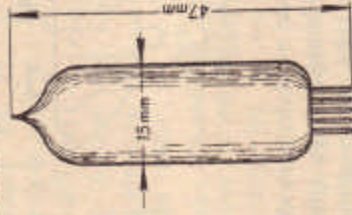
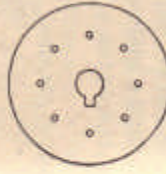
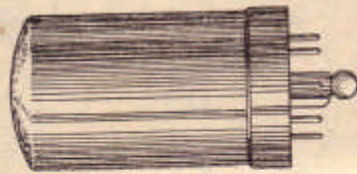
Joon. 194. Metallkestaga lamp.

keerukas, siis toodetakse neid ka vähem. Kõik saatjate võimsad lambid ja vastuvõtjate vahetu küttega lambid omavad tavaliselt klaaskesta. Selleks et varjata elektroode väliste elektriliste mõjude eest, kaetakse mõnede lambitüüpide klaaskest väljastpoolt metallitoimu kihiga (kulla- või telliskivi värvi).

Lambi elektroodid ühendatakse kestaklaasi läbivate juhtne-keste külge, metall-lampides aga läbi klaasisolaatorite (metalliga kokku keevitatud) väliste ühendusjuhtmete külge. Lambi hõlpsamaks ühendamiseks lülitusse on ta varustatud sokliga, s. o. alusega, millele kinnitatakse kesti. Elektroodide juhtmed joodetakse sokli jalgade külge. Sokli jalad ühendavad lambi lambipesa kaudu lülitusse teiste elementidega. Meie väikevõimsuslike klaas- ja metall-lampide juures kasutatavatel soklitel on kuni kaheksa kontaktjalga, ehkki tegealkult mitmete lambitüüpide juures on elektroodide arv alla kaheksat ja osa jalgu jääb kasutamata.

Sokkel valmistatakse tavaliselt plastmassist. Olikõrgsageduste puhul kahe kontaktjalga vahele rakendatud pinge tekitab sokli materjalis ebasoovitavaid kadusid, mis halvendavad lülituseomadusi. Seepärast kasutatakse viimastel aastatel ikka enam ja enam soklituta lampe. Sellise lambi kestel omab lamestat klaasist põhja, mida läbitavad klaasisse joodetud jämedast kroomraud-traadist vardakesed.

Need vardakesed on lambi sisemuses elektroodide väljajamisjuhtmeteks, väljastpoolt lampi aga — kontaktjalga-deks. Kuid suhteliselt peenest traadist jalad ei suuda siiski lampi küllaldaselt kimitada pesas; seepärast on



Joon. 195. Metallist välisvarjega klaaslamp. Joon. 196. Miniatuurilamp.

säärasel lambil kinnitusvarras, mis haaratakse lambi pesa küljes oleva vedru poolt.

Selline klaaskestaga lamp kaetakse sageli metallist (alumiiniumist) varjega, mis teeb lambi mehaaniliselt vastupidavamaks ja kaitseb teda väliste elektriliste mõjude eest (Joon. 195 on kujutatud varjestatud lamp).

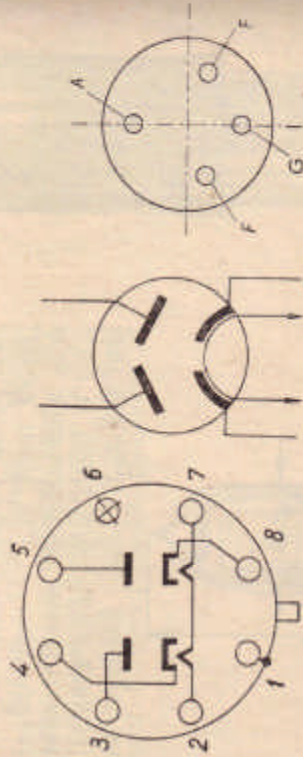
Soklita lampide hulka kuuluvad ka miniatuurilambid, mis on määratud kergetele kantavatele raadioaparaatidele (Joon. 196).

Nüüd vaatleme sokliühenduse viise, s. t. elektroodide ühendamist seda või teist numbrit kandva kontaktjalaga (lampide suur mitmekesisus nõuab selles küsimuses selgitavaid materjale tabelite või jooniste näol).



Näidised on jootisel 197 toodud kaksikdioodi tüüp 6X6 elektroodide sokliühendus, mille tavaline skemaatiline kujutus on antud jootisel 198. See lamp kujutab endast kaht dioodi asetatuna ühisesse kessa, kusjuures tal on kummagi dioodi jaoks eraldi anood ja katood, kütteniidid aga on ühendatud lambi sisemuses järjestikku.

Kontaktjalg nr. 1 on ühendatud metallkestaga ja kontaktjalga nr. 6 antud lambis ei kasutata ning see võib üldse puududa.



Joon. 197. Kaksikdioodi Joon. 198. Kaksikdi- Joon. 199. Nelja kon-  
6X6 sokliühendus. oodi skeem. taktjalaga sokkel.

Vanemate seeriata lampide soklid olid nelja ebasümmeetriliselt paigutatud kontaktjalga (joon. 199); nende lampide kütteniidid oli ühendatud kahe sümmeetrilise kontaktjala külge, anood aga — eemal asuva kontaktjala külge.

### Katoodi ehitus ja töö.

Tutvume üksikasjalisemalt katoodi ehituse ja tööga. Lihtsaim katoodi kirjeldasime kütteniidina, mis sarnaneb valgustuslampi hõõgniidiga. Sellise niidi materjaliks on metall volfram. Volframi pinnal algab märgatav elektronide emiteerumine alles kõrge temperatuuri juures (umbes 2200°C). Edaspidisel kütte suurendamisel hakkab ka emissioon tugevasti suurenema, kuid kütteniid kuumentamine üle ettenähtud normi vähendab järsult tema eluga. Olemäärasel kütmisel auravad metalli osakesed kütteniid pinnalt; kütteniid muutub peenemaks ja puruneb. Kui kütteniid üle ei kuumentata, siis tema keskmine tööiga on 1000 ja enam tundi.

On täiesti selge, et lambi õigeks eksploatamiseks tuleb teada andmeid tema kütteniid temperatuuri kohta; tavaliselt otsustatakse seda küttepinge järgi. Niidi soojendamise reguleerimiseks lihitatakse sageli kütte vooluringi reostaati ja pinge kontrollimiseks ühendatakse kütteniid klemmidega voltmeter (joon. 200). Iga lambitüübi kohta annab tehas normaalse küttepinge väärtuse, mis tagab vajalikku kütteniid temperatuuri ja mille juures saadakse tarvilik elektriline emissioon.

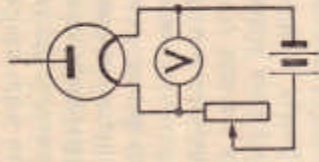
Küttepinge valitakse eksploatatsioonil tingimustele sobivana. Näiteks kantava raadiojaama aparaatides on laialt levinud lambid küttepingega 2 V, sest see pinge saadakse kahest järjestikkuühendatud leelis-akumulaatorist. Mõnikord kasutatakse kantavais raadiojaamades ka lampe küttepingega 1—1,1 V, mis on toidetavad ainult ühest leelis-akumulaatorist. Raadiosaantjate võimsate lampide küttepinge on 10 kuni 20 V. Rida saatelampide tüüpe varustatakse kahe kütteniidiga, mis on ühendatud kas rööbitti (10 V) või järjestikku (20 V).

Raadiojaama töötamiseks on energia kulu kütteringis mõeldavalt vähenenud, kuid seejuures ka kasutus; ta on vajalik ainult selleks, et katood emiteeriks elektrone sel ajal, kui anoodipatarei energia arvel toimuvad kasulikud protsessid anoodvooluringis. Siit on arusaadav ka püüe tõsta katoodi ökonoomsust, s. o. saada temalt normaalselt emissiooni võimalikult madala temperatuuri juures. Kui katoodi töotemperatuur on madalam, siis väheneb ka energia kulu kütteniidis; antud pinge juures võimaldab see vähendada küttevoolu ja pikendada patarei tööiga.

Katoodi ökonoomsust iseloomustatakse tema viljakuse teoriga, mis kujutab endast emissioonvoolu (suurim vool anoodvooluringis) suhet katoodi soojendamiseks kulutatud võimsusega.

$$H = \frac{I_a}{P_s} \quad [mA/W].$$

Valemist nähtub, et viljakuse tegur määrab, millist emissioonvoolu tugevust (milliampreis) saame soojendamiseks ära kulutatud



Joon. 200. Reostaadiga ja voltmeteriga küttevooluring.



võimsuse iga vati kohta. Mida suurem on viljakus, seda ökonoomsem on katood.

Mingisugusest ühest puhtast metallist valmistatud katoodi viljakus on väike. Selleks et elektronid ületaksid metalli pinnakihhi püüdavat toimet, tuleb neile anda suur energia, s. o. soojendada katoodi kõrgele temperatuurideni, kusjuures tekib suur kütteenenergia kulu ( $P$ ).

Et vähendada katoodi töotemperatuuri ja tõsta tema viljakust, selleks tuleb kergendada elektronide väljumist metallist. Sel eesmärgil kaetakse katoodi traat õhukese teise metalli kihiga, mis kontaktpotentsiaali nähtuse tõttu (kaks eriliiki metalli) omab teda kandva metalli suhtes positiivse potentsiaali. Positiivse potentsiaali toime tõmmatakse elektronid katoodi pinnale ja seega on nende väljalend katoodi pinnast kergendatud. Sellised aktiivse-ritud katoodid töötavad küllalt madalate temperatuuride juures, s. t. nad on suurema viljakusega. Nende töötamisel on lähtis kaitsta seda pinnal asuvat aktiivset kihti, kuna viimase hävinedes (näiteks üekuunendamisel) kaob emissioon ja lamp lakkab normaalselt töötamast, ehkki tema küttenüht jääb terveks.

**Katoodide tüüpe.** Nagu juba märkisime, on küttenühti peamiseks materjaliks volfram. Tema töotemperatuur on ligi  $2400^{\circ}\text{C}$ , mis vastab valgele hõõgumisele. Säärane katood pole ökonoomne. Ta võimaldab emissioonvoolu mitte üle  $I = 6 \text{ mA/W}$ . Seepärast kasutatakse käesoleval ajal puha volframi ainult suurte saatjate võimsate lampide küttenühtide valmistamisel, kus võimsus kütteks ei moodusta peamist osa kogu ärakulutatavast võimsusest. Koos sellega paistavad volframi katoodid silma erakordselt püsiva emissioonvoolu poolest, võrreldes aktiveeritud katoodidega, mis kaotavad oma emissiooni pealmise kihi purunemisel.

Üks ajalooliselt varaseim aktiveeritud katoodi tüüp on karbiidid katood. See valmistatakse tooriumoksuüdi lisandiga volframi. Pärast õhu lambist väljapumpamist kuunendatakse seda katoodi lühikese aja vältel kõrge temperatuurini, mille tõttu tooriumoksuüdi kujundab lagunedes katoodi pinnal puhtast tooriumist üheaatomipaksuse kihi, mis annab tugevamat emissioonvoolu. Arvestades tooriumiga otseselt kaetud volframi katoodi emiteerimise ebapüsivust (emissiooni) lakkamine temperatuuri tõustes üle  $1700^{\circ}\text{C}$ ), kuunendatakse volframi enne aktiveerimist naftaliini või atsetüleenri aurudes, taotledes seda, et volframi pinnal tekiks volframi karbiidi kate. Pärast karbiidiga kattumist katood aktiveer-

ritakse, mille juures tekib volframi karbiidile tooriumi aatomite kiht. Karbiidiga kaetud katood töötab temperatuuriga kuni  $2000^{\circ}$  ja annab emissiooni kuni  $70 \text{ mA I W}$  kütte võimsuse kohta. Karbiidiga kaetud katoodi tööiga pole suhteliselt kuigi suur ( $400\text{--}500$  tundi), sest volframi karbiid pole mehaaniliselt vastu- pidav. Selliste katoodide elektriline stabiilsus aga lubab neid kasutada nii võimendus- kui ka väikestes generaatorlampides (anoodpingega kuni  $1000 \text{ V}$ ).

Peale karbiidiga kaetud katoodide kasutatakse raadiolampides laialdaselt ka baariumiga kaetud ja oksüüd katode. Baariumiga kaetud katood valmistatakse järgmiselt: vaskoksuüdi- digi kaetud volframtraat monteeritakse lampi; anoodile kinnitatakse tema kokkumonteerimise ajal baariumi sisaldava termiidi tablett. Valmis lamp (evakueeritud ja kinni joodetud) asetatakse kongsagedusliikku vahelduvasse magnetvälja; lambi anoodi kuunendatakse pöörivooludega, mille tulemusena termiit süttib ja tolmustades katab küttenühti baariumikihiga. Baariumiga kaetud katood töötab väga madalate temperatuuride juures (alla punaselt hõõgumist) ja annab emissioonvoolu kuni  $120 \text{ mA I W}$  kütteks kulutatud võimsuse kohta. Tuleb aga meele pidada, et aktiivne baariumi kiht võib kergesti ära auruda isegi väikese üekuunendamise juures; lambi küttenüht jääb terveks, kuid emissioonvool kaob. Meie lampidest omavad baariumkatode näiteks lambid tüüp CB-242 ja 2K2M. Nende lampide küttenühti hõõgumine pole praktiliselt silmaga nähtav.

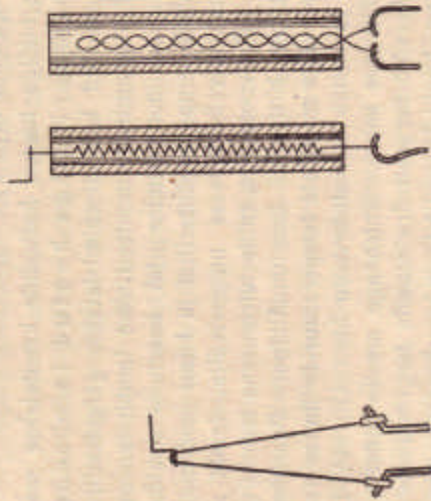
Oksüüd katoodi küttenüht valmistatakse niklist ja enne lambi kokkumonteerimist kantakse tema pinnale baariumi sisaldav oksüüdkiht. Baarium eraldub oksüüdist kütte- ja anoodpinge esimesel sisselülitamisel. Oksüüd katoodid töötavad tumepunaselt hõõgudes ja annavad emissiooni kuni  $100 \text{ mA I W}$  kohta; nad on vähem ökonoomsed kui baarium katoodid, kuid paistavad silma suure vastupidavusega ja pika töötamisajaga. Oksüüd katoodid on näiteks lampidel tüüp CO-242 jt. Viimasel ajal kasutatakse neid katode sagedamini kui baarium katode.

Konstruktioonilt võidakse katode valmistada sirgest traadist, mis on asetatud piki silindrikujulise anoodi telge nii, nagu see oli näidatud joonisel 191. Niidi otsad keevitatakse hoidjate külge, mis juhivad niidile ka küttevoolu. Suure pikkuse juures (eriti anoodi lameda kuju puhul) on küttenüht ümberpööratud tähtede V



või W kujuline. Joonisel 201 on toodud V kujuline kütteniid, mille keskpaik hoitakse ülal vedru külge kinnitatud konksuga.

**Kaudse küttega katoodid.** Eristat tähelepänu pälvivad **k a u d s e** küttega katoodide tüübid. Kaudse küttega katood on kütteniidist elektriliselt isoleeritud ja teda kuumutatakse dielektriku kihi kaudu. Kaudne kiite vähendab kiite ökonomisust, sest vastu on aga seda tüüpi katood küllaltki massiivne ja säilitab kütte-



Joon. 201. V-kujuline kütteniid. Joon. 202. Kaudse küttega katoodide konstruktsioonid.

pinge kõikumisel ühtlast temperatuuri ning suure pinna tõttu omab ta märkimisväärset emissioonvoolu.

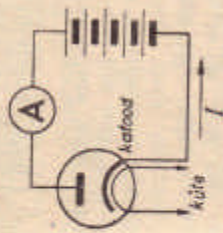
Kaudse küttega katoodi näide on toodud joonisel 202. Siin läbib kokkukeeratud ja isoleeritava aine kihiga kaetud volframtraat pikuti nikkelplekiist silindrit. Küttevool kuumendab traati ja see soojus kandub üle silindri seintele. Elektronid emiteerib välispinda kattev oksüüdi kiht.

Küttevoolu sisselülitamisele ei järgne otsekohe oksüüdikihi pinnalt elektronide emiteerumist, vaid see algab mõne aja möödudes, mis on vajalik kogu katoodi soojenemiseks (ligi 1 min.) Kaudse küttega lampidel on peale tavalise kabe väljajamisjuhtime (kütteniidid otsad) veel küttevooluringist eraldatud katoodi juhe, millega ühendatakse anoodvooluallika miinus (joon. 203).

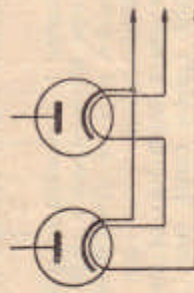
Algul kasutati kaudse küttega lampe vastuvõtjais, mida toideti vahelduvvoolu võrgust, mitte aga patareist. Kui kütteniidid soojen-

datakse vahelduvvooluga, siis seejuures võib tema temperatuur hakata kõrkuma vastavalt voolu muutusele, mis kutsub esile ebasoovitavaid anoodvoolu kõikumisi. Soojuslikku inertsi omav massiivne kaudse küttega katoodi süsteem võimaldab säilitada ühtlast keskmist temperatuuri. Loomulikult ei oma võrgust toitmisel katoodi madal ökonomisus erilist tähtsust.

Kaudse küttega lampide tüübid on leidnud kasutamist ka mootorsõidukeile monteeritud vastuvõtjais, kus on olemas küllalt võimsad toiteallikad<sup>1</sup>.



Joon. 203. Kaudse küttega diood.



Joon. 204. Kaudse küttega lampide hõõgniitude ja katoodide ühendamine.

Kaudse küttega katode kasutatakse näiteks raadiovastuvõtjate metall-lampide seerias (6X6, 6SK7, 6Φ6 ja teised). Nende lampide kütteniidid soojendamiseks vajalik pingele on tavaliselt 6,3 V; nende küttevoolu tugevus on samuti märksa suurem kui ökonomisemais lampides. Kaudse küttega generaatorlampide toitmiseks (näiteks Γ-411, Γ-471) vajalik küttepinge on 20 V. Odavates raadiovastuvõtjates kasutatakse kaudse küttega lampe, mida saab vahetult toita vahelduv- või alalisvoolu võrgust pingega 127 või 220 V. Kaudselt köetava katoodi idee on esimesena soovitatud nõukogu professori A. A. Tšernõšovi poolt juba 1921. aastal.

**Kütteniidide ühendamisviise.** Kui saatjas või vastuvõtjas on mitu ühesugust küttepingat vajavat lampi, siis nende lampide kütteniidid ühendatakse omavahel rööbiti ja toidetakse ühise reostaadi kaudu ühisest patareist. Mõnikord aga juhtub ka nii, et toiteallika

<sup>1</sup> Raadiojaamades, milles on kaudse küttega lampid, ei teostata saatele üleminekul vastuvõtja kiite väljalülitamist, kuna uuesti vastuvõtule siirdudes katkela korrespondentidevaheline side katoodide kuumutamiseks vajaliku aja vältel.



pinge on kaks või enam korda kõrgem lambi küttenitide toitmiseks vajalikust pingest. Reostaadi kasutamine pinget langetamiseks kaks või enam korda potentsiaaliks. Sel juhul tekib vajadus küttenitide järjestikku või segaühendamiseks. Lampide kaudsel kütisel osutuks selle kütmise lahendamise lihtsaks, sest katoodeid pole küttenitidega ühendatud ja neid võib ühendada patareid üldise miinusega (joon. 204). Niiugust lampide külmise viisid praktiliseeritakse näiteks liikuvais raadiojaamades, kus küttele toiteallikaks on üldine elektrivõrk pingega 13 kuni 25 V.

Vahetult kohtavate katoodega lampide küttenitide järjestikku ühendamine osutub raskeks ja seda kasutatakse ainult erijuhtudel.

**Olesanne 1.** Vastuvõttjas on rööbiti ühendatud seitse lambi 2K2M küttenitid, mille toitmiseks vajalik pinget on 2 V ja vool (iga lambi kohta) 60 mA. Akumulaatori pinget on 2,2 V. Arvutada sellele voolaringile vajalik küttesoostandi takistus.

**Olesanne 2.** Vastuvõttjas on ühendatud rööbiti kahevõrdilise seeria lampide küttenitid. Lampide tüübid, nende arv skeemis ja iga lambi vool on antud tabelis.

Lampide tüübid	Küttevool, mA	Lampide arv
CO-241	120	3
CB-242	160	1
CO-243	240	1
YB-240	120	1

Arvutada küttele vooluringi reostaadi takistus, kui vooluallika pinget on 2,5 V.

**Olesanne 3.** Leida küttenitide takistus ja küttele, tarvitav võimsus lampide 2K2M (vt. ülesanne 1) ja 6SK7 puhul, kui on teada, et katode küttega metall-lambi 6SK7 küttenitid toitmiseks on vajalik vool tugevusega 0,3 A ja küttepinge 6,3 V.

### Füüsikalised nähtused kahe elektroodiga lambi anoodvooluringis.

#### Lambi tunnusjooned.

Siirdume kahe elektroodiga lampide anoodvooluringides toimivate füüsikaliste nähtuste tundmaõppimisele. Anoodpatareid sisselülitamine muudab anoodi katoodi suhtes positiivseks. Katoodist väljunud elektrone, mis moodustavad seda ümbritsevas õhutihtjas ruumis ruumlaengu, tõmbab anood endale, mille tagajärjel tekib anoodvooluringis vool.

Elektronide liikumise aeg katoodilt anoodile on väga lühike, sest elektronide liikumiskiirus tühjuses on tuhandeid kilomeetreid sekundis. Anoodi poolt endale tõmmatud elektronide asemel eraldab kuumendatud katood

uusid elektrone ja selliselt saavutatakse anoodvooluringis pidev vool. See vool, nagu juba teame, määratakse sekundi vältel katoodilt anoodile sattunud elektronide hulga; kokkuleppeline voolu suund on aga vastupidine elektronide liikumise suunale.

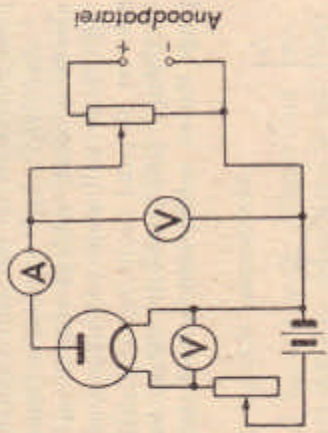
Sekundi jooksul anoodile sattunud elektronide hulk on tavaliselt väiksem sellest elektronide hulgast, mida katood eraldab sekundi vältel. Selle põhjuseks on ruumlaengu pidurdav mõju. Madalate anoodpingete puhul läbivad seda „elektronide pilvekest“ ainult need elektronid, mis lendavad katoodilt

välja küllaldase kiirusega. Vastavalt anoodpinge tõusmisele tõmmatakse ikka enam ja enam elektrone ruumlaengust anoodile. Anoodpinge tõstmisega saavutatakse lõpuks anoodvoolu piir nm. küllastusvool; sel juhul satuvad kõik katoodist väljuvad elektronid anoodile. On

arusaadav, et küllastusvoolu tugevus on võrdne katoodi emissioonivooluga ja oleneb ka-

toodi temperatuurist.

Neid dioodi omadusi võib kontrollida joonisel 205 kujutatud lülituse abil. Lülitame skeemi vajaliku kütte (küttepinget tähistame  $U_1$ ). Seejärel muudame kord-korral anoodpinget  $U_2$  ja jällegi anoodvoolu tugevust  $I_a$ . Anoodpatareid klemmidega on anoodpinge reguleerimiseks ühendatud pingejagaja (potentsiaalimeeter). Anoodpinge miinus on ühendatud küttele miinusega (skeemi ühine



**Küttopatari**

Joon. 205. Diodi omaduste uurimiseks kasutatava lülituse skeem.



Joon. 206. Lambi katoodi suhtes valitseva pinget jagamine piki potentsiaalimeetrit.

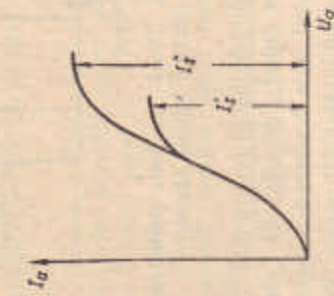
Neid dioodi omadusi võib kontrollida joonisel 205 kujutatud lülituse abil. Lülitame skeemi vajaliku kütte (küttepinget tähistame  $U_1$ ). Seejärel muudame kord-korral anoodpinget  $U_2$  ja jällegi anoodvoolu tugevust  $I_a$ . Anoodpatareid klemmidega on anoodpinge reguleerimiseks ühendatud pingejagaja (potentsiaalimeeter). Anoodpinge miinus on ühendatud küttele miinusega (skeemi ühine



punkt). Järelikult on potentsiomeetri alumisel otsal katoodi suhtes null pinge ja vastavalt libiseva kontakti liikumisele ülespoole tõuseb tema positiivne pinge. Anoodipatarei pinge jagunemine pliki potentsiomeetrit on piltlikult kujutatud joonisel 206.

Anoodivooluringi toimumiseks saadakse pinget potentsiomeetri alumisest osast, millega rööbisti on lülitatud pinge  $U_n$  kõrgust registreeriv voltmeeter. Milliampromeeter anoodvoolu  $I_n$  mõõtmiseks on lülitatud vooluringi järjestikku.

Likugu potentsiomeetri libisev kontakt alt üles, s. o. anoodipinge tõuseb nullist kuni patarei täispingeni. Märkame, et anood-



Joon. 207. Dioodi tunnusooneid.

vool tekib isegi väikeste pingele juures; vool tugevneb aga aeglaselt, kuna vaid vähestel elektronidel on ruumlaengu tõkestava mõju ületamiseks vajalik kiirus.

Edasi ilmneb suhteliselt järsk anoodvoolu tugevnemine, sest anoodile pääseb ikka suurem ja suurem osa ruumlaengu elektroofiljeme täiesti: see tähendab, et ruumlaengust on kõik „varuetelektroonid“ ammendatud ja jõuti küllastusvooluni ( $I_s$ ).

Kui nüüd kõrgendame küttepiget ja uuesti muudame anoodipinget alates nullist, siis näeme, et küllastusvool tekib kõrgema  $U_a$  väärtuse juures ja ta osutub eelnevast suuremaks.

Kandes horisontaaltelele  $U_a$  väärtused ja vertikaalsele vastavalt  $I_a$  väärtused, joonestame dioodi tunnusoone. Joonisel 207 on näidatud kaks tunnusoont, mis on üles võetud küttepinge kabe väärtuse juures. Siin vastab  $I_{a1}$  madaiale ja  $I_{a2}$  — kõrgemale küttepinglele.

Tuleb märkida, et püüdes saavutada aktiveeritud katoodiga vahetu küttega lampide juures küllastusvoolu tugevust skeemi kohaselt, mis näidatud joonisel 205, võib see ebaõnnestuda ja viia kütteniidi hävimisele: tugevnev anoodvool, läbides kütteniidi üht poolt koos küttevooluga, kuumendab veel omakorda kütteniiti ja löstab tema emissiooni, mis põhjustab anoodvoolu edaspidist tugevnemist; hõõgniit kuumeneb ikka enam ja enam ja lõppude lõpuks puruneb.

Joonisel 208 on näitena toodud nominaalse küttevoolu juures ülesvõetud kaksikdiodi 6X6 ühe dioodi tunnusoone.

### Kabe elektrodiga lampide parameetrid.

Olalkirjeldatud viisil saadud tunnusooneid võimaldavad omavahel võrrelda dioodide erinevaid tüüpe ja eksemplare. Dioodi omaduste arvulise hindamise aluseks on tema tunnusoone ülespoole suunduva sirgjoonelise osa tõus. Tõus nimetatakse anoodvoolu juurdekasvu suhet teda põhjustava anoodipinge juurdekasvuga.

Tõus märgitakse tähega  $S$ :

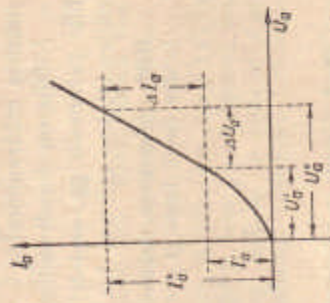
$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_a}$$

Füüsikaliselt näitab tõus, mitme milliampri võrra tugevneb anoodvool, kui anoodpinget tõstata 1 V võrra. Tõusu mõõdetakse milliamprites ühe volti kohta [mA/V]. Suur tõus on lambi väärtuseks.

Oskõik millises tunnusoone sirgjoonelisel osal asuvas punktis me ka ei määraks tõusu, jääb tema suurus antud lambi kohta ikkagi ühesuguseks. Seejärel ongi tõus lambi parameetrikas, s. o. ta on püsiv suurus, mille abil hinnatakse lambi omadusi.

Tõusu praktiliseks määramiseks tunnusoone (sirgjoonelisel osal) mõõdetakse voolu kahel erineval kohal erinevate anoodpingete  $U_{a1}$  ja  $U_{a2}$  juures (joon. 209). Saadakse „tunnuskoefmurd“, mille koostatid on

$$\Delta I_a = I_{a2} - I_{a1} \text{ ja } \Delta U_a = U_{a2} - U_{a1}$$



Joon. 209. Dioodi parameetrite määramine.



Need suurused nähtavad voolu ja pinge juurdekasvu; teades nende väärtusi (milliamprites ja voltides), võime kindlaks määrata töusu arvulise suuruse.

Tõusu pöördväärtust nimetatakse dioodi sisetakistuseks ja märgitakse tähega  $R_i$ :

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$$

Füüsikaliselt näitab lambi sisetakistus, mitme voldi võrra tuleks tõsta anoodpinget, et anoodvool tugevneks 1 A võrra (loomulikult, kui tunnusoone sirgjoonelist osa ei piiraks küllastusvoolu tekkimine).

Sisetakistust võib samuti nimetada lambi parameetiks. Sisetakistust mõõdetakse oomides (s. t. voltides ampril kohta). Suurus  $R_i$  iseloomustab dioodi takistust just vahelduvvoolule, täpsemalt, voolu muutustele, sest lähtevool — alalisvool  $I_a$  — ei võta osa  $R_i$  suuruse määramisest.

Niisiis on dioodi tunnusoone tõus täielikult kindlaks määratav ühe parameetriga, sest teine parameeter pole iseseisev, s. o. teda väljendatakse esimese kaudu.

Näide. Anoodpinge tõstmisel 6 V võrra tugevnes anoodvool 1,5 mA võrra. Leiame dioodi tõusu ja sisetakistuse

$$S = \frac{1,6}{6} = 0,26 \text{ mA/V};$$

$$R_i = \frac{6 \cdot 10^3}{1,5} = 4000 \Omega.$$

Suurt tõusu ja vastavalt väikest sisetakistust omava dioodi paremus seisneb selles, et selline lamp võimaldab nõutava anoodvoolu saamist väiksema anoodpingega. See on seoses anoodi soojendamiseks mineva võimsuskao vähenemisega. Võimsuse kadu on tingitud sellest, et anoodile sattunud elektronid annavad seetõel pöörkudes oma kineetilise energia, mille tulemusena anood täiesti asiatait soojeneb. Kui anoodvooluringis pole mingit takistust peale lambi enda (anoodvooluring on „lühises“), siis kulub kogu anoodpariteist võetav võimsus anoodi soojendamiseks

$$P_a = U_a \cdot I_a.$$

Anoodi soojenemine kõrge temperatuurini (punane ja isegi valge hõõgumine) on lubamatu, sest seejuures võib anoodi metall eraldada gaase, mille positiivsed ioonid pommitavad katoodi ja

võivad selle hävitada. Gaaside tekkimise tunnuseks lambis on tavaliselt sinakas valgus. Võimsais lampides, kus anoodpinged on kõrge, peavad anoodi mõõted olema samuti suured, et tema iga ruutsentimeetritele ei langeks liiga palju elektrone. Nende küttemiildid valmistatakse puhtast volframist, sest volframküttemiildid on suurema vastupidavusega.

Vantleme, millist takistust kujutab endast diood alalisvoolule.

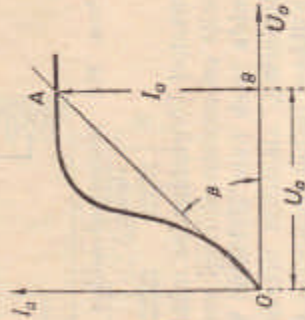
Vastavalt Ohmi seadusele, tuleb alalisvoolu takistus arvutada anoodpinge ja anoodvooluringi voolu suhtest:

$$R = \frac{U_a}{I_a}$$

See suhe aga on tunnusoone iga punkti kohta, s. o. anoodpinge mitmesuguste väärtuste juures, erinev. Tööpooles, võime ühendada tunnusoone üksikosi millist punkti koordinaattelgedele algpunkti sirgjoone abil, mis moodustab nurga  $\beta$  (joon. 210); pinge  $U_a$  ja vool  $I_a$  on selle punkti suhtes kolmnurga  $AOB$  kaanteltiks ja seepärast osutub arvuline takistus alalisvoolule võrdseks cot  $\beta$ -ga.

Joon. 210. Näidati dioodi eba-

linearsete omaduste kohta.



Tunnusoone teiste punktide kohta on nurk  $\beta$ , järelikult ka cot  $\beta$  teistsugune võrreldes väärtusega, mis tal oli punktis A. Tähenäeb dioodi takistus alalisvoolule sõltub anoodpingest. Pinge ja vool pole võrreldes (oletevus pole lineaarne); teistiti äädles, vooluring, millesse on lülitatud diood, ei olla enam Ohmi seadusele. Sääraste omadustega elektrijuhite nimetatatakse eba-linearseteks juhtideks.

On täiesti selge, et kui eba-linearsete juhile mõjav pinge ajaliselt muutub, siis muutub ka vool, kuid teistsuguse seaduse järele. Seda omadust kasutatakse laialdaselt raadiotehnikas; esimeseks näiteks eba-linearsete omadustega dioodi kasutamisel on diood-suunaja.

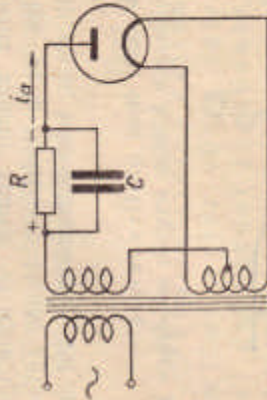
Eba-linearsete juhti sisaldavate vooluringide võnkumiste teooria on sügavalt läbi töötatud nõukogude õpetlaste akadeemikute L. I. Mandelstami ja N. D. Papiletsi loodud koolkonna poolt.

### Dioodi kasutamine vahelduvvoolu suunajana.

Dioodid leiavad praktilist kasutamist vahelduvvoolu suunajana alaldavates seadmetes (alaldajais). Alaldajaid on tarvis selleks, et saada raadioseadme toimiseks alalist pinget, kui kasutatavaks elektrilenergia allikaks on vahelduvvoolu võrk. Alaldajaid kasutatakse ka akumulaatorite laadimiseks vahelduvvoolu toiteallikatest.



Suunajaks kasutatavaid diode nimetatakse kenotronideks (kenotron – õhutühi seadis).



Joon. 211. Poolperiood-alaldaja lülitusskeem.

maatori kõrgepingeline mähis on lülitatud anoodvooluringi. Peale selle on anoodvooluringi veel lülitatud tarbija, s. t. see vooluring, mida tuleb toita alaldatud vooluga. Milline ka ei oleks tarbija vooluring, alaldatud voolule on ta ikkagi teatud comiliseks takistuseks  $R$ , mis ongi näidatud joon. 211.

Rööbiti takistuse klemmidel on lülitatud suunatud voolu silumiseks määratud mahtuvus  $C$ .

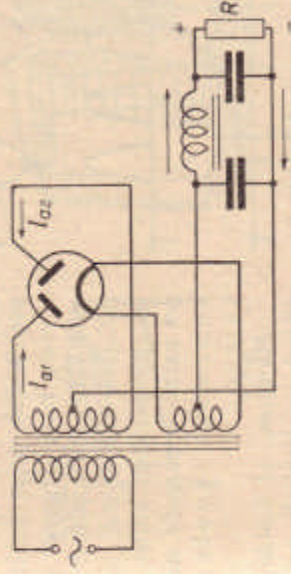
Alaldaja töö on toodud joonisel 212. Positiivse pinge mõjudes anoodile läbib anoodvooluringi (lambi kaudu) vool (tõuge). Loo- mulikult puudub negatiivse pinge korral anoodvooluringis vool. Iga impulss laeb mahtuvust  $C$ , mis pidevalt tühjeneb takisti  $R$  kaudu, hoides selles takistis peaaegu püsiva voolu. Märgime, et koormust  $R$  toitev alaldatud vool tekitab sellel pingelangust.

$$U_0 = I_0 R,$$

kusjuures see pinge osutub anoodi suhtes negatiivseks. Just see pärast kestab vool läbi lambi vähem aega kui periood: vool saab läbida lampi vaid sel ajal, mil transformatori positiivne pinge ületab  $U_0$  väärtuse. Seevastu negatiivse poolperioodi väl-

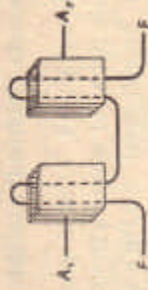
tel liitub transformatori pinge pingega koormusel. See sunnib konstrueerima kenotroni nii, et kõrge pinged ei saaks kütteniidi ja anoodi vahel sädemena läbi lüüa.

Täiuslikum alaldaja on täisperiood-alaldaja (kabelaktiivne), mis on kujutatud joonisel 213.



Joon. 213. Täisperiood-alaldaja lülitusskeem.

Siin töötavad kenotroni ühisesse keska asetatud kaks anoodi hoordmööda ühisele koormusele  $R$ . Säärase skeemi kohaselt töötavad kenotronianoodid võib paigutada ka eraldi kestadesse. Kaksikenotroni üks võimaikkest anoodi ja kütteniidi konstruktioomidest on kujutatud joonisel 214.

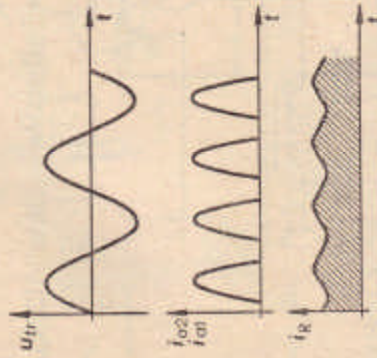


Joon. 214. Kaksikenotroni ehitus.

Täisperiood-alaldaja eeliseks on see, et voolutõuke järgnevad lemas üksteisele kaks korda sagedamini kui poolperiood-alaldajas. See kergendab voolu pulseerimise silumist ja suurendab kasuliku võimsust. Paremaks silumiseks lülitatakse kondensaatori asemele vooluringi filter, mis koosneb järjestikku ühendatud poolist ja kahest kondensaatorist. Nagu teada, pidurdab induktiivsus voolu kasvamist ja kahanemist. Mida suurem on  $L$  ja  $C$  väärtus, seda tihuslikum on voolu silumine.



Joonisel 215 on kujutatud täisperioodi-alaaldaja töötamisviisi. Seadise töö seisneb järgnevas: katoodiga on ühendatud pingetrans-



Joon. 215. Täisperioodi-alaaldaja töö.

formaatori sekundaarühüise-keskpunkt ja seepärast selle mähise pinge ühel poolperioodil osutub esimese anoodi suhtes positiivseks, teise suhtes negatiivseks ning järgneva poolperioodi vältel ümberpöörduks. Voolutõuked läbi dioodi järgnevad iga poolperioodi vältel, kusjuures nende impulsside suunad on kordumuse vooluringis samad.

Märgime, et alaldaja klemmidest on tarbijale positiivseks klemmikš see, mis on ühendatud katoodiga (mecnutame voolusuunda läbi dioodi). Samuti paneme tähele, et transformatori pingemähise osa võimsusest kulutatakse tulutulit anoodide soojendamiseks nende poimmitamisel elektroni-

## 8. KOLME ELEKTROODIGA LAMP.

### Kolmanda elektroodi osatähtsus.

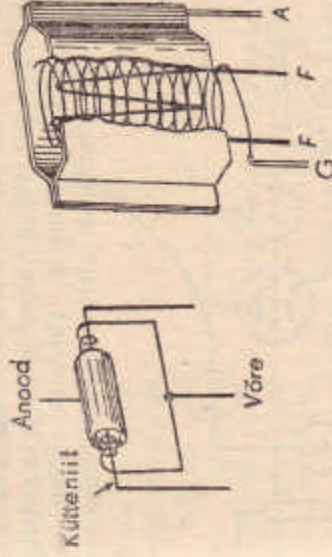
Kui raadiolamp on määratud vahelduvpinge võimendamiseks või genereerimiseks, siis peab tal olema vähemalt kolm elektroodi, s. o. peale katoodi ja anoodi veel kolmas elektrood nn. võre. Kolme elektroodiga lampi nimetatakse trioodiks. Kolme-elektroodilises lambis on võre ülesandeks anoodvoolu tüüri-

mine. Tüürvõre asub anoodi ja katoodi vahel, ta valmistatakse raskelt sulavast metalltraadist, mis oma spiraalitaoliste keerdudega ümbritseb katoodi. Võre omab ühendist väljaspool kesta asetseva sokli-jala või klemmiga. Joonisel 216 on näidatud horisontaalselt asetatud silindrilise konstruktsiooniga ja vertikaalselt asetatud lamea konstruktsiooniga elektroodid.

Elektronid pääsevad võre keerdude vahelt läbi liikudes katoodilt anoodile, kuid nende liikumise kiirus ja ajaühiku vältel anoo-

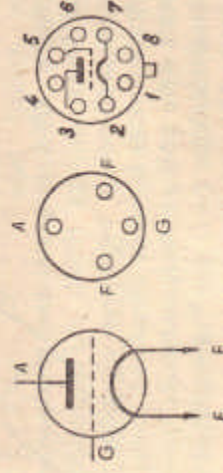
dile jõudvate elektronide hulk sõltub nüüd võre ja katoodi vahelisest pingest ning pinge polaarsusest.

Kui võre on katoodi suhtes negatiivne, siis tõukab ta elektrone katoodile tagasi, mille tulemusena väheneb anoodvool. Positiivse



Joon. 216. Trioodide konstruktsioone.

võrepinge puhul aga elektronide kiirus suureneb ja anoodvool suureneb. Lühidalt öeldes: negatiivne võrepinge pidurdab, positiivne aga soodustab elektronide pääsemist anoodile.



Joon. 217. Trioodide soklite tüüpe ja tähtsust.

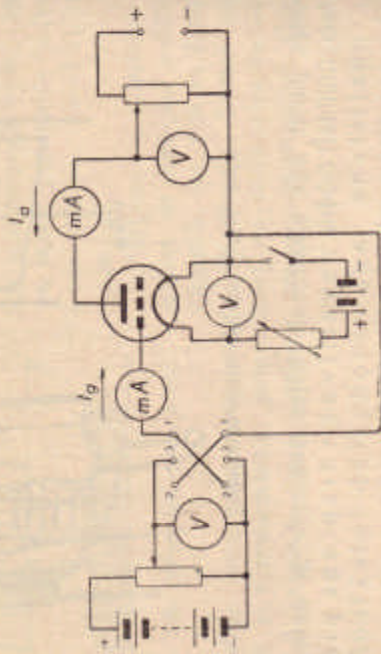
Skemaatiliselt on triood loodud joonisel 217. Siin on näidatud kontaktjalgade asetust vanema tüüpi sokli ja trioodi 3B-240 elektroodide väljajamisjuhtimete ühendused kaheksa kontaktjalaga sokli.

Edaspidi märgime võret ja temasse puutuvaid suurusi tähega g.



### Kolme elektroodiga lampide tunnusjooned.

Niisiis sõltub anoodvool nõi anoodpingest kui ka võrepingest (kui arvestada, et lambile on antud normaalne ja muutumatu küttepinge). Nende sõltuvuste selgitamiseks võib kasutada joonisel 218 kujutatud lülitust. Selle lülituse kütte- ja samuti ka anoodvooluringis on samad reguleerimisabinõud ja mõõteriistad, mis joonisel 205 kujutatud lülituselgi. Võrevoolu mõõtmiseks on sellesse vooluringi ühendatud alalisvoolu milliampermeeter (või



Joon. 218. Lülitus trioodi uurimiseks.

mikroampermeeter). Võret pingestatakse vasakpoolsest patareist potentsiomeetri kaudu, millega rööbiti on ühendatud voltmeter. Selleks et uurida positiivse ja negatiivse võrepinge mõju anoodvoolule, on võrevooringi klemmid ühendatud ümberlülitiga, mis võimaldab muuta võre polaarsust (punktid 3—3). Kui punktid 3—3 ühendada punktidega 1—1, siis rakendatakse võrele positiivne pinge; kui nad on aga ühendatud punktidega 2—2, siis — negatiivne pinge.

Rakendame lülitusse normaalise küttepinge  $U_1$  ja anoodpinge  $U_a$ , võrepinget aga muudame alates negatiivsest väärtusest; siis muutuvad ka voolud anood- ja võrearingides.

Suure negatiivse võrepinge puhul puuduvad voolud  $I_a$  ja  $I_g$ , sest elektronid tõugatakse tagasi katoodile. Vähenedes kord-korral negatiivset võrepinget, paneme tähele, et anoodvooluringis tekib vool, mis kogu aeg tugevneb, algul küll aeglaselt, kuid hiljem kiire-

mini. See tõendab positiivse anoodi omadust ületada negatiivse võre mõju, kui anoodpinge on märksa suurem võrepingest.

Minnes kuni võrepinge nullväärtuseni ja vahetades patareid polaarsust, hakkame kõrgendama võrepinget positiivses suunas.

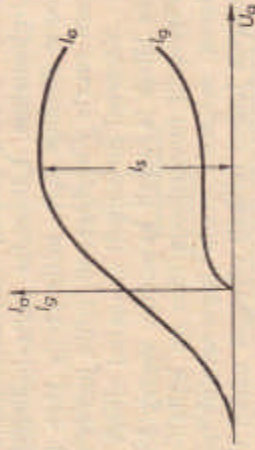
Seejuures teeme kindlaks etaspidise anoodvoolu tugevnemise, koos sellega ilmub võrearingis vool, sest osa elektrone haaratakse positiivse võre poole ja need liiguvad läbi võrepatarei katoodile (skeemi ühisesse punktist). Loomulikult ei saa võrevoolu, nagu anoodvool, kulgeda vastassuunas, sest külm võre ei emiteeri ju elektrone.

Kui võrepinget kõrgendada edasi positiivses suunas, siis jõuame küllastusvooluni  $I_s$ , mille juures kasutatakse katoodi kogu emissioonvoolu. Pärast seda lakkab anoodvoolu edasine tugevnemine. Lõpuks, kui võrepinget tõsta anoodpinge väärtuseni, toimub elektroniide voolu ümberjagunemine võre kasuks: anoodvool hakkab nõrgenema ja võrevoolu kiiresti tugevnema.

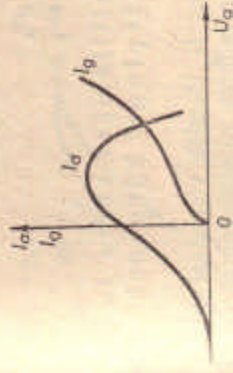
Joonisel 219 on toodud anoodvoolu ja võrevoolu tunnusjooned sõltuvalt võrepingest, kui anood- ja küttepinge jäävad muutumatuks.

Antud lambi normaalse anoodpinge ja väikese positiivse võrepinge puhul moodustab võrevool tavaliselt väikese osa anoodvoolust. Siiski, kui võtta anoodi alalispinge madalam (10 kuni 20% normaalsest), siis võib juhtuda, et anoodvool ei küüni täie emissioonvooluni; ta hakkab nõrgenema juba suhteliselt madala võrepinge juures (joon. 220) ning võrevool selle juures tugevneb.

Niisiis vaadeldes normaaliseid tunnusjooni (joon. 219) näeme, et anoodvool on alati ainult ühesuunaline; lambi sisemuses on ta



Joon. 219. Anood- ja võrevoolu tunnusjooned sõltuvalt võrepingest.



Joon. 220. Madala anoodpinge puhul ülesvõetud tunnusjooned.



kokkoleppeliselt suunatud anoodilt katoodile, vastupidiselt elektroni voolule. Anoodvoolu tunnusoone algab võrepinge negatiivsest piirkonnast ja tõuseb algul aeglaselt ning kõverjooneliselt, kujundades oma alumise põlve. Edasi oma längus osal (kuni küllastusvoolu piirini) on tunnusoone tõus suurem ja peaaegu sirgjooneline. Lähenedes küllastusvoolu piirile kujundub tunnusoone ülemine põlv, mille järele jääb ta peaaegu horisontaalseks kuni suurte võrepingeteni, mille juures anoodvool uuesti nõrgeneb.

Võrepool on samuti suunatud ainult ühele poole: lambi sisemus lähed ta võralt katoodile, vastupidiselt elektronide liikumisele. Võrepoolu tunnusoone tõus on küllalt järsk võre nullpinge läheduses, seejärel voolu tugevnemine aeglustub ja kõrgete võrepingete juures hakkab võrepool uuesti tugevnema.

### Kolme elektroodiga lampide parameetrid.

Anoodvoolu tunnusoonest on eriti huvipakkuv tema sirgjooneliselt tõusev osa. Ehitame temale tunnuskolmnurga, mille kaateti on võrepinge juurdekasv  $\Delta U_g$  ja selle poolt esile kutsutud anoodvoolu juurdekasv  $\Delta I_a$  (joon. 221). Sellest kolmnurgast saame määrata trioodi parameetri, mida nimetatakse tõusuks

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g}.$$

Tõus näitab, mitme milliamperi võrra tugevneb anoodvool, kui võrepinge kõrgeneb ühe volti võrra.

Suur tõus on lambi väärtuseks; ta tõendab võimalust edukalt tüürida tugevat anoodvoolu võrele mõjuva väikese vahelduvpinge abil. Loomulikult võib määrata tõusu ka tunnusoonte põlve kohtade (alumistel ja ülemistel), kuid tõus on seal väiksem.

Vaatleme, kuidas mõjub lambi tööle anoodpinge muutmine. Pärast joonisel 219 toodud tunnusoonte ülesvõtmist suurendame anoodpinget ja võtame uuesti üles anood- ja võrepoolu tunnusooned. On arusaadav, et kõrgendatud anoodpinge juures tõmbub anood elektrone tugevamini enda poole, ning need ületavad nüüd kergemini negatiivse võre eemalelükavat mõju. Järelikult algab anoodvoolu tunnusoone rohkem vasakult, kõrgema negatiivse võrepinge juurest ja kõik edaspidised anoodvoolu tugevused on võrdsete võrepingete puhul endistest tugevustest suuremad.

Kõrgendatud anoodpinge puhul tekib küllastusvool varem, kuid selle tugevus jääb ligikaudu endiseks. Võrepoolu tunnusoone oma algosas on lamedam (eelnevast madalam), sest elektronid lendavad kõrgendatud anoodpinge puhul läbi võre suurema kiirusega ja järelikult suudab võre neist püüda väiksema osa.

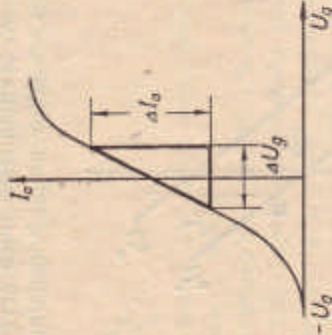
Endised ja uued tunnusooned on kujutatud ühisel joonisel (joon. 222) millest nähtub, et anoodpinge suurenedes paigutub trioodi tunnusoone vasakule, säilitades oma kuju. Järelikult number 1-ga märgitud tunnusoone on üles võetud madalama ja number 2-ga märgitud — kõrgema anoodpingega. Kaks või rohkem tunnusoont, mis on üles võetud mitmesuguste  $U_a$  väärtuste juures, kujundavad tunnussarja.

Kui dioodi juures on tunnusoone tõus, mis näitab anoodvoolu sõltuvust anoodpingest, ainsaks iseseisvaks parameetriks (sissetakistus on ainult sama suurse teisekujuline väljend), siis trioodi puhul tunnusoone tõus, mis näitab anoodvoolu sõltuvust võrepingest, ei saa olla ainsaks parameetriks, kuna selles ei peegeldu anoodpinge mõju anoodvoolule.

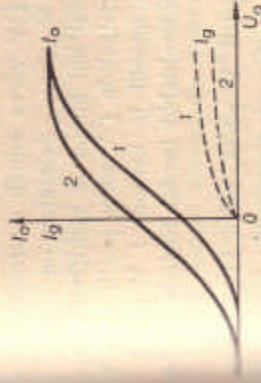
Selleks et näidata, kuidas muutub anoodvool anoodpinge muutmisel (tunnusoone sisetakistust vahelduvvoolule (mida mõeldakse oomides).

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}.$$

Füüsikaliselt näitab sisetakistus, mitme volti võrra tuleb tõsta anoodpinget, et muutmata



Joon. 221. Tunnusoone tõusu määramine.

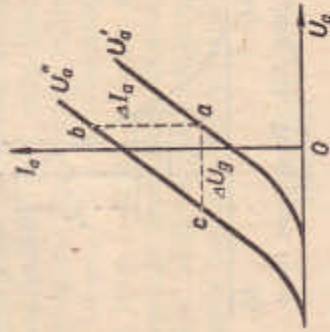


Joon. 222. Erinevate anoodpingetega ülesvõetud tunnusooned.



võrepinge juures anoodvool tugevneks ühe ampri võrra (endastõistetavalt, kui tema juurdekasvu ei piira ülemine põlv).

$R_1$  arvutamiseks tuleb arvestada seda anoodvoolu juurdekasvu, mis on sõltuv ainult anoodpinge juurdekasvust; võrepinget ei tohi seegi juures muuta. Järelikult peab



Joon. 223. Trikoodi parameetrite  $R_1$  ja  $\mu$  määramine.

Lampide kasutamisel on sageli juhtunud, et tekib vajadus otta vahel võrrelda  $U_x$  ja  $U_g$  muutuste mõju anoodvoolule. Võime juba ette öelda, et võrepinge tõstmine 1 V võrra annab suuremat tulemust kui anoodpinge tõstmine 1 V võrra. Seletatav on see sellega, et võre asub katoodile lähemal kui anood ja elektrivälja, mis on tekitatud võre ja katoodi potentsiaalide 1 V vahe poolt, osutub tugevamaks väljast, mille tekitab anoodi ja katoodi 1 V potentsiaalide vahe. Just see omadus võimaldabki lampil töötada pingevõimendajana.

Oletame, et tõstmine võrepinget 1 V võrra, selle tulemusena tugevnes anoodvool mõnevõrra. Selleks et anoodvoolu suurus ei muutuks, s. o. et kompenseerida anoodvoolu juurdekasvu, tuleb anoodpinget alandada. Ilmneb, et sel juhul tuleb anoodpinget alandada mitte 1 V võrra, vaid arvu  $\mu$  korda rohkem. Seda arvu  $\mu$  nimetatakse lampi võimendusteguriks.

Võimendustegur näitab anoodpinge ja võrepinge muutuste suhtelist mõju anoodvoolule. Võimendusteguri määramist tunnussarja kaudu (joon. 223) teostatakse järgmiselt. Oletame, et alumisel tunnusjoonel, mis on füles võetud anoodpingega  $U'_a$ , on valitud punkt  $a$ . Kui läheme

sellel punktilt üle tunnusjoonele, mis on füles võetud anoodpingega  $U''_a$  (võrepinget muutmata), siis satume punkti  $b$ , mis vastab anoodvoolu suuremale väärtusele; muutes võrepinget negatiivse väärtuse suunas suuruse  $U_g$  võrra, jõuame punkti  $c$ , s. o. saavutame anoodvoolu endise tugevuse. Siis võime arvutada lampi võimendustegurit

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g}.$$

Samuti nähtub siit, et suure  $\mu$  korral asetsevad sarja tunnusjooned üksiksele lähemal kui väikese  $\mu$  puhul.

Võimendustegur on sobivaks parameetrikts lampide võimendusomaduste hindamiseks, kuid teda ei tohi lugeda sõltumatuks lampi tõusust ja sisetakistusest. Kerge on tõestada, et kui mingisuguse lampi kohta on teada  $S$  ja  $R_1$ , siis samaga on antud ka selle lampi  $\mu$ . Tõepoolest, kui  $S$  ja  $R_1$  korrutise väljendame nende avalduste kaudu, siis saame järgmise tulemuse:

$$SR_1 = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \cdot \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} = \mu.$$

Seega võrdub tõusu ja sisetakistuse korrutis antud lampi võimendusteguriga.

$$SR_1 = \mu.$$

Mõnikord kasutatakse  $\mu$  asemel tema pöördvõrdelist parameetrit — läbitavust

$$D = \frac{1}{\mu}.$$

Kui lampi kolmanda parameetrina võetakse võimendusteguri asemel läbitavus, siis on kõigi kolme suuruse vastastikune sõltuvus järgmine:

$$D \cdot R_1 \cdot S = 1.$$

Joonisel 223 olev tunnuskolmnurk  $abc$  võimaldab lampi üksikõik millise parameetri leidmist.

Oletame 1. Joonisel 223 kujutatud tunnusjooned on füles võetud anoodpingetega  $U'_a = 60$  V ja  $U''_a = 80$  V. Voolu juurdekasv  $\Delta I_a = 2$  mA, võrepinge juurdekasv  $\Delta U_g = 2$  V. Leidia parameetrite  $S$ ,  $R_1$ ,  $\mu$  ja  $D$  väärtused.

Oletame 2. Oks lamp omab võimendustegurit  $\mu = 12$  ja teine  $\mu = 36$ .

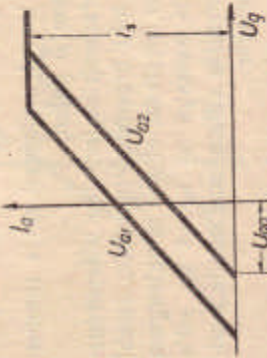
Mõlema lampi tunnussari võeti füles anoodpingetega  $U'_a = 50$  V;  $U''_a = 75$  V. Määrata kaugus  $ac$  esimese ja teise lampi tunnusjoonte sirgete osade vahel (võrepinge voltides).



Olesanne 3. Tähta tabel pouduvate arvudega

Lambi tüüp	S (mA/V)	$R_f(\Omega)$	$\mu$	D
YB-240 } CO-245 }	1,5	—	22	—
	2,1	—	32	—

Olesanne 4. Joonestada lambi YB-240 (vt. olesanne 3) idealiseeritud tunnusooned anoodipingele 80 ja 120 V, võttes tema emissioonvooluks 8 mA ning arvestamata võrevoolusid.

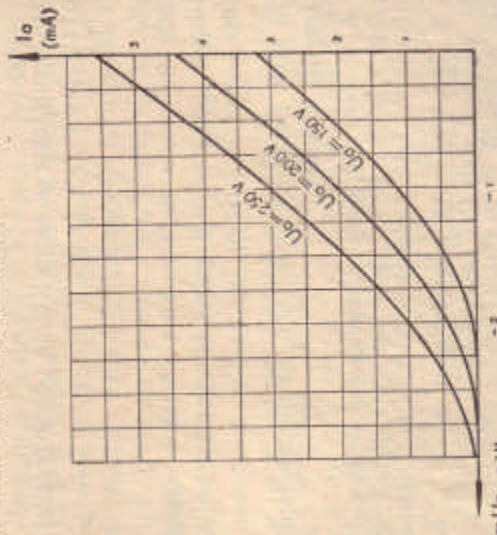


Joon. 224. Idealiseeritud tunnusooned

$$-U_{g0} = \mu U_a$$

Tunnusjooni tuleb vastavus mõõtkavas joonestada millimeeterpaberile.

Olesanne 5. Joonisel 225 on antud trioodi 6Ф5 (metall-lampide seeria) tunnusooned. Lelida nende järgi parameetrite S, R<sub>p</sub>,  $\mu$  ja D keskmised väärtused.



Joon. 225. Trioodi 6Ф5 tunnusooned.

### Parameetrite sõltuvus trioodi konstruktsioonist.

Raadiolampide konstrueerimisel varemantud parameetrite järgi tuleb teada, kuidas mõjutab elektroodide konstruktsioon parameetrite suurus. Vaatleme lühidalt neid sõltuvusi.

Tõus, lambi kvaliteedi tähtsaim näitaja, sõltub eeskätt võre ja katoodi vahelisest kaugusest.

Mida lähemal on võre katoodile, seda paremini tüürib ta elektroni voolu. Järelikult selleks, et saada suurt tõusu, peame vähendada võre keerdule raadiust. Kuid vahetu küttega lambis piirab seda hõõgniidi olemasolu, sest soojenedes pikeneb hõõgniit ja kõverdudes võib püütuda vastu võret. Anoodide lameda konstruktsiooni puhul on otstarbekas kasutada sik-sakikujulist hõõgniiti. Veel otstarbekamad on kaudse küttega lampide jämedad katoodid, mis soojenedes vähe deformeeruvad ja peaaegu väldivad kokkupuudet võrega. Seepärast on ühesuguste anoodi moodete juures kaudse küttega lampidel tavaliselt suuremad tõusud kui vahetu küttega lampidel.

Lambi võimendustegur sõltub eeskätt võre tihedusest, s. o. tema keerdule sammust. Mida tihedamalt on asetatud võre keerud, seda suurem on võimendustegur. On täiesti selge, et läbi tiheda võre ulatub katoodile vaid väikene osa anoodi elektrivälja jõujooni. Sellega on seletatav ka lambi võimendusteguriga pöördvõrdelise parameetri läbitavuse füüsikaline mõiste: mida tihedam on võre, seda väiksem on läbitavus.

Scoses sellega, et tõusu, mida tavaliselt mõõdetakse trioodides mõne mA/V, et saa vabalt valida, sest ta sõltub võre ja katoodi vahelisest kaugusest, peame eeldama võimendusteguri suurenemisel ka sisetakistuse suurenemist. See järeldub valemitest:

$$SR_i = \mu.$$

Järelikult on tiheda võrega lampidel ka suur sisetakistus.

Parameetrite suurused etendavad tähtsat osa lampide tüüpide valikul. Raadioseadmes ei tohi vahetada üht lampi teisega, arvestamata parameetriteid. On tähtis, et üht tüüpi lampide erinevad eksemplariid oleksid ligilähedaselt võrdsete parameetritega, s. l. et parameetrite erinevus poleks suur; see on üks lampide tootmise tähtsamaid ülesandeid. Lõpuks tuleb arvestada ka parameetrite võimalikke muutusi lampide tooterežiimist kõrvalekaldumisel. Oletame näiteks, et anoodipatarei tühjenes ja annab madalamat pin-



get; sel juhul paigutuvad lambi tunnusooned paremale ja sirgel osal olnud tööpunkt võib osutada alumisel poolel asuvaks, kus tõus on normaalsest väiksem ja sisetakistus normaalsest suurem. See rihub samuti raadioseadme normaalseid tööd.

#### Anoodpinge tunnusoonte mõiste.

Eelpool kirjeldatud triodi tunnusooned väljendavad anoodvoolu sõltuvust võrepingest (iga tunnusoone jaoks konstantse anoodpinge väärtuse juures). Selliseid tunnusoone nimetatakse lühidalt anoodvool-võrepinge tunnusoonteks.

Kuid lambi omadusi saab selgitada ka teistliiki tunnusoonte abil, mis väljendavad anoodvoolu sõltuvust anoodpingest (iga tunnusoone jaoks konstantse võrepinge väärtuse juures).

Seda tüüpi tunnusooni nimetatakse lühidalt anoodvool-anoodpinge tunnusoonteks.

Pöördume mõtmetel kasutatava lülituse juurde (joon. 218). Muutes võrepinge nulliks, suurendame anoodpinget nullist kuni suurima väärtuseni, vältides anoodi ülekuumendamist. Seejuures registreerime iga anoodpinge  $U_a$  väärtuse juures anoodvoolu tugevuse  $I_a$ .

$U_a = 0$  juures on ka anoodvool null, s. o. tunnusoone algus peab langema ühte koordinaatide algpunktiga (joon. 226). Anoodpinge suurendamisega suureneb ka anoodvool ja tema tunnusoone sarnaneb diodi tunnusoonele, s. t. ta on suures ulatuses sirgjooneline (kuni kallastusvoolu ilmumiseni).

Kui võrele anda mingisugune negatiivne pinge ( $U_g < 0$ ), siis anoodvoolu tunnusoone ei aiga mitte  $U_a = 0$ -st, vaid koordinaatide algpunktist paremal. See toimub sellepärast, et võre negatiivne pinge ei lase elektrone katoodilt anoodile seni, kui anoodil on ainult väike positiivne pinge. Anoodvoolu tekkimiseks tuleb

anoodile anda küllalt suur positiivne pinge, mis ületaks negatiivse võrepinge pidurdavat mõju. Seejärest paikneb tunnusoone negatiivse võrepinge juures enam paremal tunnusoonest, mis oli tites võetud juhul, kui  $U_g = 0$ . Mida suurem on negatiivse võrepinge väärtus, seda silmapaistavam on tunnusoone nihkumine paremale.

Kui võrele on rakendatud mitte negatiivne, vaid positiivne pinge, siis tunnusooned paiknevad põhitunnusoonest vasakule ja nende algus langeb ühte koordinaatide algpunktiga. Tuleb pöörata tähelepanu sellele, et tunnusoone  $U_a > 0$  juures on algul järsu tõusuga; see toimub anoodvoolu tugevnemise tõttu olemasoleva võrepoolu nõrgenemise arvel.

Anoodvool-anoodpinge tunnusoontele ehitatud tunnuskolmruuk (joon. 226) võimaldab samuti lampide parameetrite määramist: horisontaalne kaatet võrdub  $\Delta U_a$ , vertikaalne võrdub  $\Delta I_a$  ja võrepinge muutus ühelt tunnusooneilt üleminekul teisele on  $\Delta U_g$  suurus. Endastmõistetavalt on valemid parameetrite arvutamiseks samad, mis olid antud anoodvool-võrepinge tunnusoonte tundmaõppimiselgi.

Juhime tähelepanu sellele, et tunnusoone sirge osa kaldenurk ei määra selles sarjas mitte triodi tõusu, vaid tema sisetakistust

$$\cot \beta = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = |R_i|.$$

Järelikult, mida suurem on lambi sisetakistus, seda enam längus on tema anoodvool-anoodpinge tunnusooned.

**Harjutus.** Leida anoodvool-anoodpinge tunnussarja ehitamise viis, kui on antud lambi anoodvool-võrepinge tunnussari.

#### Triodide kasutamine.

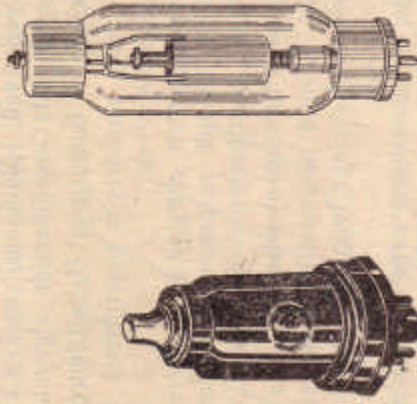
Käesoleval ajal pole kolmeelektroodiga lambid raadiolampide põhitüüpideks; kuid siiski leiavad triodid veel kasutamist nii saatjais kui ka vastuvõtjais.

Triode kasutatakse vastuvõtjais helisagedusliku vahelduvvoolu võimendamiseks. Nad on oma mõõdetelt mitte just suured lambid ja tarviltavad anoodpingeks 60 kuni 240 V. Tavaliselt on kõikide elektroodide väljamisjuhtmed ühendatud sokli jalgade külge;



mõnikord on võreühenduse juhe toodud kolvi peale, millega lambi kohalepaigutamisel ühendatakse painduv juhe (näit. lamp 605 joon. 227).

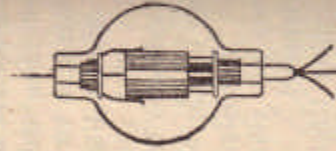
Saatjais ja võimsais madalsagedusvõimendajais kasutatavate trioodide konstruktsioon ja mõõted olenevad võimsusest, mida soovitakse lambilt saada. Nii näiteks kasutatakse generaatorlampideks võimsusega alla 1 W samu lambitüüpe, mis vastuvõtjaiski.



Joon. 227. Lamp 605 võreühendusega ülalt.

Joon. 228. Generaatorlamp ülemise anoodväljajamisjuhtimega.

Joon. 229. Sokkita generaatorlamp.



Trioodid, mis on arvestatud võimsusele kuni 150 W, on suuremate mõõdetega, kuid neis võib veel kasutada aktiveeritud katoode. Suurte võimsuste puhul valmistatakse katoodid puhtast volframist.

Hea eduga kasutatakse mitmesuguse võimsusega saateseadmete laialdaselt kaudselt kütavaid katoode.

Generaatorlampide anoodid on silindrikujulised ja asetsevad vertikaalselt; nende mõõted on võrdelised neile rakendatava võimsusega. Soojuse paremaks ärajahutamiseks on võimsamate lampide anoodide välispinnad varustatud jahutusribadega; samal eesmärgil kasutatakse anoodide mustendamist erilise katva ainega. Kõrgepinge (sajad ja tuhanded voldid) all olev anoodi väljajamisjuhe paigutatakse kolvi ülemisse ossa (joon. 228). Mõnikord valmistatakse generaatorlampe ka ilma sokkita — painduvate väljajamisjuhtmetega (joon. 229).

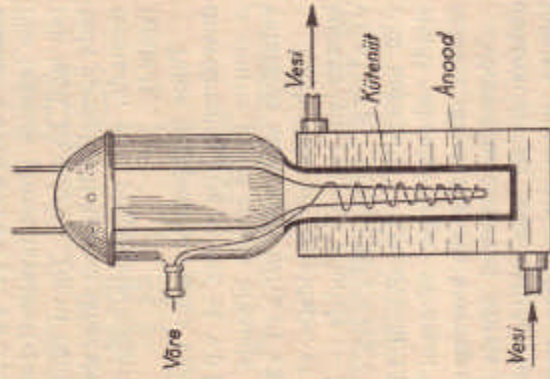
Lampide juures, mille anoodidele on rakendatud üle 3 kW, kasutatakse tavaliselt vesijahutust.

Maailmas esimesed vesijahutusega lambid töötati välja Nižegorodi raadiolaboratooriumis 1922. a. M. A. Bontš-Brujevitiši poolt. Elektroodide asetusest niisuguses lambis annab ettekujutuse joonis 230. Vasest anood sulatatakse kokku klaasisist kesta kaelaga ja moodustab osa lambi välispinnast. Ta asetatakse kesta sisse, millest voolab läbi vesi, mis viib ära anoodil eralduva soojuse. Tänapäeval valmistatakse niisuguseid lampe võimsusega kuni 100 kW. M. A. Bontš-Brujevitiši andekat leiutatud kopeeritakse välismaal juba üle 25 aasta.

Generaator-trioode iseloomustab suur võimendustegur ja tunnusjoone „parempoolne“ asetus.

Trioodid, mida kasutatakse võimsais helisageduse võimendajais (modulaatoreis), omavad väiksemat ja „vasakpoolset“ asetustega tunnusjoont.

Eriki rohkem kasutatakse triode-meeter-, eriti aga deetsimeeterlainne saatjais ja vastuvõtjais. Kuid neil laineladadel kasutatavatel lampidel on üsna omapärased konstruktiivsed iseärasused, milleid vaadeldakse edaspidi.



Joon. 230. Vesijahutusega generaatorlamp.

## 9. VIIIE ELEKTROODIGA LAMP.

Nõudeid kõrgsagedusvõimendajaina töötavaile lampidele.

I peatükis vaatlusime lühidalt raadiojaama lülitust moodustavate astmete ülesandeid. Raadiojaamades kasutatakse raadiolampe enamasti kõrgsagedusliku pinge või võimsuse võimendamiseks. Siit võib järeldada, et kõigist lampide tüüpidest on enam levinud võimendajad. Selleks otstarbeks kasutatavad lambid peavad täie-



likult vastama nõudele, mis tulenevad kõrgsageduslike võimendusastmete töitingimistest.

Esimene nõue, mis esitatakse lambile (mitte ainult kõrgsageduspingete võimendamisele), puudutab lambi tõusu. Lamp peab võimalikult suurt tõusu, mis on väikevõimsuslike lampide juures tavaliselt 1–2 mA/V ja eritüüpide juures kuni 10 mA/V. Tõusu suurendamiseks tuleb lambi võre asetada võimalikult katoodi lähedale, mis aga on konstruktiivselt raske teostada, eriti peenikeste hõõgniitidega lampides (vabalu küttega lambid).

Teine iseloomustav nõue vastuvõljajais kasutatavatele kõrgsagedusvõimendajatele on see, et võimendustegur oleks suur,  $\mu$  suurus peaks olema tuhande ümber. Sellised  $\mu$  suurused saavutatakse suhteliselt kergesti väga tihedate võrede abil.

Tuleb siiski silmas pidades, et väga tiheda võrega triood ei vasta kolmandale tähtsale nõudele — lambi töötamisele võrevooluta. Võimendaja saab oma võrele pingele eelnevalt astmel (või antennilt). Anoodvoolu tüürimiseks tuleb võrele rakendada ainult vahelduvpinge; võrevool võrevooluringis on aga eelnevale astmele läesti liigseks koormuseks.

Võrevoolu tekitavad võrele positiivse pingega puhul sattuvad elektronid. Et seda vältida, tuleb anda võrele peale vahelduva tüüriva pingele veel alaline negatiivne eeltinge, mis nihutab tööpunkti vasakule, sellesse piirkonda, kus puudub võrevool. Joonisel 231 on näidatud liilitus eeltinge patareiga ja joonisel 232 — lambi töö vasakpoolses (negatiivses) piirkonnas.

Anoodvoolu iga hetkväärtust võib iseloomustada punktiga lambi tunnusjoonel antud võrepinge hetkväärtuse juures. Kui muutub võrepinge, siis vastavalt muutub ka anoodvoolu väärtus; läheb, paigutub ümber ka teda iseloomustav punkt, mida edaspidi nimetame tööpunktiks.

Signaali puudumisel asub tööpunkt punktis *a*. Signaali mõjul paigutub ta aga ümber pikri tunnusjooni; anoodvool tugevneb kuni punktini *b* ja seejärel nõrgeneb punktini *c*. Kui vajame suurt anoodvoolu muutust, siis peab meil asuma küllalt pikk trioodjoone sirgest osast vasakpoolses piirkonnas.

<sup>1</sup> Joonisel kujutatud skeemil, nagu edaspidigi, me ei näita enam küttepatareid, teades, et katoodi kütetase kas vahetult või kaudselt.

Millest sõltub siis tunnusjoonte asukoht?

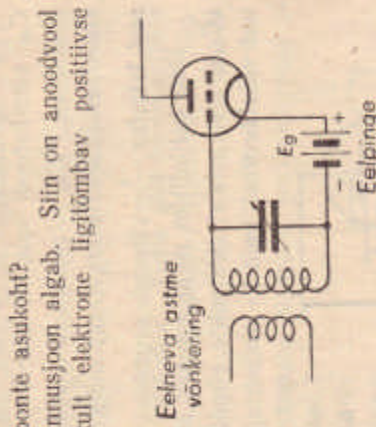
Vaatleme punkti *d*, kust tunnusjoon algab. Siin on anoodvool nullise väärtusega ja järelikult elektrone liigitõmbav positiivse anoodpinge mõju võrdub elektrone tagasi tõrjuva negatiivse võrepinge mõjuga.

Arvestades, et 1-voldine pinge võrel on sama väärne  $\mu$  voldiga anoodil, võib punkti *d* kohta kirjutada pingete vastastikkumuse kompensatsioonil tingimuse:

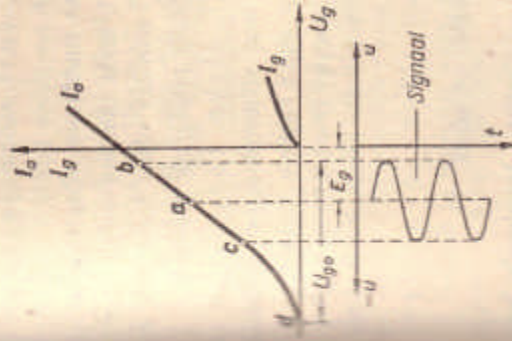
$$U_a = \frac{U_g}{\mu}$$

Tähendab, mida suurem on võimendustegur, seda väiksem on pinge  $U_a$ , mis vastab tunnusjoone algusele. Teisiti öeldes, suure  $\mu$  väärtusega lambil on parempoolse asetusega tunnusjoon, mis pole aga sobiv võimendajale. Loomulikult võib tunnusjoont nihutada vasakule, tõstes anoodpinget  $U_a$ , kuid suure anoodpatarei ja kõrge anoodpinge kasutamine pole igas olukorras soovitatav. Seepärast ei saagi tiheda võrega triood meid rahuldada; vaatamata suurele võimendusele.

On veel teine elektronide vooluga mitteseotud vahelduvvoolu tekkimise võimalus võrevooluringis. Seda tingib mahtuvus lambi elektroodide vahel. Me pole neid mahtuvusi veel maininud, kuid nad on alati olemas, sest elektroodid kujutavad üksksteisest vaakumiga isoleeritud kondensaatori plaate. Joonisel 233 on näidatud:



Joon. 231. Võre negatiivne eeltingestamine.



Joon. 232. Lambi töötamine tunnusjoone vasakpoolsel osal.



$C_{gk}$  võre-katoodi vaheline mahtuvus;  $C_{ak}$  anoodi-katoodi vaheline mahtuvus;  $C_{eg}$  — anoodi-võre vaheline mahtuvus. Need mahtuvused avaldavad märgatavat mõju just kõrgete sageduste puhul, sest takistus  $\frac{1}{\omega C}$  väheneb sageduse suurenedes.

Eriti kahjulikku mõju avaldab anoodi-võre vaheline mahtuvus ( $C_{ag}$ ), sest teda ei läbi mitte ainult signaalipingest  $U_g$  põhjustatud vahelduvvool, vaid ka anoodiringi koormusel tekkinud võimendatud vahelduvpinge  $U$  (joon. 233). Läbi mahtuvuse  $C_{ag}$  kulgev vool võib rikkuda eelneva astme normaalset tööd.

On täiesti ilmne, et mahtuvuste kaudseid voolusid lambis ei saa kõrvaldada võre negatiivse eelpingestamisega. Järelikult tuleb kõrgsagedusil töötamiseks määratud lampide konstruktioonis ette näha väike elektroodidevaheline mahtuvus ja esijoonest just võre ja anoodi vahel.

Tavalistes trioodides arvestatakse mahtuvusi  $C_{ak}$ ,  $C_{gk}$  ja  $C_{ag}$  üksikutes pikofaradites. Loomulikult, mida tihedam on võre, seda suurem on kahjulik mahtuvus  $C_{ag}$ ; soovitav oleks tema suurust vähendada sajandilike- ja isegi tuhandike pikofaradi osadeni.

Seega vajame lampi, millel oleks tunnusjoone vasakpoolse asetuse puhul suur võimendustegur ja väike mahtuvus  $C_{ag}$ . Niisuguseks lambiks on pentood, mida võib tüüpiliselt nimetada nüüdisaja raadiolampide põhitüübiks kõikide raadiosagedusastmete jaoks, kaasa arvatud ka meeterlained.

#### Nelja elektroodiga lampide omadusi.

Pentood (viie elektroodiga lamp) ei ilmunud kasutusele kohe pärast trioodi. Olemineku tüübiks trioodilt pentoodile on tet-rood (nelja elektroodiga lamp). Tetroodis on anoodi ja tüürvõre

vahele paigutatud lisa võre (joon. 234), mida nimetatakse vari-võreks<sup>1</sup>.

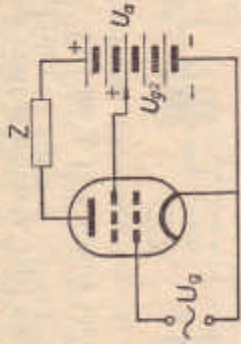
See võre ühendatakse katoodiga anoodipatarei osa kaudu, s. t. vari-võre saab positiivse pinge  $U_{p2}$ , mis on madalam kui pinge  $U_a$ .

Varje toimega oleme juba tutvunud. Tema abil kõrvaldatakse skoomi üksikosade vahel mahtuvuslik sidestus (joon. 65). Täp-selt samasugust osa täidab siin vari-võre, mis kõrvaldab mahtu-vuse mõju anoodi ja tüürvõre vahel. Loomulikult ei võl seda võret valmistada ühtlase läbistamatu plaadina, sest elektronid ei pääseks sellest läbi anoodile, see-pärast valmistatakse varje kül-lall tiheda lisavõreana, mis ümb-ritseb tüürvõret.

Selleks et hoiduda anoodi poolt külgetõmmatavate elekt-ronide liikumiskiruse vähenda-misest, antakse vari-võrele posi-itiivne pinge. Kui vari-võrel oleks pinge null, siis vähendaks vari-võre elektronide liikumise kiirust ja anoodvool oleks väikene. Posi-itiivne pinge sellel võrel annab elektronidele lisa-kiirendust. Läbi vari-võre lennanud elektrone haaratakse anoodi välja poolt ja nad satuvad anoodile vaatamata sellele, et läbi võre lendavaile elektro-odidele avaldab võre püdurdatavat mõju. Vari-võre pinge võetakse anoodipatareist ja järelikult pole vaja eraldi vooluallikat. Loo-mulikult langeb teatav osa elektrone ka vari-võrele, mille tule-musena tekib tema voolaringis kasutu vool. On soovilav valida niisugune lambi toiterežiim, et see vool oleks märksa väiksem anoodvoolust.

Vari-võre täidab kaht varem mainitud ülesannet: esiteks, vähendab tunduvalt anoodi ja tüürvõre vahe-list kahjulikku mahtuvust; teiseks, võimaldab ta suure võimendusteguri juures saada vasak-poolset tööpunkti asetust.

Anoodi ja tüürvõre vahelise mahtuvuse vähendamise põhimõtet vaatlame pisut lähemalt. Joonisel 235a on kujutatud trioodi



Joon. 234. Tetroodi tülitusskeem.

<sup>1</sup> Sellise võreiga lampe nimetatakse vari-võrelampideks.

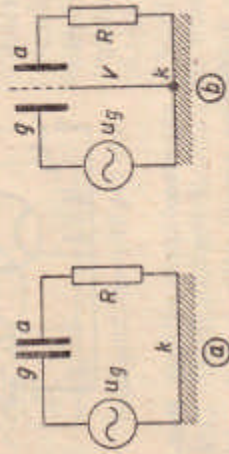


skeem, mille väre ja anood on näidatud kondensaatori plaatidena  $g$  ja  $a$ . Vahelduvpinge  $U_g$  on rakendatud elektronvoolu tüürimiseks, mitte aga voolu tekitamiseks anoodvooluringi koormustakistuses  $R$  läbi mahtuvuse  $C_{ag}$ ; tegelikult see vool tekib siiski ja tema tugevus määratakse avaldisega:

$$I_{ag} = \frac{U_g}{\sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C_{ag}}\right)^2}}$$

Tuleb märkida, et lambi võimendusomaduste arvesse võtmisel see avaldus muutuks, kuid vaadeldava küsimuse puhul ei oma see tähtsust.

Asetame  $g$  ja  $a$  vahele plaadi (ehk varivõre)  $v$  ja lülitame ta vooluringi nii, nagu see on näidatud joonisel 235b. Nüüd on plaatide  $g$  ja  $a$  vahele kaks järjestikku lülitatud kondensaatorit ( $C_{gv}$  ja  $C_{va}$ ). Parempoolse kondensaatori  $C_{va}$  kaudu voolu aga ei kulge, sest lülituse parempoolne osa on lühises juhtme  $ak$  kaudu. Voolu puudumise vooluringi parempoolses osas võib vaadelda kui  $g$  ja  $a$  vahelise mahtuvuse mõju vähenemisel. Plaat  $v$  haarab endale  $g$ -st väljuvad jõujooned, varjestades seega plaati  $a$ -d plaadist  $g$ .



Joon. 235. Varivõre abil mahtuvuse vähendamine.

Juhte  $ak$  nagu lühistaks kondensaatori  $C_{va}$ . Tegelikult aga ühendab see juhte varivõret vooluallika kaudu katoodiga, kusjuures varivõre antava pinge vähendamiseks ei võeta sageli patarist eraldi ühendust, vaid juhte  $ak$  ühendatakse pingelanguga tekitava takistiga  $R_v$  (joon. 236). Kuid joon. 235b kujutatud skeemis tekib juhtmesse  $ak$  lülitatud takisti tõttu galvaaniline sidestus skeemi vasak- ja parempoolsete vooluringide vahel, mille tulemusena takistit  $R$  läbib vool. Täheleb, lisavõrega saavutatud varjavõime pole täielik. Selleks et uuesti kõrvaldada voolu pääsu takistisse  $R$ , tuleb luua vahelduvvoolute tee läbi kondensaatori  $C_v$ , vähitides takistit  $R$ ; kondensaator  $C_v$  on kallalt suure mahtuvusega

ja praktiliselt tüühõhendab selle vooluringi signaali sagedusega vahelduvvoolule. Igasse skeemi, kus on varivõrelamp, asetatakse niisugune šuntreiv kondensaator; tavaliselt on kondensaator ja katood omavahel ühendatud läbi raadiojaama metallkere (joon. 236).

Varje olemasolu tõttu väheneb tunduvalt mahtuvus  $C_{ag}$ ; nii näiteks küünib see mahtuvus trioodis 3–5 pF, varivõrelambis aga väheneb see mahtuvus sajandike ja isegi tuhandike pF osadeni.

Selgitame tetroodi tumnusjoone vasakule nihkumist normaalse anoodpinge juures. Selleks et viia anoodvool nullini (punkt  $d$  joonisel 232), on tarvis tüürvõre negatiivse pingega tasakaalustada nii varjel kui ka anoodil olevate positiivsete pingete mõju:

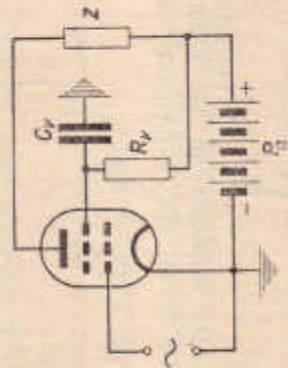
$$U_{ks} = -\left(\frac{U_{ks}}{\mu_1} + \frac{U_a}{\mu}\right).$$

Järelikult osutub selles lambis negatiivne pinge  $U_{so}$  kõrgemaks kui trioodis ja ühesuguste anoodpingete juures asetub tumnusjoon vasakule. Suurus  $\mu_1$  näitab, mitu korda iga volt tüürvõrel mõjub tugevamini kui iga volt varivõrel.

Anood ja katood on teineteisest eraldatud kahe võrega. Järelikult üldine läbitavus anoodi ja katoodi vahel muutub väiksemaks, ning lambi võimendus tegur suuremaks. Tetrootides võib võimendus tegur  $\mu$  omada suurusi 200–300. Tõusu  $S$  tavaliste suuruste juures annab see sisetakistuse  $R_v$ , mis küünib sadade tuhandete osadeni.

Näib, nagu rahuldaks tetroot täielikult kõiki meie nõudeid: tal on väikene sisemahtuvus, tunnususjoone vasakpoolne asetus ja suur võimendus tegur.

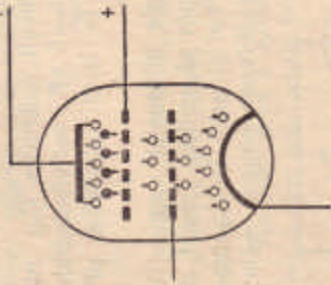
Selgub siiski, et tetrootil on ka oluline puudus, mis sundis otsima veel täiuslikumat lahendust. Tetrooti puuduseks on sekundaarremissioonvoolu tekkimine, mis moonutab võimendaja tööd. Muide, paljudes raadioseadmes leitavad tetrootid ka tänapäevalgi kasutamist.



Joon. 236. Varivõre vooluringi blokeerimine kondensaatoriga.



**Dünatronefekt.** Sekundaarvoolu ilmumist nimetatakse teisilt ka dünatronefektiks. See näbe seisab selles, et anoodile lendavad elektronid loovad anoodi metallist välja teatava hulga „sekundaarelektrone”. Trioodis pöörduvad sekundaarelektronid madala positiivse või negatiivse võre pingel puhul tagasi anoodile ja seepärast dünatronefekt ei avaldu. Tetrootdis aga on varivõre, mis pingestatud kõrge positiivse pingega, võimeline endale tõmbama sekundaarelektrone, eriti aga neil juhtudel, kui anoodipinge osutub varivõrepingest madalamaks. Sekundaarmissiooni ilmumise tõttu nõrgeneb anoodvool ja tugevneb kahjulik varivõre vool. Dünatronefekt on piitlikult kujutatud joonisel 237.



Joon. 237. Dünatronefekt tetrootdis.

primaarelektron, mis langeb anoodile suure kiirusega ja teatava nurgaga all, on võimeline sellest välja lööma mitu sekundaarelektroni.



Joon. 238. Tetrootdi anood- ja varivõre voolu tunnused.

Dünatronefekti olemasolu ja mõju tetrootdis on võimalik jälgida anoodvoolu ja võre voolu tunnuste ülesvõtmisel. Dünatronefekti poolt moonutatud tunnuste näidised on toodud joonisel 238. Seni, kui anoodipinge on madal, toimub emissioonvoolu jagunemine võre ja anoodi vahel ja seepärast tugevneb anoodvool algul kiiresti. Seejärel on tunnustoonel selgesti näha sekundaarmissiooni tekkimise algus. Tööpooltest näeme anoodvoolu

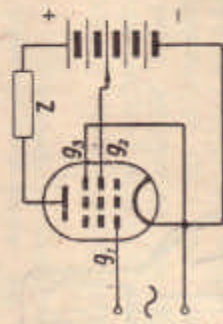
tunnustoonel „nõgu” ja varivõre voolu tunnustoonel „tippu” anoodile sellele võrele suunduvate sekundaarelektronide tõttu. Ainult siis, kui anoodipinge kõrgus läheneb varivõre pingele ja ületab selle, tugevneb järsku anoodvool ja üheaegselt sellega nõrgeneb varivõre vool. Pärast seda on anoodi tunnustoonel enam vähem sirgjooneline kujuga, kusjuures tema kallak on väike, mis tõendab suure otsustakistuse olemasolu.

Anoodvoolu nõgu tunnustoonel on seda sügavam, mida suurem on pinge varivõrel. Tetrootdi töötamisel võimendajana moonutab see nõgu anoodvoolu kuju, mõjudes kahjustavalt võimendajale tema ülesannete täitmisel: saatjais väheneb kasulik võimsus, vastuvõtjais aga tekib heil moonutus. Juhul, kui tetrootde kasutatakse anoodi, tuleb varivõrele rakendada vähemalt kaks korda madalam pinget kui anoodile. Helisageduste võimendamiseks ei kasutata tetrootde üldse.

### Pentoodide ja jagatetroodide konstruktisioon.

Vajadus kaitsa varivõret sekundaarmissioonvoolu eest viis selleni, et selle võre ja anoodi vahele hakati paigutama kolmandat võret, mida nimetatakse sulg- ehk pentoodvõreks.

Nii jõuti viis elektroodiga lambi — pentoodi konstruktisiooni (joon. 239). Pentoodil on kõik tetrootdi eelised ja ta on vaba selle puudustest: pentoodi katoodiga ühendatud sulgvõre potentsiaal on null ja seepärast ta aegustab sekundaarelektronide liikumist ja sunnib neid anoodile tagasi pöörduma. Järelikult ei moonuta dünatronefekt pentoodi tööd isegi sel juhul, kui pinge varivõrel on lähedane anoodipingele.

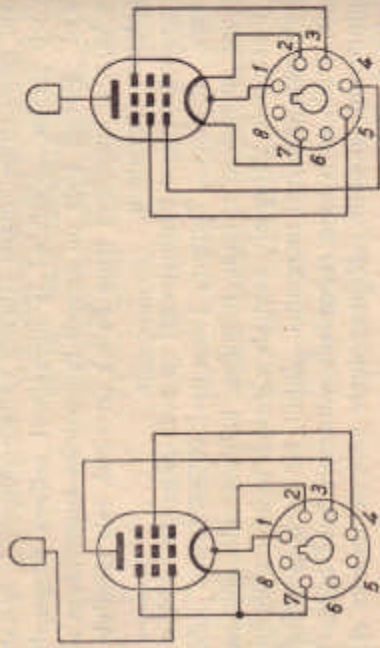


Joon. 239. Pentoodi filitusskeem.

Väikevõimslikes pentoodides võib sulgvõre olla lambi sisemuses vahetult ühendatud katoodiga, s. o. tal ei ole eraldi väljaminekut. Joonisel 240 on toodud vahetu küttega pentoodide tüüp 2K2M ja CO-241 sokli ühendused; süin on jaalg nt. I ühendatud kesta välise metallitud kihiga ja ta ühendab seda kihti raadioseadme üldise varjega.



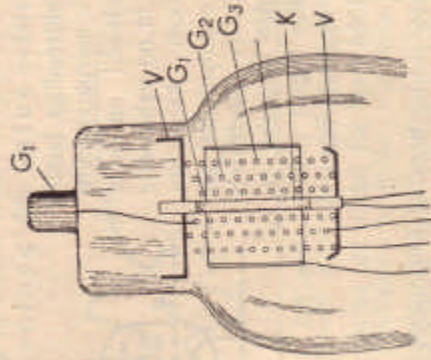
Kuid enamikel kaasaja pentoodidel ühendatakse sulgvõre eraldi kontaktjala külge, võimaldades seega sulgvõrele rakendada lisatavat pinget katoodi suhtes. See nähtub väikevõimsuslikes saatjais kasutatava pentoodi CO-257 sokliühendusest (joon. 241).



Joon. 240. Võimenduspentoodi skeem ja sokliühendus.

Joon. 241. Klaasist generator-pentoodi skeem ja sokliühendus.

pinget katoodi suhtes. See nähtub väikevõimsuslikes saatjais kasutatava pentoodi CO-257 sokliühendusest (joon. 241).

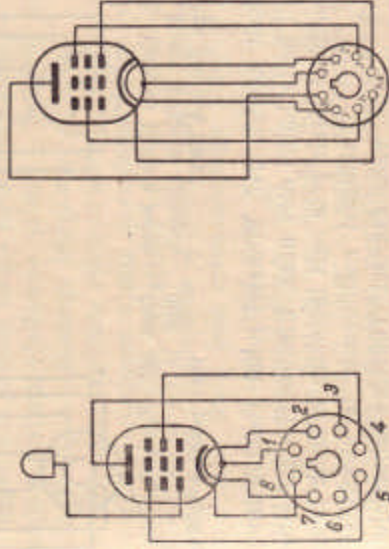


Joon. 242. Kõrgsageduspentoodi elektroodid.

Sulgvõre ei kõrvalda lambis mitte ainult dünatronefekti, vaid ta vähendab ka tüürvõre ja anoodi vahelist kahjulikku mahtuvust. See omadus on eriti oluline kõrgsageduse võimendamiseks määrat-

tud pentoodide juures. Mahtuvuse vähendamine on saavutatav seega, et lambi sisemusse paigutatakse näiteks kettakujulised varjed (joon. 242). Need lisavarjed ühendatakse lambi sisemuses katoodiga ja moodustavad seega nagu välise varje (metallkestast või metallkhi) jatku.

Selleks et vähendada anood-tüürvõre vahelist mahtuvust, hakati tüürvõre väljamiskontakti paigutama kesta ülemisse ossa (joon. 240). Sellist väljamiskontakti asetust ei kasutatud mitte ainult klaas-



Joon. 243. Metallkestaga pentoodi 6K7 skeem ja sokliühendus.

Joon. 244. Metallkestaga pentoodi 6SK7 skeem ja sokliühendus.

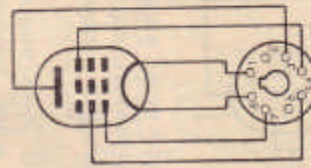
kestaga lampide juures, vaid ka metall-lampide juures, näiteks lamp 6K7 (joon. 243). Kuid elektrovaakum-tehnika progress võimaldas teostada kõrgsageduslike pentoodide „ühesokkilist“ konstruktsiooni, s. o. sellist konstruktsiooni, kus kõigi elektroodide väljamisjuhtmed on ühendatud lambi alumises osas olevate jalgede külge. See konstruktsioon osutus võimalikuks elektroodidevaheliste mahtuvuste väikeste väärtuste säilitamisega väljamisjuhtmete juures eriliste varjestamisvõtete kasutamisega.

Metallkestaga ja ühe sokliga pentoodi näidiseks võiks olla lamp 6K7, mida laialdaselt kasutatakse kaasaja raadiovastuvõtjais. Selle lambi sokliühendus erineb oluliselt pentoodi 6K7 sokliühendusest (joon. 243 ja 244).

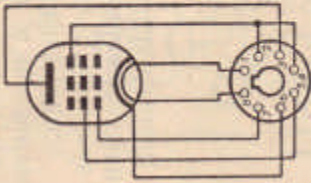
Tänapäevu tasase põhjaga klaaskestaga lampidel (joon. 195) on samuti enamikel juhtudel elektroodide väljamisjuhtmed joodetud kesta põhjas asuvate kontaktjalgede külge. Säärased on näiteks



vastuvõtu-võimenduspentoodid, mis näidatud joonistel 245 ja 246, samuti aga ka tasase põhjaga generaator-pentood, mis kujutatud



Joon. 245. Vahetult kõelava katoodiga ja tasase põhjaga klaaskes-taga pentood 2KX37.

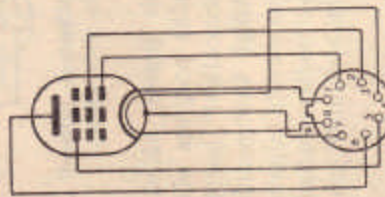


Joon. 246. Kaudselt kõelava katoodiga ja tasase põhjaga klaaskes-taga pentood 12K117.

skemaatilisel joonisel 247. Viimasel juhul asendab lampi kiinnitavat lukustit kesta küljel olev nasa. Elektroodide järjestus kontaktjalgade numbrite järele pole neis lampides juhuslik ja omab suurt tähtsust mahtuvuste ja elektrilise juhtivuse vähendamisel. Tüürvõre väljajamisjuhe on lampi sisemuses eraldi varjestatud. Need ahinõud võimaldavad kasutada lameada põhjaga klaaskestaga lampe laias lainestamikus kuni meetriliste laineteni.

Kõrgsageduspentoodide seas omavad erilist tähtsust lambid, mis on määratud kasutamiseks kaugnägemis-seadistes lairibavõimendajais, impulssraadiotehnikas jt.

Lain ribaliseks nimetatakse lülitust, kus üheaegselt ja ühtlaselt võimendatakse laia sageduste riba (mitme MHz piires). Sellise ülesande edukaks täitmiseks peavad lambid omama suurt tõusu ja peale selle veel rea muid eriomadusi. On teada, et tõusu saab suurendada katoodi ja tüürvõre vahelise kauguse vähendamisega. Tehnoloogiliselt lahendatakse selline ülesanne ainult elektroodide vahelise mahtuvuse mõningase suurendamise arvel, kusjuures elektroodide täpsem töötiitine ja monteerimine



Joon. 247. Tasase põhjaga klaaskesta generaatorpentood П-50.

lostab lampi hinda. Väga oluline on tõusu ja lampi sisemahtuvuse sobivaima suhte leidmine.

Laiasageduste riba võimenduseks valmistatakse kaudse küttega metallist kestaga pentoode. Nende seast on enamlevinud pentood tüüp 6AC7<sup>1</sup>, mille parameetritega me tutvume allpool.

Sentikirjeldatus eeldasime, et tüürvõre spiraalil keeru samm ja samuti ka tema läbimõõt ning kaugus katoodist on ühtlase kogu võre pikkuse ulatuses. Sel juhul on elektrivälja tugevus piki katoodi ühesugune ja seepärast katkeb anoodvool võre negatiivse pinge suurenedes üheaegselt katoodi kõrgis punktides (joon. 232 punkt d), s. t. tunnusjoon katkeb võrdlemisi järsult. Selliseid lampe võib nimetada lühikese tunnusjoonega lampideks.

Kuid paljudes kõrgsageduse võimendamise lülitustes tekib vajadus reguleerida tunnusjoone tõusu, saavutades seega võimenduse sobivat reguleerimist. Seks otstarbeks on vaja pikendatud tunnusjoonega lampe, kus tunnusjoone ulatuses tõus muutuks sujuvalt. Seda saavutatakse ebatühtlase keerusammuga tüürvõre ehitusega. Kui võre mingisugusel osal (näit. tema keskpaigas) asetada mõned loetud suhteliselt harvemalt (joon. 248), siis pole elektrivälja kaugusel ühtlaselt enam ühtlase tugevusega. Selles osas, kus võre loetud asetuvad harvemalt (suur samm), on vajalik elektronide katoodi lähedal hoidmiseks suur negatiivne pinge. Vastupidi, tihedate keerududega katoodi osas loetak anoodvool väikese negatiivse võrepinge olemasolul. Selle tulemusena ilmneb anoodvoolu katkemine katoodi mitmesugustel osadel erinevate negatiivsete võrepinge kõrguste juures ja tunnusjoon lähenedes nullile evib välja-ventilatsioon „saba“.

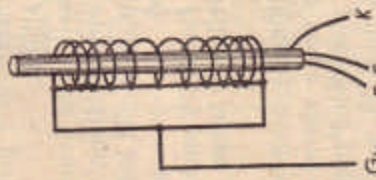
Niisuguseid lampe nimetatakse muudetava tõusuga (eksponent-) lampideks (pikendatud tunnusjoonega). Püüliku selgitusena on joonisel 249 vastandatud ühtlase võreühedusega lampi 6SK7 ja ebatühtlase võreühedusega lampi 6SK7 anoodvoolu tunnusjooned (mõlemal juhul olid anoodi ja variivõre pinged vastavalt samad). Tunnusjoonte muudetav tõus on omane enamikele kõrgsageduse võimendamiseks ettenähtud pentoodidele. Niisugused on näiteks lambid 2K2M, 6K7, 6SK7 ja teised. Lühikeste tunnusjoontega lampe (6K7, 6SK7 jne.) kasutatakse eriti laiasandega astmetes (detekteerimine, püramine jne.), s. t. vajadus nende järele on väiksem.

Kirjeldasime kõrgsagedusilike lülituste jaoks määratud pentoo-

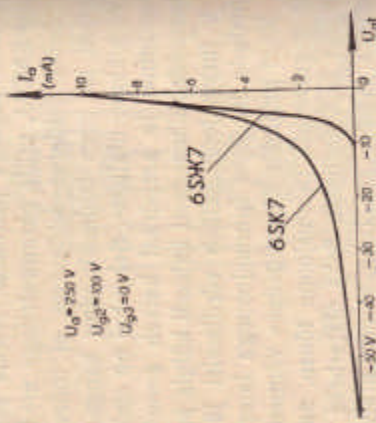
<sup>1</sup> Selle lampi kohta kasutatakse aue tähtsena — 6K14B.



dide konstruktiivseid erinevusi. Kuid pentoode kasutatakse ka madalsageduse võimendamiseks, eriti vastuvõtja viimases astmes, mis toidab telefone või valjuhääldajat. Madalsageduspentoodid on



Joon. 248. Ebaühtlase lihtdusega võre.



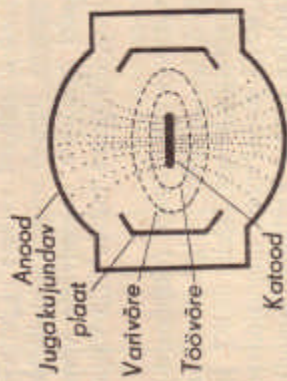
Joon. 249. Lühike ja pikendatud tunnusjoon.

konstruktiivselt palju lihtsamad: neis puuduvad lisavarjed ja elektroodide ühendused on ainult ühel soklil. See on võimalik seepärast, et elektroodide vahelise mahtuvuse kahjulik mõju on madala sageduse juures tähtsusetu. Varivõre tehakse vähem tihedam ja tüürvõre on ühtlase tihedusega.

Madalsageduspentoodi näiteks võiks olla metallkestaga lamp 6Φ6, mis võimaldab saada kasulikku võimsust kuni 3 W.

Helisagedusvõimendamiseks kasutatakse madalsageduspentoodide kõrval ka nn „jugatetroode“.

Helisagedusvõimendamiseks kasutatakse madalsageduspentoodide kõrval ka nn „jugatetroode“, milles dünatronelekti kõrvaldamiseks on võetud tarvitusele eriabinõud. Esimeseks sääraseks abinõuks on anoodi ja varivõre omavaheliste kauguste suurendamine, mille tulemusena varivõre külgetõmbejõud anoodilt väljuvatele sekundaarelektroonidele nõrgeneb. Anoodi kuju on umbes silindri taoline (joon. 250), võred on aga kujult ovaalsed (lamedad). Anoodi ja võrede

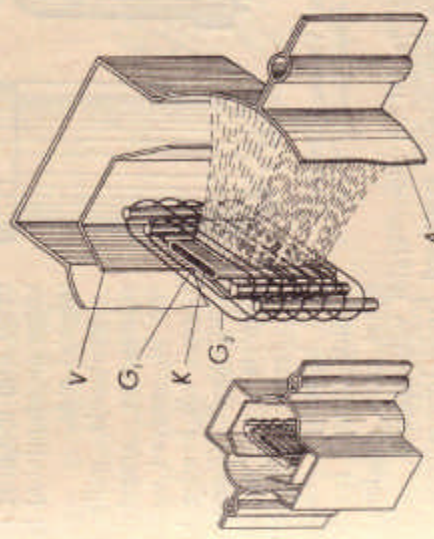


Joon. 250. Jugatetrood (pealtvaade).

vahele on vasakule ja paremale asetatud metallist plaadid, mis on ühendatud katoodiga ja omavad seepärast null potentsiaali. Nende plaatide tõttu püüab elektronide vool pääseda anoodile läbi võrede lamendate külgedele kitsa joana (siit ka nimetus jugalamp).

Nüüsgune lamp on perspektiivis kujutatud joonisel 251. Elektroonide tee on pikem ja anoodi töötav välispind asub varivõrest eemal.

Et võre keerud ei hajutaks elektrone, asetatakse esimese ja teise võre keerud täpselt kohakuti; see võimaldab täiendavat elektronide



Joon. 251. Jugatetrood.

koondumist jugadeks ja peale selle vähendab dünatronelekti mõju. Anoodile lendavate elektronide lihe vihik avaldab sekundaarelektroonidele tagasitõukavat mõju, mis seetõttu pöörduvad tagasi anoodile. Ohenevõrgelt elektronide joo koondumisega väheneb ka kahjulik varivõrevool, sest varivõrele langeb vähe elektrone.

Jugatetroodide näiteks on metallkestaga (või klaaskestaga) lamp 6J16, mis annab madalsagedusvõimendamises kasulikku väljuvat võimsust kuni 6 W. Jugatetroode kasutatakse edukalt võrkvastuvõtjates, aga samuti ka vastuvõtjais, mida toidetakse vahetult mootor- või dünaamilise elektrivõrgust.

Jugatetroodide tunnusjoonte iseärasusi kirjeldatakse edaspidi. Lõpuks tuleb peatuda ka generaatorpentoodide konstruktsioonil, millel on valmistatud kasulikele võimsustele ühest vatist kuni kilovattideni ja mis on kõige ajakohasemateks generaatorlampi-



deks. Endastmõistetavalt peavad anoodide mõõted, katoode pinnad ja lampide välismõõded tervikuna vastama kasulikkude võimsuste suurustele.

Näitena on toodud joonisel 252 kaasaja klaaskestaga väikese võimsusega pentoodide väliskujud. Neist vähima ehitus on sarnane „lamedapõhjaga“ lambi ehitusele; samasugune kabeksa kontakt jaala asetus ja samasugune metallivõimeke, mille olstarve on lambi kinnihoidmine paneelis. Võimsamal pentoodil on klaaskolvi ülemisel osal metallist kübar, mille külge on kinnitatud lambi plastmassist pide.

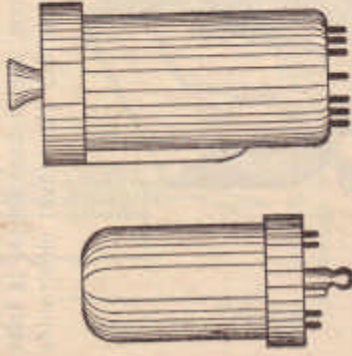
Pentoodid, mille kasuliku võimsuseks arvestatakse alla 100 W, omavad vahetu küttega katoodi või kaudse küttega oksüdkatoodi. Võimsamad lambid valmistatakse vahetu küttega karbideeritud või puhast voiframist katoodiga. Generaatorpentoodide kolmas (sulg-) võre teatakse enam tihedam kui võimenduslampidel ja tal on alati eraldi väljamisjuhe; sulgvõre pingemuutmisega muudetakse monikord lambi tunnusoone kuju.

Mitmeid generaatorpentoodide nimetatatakse jugalampideks teiselt kohakuti paigutatud võrede keerdude tõttu. Niisugune paigutus, nagu teada, vähendab varivõre voolu tugevust, s. t. muudab lambi töötamise paremaks.

### Pentoodide tunnusooned ja parameetrid.

Pentoodi tunnusoone ülesvõtmise toimub taolise liitluse abil, nagu see on kujutatud joonisel 218, ainult selle erinevusega, et selle liitluse teise ja kolmanda võre vooluringides (kui kolmandal võrel on eraldi väljamisjuhe) on pingeregulaatorid ja mõõteriistad.

Pentoodi anoodvõrepinge tunnusooneks nimetatatakse anoodvoolu sõltuvust pingest tüürvõrel, kusjuures pinge anoodil ja kahel teisel võrel on püsiv. Üksikult võttes on pentoodi tunnusoone oma kujult sarnane trioodi tunnusoonega ja erineb viimasest ainult pentoodile omase pikendatud „saba“ tõttu.



Joon 252. Väikese võimsusega generaatorpentoodide tüüpe.

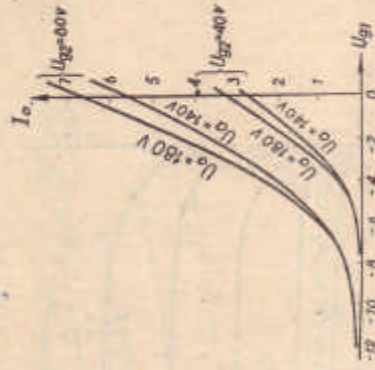
mis on tingitud võre ebaühtlasest tihedusest. Selliste tunnusoonte näidised olid toodud joonisel 249.

Kui vaadelda anoodile ja varivõrele rakendatud pinge mõju, siis ilmneb pentoodile omane erinevus. Joonisel 253 on toodud teaks paari pentoodi anoodvõrepinge tunnusooni, mis annavad võlmatus veenduda selles, et anoodpinge muutus (antud juhul 40 V) nihutab tunnusoont vähe, kuna samal ajal pinge muutus varivõrel (samuti 40 V) kutsub esile tunnusoone märgatava nihke.

Tähendab, anoodpinge muutus avaldab anoodvoolu tugevusele vähe mõju, sest anoodi elektrivälja jõujoonte läbitungivus läbi kolme võre katoodile on väike. On ilmne, et pentoodile on iseloomustav väike läbitavus  $D$ , ehk teisiti öeldult, suur võimendustegur  $\mu$ ; taile on omane samuti suur sisetaktistus  $R$ . Ühe ja sama tunnussarja tunnusooneid ei kulge mitte üksteisega röövliti, vaid hargnevad lehviku-taoliselt, mis tõendab pentoodi parameetrite (nimelt võimendusteguri) ebaühtlust. See on emissioovoolu jagunemise tulemus anoodi ja varivõre vahel. Lõpuks mõjutab pinge muutus varivõrel järsult pentoodi tööd (eeskätt tema anoodvoolu), mis kohustab selle pinge hoolikat valikut.

Pentoodi omadusi võib vaadelda ka tema anoodvool-anoodpinge tunnusoonte sarjal. Anoodvool-anoodpinge tunnusoone kujutab endast anoodvoolu sõltuvust anoodpingest, kusjuures pinged kõikidel vahudel on muutumatud.

Kõrgageduse vastuvõru-võimenduspentoodi tunnusooned on toodud joonisel 254. Vaatleme kõigepealt ühte neist, näiteks seda, mis on üles võetud pingega tüürvõrel  $U_{gr} = -1$  V (teine olust). Selle tunnusoone esimene osa on järsu tõusuga, sest pinge tõusuga anoodil lendavad seni varivõrele (pingega +100 V) suundunud elektronid läbi sulgvõre anoodile. Seega kujutab tunnusoone järsult tõusev esimene osa voolu ümberjagunemist varivõre

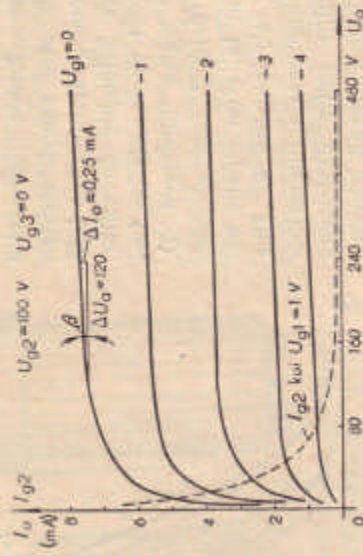


Joon 253. Pentoodi anoodvõrepinge tunnusooned.



ja anoodi vahel. See piirkond pole määratud pentoodide võimendajana töötamiseks.

Tunnusjoone töötavaks piirkonnaks on tema längus osa, mis praktiliselt on sirgjooneline. Just selle osa piires valitaksegi lähte tööpunkt. Tunnusjoone horisontaalne osa tõuseb väga vähe, sest anoodpinge ei avalda ruumlaengu elektronidele läbi kolme võre peaaegu mingit mõju, elektronid aga, tõmmatuna varivõre poolt, lendavad enamikus läbi varivõre anoodile ning varivõrevool on



Joon. 254. Pentoodi anoodvool-anoodpinge tunnusjooned.

tähtsusetult väike (vool  $I_g$ , on näidatud vaadeldaval juhul kriipsjoonega). Tunnusjoonel pole dünatronefektist tingitud auku, mis oli lihtsate tetoodide puuduseks.

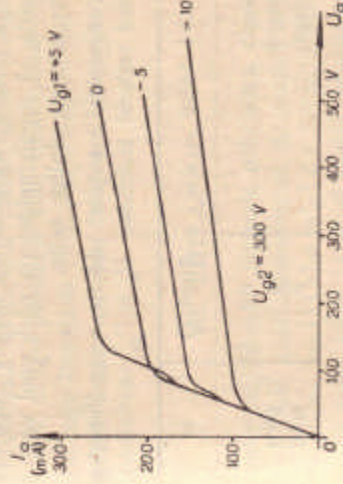
Pinge muutus tüürvõrel mõjutab tunduvalt anoodvoolu, sest selle pingega määratakse elektronide hulk, mis antud varivõre pingel juures varivõre poole suunduvad (ja edasi jagatakse tema ja anoodi vahel). Kui pinge tüürvõrel tõuseb (näiteks kui  $-1$  V asemele võtta  $0$  V), siis asetseb anoodvoolu tunnusjoon vaadeldavas kohas kõrgemal; kui aga pinget  $U_g$  vähendada, siis paiknevad tunnusjooned allapoole (joon. 254).

Pentoodide parameetrite määramine tema tunnusjoonte järele on raskem kui trioodidel, sest pentoodi parameetrid on sõltuvad pingetest ja nende arvulised väärtused on õiged ainult mingisuguste toitepinge väärtuste juures.

Kõige lihtsam on määrata tõusu, kui anoodvoolu juurdekaav jagada vastavale pingel juurdekasvule tüürvõrel. Seda parameetrit

võib leida anoodvool-võrepinge tunnusjoonelt (joon. 253) või anoodvool-anoodpinge tunnusjoonte sarjast (joon. 254). Nii näiteks on tunnusjoonte längus olevate osade vaheline kaugus vertikaalselt ( $-2$  ja  $0$  V juures) ligemalt  $4$  mA ja seepärast on joonisel 254 loodud tunnusjoonel määratav tõus  $U_{g1} = -1$  V jaoks ligemalt  $3$  mA/V.

Võimendusleguri määramine anoodvool-võrepinge tunnusarjast on raske seepärast, et tunnusjooned asuvad üksksteise lähedal; on



Joon. 255. Jugateetroodi tüüp 6D3 tunnusjooned.

siis, et võimendusleguri peab olema väga suur. Sisetakistuse  $R_i$  määramise raskus anoodvool-anoodpinge tunnusjoontest on tingitud nende tunnusjoonte väikesest kallakust; on ilmne, et pentoodi sisetakistus on väga suur. Joonisel 254 on joonestatud ühele tunnusjoontest kolmnurk, mille teravnurk on  $\beta$ ; sellelt võib ligikaudselt leida sisetakistuse suuruse, mis osutub selle lõigu kohta umbes  $500000 \Omega$ . Seega on joonisel 254 kujutatud tunnusjoontega pentoodi kolmanda parameetri ligikaudne väärtus

$$\mu = SR_i = 2 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^6 = 1000.$$

Mele poolt näitena loodud arvud on iseloomustavad kõrgsageduse võimenduspentoodidele. Madalsageduse võimenduspentoodide, generaatorpentoodide, aga samuti ka lairiba võimendusüksuste määratud eripentoodide tõus on umbes  $5-10$  mA/V.

1. Joonisel 254 näidatud arvudest leiame

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{120}{0,25} \cdot 10^3 = 480000 \Omega.$$



Eraldi tuleb peatuda jugatetroodide anoodvool-anoodpinge tunnusjoonte kuju juures ja vaadelda, kuidas nende lampide tunnusjooned on emandunud parandatud kuju. Teame, et jugatetroodi puudub sulgvõre. Järelikult, kahe võre poolt jagadeks koondatud elektronid (joon. 251) langevad küllaldase kõrgusega anoodpinge puhul kõik anoodile ja tunnusjooned saavad praktiliselt soovitud jätisu painde. Joonisel 255 on toodud jugatetroodi 6F13 anoodvool-anoodpinge tunnusjooned, mis erinevad pentoodide tunnusjoontest jätisu painete ja lüngus sirgjooneliste osade rõõbitise asetusega. Samuti on teada, et jugalampidel on nõrk vool varivõre vooluringis; see on nende teine oluline eelis.

Ülesanne 1. Arvutada ja asetada tabelisse vastuvõetupentoodide puuduvad parameetrid (arvud vastavad keskmistele  $U_a$  ja  $U_g$  väärtustele).

L a m p i tü ü p	$S$ (mA/V)	$\mu$	$R_i$
2K2M (klaaskestaga) . . . . .	0,9	—	$1,2 \cdot 10^6$
6SK7 (metallkestaga) . . . . .	2	1000	—
6AC7 (metallkestaga) . . . . .	9	9000	—

Ülesanne 2. Arvutada ja asetada tabelisse madalsagedus- ja generaatorpentoodide parameetrite väärtused.

L a m p i tü ü p	$S$ (mA/V)	$\mu$	$R_i$	$P_{a, max}$ (W)	Ostarete
6Ф6 (metallkestaga) . . . . .	2,5	200	—	13,5	madalsagedus- võimendaja
CO-257 (klaaskestaga) . . . . .	2,2	—	40 000	2,5	generaator
Г-471 (klaaskestaga) . . . . .	4,2	—	50 000	125	generaator
П-50 (klaaskestaga) . . . . .	10	—	30 000	40	generaator
6F13 (metallkestaga jugalamp) . . . . .	5,5	135	—	10	madalsagedus- võimendaja

Märkus: Generaatorlampide juures antakse peale  $S$ ,  $\mu$  ja  $R_i$  ka suurim võimsus  $P_{a, max}$  missaugune maksimaalselt anoodi soojusena lohib eraldada.

Vastuvõtu ja generaatorpentoodide puhul on väga olulisteks suurusteks (mõnikord ka parameetrite hulka arvatav) elektroodide vaheline mahtvus, eriti aga anoodi ja tüürvõre vaheline mahtvus. Kõrgsageduse vastuvõtu-võimenduspentoodide anoodi ja tüürvõre vahelist mahtvust mõeldakse tuhandikes pF-dites; geneeraatorpentoodide kohta on selle mahtvuse suurus ligemalt 0,1 pF

Lõpetades pentoodide tunnusjoonte ja parameetrite vaatlemist kirjeldame veel kord alla järgnisti: pentoodides (aga samuti ka tetoodides) kuuluvad ahult kaks elektroodi raadiojaama aktiivselt töötavatesse vooluringidesse — anood ja tüürvõre. Teised võred (varivõre, sulgvõre) etendavad vaid abistavat osa, määrates tunnusjoonte kuju ja parameetrite suurusi; nende pinge säilitatakse enamasti püsivana. Allpool kohtume niisuguste lampidega, millistes toimub elektronide jao kahekordne juhtimine, s. o. kaks võret kuuluvad raadiojaama aktiivsete vooluringide koosseisu.

Märgime veel, et iga pentoodi võib elektroodide omavahel lühivõre ühendamisega kasutada lülitustes trioodina või dioodina, kusjuures vastavalt muutuvad ka lampide tunnusjooned ja parameetrid.

### 10. LIITLAMPID.

Oleme senini kirjeldanud lampide põhitüüpe, milledest igakümnendab lülituses ühte kindlaksmääratud ülesannet. Nimetatute kõrval leiame me sageli ka liitlampide tüüpe, mille ühises kolviis toimub kaks või isegi kolm tavallist lampi, kusjuures need täidavad vastavalt ka mitut erisugust ülesannet. Raadioaparaatides kasutatakse selliseid lampe võrdlemisi piiratult, sest et lambitüüpide mitmekesisus raskendab aparatuuri komplekteerimist varuosadega. Mõningad liitlambid pävivivad siiski meie tähelepanu.

Vaatlesime juba kaksikdiodi (joon. 194 ja 197). Ei osutu raskeks ka kaksiktriiodi, s. t. kahe ühes kolvis asuva trioodi tundmaõppimine. Joonisel 256 kujutatakse klaaslamp kaksiktriiodi CO-243 skeemi ja sokliühendust.

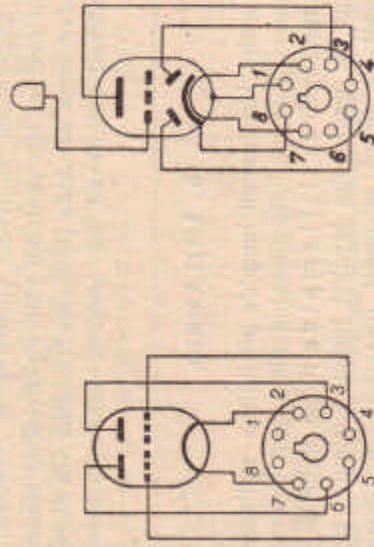
Metallsaeria lampide hulgas leiduvad kaksikdiod-trioid ja kaksikdiod-pentoid. See on kahe dioodi liitmine trioodi- või pentoodiga. Dioode kasutatakse alaldamiseks kahes erinevas vooluringis, trioodi või pentoodi aga madalsageduse võimendamiseks. Kaksikdiod-trioidi tüüp 6F7 skeem ja sokliühendus on toodud joon. 257.

Erilisel liitlampide hulgas asuvad kahekordse elektroodvoolu juhtimisega lambid. Nad on ette nähtud signaalterodüün-vastuvõtjale, kus nende ülesandeks on vastu võtta signaali sageduse muundamine vahesageduseks. Nende ühe ülesandajalaem arutlus on toodud raamatu lõpus. Praegu on aga meil oluline selgitada, et nendes lampides elektronvool läbib



kahle tüürvõret, milledest kumbki on vahelduvpinge mõju all, kü- juures nende pingete sagedused on erinevad. Anoodvooluringis voolavad mõlemate sagedustega voolud, kuid lambi eriomadustest tingituna tekib anoodvooluringis veel kolmas vahelduvvool, mille sagedus on võrdne kahe eelmise sageduse vahelga. Kahe sageduse vahe osutubki tekitatavaks „vahesageduseks“.

Raadioaamades kasutatakse põhiliselt kahte seesugust lambi- tüüpi: pentagriidi ja heptoodsegistit.



Joon. 256. Kaksiktriiodi CO-243 Joon. 257. Kaksiktriiod-triiodi 6T7 skeem ja sokliühendus.

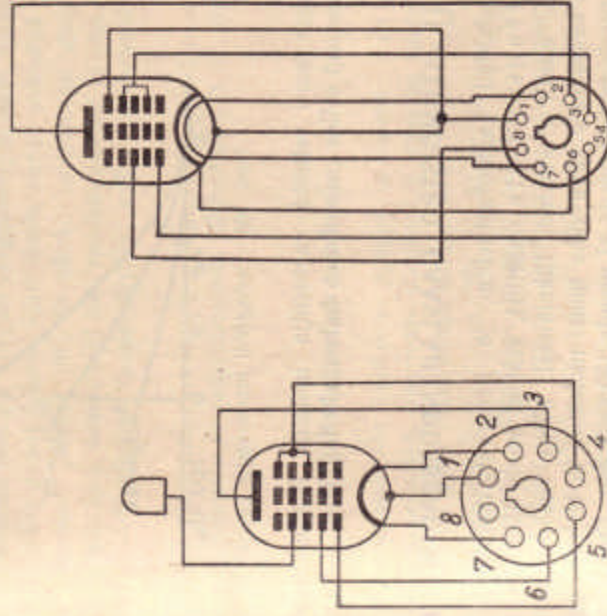
Pentagriidi tüüp CO-242 (klaasseeria) skeem ja sokliühendus on antud joon. 258. Sõna „pentagriid“ tähendab „viievõrega lamp“. Näeme, et elektronvool läbib teel katoodist anoodini viit võret. Kaks esimest võret moodustavad lambi trioodosa, sest et teine võre (hõre) töötab trioodis anoodina; see triood tekitab superbetero- diin-vastuvõtja lülituses kõrgsagedusega pinget, mis mõjutab esi- mese võre abil elektronvoolu.

Neljas võre, mille kontakt asetseb lambi kolvi ülemises osas, saab sisenduva signaalsagedusliku vahelduvpinge ning tüürib samuti elektronvoolu. Kolmas võre varjestab lambi „ülemist“ osa „alumisest“, kõrvaldades nendevahelist mahluvuslikku sidesust, kuna viies võre varjestab neljandat anoodist samuti, nagu see tol- mud teltoodides. Mõlemad varivõred saavad ühise positiivse pinge ja on ühendatud lambis omavahel.

Pisut teistsugused on pentagriidi 6SA7 elektroodide ülesanded. Selle skeem ja sokliühendus on toodud joonisel 259. Selles toimib

generaatori võreana esimene võre ja tüürvõreana („signaalvõreana“) kolmas võre; teine ja neljas võre on varjestavad võred ning viies sulgvõre.

Pentagriidi omadusi õpitakse tundma nende tunnusoonte üles- võtmise teel, millised kujutavad anoodvoolu sõltuvust tüürvõre („signaalvõre“) pingest mitmesuguste „generaator- ehk ostsillaa-“



Joon. 258. Pentagriidi CO-242 Joon. 259. Pentagriidi 6SA7 skeem ja sokliühendus.

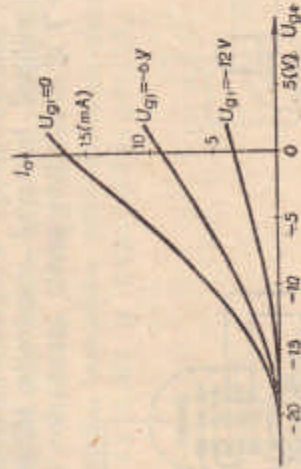
„võre“ pingete juures. Nende tunnusoonte sari on toodud näi- tena joonisel 260. Nende tunnusoonte järgi nähtub pentagriidi tähtsam omadus: anoodvoolu tunnusoonte tõus sõl- tub esimese võre pingest.

Harjutus. Leia joon. 260 järele tunnusoonte tõusud, kui tüürvõre pinge on ligikaudu  $-2$  V.

Heptood-segistil (seitsme elektroodiga lamp) on samuti viis võret, kuid ternas esimene võre saab signaalpinge, teine ja neljas on varivõred, kolmas saab pinget iseseisvast kohalikust generaato- rist ja lõpuks viies võre osutub sulgvõreks.



Kahelkordse tüüritavusega lambina võib kasutada ka tavalist kõrgsageduspentloodi. Temas mõjub signaal sulgvõrele ning tüüritavõre saab kohaliku generaatori pinge või vastupidi. Sellega saa-



Joon. 260. Pentagrüüdi tunnussari.

vutatakse suuri eeliseid vastuvõtja lampide ühetüübilsuses ehk küll pentood selles osas annab halvemaid tagajärgi kui spetsiaal-lamp.

## 11. ALGMOISTED GAASLAHENDUSSEADISTEST.

Väädeldud raadiovastuvõtu- ja generaatorlampid kannavad elektronseadiste nimetust, sest et voolu läbimine neis on tingitud ainult elektronide liikumisest; kõrge vaakumi tõttu jääb neisse lampidesse väga vähe gaasi molekule ja elektronide põrku-mine nende molekulidega ei muuda töö iseloomu. Kuid leitub suur hulk elektrovaakumseadiseid, millised on täidetud madala rõhu all (võrreldes atmosfääri rõhuga) oleva gaasiga ja milledes voolu läbimisel elektrilaengu kandjateks osutuvad mitte ainult elektro-nid, vaid ka elektrilaengut kandvad gaasi osakesed — ioonid. Nii-suguseid seadiseid nimetatakse gaasilahendus- ehk ioon-seadisteks.

Kajutleme madala rõhu all olevat gaasilist keskkonda, millest elektrivälja mõjul lendab läbi elektron. Kui küllaldast kühust omav elektron põrkab kokku gaasi molekuliga, siis ta kühustab selle, lihts molekulist välja unsi elektrone ja neutraalne molekuli muu-tub positiivseks iooniks, mis elektroni-ga võrreldes omab suurt massi. Elektronid liiguvad suure kiirusega anoodile, s. t. vastu elektrivälja jõujoontele, ioonid aga vastupidi liiguvad võrdlemis-

lasel ja jõujoonte suunas, s. t. katoodile. Ioniseerimiseks vaja-lik pinge on iga gaasi jaoks antud rõhu ja elektroodidevahelise kauguse juures konstantne.

Ohtuvalt ionisatsiooninähtega toimub ka ioonide neutraalse-tolu molekulideks taastumise nähtus (rekombinatsioon). Molekulide taastumisega kaasneb nende küllustamiseks kulutatud energia eral-dumine. Vabanenud energia kiirgub valgusenergia näol, mille sagedus on iga gaasi puhul erinev: elavhõbeda aurud annavad sinaka heleduse, neon — punase jne. Seepärast helenduvad gaaslahen-dusseadised töö ajal, samal ajal kui raadiolampides osutub helen-dus vaakumi vähenemise tundemärgiks, mille tulemusena lamp hävib.

Elektrovaakumitehnika arendamise esimestel aastatel olid ioon-protsesside uurimisele ja rakendamisele pühendatud D. A. Rožanski ja V. P. Vologtini tööd.

## Külmkatoodiga seadised.

Gaaslahendusseadiste esimesse gruppi kuuluvad külmka-toodiga ioonseadised. Vaatleme hõrendatud gaasiga täidetud ja tüürituse joodetud kahe metall elektroodiga toru, mille elektroodid on ühendatud vooluallikaga (joon. 261; gaaslahendusseadis erine-valt vaakumseadisest märgitakse skeemil viirutatuna). Väikeste pingele juures vool ei läbi toru ja ainult pinge kindla väärtuseni suurendamisel (see sõltub gaasi liigist, rõhust ja elektroodidevaha-lusest kaugusest) tekib torus helendumine ja tema vooluringis vool (hoonlahendus).

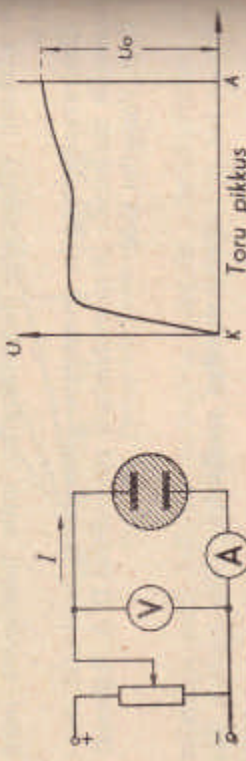
Voolu tekkimine külmade elektroodide puhul toimub seepärast, et ioonid on alati mingisugune hulk ioone. Küllaldaselt tugeva elektrivälja mõjul positiivsed ioonid liiguvad katoodile ja põrkudes vastu tema pinda loovad sealt välja elektrone. Elektronid, suundu-des anoodile ja kohates gaasi molekule, küllustavad neid, luues uusi positiivseid ioone.

Pidev lahendus nähtus võib esineda tingimisel, kui ioniseeri-misel tekkivate elektronide ja ioonide hulk võrdub hulguga, mis loobub elektroodidele külgelõmbamise ja ümberrühkimise taga-tõttu (rekombineerumine). Täiendab, on tarvilik, et ioonid ei loobu katoodist välja mitte väiksemat hulka elektrone, kui see on vajalik ioonide eneste tekitamiseks.



Elektroodide vahele lülitatud pinge jaguneb lahenduse ajal ebaühtlaselt (joon. 261). Näeme, et pinge langeb järsumalt katoodi lähedal (katoodilähedane pingelang), kindlustades ioonidele tarvilikke kiirusi. Katoodilähedase pingelangu suurus neoongaasiga täite puhul on 70 kuni 150 V, olenevalt katoodi metallist; mida kergemini elektronid eralduvad metallist, seda väiksem on katoodilähedane pingelang.

Helendumine algab katoodi väikesel alal; kui toru läbib voolu tugevdada, siis laieneb helendumine katoodi kogu pinnale ja katoodi töötava pinna suurendamine tingib omakorda edaspidist



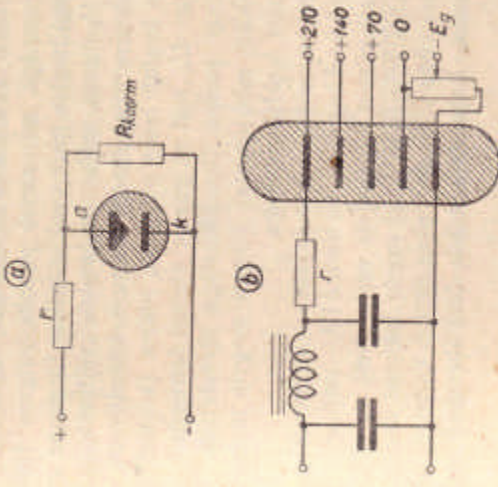
Joon. 261. Kuumilühedega gaaslahenduseseadise pinne jaotumine tennas.

voolu suurenemist. Seejuures katoodilähedane pingelang ei muutu (s. t. tema normaalne suurus jääb kogu aeg püsivaks).

Kui on tarvilik vooluringis edaspidine voolu tugevdamine, siis peame tõstma ka katoodilähedast pingelangu üle normaalse, mille tagajärjel suureneb katoodi pinnahüükest väljatõõdevate elektronide arv. Lõpuks võime jõuda sellise vooluni, mille juures lambi elektroodid tugeva pommitamise tagajärjel kuumenevad ja katood osotub võimeliseks andma termoemissiooni. Siis võtab gaasi ioniseerimine „laviinikujulise“ iseloomu ja huumilähendus läheb üle leeklähenduseks. Pikaajalisel leeklähendusel toru tahked elektroodid hävivad.

**Pingestabilisaator.** Huumilähenduse režiimis loõlavate külma katoodiga gaaseseadiste hulgas vaatleme esijärjekorras pingestabilisaatorit (nn. stabilooli). Ta kujutab endast neooniga või argooniga täidetud ja mitut elektroodi sisaldavat klaaskolvi. Katoodi materjal ja gaas võetakse sellised, et pingestabilisaatori klemmidel katoodilähedane pingelang normaalse režiimi juures võrduks selle suurusega, mille tasemel me soovime saada stabilset pinget raadioaparatuuri toitmiseks. Olgu toidetava rau-

dioaparaadi vooluringide (näit. vastuvõtja anoodvooluringide) elvivalentne takistus  $R_{kood}$  (joon. 262a). Stabilisaator (antud juhul kahe elektroodiga) ühendatakse rööbiti koormustakistusega; ta peab olema konstrueeritud nii, et normaalse katoodilähedase pingelangu puhul stabilisaatorit läbib vool oleks veidi suurem normaalsest koormusvoolust takistis  $R_{kood}$ . Stabilisaatori ja stabiliseeritava pingevallika (näiteks alalisvoolu generaatori) vahele



Joon. 262. Kaheelektroodilise (a) ja mitmeelektroodilise (b) pingestabilisaatori ühendusskeemid.

lülitatakse tingimata takisti  $r$ . Takisti  $r$  suurus peab olema selline, et generaatorpinge keskvaartuse juures läbiks stabilooli katoodi koormulise pingelangu puhul keskmine vool (s. t. et ei helendaks terve katoodi pind). Siis generaatori pinge tõusmisel tugevneb stabilisaatorit läbiv vool, suureneb pingelang takistil  $r$  ning pinge koormustakistil  $R_{kood}$  jääb muutumatuks. Generaatori pinge langetusel väheneb pingelang takistil  $r$ .

Mitmeelektroodiga stabilisaator võib täita pingejagaja ülesannet, toites stabilsete pingetega vastuvõtja mitut vooluringi (joon. 262b). Märgime, et küttevooluringidele kindlustavad stabiliseeriva pingelangu lähendusele elektroodidele, milliseid nimetatakse raudvesiniktakisteks (barretriteks). Raudvesiniktakiti kujutab endast vesinikgaasi asetatud raudtraati. Eri-



nevall pingestabiilsaatorile ühendatakse ta koormustakistusega järjestikku. Vooluallika pinge tõusmisel suureneb raudvesinik-takisti traadi temperatuur ning tema takistus suureneb. Seetõttu püsib vool vooluringis konstantsena ja järelikult ka normaalne pinge koormustakistuse klemmidel.

**Huulamp.** Gaasiga täidetud kahe elektroodiga lora, mis elektrivoolu läbimisel helendub (kasutatav mitmesugusteks otstarbeks), nimetatakse huullampiks. Kõige sagedamini täidetakse huullampi neoniga, mis annab punaka valguse (neoonlampid). Nimetatud tüüpi lampis tekib vool ja sellest tingituna valgus täiesti kindla pinge  $U_s$  juures, mida nimetatakse „süütipingeks”. Pinge edaspidisel kõrgenemisel tõuseb valguse intensiivsus. Kui pinget alandada, siis kustub lamp pinge  $U_k$  juures (kustumispinge), mis on väiksem kui  $U_s$ , sest et gaasis alamad ioniseerumise säilib ko-madalama pinge juures. Neoonlampiga ühendatakse alati järjes-tikku kaitselakisti, mis tõkestab kõrgete pingete juures huullampi-duse asendumist leeklahendusega.

Seadiste hulka, milledes kasutatakse leeklahenduse nähet, kuuluvad gaasitakistuse lahendid, milleid tarvitatakse aparaatide kaitsmiseks liigpingete eest. Neil on sadadesse voltid-esse ulatuv süütipinge, kuid nende takistus muutub leeklahen-duse ilmumisel väga väikeseks ning lülitab kaitstava lihtise prak-tiliselt lühisesse. Lahendaja talub leeklahendust mõne sekundi vältel.

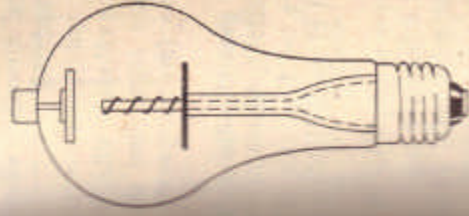
### Gasotronid ja tiratronid.

Süütlumise hõõgkatoodiga gaasilahendusseadiste gruppi juurde. Neid iseloomustab mitte enam helenduv, vaid leek- või „leegitaoline” lahendus ja nad ilmuvad tehnikasse suunajadena, lei-des hiljemini kasutamist ka muudeks otstarveteks. Gaasilahendus-suunaja vanimaks tüübiks on elavhõbedaaur-suunaja. Saajale kõrgepingeliste vooluringide tolmisel kasutatakse raadiotehnikas suunajadena nn. gasotrone.

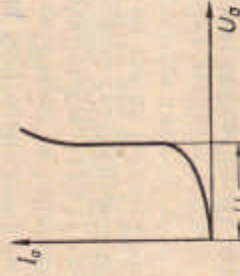
**Gasotron.** Gasotroniks nimetatakse suunajalampi, mis on täide-tud elavhõbeda aurudega või mingi teise gaasiga. Väikevõimsus-liku gasotroni ehitus on näidatud joonisel 263. Gasotroni katood valmistatakse spiraali keeratud ja oksüüdi kihiga kaetud nikkel-lindist. Anood valmistatakse väikevõimsustlikes gasotronides nik-elist ketta kujulisena; võimsates gasotronides valmistatakse anood grafiidist poolkera kujulisena. Kolvi ülemises osas on anoodi väl-

jamisjuhe; kütte väljamisjuhtimised asetsevad all — keermega soklis või soklita. Kolvi sisemusse paigutatakse väike hulk elavhõbedat, mis aurustub küttenüüdi kuumendamisel ja täidab oma aurudega gasotroni sisemuse.

Anoodile positiivse pinge andmisel ioniseerivad elektronid elav-hõbeda auru ja gasotron „süütub”. Gasotronist voolu läbimisel võlvavad voolu kandmisest osa: katoodist emiteerunud elektronid, elavhõbedata mole-kulidest vabanenud elektronid ja lõpuks elavhõbeda positiivsed ioonid; viimased võlvavad osa peamiselt ainult katoodi juu-res asuva ruumlaengu neutraliseerimisest



Joon 263. Gasotron.



Joon 264. Gasotroni tunnusojooned.

Gasotronis toimub leeklahendus, kuid katood kuumeneb mitte leek-protsessist, vaid sellest sõltumatult.

Gasotroni tunnusojoon, s. l. anoodvoolu sõltuvus anoodpingest, on kujutatud joonisel 264. Näeme, et väikeste pingete juures läbib anoodist tähtsusetult nõrk emissioonvool; kui aga pinge tõuseb umbes 12 V ( $U_{s, \text{min}}$ ), osutub elektronide kiirus elavhõbedata aurude ioniseerimiseks küllaldaseks ning gasotron süütub, tema vool tõu-neb järsult. On iseloomustav, et gasotroni läbiva voolu tugevne-misel jääb pinge tema klemmidel praktiliselt peaaegu püsivaks ja ligi pinge langeb takistitel. Seda näitab gasotroni tunnusojoone jooniga vertikaalne tõus. Järelikult toimub kõrgete pingete suuna-mitte gasotronis väga väikese võimsuse kauga, mille tõttu ta töö-tab kõrge kasuteguriga (üle 99%). See on gasotroni põhiline pare-mus võrreldes kenotroniga.

Kuid gasotroni kasutamisel esinevad ka omad puudused. Gasot-roni asetatulimisel on vaja alul algul sisse lüüda küttepinge ja alles



pärast massiivse katoodi kuumenemist võib sisse lüüda alaldatav pinge, et mitte purustada ioonidega pommitamisel katoodi oksüüdikihti. Samal põhjusel pole lubatav alandatud küttepingega töö. Töö lõpul on tarvilik aigul katkestada anoodpinge ja siis välja lüüda küttevool.

Alaldatava pinge piiri määrab vastusüüte võimalus, mis tekib elektronide emissiooni tõttu negatiivse pingega anoodilt. Vastusüüte tekkimisel kaotab gasotron suunavad omadused.

Lõppeks, gasotronide normaalne töö katkeb ümbritseva madala temperatuuriga juures, sest et elavhõbeda aurumine väheneb. Viimane puudus on kõrvaldatav kui gasotronid täidetakse argooniga; seega suguseid gasotrone nimetatakse *tungariteks* (argoon-gasotroneks).

**Tiratron.** Seni vaatlesime kahe elektroodiga gaaslahendusseadmeid; kuid on olemas ka kolmeelektroodilisi gaaslahendusseadiseid, milliseid nimetatakse *tiratronideks*. Võre töö tiratronis orineb aga sootuks raadiolampide võre tööst, sest et voolu läbimüü tiratronist on seotud ioonide liikumisega.

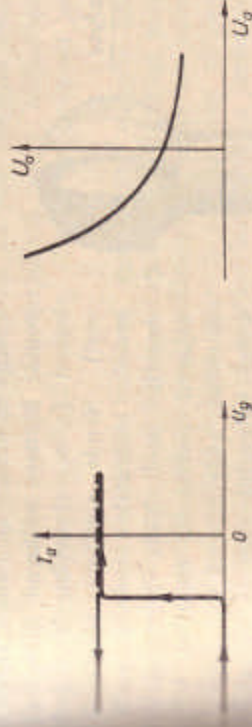
Eeltingestades tiratroni võret kõrge negatiivse pingega ja lülitades anoodile positiivse pinge, ei läbi tiratroni märgatava tugevusega vool, sest et negatiivsel laetud võre tõkestab katoodilt väljuvate elektronide liikumist. Vähendame aegamööda võre negatiivset pinget, seega suurendame emiteerunud elektronide kiirust. Kui elektronide kiirus osutub küllaldaseks elavhõbeda auru (või tiratroni läilva mõne teise gaasi) ioniseerimiseks, toimub süüde ringanoodvool tõuseb järsult. Pärast seda ei mõjuta võre pinge enam anoodvoolu, sest ioonid kompenseerivad ruumlaengu. Nüüd määrab voolu anoodvooluringi takistus ning tiratron võib kustuda ainult anoodpinge vähenemisel.

Meie poolt kirjeldatud anoodvoolu sõltuvus võrepingest on piltlikult toodud joonisel 265. Näeme, et tööpunkti nihkumisega paremale tekib järsk anoodvoolu hüpe, kusjuures takistusega piiratud vool, olles saavutanud enda maksimaalväärtuse, enam ei muutu. Tööpunkti nihkumisega vasakule jääb anoodvool püsivaks, sest võre juures tekib positiivsete ioonide kiht, mis oma väljaga neutraliseerib võre-katoodivahelise elektrivälja.

Kui aga tõsta anoodpinget, siis tiratroni süütimeine tekib juba negatiivsema võrepinge puhul. Anoodi „süütepinge“ sõltuvus võre eelpingest on kujutatud tunnusjoonel joonisel 266, mida nimetatakse tiratroni käivitustunusjooneks. Järelikult, kui tiratroni anoodi

tõeldakse vahelduvpingega, siis võre-eelpinge valik reguleerib süütimeise hetke ja seega määrab seadisest voolu läbimise kestuse.

Tiratroni kasutamine võimaldab valmistada muutuvalu koostakistuse juures reguleeritava vooluga (ja pingega) alaldajaid.



Joon. 265. Tiratroni anoodvoolu sõltuvus võrepingest.

Joon. 266. Tiratroni käivitustunusjoon.

Tiratrone kasutatakse samuti telemehaanilistes seadmetes releeidena, mis lülitavad sisse suuri voolusid võrepinge väikeste muudatuste abil.

## 12. FOTOELEKTRILISED JA ELEKTRONKIIRE SEADISED.

Fotoelektrilised ja elektronkiire seadised põhinevad valguse ja elektriliste nähete vastastikkusele mõjule. Need seadised leiavad mitmekalgsel kasutamisel mõõtmistehnikas, telemehaanikas, helitehnikas, kaugnägemises, fototelegraafis ja paljudes teistes tehnika harudes.

Meie poolt vaadeldakse neist seadistest ainult laiemalt kasutatavaid.

### Fotorakk.

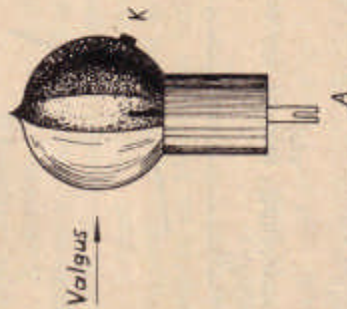
Metalli pinnale valguskiirte voo langemisel metalli elektronid, teevad valguskiirte energiat, omandavad täiendavat energiat. Kui see täiendav energia on küllaldane elektronide väljavõtmiseks metallist, siis hakkab metall enda pinnalt eraldama elektrone. Seadised, mis kasutavad fotoelektrilist emissiooni, nimelatakse fotoelementideks ja fotorakkudeks. Fotoelement toodab valgusenergia

\* Esimene fotoelement maailmas loodi Itaalia vene füüsiku A. G. Stoletovi poolt (1839.—1896. a.).



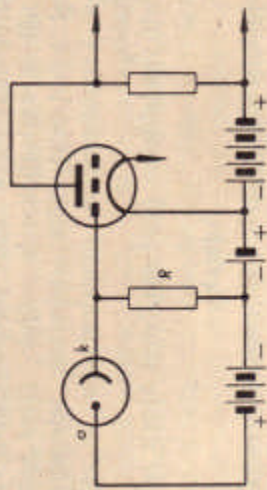
toimel elektromotoorset jõudu, fotorakk vajab lööle rakendamiseks välist voolualaikat.

Fotoelektrilise emissiooni põhiseadused seisnevad selles, et metallist väljuvate elektronide arv on võrdeline valguse intensiivsusega ta pinnal, kuid väljuvate elektronide kiirused sõltuvad kiirte värvusest (s. o. valgusvõngete sagedusest). Nende suuruste absoluutsed arvud määratakse siiski metalli materjali poolt. Mida väiksemat tööd vajavad elektronid metallist väljutulekuks, seda suurem on emissioon antud valgustugevuse ja valgusvõngete sageduse juures. Enam kasulik fotoefekti mõttes on metall tseesium, millest kasutataksegi fotorakkudes sagedamini.



Joon. 267. Fotoraku ehitus.

Fotoelektrilise emissiooni kasutamise fotoelemendis ja -rakus seisneb valguse-energia muundamises elektrienergiaks. Kodumaise fotoraku põhiüübiks on antiimon-tseesiumi rakk, millel on vaakumis kaks elektroodi: fotokatoode ja anood. Fotokatoode kujutab pind-elektroodi, mis on kaetud tseesiumi ja antiimoni keemilise ühendi



Joon. 268. Fotoraku ühendamise ühtsalm skeem.

kihiga; anood valmistatakse rõnga või varda kujulisena ning paikneb kosta alumises osas (joon. 267). Valguskiired langevad fotokatoodile läbi kosta läbipaistva osa ning kutsuvad esile elektronide emissiooni, missuguseid tõmbab ligi anood, moodustades voolu elemendi välisvooluringis. Tavaliselt on fotorakule koormuseks tegev-

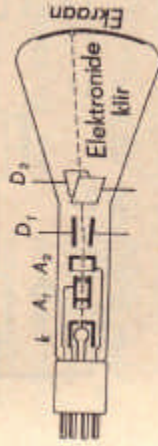
lakistus  $R$ , mille klemmidelt saadakse pinge edaspidiseks kasutamiseks. Välisvooluringiga ühendamiseks tuleb katoodilt ühendus läbi kosta seinaga, anoodilt — sokli kaudu.

Kui fotokatoodile langev valguse voog muutub (s. o. allub „modulatsioonile“), siis vastavalt muutub ka vool fotoraku vooluringis ning seepärast tekivad koormustakistil pinge kõikumised, missugused, mõjuades lambi tüürvõrele, võivad soovikohaselt võimendada (joon. 268).

Valguse moduleerimiseks helikinos kasutatakse valguse kiire läbiminekut heliribaga filmist ning fotoraku poolt tekitatud pinge pärast võimendamist juhitakse vajuhääldajatesse. Kujutiste edasiandmise seadistes muutub valguse tugevus valguse kiire järjekorradjael peegeldumisel edasiantava kujutise heledatelt ja tumedatelt punktideelt ning fotoelemendi pinge juhib saatjat jne.

### Elektronkiiretoru.

Süldume elektronkiire seadiste kirjeldamiseks, s. t. selliste seadiste juurde, kus elektronide vool kutsutakse esile ekraani helendumise, mis lubab vaatlajal jälgida lülitustes toimuvaid elektrilisi nähtusi.



Joon. 269. Elektronkiiretoru ehitus.

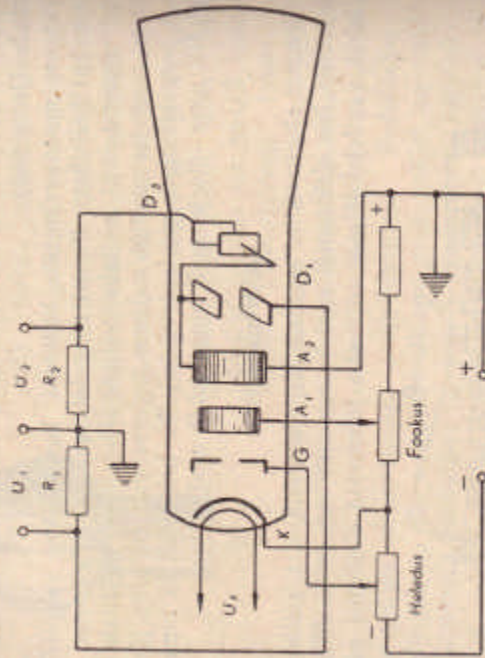
Tanapäeva elektronkiiretoru ehitus on näidatud joonisel 269. See on õhutihi klaaskest, mille laieneva osa otsmine sisepind on kaetud aine kihiga, mis on võimeline helendumise elektronidega koormutamise mõjul. See kiht moodustab ekraani.

Soklipoolses toru osas asetseb katoode  $K$ , mida kuumentatakse küttepatari vooluga, ja kolm silindrilist elektroodi, mis moodustavad nn „elektronkühuri“. Katoodile lähemal asetsev silinder ümbritseb katoodi ja lasseb elektronide voolu läbi ainult oma põhjas avast. Andes sellele juhtsilindrile negatiivse pinge, võib selle pinge kõrgusega muuta elektronide kiirust ja seega reguleerida ekraani helendust.

Kõrgemal, juhtsilindri taga, asuvad kaks silindrikujulist anoodi, millel on diafragmad, s. t. vaheseinad. Neis vaheseintes on telje



kohal väikesed avad. Anoodile  $A_1$  antakse umbes 300—400 V alaspinge, anoodile  $A_2$  — alaspinge katoodi suhtes mitte vähem kui 1000 V. Nende anoodide poolt tekitatud elektrivälja kiirendab elektronide liikumist ekraanile ja üheaegselt koondab elektronid väikese läbimõõduga joaks (küireks), mis võimaldab ekraanil väikese heleda täpi tekkimist.



Joon. 270. Ostsillooskoobi skeem.

Seega laseb „elektronikahur“ välja elektronide peene joa, mis tekitab ekraanile reguleeritava heledusega ja küllalt väikeste mõõdetega täpi. See juga läbib veel kahe paari plaatide  $D$  (välkesead kondensaatoreid) vahelise ruumi. Kui plaatide paarile anda pinge, siis elektrivälja põhjustab joa kõrvalekaldumise ja täpp paigutub ekraanil ümber. Plaadid  $D_2$  kallutavad täppi horisontaalselt, plaadid  $D_1$  — vertikaalselt.

Ostsillooskoobi lülituse ligikaudne skeem on näidatud joonisel 270. Seadise kere külge ühendatud kõrgepinge pluss on toodud anoodile  $A_2$ . Toru sees on temaga ühendatud kallutusplaadid, üks kummagist paarist.

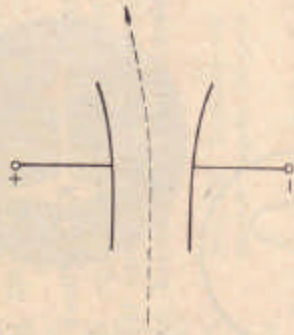
Anood  $A_1$  on ühendatud potentsiomeetri libiseva kontaktiga, mis annab võimaluse valida madalamat, kuid katoodi suhtes siiski positiivset pinget ning sellega saavutada täpi fookuseerimist. Katood on ühendatud fookuseerimise potentsiomeetrist järgmisena.

kuna tüürelektrood  $G$  asetseb katoodi suhtes negatiivse pinge all;  $G$  ühenduse libiseva kontakti ümberasetamisega reguleeritakse täpi heledust.

Vabade kallutusplaatide ja kere vahele on ühendatud takistid  $R_1$  ja  $R_2$ , millede klemmidele võib ühendada kiire horisontaalseks ja vertikaalseks kallutamiseks pinged  $U_1$  ja  $U_2$ .

Anoodi avadest läbilendavad elektronid peavad langema ekraanil kohele. Kuid kallutatavatele plaatidele rakendatud pinge mõjul muutub elektronide tee, nagu on näidatud joonisel 271: elektronid kui negatiivsed osakesed kalduvad sirgjoonelisest leest positiivse plaadi poole ning täpp nihkub ekraanil keskeft kõrvale. Sellist elektronide kiire kallutuse viisi nimetatakse elektrostaatiliseks.

Plaatide vahele rakendatud pinge mõjul kiire kaldumise omaduse arvulooks hindamiseks on ostsillooskoobi tähtsaim parameeter taundlikkus  $k$  k.u.s. Tundlikkus näitab, milme millimeetri võrra kallutab kiir ekraanil 1 voldilise plaadide vahelise pinge puhul. Meie torude tundlikkus on ligikaudu 0,2 mm/V. Järelikult, märgatav kaldumine saavutatakse umbes kümnevoldiliste pingete juures. Kui on tarvilik avastada madalamate pingete mõju, siis enne kallutusplaatidele ühendamist neid võimendatakse. Märgime, et torude kõrval, millede kasutatakse elektrostaatilist kallutuse viisi, lelavad kaanest veel torud, millede kiire kallutamine teostatakse väljaspool toru asuvate poolide magnetvälja abil.



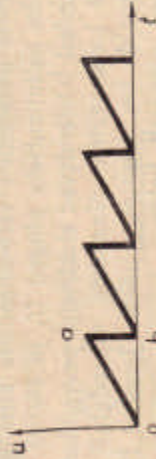
Joon. 271. Elektroonkiire kallutamine.

Ostsillooskoobi rohkearvuliste praktiliste rakenduste hulgas on tähtsaimaks ta kasutamine võnkeprotsesside „lineaarseks“ laotamiseks, s. o. uuritava pinge diagrammide saamiseks ekraanil. Selleks otstarbeks antakse horisontaalsetele kallutusplaatidele ( $x$  telg) „hammaspinge“ (joonis 272), mis saadakse erilise generaatoriga. Piirkondades  $oa$  kasvab see pinge võrdeliselt ajaga („lineaarselt“) ning kallutab täppi horisontaali pidi. Piirkondades  $ab$  langeb pinge järsult ja täpp tuleb kiiresti lähteasendisse tagasi. Järelikult hammaspinge mõjul, mis kordub rohkem kui 20 korda sekundis (mõnikord mitu tuhat korda), võib vaadelda ekraanil



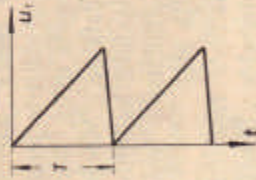
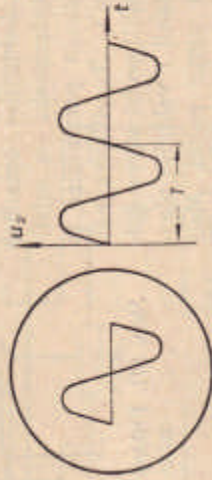
heledat horisontaalset riba, mille pikkus on võrdeline „hammaspinge“ kõrgusega, kuna laius on võrdne täpi läbimõõduga.

Nüüd kujutleme, et üheaegselt eelkirjeldatuga on vertikaalkaalu tuse plaatidele antud vahelduvpinge, mille diagrammi on soovilav



Joon. 272. Hammaspinge kuju.

saada ekraanil. Kui uuritava pinge sagedus on võrdne või kortine hammaspinge sagedusega, siis ühe ümberpaiknemise aja vältel horisontaali pidi sooritab täpp ühe või mitu võnget vertikaalselt. Vertikaalsed kaldumised painutavad vastavalt täpi teed ning



Joon. 273. Vahelduvpinge lineaarne laotamine.

ekraanil võib näha uuritava pinge kujutist aja funktsioonina (joonis 273). Kallutuspinge ja uuritava protsessi perioodide  $T$  võrduse tõttu saadakse liikumatu kujutis, sest et täpi tee ekraanil hakkab korduma. Osa kujutist võib moonutada, seepärast et tegelikult ei toimu täpi tagasitulek silmapilkselt, vaid mingisuguse imelühikesse aja vältel.

Tänapäeva raadiotehnikas evib ostsiloskoop väga suurt tähtsust, sest ta võimaldab vaadelda elektrilisi protsesse lülitustes ja järelikult võimaldab enam teadlikumalt neid protsesse mõjutada. Kuid mitte ainult lülitustes toimuvate protsesside uurimine ei ole ostsiloskoobi kasutamise alaks. Ostsiloskoobi abil lahendatakse ka enam keerukamaid ülesandeid, nagu näiteks kauguste mõõtmist raadiolokatsiooni seadiste abil.

Ostsiloskoop evib samuti suurimat tähtsust ionosfääri uurimisel. Ta vertikaalkallutuse plaatidele mõjuvad sel juhul spetsiaalsaatja, kuid samuti ka ionosfäärist tagasipeegeldunud impulssid (lühiajalised saated). Ekraanil saadakse otseste ja peegeldunud impulsside kujutised (joon. 274). Nende impulsside vaheline kaugus moodustab mõõtmise osa horisontaalriba pikkusest, mis on aeg ionosfääri ja tagasi kallutuspinge perioodist. Järelikult, mõõtes kaugust impulsside kujutiste vahel ja teades kallutuspinge perioodi, aga samuti ka lainete levikiirust, võib määrata ioniseeritud kihi efektiivse kõrguse:

$$H_e = \frac{l}{L} \cdot T \cdot \frac{v_0}{2}$$

Oligu näiteks kallutuspinge periood  $T = 2$  msek (millisekundit), horisontaalse riba pikkus  $L = 6$  sm, kaugus otseste ja peegeldunud impulsside vahel  $l = 2$  sm. Siis kihi efektiivne kõrgus

$$H_e = \frac{2}{6} \cdot \frac{2}{1000} \cdot \frac{300\,000}{2} = 100 \text{ km.}$$

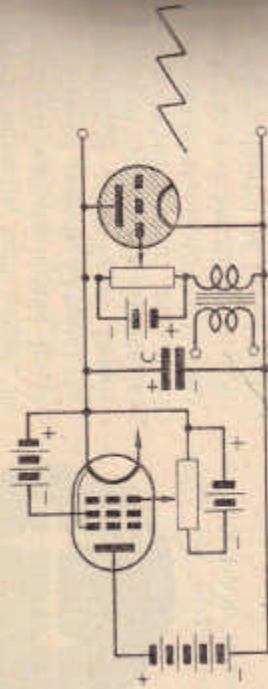
Mõttel teel võib saada lineaarseks kallutamiseks vajalikku hõõnambakujulist pinget? Üks säärase pinge generaatori võimalikke etevõtte on toodud joonisel 275, milles kondensaator laadub läbi pataatoodi ja tühjeneb tiratroni kaudu. Kondensaator  $C$  laadub pataatoodi läbi pentoodi, mida läbib vool, nagu teada, praktiliselt ei sõltu anoodi ja katoodi vahel rakendatud pinge kõrgusest, kui see pinge ületab kriitilise suuruse (joon. 254). Püsiva tugevusega vooluga laadimisel kondensaatori pinge tõuseb võrdeliselt ajaga (lineaarselt). Kui kondensaator laadub pingeni, mis on suuteline süntona tiratroni, lülitab viimane kondensaatori plaadid moment-



Joon. 274. Kõrduvate impulsside kujutis ekraanil.



selt peaaegu lühisesse ning kondensaator silmapilkselt tühjeneb läbi tiratroni. Seejärgi tiratron kustub ning laadimise protsess kordub algusest peale. Kallutuse perioodi reguleeritakse laadimise voolu valikuga eelpinge andmise teel pentoodi tüüvroole; „hamba“ kõrgust reguleeritakse süütepinge valikuga, s. o. eelpingega tiratroni võrel. Selleks et ekraanil kujutis ei liiguks (oleks paigal), on tarvis säilitada täpne sünkroonsus kallutuspinge ja uuritava protsessi perioodide vahel. Selleks otstarbeks uuritav pinge rakendatakse mitte ainult ostsiloskoobi plaatidele  $D_2$ , vaid ka tiratroni



Sünkroniseeriv pinge

Joon. 275. Hammespinge generaatori skeem.

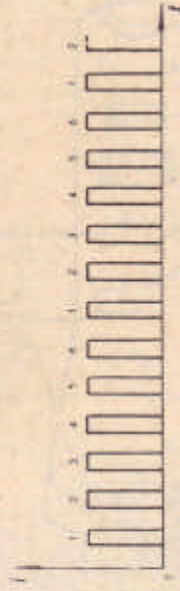
võrele erilise transformatori kaudu. Sellise mõjutamisega saavutatakse õigeaegne tiratroni süttimine, s. o. kallutuse stabiilne sünkroonsus.

Elektronostsiloskoobid leiavad üha enam uusi rakendusalaid ning nad täienevad konstruktsioonilt. Nii peaaegu iga ostsiloskoop varustatakse seadisega kujutise fotograafiliseks üleskirjutamiseks (sellist ostsiloskoopi nimetatakse ostsilograafiks). Valmistatakse kahe kiirega torusid, mis annavad võimaluse jälgida ekraanil üheaegselt kaht elektrilist protsessi (näiteks pingesid vooluringi eriosades). Kineskoobiks nimetatakse eriliiki ostsiloskoopi, mida kasutatakse televisiooni vastuvõtjates vastuvõetava kujutise nähtavaks tegemiseks.

Helenduvat ekraani rakendatakse samuti ka palju lihtsama ehitusega seadises, mida nimetatakse elektronindikaatoriks ehk indikaatorlambiks ja mida kasutatakse vastuvõtjate saatja sagedusele häälestamiseks. Neid indikaatoreid leidub sageli raadiringhäälingu vastuvõtjates („maagiline silm“).

### Elektronkommutaator.

Ostsiloskoobi torule sarnanevat toru võib kasutada mitte ainult visuaalse vaatluse, vaid ka puht elektrilise kommuteerimise ülesande lahendamiseks. Kaasaegses retranslatsoon-raadioliinis paljud kanalilist sidet võib teostada impulssmenetluse, s. o. lühiajaliste voolude järjekorde saatmisega mitme kanali abonentidele. Seejuures tähtsaimaks ülesandeks on impulsside teatavus kindlas järjekorras üksikutesse saateseadmete kanalitesse saamine ning vastuvõtjates vastuvõetavate impulsside jaotamine üksikute abonentide vahel. Kuna impulsside arv sekundis võrdub kümnete tuhandetega, siis üksikõik missuguse mehaanilise kommuteerimiseseadme



Joon. 276. Paljukanalilise liini impulsside järjestus.

kasutamine pole rakendatav ja impulsside tekitamise ülesanne saatjas ning nende jaotamine vastuvõtjates lahendatakse elektronikiir-kommutaatorite abil.

Vaatleme ühte elektronitorude varianti, mis on ette nähtud impulsside tekitamiseks saateseadmes. Oletame, et liinil on kuus kanalit. On tarvis iga kanali jaoks kindlas järjekorras võtta impulsside iga abonentide mikrofonide vooluringist; seejärel tuleb kõik need impulssid juhtida üldvooluringi saatja tüürimiseks. Üldvooluringis kanalite impulssid peavad esinema õiges järjestuses (joon. 276). Impulsside kordumissagedus igas kanalis peab olema kuus korda väiksem üldisest impulsside kordumissagedusest saatja väljandis.

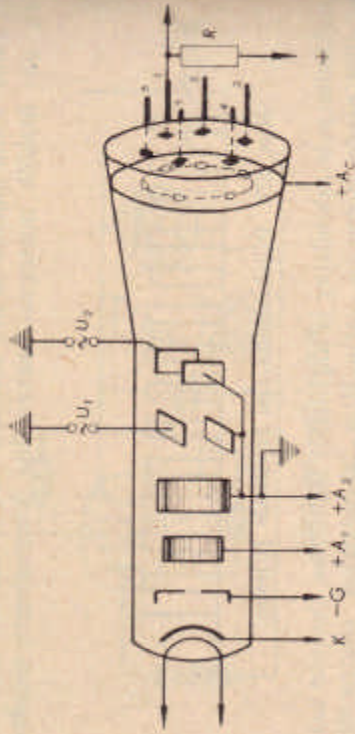
Seesugust ülesannet lahendatakse joon. 277 näidatud toru abil. Elektronkiirt tekitab ning kahast kallutusplaadi paariist koosnev süsteem on siin täpselt sarnane vastavate ostsiloskoobi osadega. Kuid toru paremasse otsa on paigutatud osad, mis eristavad kommutaatoril ostsiloskoobist.

Siin on paigutatud risti toru teljega kuue auguga metalliplaat, mis asetseb kõrge positiivse pinge all ja mida nimetatakse aukliuks anoodiks; ta aukude taga olevale otsmisele klaaspinnale on



kinnitatud kuus elektroodi, mida nimetatakse dünoodideks ja milledest on läbi klaasi välja toodud eraldi ühendusjuhtmed. Iga dünood asub täpselt kohaliku auguga auklikus anoodis. Nimetus „dünood“ tõestab seda, et elektronide langemisel plaadile viimases avaldub dünatronefekt, s. o. et ta pinnalt lüüakse välja sekundaarelektronid ning seejuures sellisel hulgal, mis ületab temale langenud elektronide hulga.

Dünoodid asetsevad palju madalama pingel kui auklik anood  $A_c$ . Seepärast dünoodist väljalöödud sekundaarelektronid ei pöördu



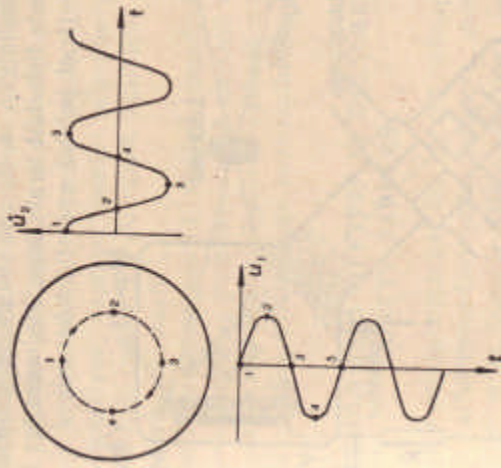
Joon. 277. Elektronkommutaator.

sellesse lagasi, vaid lõmmatakse auklike anoodile. Järelikult kiire langemine tekitab antud dünoodi vooluringi takistis  $R$  voolu, mis on suunatud dünoodilt patareri plussklemmidele (vastusuunas sekundaarelektronide liikumise suunale). Märkime, et voolu võimendamiseks siin on kasutatud dünatronefekt, mis elektronlampides esineb kahjuliku nähtena.

Pinged  $U_1$  ja  $U_2$ , mõjudes koos elektronkiirele, peavad tekitama siin ringkallutuse, s. o. sündima heleda täpi ühtlaselt pöörlema ringjoonel, millel asetsevad anoodis augud. Seda saavutatakse siis, kui pinged  $U_1$  ja  $U_2$  on sünniselised, kuid omavahel faasis nihutatud  $90^\circ$  võrra. Joon. 278 selgitab ringkallutuse saamise põhimõtet; siin võib jälgida täpi asetust ekraanil hetkedel 1, 2, 3, 4, 5 jne. ning veenduda, et täpp pöörleb ringjoonel kellaosuti liikumise suunas.

Selle alusel saab arusaadavaks, et kommutaatoris elektronide kiir pöörlemisel järjekorras satub läbi aukude dünoodidele ning

tekitab neis voolu pulsuid. Need pulsuid tekitavad kindlas järjekorras, kusjuures iga dünoodi vooluringis pulsivõlli kordumissagedus võrdub kallutussagedusega, sest et ühe pöördega langeb kiir igale dünoodile üks kord. Koos sellega on naaberdünoodides tekkivate



Joon. 278. Ringkallutus.

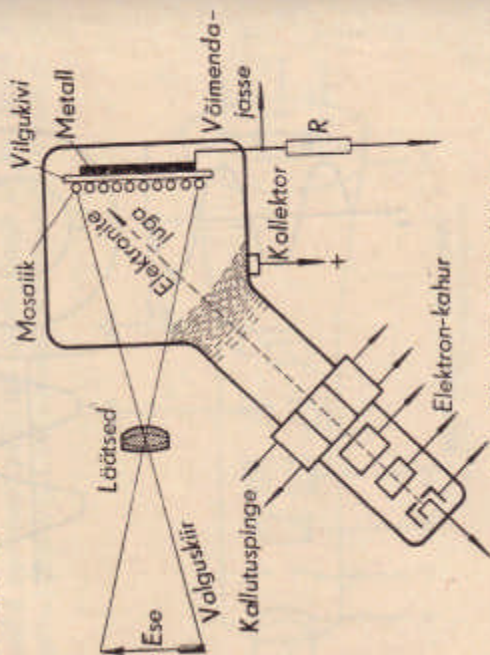
pulsivõlli ajaline nihe rangelt määratletud aukude asetusega; seejärel, kui kõik impulsid, olles mõjutatud oma abonentide mikrofonidest, suunduvad ühisesse vooluringi, siis nad esinevad kindlas järjestuses kooskõlas joon. 276. Säärane on pulsivõlli tekitamise põhimõtte paljukanalises liinis elektronkommutaatori abil.

### Ikonoskoop.

Konkaarse televisiooni nõuded ei rahuldu nende võimalustega, mida pakub fotoelement. Elektroniline televisiooni printsip, mida omahordiselt pani ette 1911. a. meie kaasmaalane B. L. Rosing, põhineb kaansajal erilistele kujutistele saate ja vastuvõtu seadistele. Nagu varem öeldud, kasutatakse kaugnägemise vastuvõtu toruna osatallkoobi torule väga sarnanevat kinoskoopi. Saatoruna kasutatakse nõndanimetatud ikonoskoopi (s. o. seadis, mille abil võib näha kujulist) või mõnesugust selle seadise täiustatud erikonstruktsiooni.



Ikonoskoobi skeem on näidatud joon. 279. Toru paremasse ossa on paigutatud vilgukivilehest ekrään; vilgukivi tagaküljel on kaetud metallkilduga, millest on toodud välja ühendus koormustakistisse  $R$ , mis ühendatakse järgneva võimendajaga. Vilgukivi esiküljel on kaetud „fotomosaigiga“, s. o. suurehulgalise üksteisest isoleeritud õige peenikeste hõbedast terakestega, kusjuures iga terakene eriliselt töötuse tagajärjel kujutab endast fotokatoodi.



Joon. 279. Ikonoskoobi skeem.

Ese, mille kujutust on tarvis edasi anda, projekteeritakse läbi sode süsteemi abil fotomosaigile. Esemelt mosaigile peegelduva valguse mõjul iga mosaigi terakene saadab välja elektrone, mis lendavad kollektorile, s. o. patarei plussklemmiga ühendatud sode misle metallkattele. Mosaigi terakeselt väljuvate elektronide arv sõltub temale langeva valguse intensiivsusest ning valgustuse kestusest. Saates välja elektrone hõbeterakene ise laadub positiivselt. Peale valgusvoo langeb ikonoskoobi ekräänile elektronkäär, mis tekitatakse elektronkahuri poolt. Väike langevate elektronide täpp katab mosaigi terakese ning annab tagasi fotoelektri tagajärjel sealt ärälennanud elektronid.

Kallutussüsteemi abil (elektrostaatiline süsteem on siin vähem kohane kui magnetiline) elektronide kiir paigutatakse ümber ekräänil nõnda, et kiir joonestab ekrääni järjekorras horisontaalselt rida-rea-haaval ning läbib kogu kujutise (raami)  $1/30$  sek. vältel

Mosaigi terakese, millele langes elektronkiir, positiivse laengu järsk vähenemine tekitab voolupüüsi läbi mahtuvuse vilgukivi tagaküljel asetsevas metallkildes ning pingelangu ka takistis  $R$ . On arusaadav, et puisi suurus sõltub elektronide hulgast, mida selle ajani kutas antud terakene, s. o. terakese valgustusest.

Sedamööda, kuidas elektronkiir paikneb ümber mööda rida ühelt terakeselt teisele, tekivad väljendis impulsid, mille suurus on võrdeline ülekantava kujutuse osade valgustusega. Selviisil antakse ühe sekundi jooksul üle 30 raami, kusjuures need impulsid lähevad televisiooni saatjale.

Vastuvõetuseadmes saatejaama! saadud impulsid mõjutavad kineoskoobi tüürektoodi  $G$  ning see taastab ekräänil vastuvõetava kujutuse. On arusaadav, et kiire kallutus vastuvõetuseadmes peab olema sünkroonne kääre kaldumisega saateseadmes.

### 13. RAADIOLAMBID MEETER- JA DETSIMEETER-LAINETE TARBEKS.

Progress elektrovaakumeerikas ilmneb eriti silmapaistvalt viimastel aastatel ülikõrgsagedustechnika (meeter-, detsimeter- ja sentimeeterlainete) jaoks lampide väljaarendamisel. Selle tehnika ala arengule andsid tähtsa tõuke tellimused niihästi raadioside kooli raadioseadmete eriotstarbeks kasutamise aladelt.

Pikakatel ja kesklainetel saate- ja vastuvõtulambi põhitüübiks on olnud pentood näitab meeterlainete astmikus rea negatiivseid omadusi need omadused muudavad võimatuks tema kasutamise meeterlainete astmikus lühemalainelises osas. Selleks et selgitada neid omadusi seni tundmatuid pentoodi omadusi, on kõigepealt vaja vaadata lambi sisendtakistuse küsimust. Selle küsimuse teooriat on teaduslikult käsitletud professor V. I. Siforovi arvukates töedes.

#### Sisendtakistus.

Võimendusastmes loetava lambi sisendtakistuseks nimetatakse selliseid ja katoodi vahelist takistust nende vahele liititud pingega

$$Z_{\text{sis}} = \frac{U_p}{I_p}$$

Kõige sobivamaks osutuks meile sisendtakistus lõpmata suure väärtusega. See tähendaks, et vool  $I_p$  võeringis võrdub nulliga ja selles vooluringis ei kulutata võimsust. Nagu teame,



tüüritakse lampi pingega ja selle teostamiseks pole võrevoovõrgis võimsuse kadu tarvilik; see kadu koormaks eelmist vooluringi ja raskendab või muudab täiesti ebarahuldavaks eelnevate astmete töö.

Selleks et vältida energia kadusid võre elektronidega põnnitamisel, kasutame võre negatiivset eelpinget (joon. 282). See on ühtlasi ka lambi sisendtakistuse tõstmise abinõuks, kuid ei suuda muuta  $Z_{in}$  lõpmatult suureks.

Isegi võre vahelduvpinge amplituudi ületava negatiivse eelpinge puhul on sisendtakistus ekvivalentne mingi tegev takistuse  $R_{in}$  ja mahtuvuse  $C_{in}$  rööbli ühendusega (joon. 280). Mida väiksem on  $R_{in}$  ja suurem  $C_{in}$ , seda väiksem on  $Z_{in}$ .

Sisendmahtuvuse tekkimise füüsikaline selgitamine on küllaltki lihtne: see on tüürvõre mahtuvus katoodi ja teiste katoodiga ühendatud e'ktröödide suhtes. Lambi töötamisel mõjub selle mahtuvuse suurusele ruumlaeng: ruumlaengu piirkonna laienemisel suureneb võre mahtuvus katoodi suhtes. Tavaliselt arvutatakse sisendmahtuvuseks 1 kuni 8 pF.

Takistuse  $R_{in}$  tekkimist seletatakse mitme põhjusega, mis näitavad, et ka võrevoolu puudumisel kulutatakse sellis vooluringis võre ringi toitava generaatori (s.o. eelmise astme) energiat. Kesk- ja küllalainete juures see energia kulu on tingitud peamiselt kahest põhjusest: energia üleminekust võre-anoodi vahelise mahtuvuse kaudu anoodvõluringi ja võre ning katoodi vahelise klaasi ja sokli isolatsiooni mitteläiuslikkusest.

Milles siis väljendub väikese väärtusega  $R_{in}$  ja suure väärtusega  $C_{in}$  ebasoovitav mõju lülituse tööle?

Kujutleme, et vahelduvpinge lambi sisendile võetakse eelneva astme kustumatute võnkumistega võnkeringi LC klemmidelt (joon. 281). Võnkeringi koormatakse (šunditakse) lambi sisendtakistuse

ga. Seejuures mahtuvus  $C_{in}$  lisandub mahtuvusele  $C$  ning üldine mahtuvus suureneb; kui soovitakse säilitada võnkeringi endist häälestust, siis on tarvilik mahtuvuse suurenemist kompenseerida induktiivsuse vähendamisega, sest

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC + C_{in}}}$$

Induktiivsuse summitud vähendamine aga alandab võnkeringi kvaliteeti, sest

$$Q = \frac{\omega_0 L}{R}$$

ning see omakorda põhjustab resonantsi puhul võnkeringi klemmidel tekkitava pinge vähenemist, s. t. meie lampi tüüriava pinge vähenemist. Nii väheneb astme võimendus.

Veel enam väljendub  $R_{in}$  šunteeriv mõju. Tõepoolest, kui voolu resonantl juures võnkeringi takistus on

$$Z_{res} = \frac{L}{CR}$$

siis rööbliline takistus  $R_{in}$  vähendab resonantstakistust kuni

$$Z'_{res} = \frac{Z_{res} \cdot R_{in}}{Z_{res} + R_{in}} = \frac{Z_{res}}{\frac{R_{in}}{Z_{res}} + 1} < Z_{res}$$

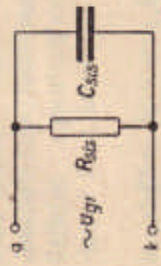
mis on samaväärne võnkeringi hüveteguri langemisega, sest et üht hüvetegurit (šundiga) võidakse väljendada avaldisega

$$Q = \frac{Z_{res}}{\omega_0 L} < Q$$

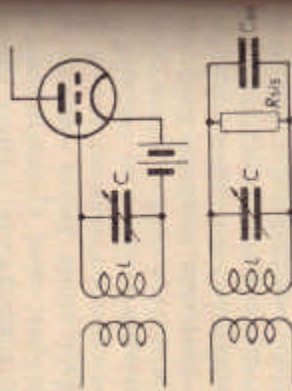
Päriväärtuse juures, s. t. kui  $R_{in}$  läheneb väga väikesele väärtusele, läheneb võnkeringi lühtisele; on mõistetav, et sel juhul signaal ei saa tekitada lambi sisendil pinget, mis oleks küllaldane anoodvoolu tüürimiseks.

Ülesanne. Võnkering, mille  $C = 18$  pF,  $L = 2$  µH,  $R = 5$  Ω, on ühendatud lambi võrekatoodiga, mille  $C_{in} = 5$  pF ja  $R_{in} = 30.000$  Ω. Leida võnkeringi häälestus ja resonantstakistus pärast lambiga ühendamist. Võrrelda võnkeringi häälestust enne ja pärast lambiga ühendamist.

Kõrvalpeeva lambi  $R_{in}$  on väga suur ja kuumib sadade tuhandete ohmideni keskainetel kasutamisel; need väärtused langevad lühikese aja jooksul kümnete tuhandete ohmideni, sest et mahtuvuse  $C_{in}$  mõjuvõime sooduse tõustes suureneb ja suurenevad energia kaod induktiivkutes (klaasis, soklis). Kuid ultrahäälilainel ilmuvad uut



Joon. 280. Võimendaja-lambi sisendtakistus.

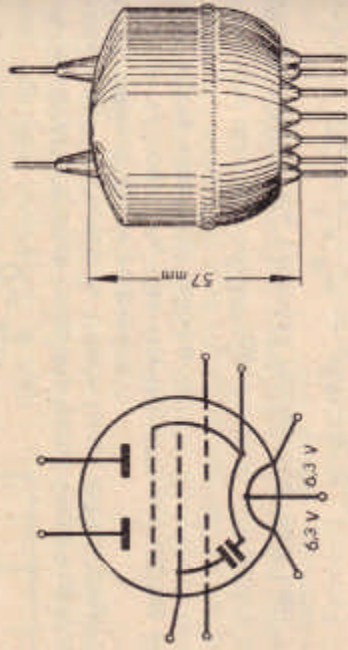


Joon. 281. Astme sisendring ja tema ekvivalenttskeem.



liiki kaod, mis on seevõrra suured, et suurus  $R_{\text{sa}}$  langeb kuni tuhandete ja isegi sadade oomideni, kui ei kasutata eri-konstruktioonilisi lampe.

Kahjulikkude energia kadude vähendamiseks dielektrikus peavad kõik elektroodide kinnitused lambi sisemuses olema valmistatud kõrgeväärtedilistest dielektrikust (vlgukivi, keraamika) ning on soovitatav sokkel üldse kõrvaldada. Ses suhtes on kujukaas näiteks lameda klaaspõhjala lambid, millesse on kinnitatud elektroodide vardakesed.



Joon. 282. Kaksikpentood meetrilaine saatjalle.

Võimsusvõimendamiseks määratud saatelampide näiteks (1,5 m ja pikemate lainete jaoks) võiks olla kolmekümne-vatine kaksikpentood tüüp 832, mille väline kuju ja skeem on toodud joonisel 282. Tema konstruktiivseks erinevuseks on läbi klaaskestast ulatuvad elektroodide väljamiskontaktid, kaudselt kootava katoodi kasutamine, väljamiskontakt kütteniidi keskel ja varivõrelt vahelduvvoolu komponendi ärajuhitumiseks väikese kondensaatori olemine.

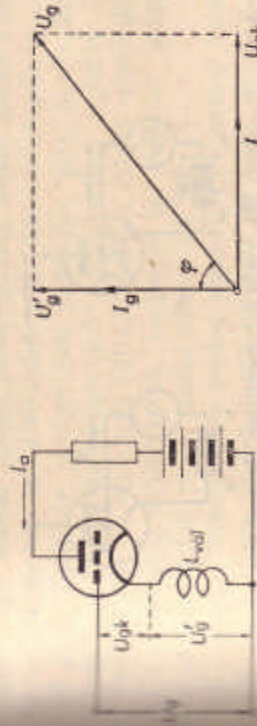
Sageduse suurendamisel üle 100 MHz ( $\lambda < 3$  m) hakkavad  $R_{\text{sa}}$  vähenemise kõrval otsustavat osa etendama kaks uut tegurit väljamiskontaktide induktiivsus ja elektroodide liikumise aeg.

#### Ühendusjuhtmete induktiivsus mõju.

Kui lühikesed ka ei oleks väljamisjuhtmed, mis ühendavad lambi elektroode selle jalga kaudu välislülitusega, evivad nad induktiivsus, mis ultrakõrgtel sagedustel kujutavad suurt takk-

lust. Eriti halb on nii anood- kui ka võre ringi ühise katood-väljamisjuhtme mõju (joon. 283). Vaatleme vektordiagrammi (joon. 283), kuidas mõjub võre ringi tööle väljamisjuhtme induktiivsus.

Oligu  $U_{\text{pk}}$  võre — katoodi vahele ühendatud vahelduvpinge. Oletades, et siselaktiivsus  $R_i$  on suur, arvestame, et anoodvool  $I_a$  langeb selle pingega faasiliselt kokku. Kuid vool  $I_a$  tekitab väljamisjuhtme induktiivsusel pinge  $U'_g$ , mis on  $I_a$ -st  $90^\circ$  võrra faasis ees ning mõjub üheaegselt võre ringile. Järelikult, väljamisjuhtme võre ringile mõjuv pinge  $U_g$  peab võrduma pingete  $U_{\text{pk}}$  ja  $U'_g$  geometrilise summaga. Ja kui mahtuvust võre — katood läbi



Joon. 283. Katoodi väljamisjuhtme induktiivsus mõju.

võre ringi vahelduvvool  $I_g$  läheb vektorist  $U_{\text{pk}}$   $90^\circ$  võrra ette, siis muutub see nihet signaalipinge  $U_g$  suhtes väiksemaks kui  $90^\circ$ , mis näitabki võimsuse kadu võre ringis. See võimsus kulutatakse astme sisendil, s. t. samaga väheneb astme võrdväärtise lülituse  $R_{\text{sa}}$ .

Kõrposlest, kui sisendklemmidel säilitatakse antud vahelduvpinge  $U_g$  ja võrevooringis kulutatav võimsus suureneb, siis langeb selle tagajärjel sisendtakistus, mis nähtub võrrandist

$$P_{\text{r}} = \frac{U_g^2}{R_{\text{sa}}}$$

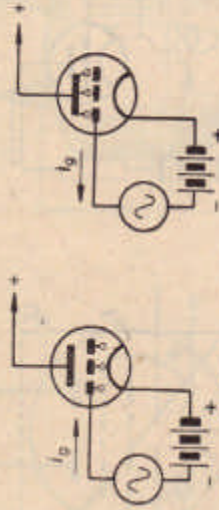
Vaheldatud nähtus sunnib konstrueerima lampe võimalikult lühikesele väljamisjuhtmetega ja vähima nende ühendamis- või ühendaja lülituses pikkade välisjuhtmetega. Veel enam, esimestes detektorilaine lampides tehti 2–4 rööbitist väljamisjuhtmete ühele ja samale elektroodile, sest rööbiti ühendatud juhtmete koguidektiivsus on väiksem.

Säärastes lampides on töötavate kontaktjalgaade arv suurem elektroodide arvust.



### Elektronide inerts.

Veel suuremat mõju lambi konstruktsioonile avaldab vajadus arvestada elektronide liikumise aega. Elektronlampide kõrgsageduse võimendamiseks kasutamisel (mitte aga tihikõrgsageduste võimendamisel) arvestasime, et elektroni liikumise aeg katoodilt anoodile on lõpmatu väike. Tegelikult oli see aeg aga siiski lõplik, kuid võrreldes võimendatava protsessi perioodiga suhteliselt väga väike. Kui aga võimendatavate võngete periood väljendub miljardikes sekundi osades, siis võib elektroni katoodilt anoodile lendamise aeg moodustada märgatava osa perioodist. See juba



Joon. 284. Voolu indutseerimine võrevooluringis.

võtab meilt õiguse otsustada lambi omadusi tema tumusjoonte järgi, mis on üles võetud alalisvooluga.

Praktiliselt võib arvestada, et lambi omadused hakkavad märgatavalt halvema isegi sel juhul, kui elektroni liikumise aeg lambis moodustab temale rakendatud vahelduvpinge perioodist enam kui kümnendiku. Tavalise kõrgsagedusliku perioodi juures on elektroni liikumise aeg katoodilt kuni võreni (kus elektron liigub kõrge aeglasevalt) ligemalt üks miljardik sekundit ja seega on tema jaoks suurim signaali sagedus 100 MHz ( $\lambda = 3$  m).

Milles siis avaldub elektronide inertsil mõju lambi omadustele? Elektronide inerts kutsus võre vooluringis esile indutseeritud voolu, mis tarvitab lambi sisendil lisavõimsust; peale selle vähendab elektronide inerts voolu kõikumist anoodvooluringis, mille tagajärjel väheneb kasulik võimsus anoodkoormusel. Vaatleme neid nähteid teineteisest eraldi.

Kujutleme, et läbi lambi võre lendab rühm elektrone (joonis 284). Kui see grupp läheneb võrele, siis elektrilise induktsiooni tõttu tekib võrel positiivne laeng, s. t. võrejuhtimes olevad elektronid tõugatakse katoodile. Täheleb, võrevooluringis ilmneb vool suunaga katoodilt võrele.

Kui läbi võre lendavad elektronid eemalduvad võrest, väheneb tema laeng ja võre juhtimis tekib vool suunaga võrelt katoodile. Kuid tavalises lambis ei lenda elektronid läbi võre rühmadena, vaid enamvähem ühtlase joana; järelikult võrele lähenevate elektronide poolt indutseeritud vool tasakaalustatakse võrest eemalduvate elektronide poolt indutseeritud vastassuunalise vooluga ja seepärast puudub sedalaiki vool võrevooluringis.

Elektronide liikumine rühmadena on võimalik ainult siis, kui võrele mõjuva vahelduva pinge periood võrdub elektronide liikumise ajaga. Kujutleme, et joonisel 284 näidatud võrevooluringis olev generaator tekitab pinget, mille periood ületab ainult kaks korda elektronide läbi lambi liikumise aega. Siis lendab selle generaatori pinge positiivse poolperioodi vältel läbi võre suur rühm elektrone, mis negatiivse poolperioodi vältel sellest eemalduvad ning nende kiirus on suhteliselt väike. Järelikult kulgeb võrevooluringis indutseeritud vahelduvvool, kusjuures see vool on faasis nihutatud generaatori pinge suhtes vähem kui 90°.

Sellise voolu ilmumine on seotud generaatori võimsuse kulutamisega, s. t. lambi sisendtakistus väheneb. Just sel juhul, kui elektronide liikumise aeg ületab üht kümnendikku perioodist, väheneb järelikult lambi sisendtakistus ja raskendab võrele vajaliku amplituudiga pinge andmist. Peale selle võib indutseeritud vool muutmata võre väljajamisjuhtmeid lubamata temperatuurini. Niisugune on üks elektronide inertsil kahjulikest mõjudest.

Isegi sel juhul, kui avaneks võimalus säilitada võrel vajalikku pinget, kutsuks elektronide inerts esile lambi töö halvemise. Oletame, et võrele mõjub pinge positiivne amplituud. Sel momendil sõltub katoodilt võrele suur arv elektrone, mis peaksid kujunema voolu impulssi anoodvooluringis. Kuid nende elektronide võrele lähenedes jõuab pinge sellel langeda, elektronide kiirus väheneb ja anoodvoolu impulss osutub madalamaks. Selle tulemusel väheneb ka anoodvoolu vahelduvkomponent, mis teostab kasutliku tööd anoodkoormusel ja anoodi soojendamiseks kulutatav võimsus suureneb. See olukord avaldab samuti ebasoodsat mõju kaasi lülituse tööle.

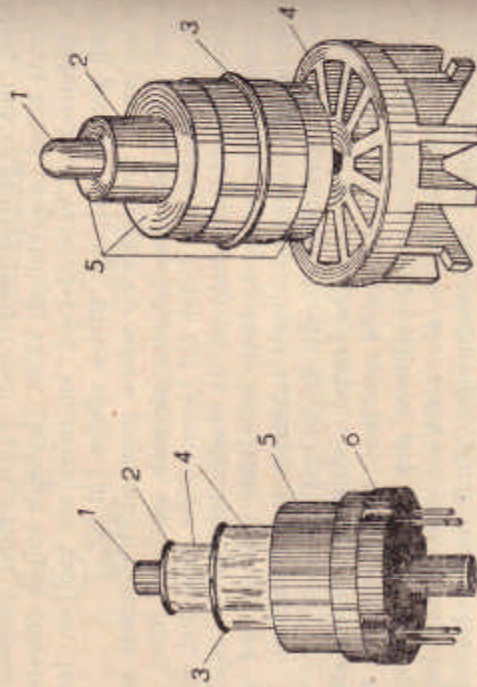
Milliste abinõudega saaks vähendada elektronide liikumise aega, et tõsta lambi töötamise piirsagedust? On kaks moodust: kasutada anoodpinget ja seega suurendada elektronide liikumise kiirust või vähendada katoodi ja anoodi vahelist kaugust ja seega vähendada elektronide teed.



Nende võimaluste realiseerimine pentoodis on raskendatud. Pentoodi eeliseks peetaksegi seda, et ta töötab suhteliselt madala anoodpingega. Anoodi ja katoodi vaheline kaugus ise-aga ei saa olla liiga väike, sest sellesse vahesse tuleb asetada kolm võret. Seepärast tuleb deitsimeeterlaine astmikus loobuda pentoodide kasutamiseist ja pöörduda tagasi mitte tavaliste, vaid märksa muudetud konstruktsiooniga trioodide juurde.

### Ketaskontaktidega trioodid.

Trioodi eritüüp, mis töötab edukalt minimaalselt 10 sm pikkus-  
tel lainetel, lahendab oma konstruktsiooniga korraga kaht ülesannet: väljamiskontaktide induktiivsuse vähendamist ja elektronide elekt-



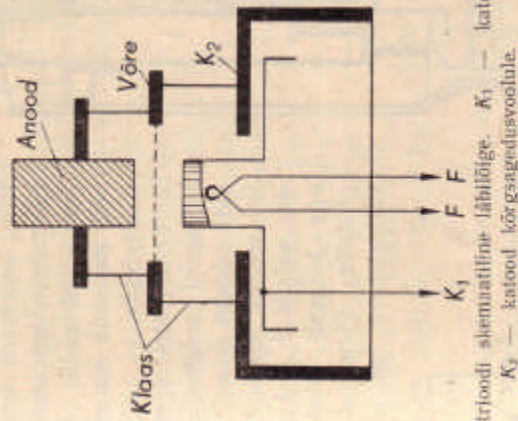
Joon 285. Klaasist triood deitsimeeter-  
lainetele. 1 — anoodi radiatori poolt,  
2 — anoodi ketaskontakt, 3 — võre  
ketaskontakt, 4 — klaas, 5 — katood  
kõrgsagedusele, 6 — sokkel.

Joon 286. Metall-keramiiline triood  
deitsimeeterlainetele. 1 — kaittemidi koo-  
takt, 2 — katoodi kontakt, 3 — võre  
kontakt, 4 — anoodi radiatori,  
5 — isolatsioon.

roodidevahelisest ruumist läbilendamise aja vähendamist. Sellist tüüpi lampidest valmistatakse kaht erikuju: metall-keramiilised ja klaasist. Deitsimeeterlaine klaasist trioodi (õigemini — metall-  
klaas) väline kuju on antud joonisel 285 ja metall-keramiilise trioodi väliskuju joonisel 286. Esimesel juhul on metalliosad üks-

teist isoleeritud klaasist rõngaste abil, teisel juhul on metalliosad omavahel isoleeritud ja kinnitatud keramiiliste seibide abil.

Mõlemad trioodide erikujud, evides konstruktiivseid erinevusi, on põhimõttelt teineteisega sarnased. Neil on tasapinnalised elekt-  
roodid: anood ja katood on silindrikujulised, mis asetsevad oma põhjadega vastakuti, nende vahel paikneb võrgutaoline võre (joon-  
isel 287). Olikõrgsageduste jaoks on katoodil eraldi väljamiskon-  
takti metallist ketaste vahelise mahtuvuse kaudu.



Joon 287. Klaas-trioodi silindrilise lähilõige. K<sub>1</sub> — katood alalisvoolule,  
K<sub>2</sub> — katood kõrgsagedusvoolule.

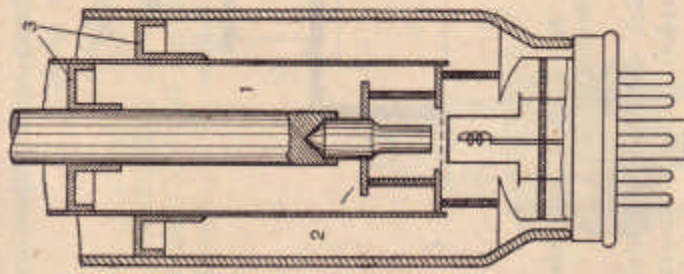
Tasapinnaline konstruktsioon võimaldab elektroode paigutada  
teinetele väga lähedale (millimeetri osades), mille tulemusena  
süütee tunduvalt elektronide liikumise aeg võrreldes sellega, mis  
on omane tavalistele lampidele.

Elektrioodidel on kettakujulised väljamiskontaktid — erinevate  
lähisõitudega rõngaste kujul, millede välisservad ulatuvad üle  
lambi külgsainte, luues lülituse teiste osadega kontakti. Rõngad  
on üksikult eraldatud nende külge joodetud isoleerivate osadega  
(klaasist või keramiilisest aineist). Ketaskontaktid on väga väike  
mahtuvusega. Nende konstruktsioonide olulisemaks paremuseks on  
aga see, et puuduvad täielikult ketaste ja lülituse väliste osade  
vahelised juhtmed. Kettaile asetuvad vahetult koaksiaalkaabli kes-  
kõde, mis moodustavadki võnkuvaid süsteeme lampide vooluringides  
(joonisel 288). Kontsentriilne liin 1 on ühendatud näiteks võre ja



anoodi vahele ja kontsentriiline liin 2 — võre ja katoodi vahele. Torudevahelised ülemised rõngakujulised avad suletakse metallist kaantega — 3, mida sügavuti liigutades saab iga liini häälestada antud lainele; kaaned on veerandlaineliste liiniõikudele tühistajaiks (joonis 105). Torudega kaetud trioodi lülitus on taoline lülitusega, millel on kaks võnkeringit ja mis on ühendatud nii, nagu see on näidatud joonisel 289, sest liinilõigu omadused sarnanevad rõbitse võnkeringit omadustega. Hiljem selgub meile, et seda lülitust võib kasutada nii saatjais kui ka vastuvõtjais.

Ketaskontaktidega trioodidel on ka omad puudused. Nii näiteks raskendavad anoodi väikesed mõõtelid soojuse ärajuhitumist, soojenedes paisuvad elektroodid võivad aga kergesti fikseeritise kokku puutuda. Seepärast tuleb anoodi väljaulatava osa külge kinnitada



Joon. 288. Kontsentriiliste liinide ühendamine trioodidega.

ribidega radiaator, mida tavaliselt jahutatakse voolava õhuga. See teeb seadise keerukamaks.

Ku'd siiski on nende trioodide kasutamiseks laialdased võimalused, sest nad lubavad koostada 10 sm ja pikemal lainel sadade vattide võimsusega saatjaid.

Küsimusi, mis seotud sentimeeterlainestriko lambi tundmaõppimisega, vaatleme pisut hiljem, sest sentimeeterlainestriko lambid ei erine mitte ainult konstruktiivselt isearausilt, vaid ka

löötmise põhimõttelt. Nende lampide vaatlemisel kohtume selliste elektronseadistega, nagu magnetron, klüstron ja leviva laine lamp; nende omadusi ei saa tundma õppida nende staatiliste omaduste kaudu, sest siin moodustavad elektronseadised võnkeringidega ühtse terviku, ja nende tööd tuleb vaadelda saatjate või vastuvõtjate tundmaõppimisel.

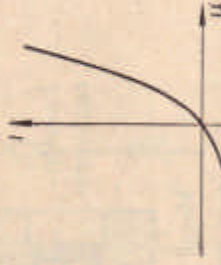
### Kristall-dioodid ja trioodid.

Kuni radiolampide ilmumiseni kasutati raadiovastuvõtjais detekteerimiseks nn „kontaktidektoreid“. Neid kasutati veel seelajani ilhisamais amatöörvastuvõtjais. Kontaktidektor koosneb metall teravikust, mis puutub vastu pooljuhi kristalli (näiteks tinaliige). Pooline pooljuht, mis tavaliselt sisaldab ühte kristallilises struktuuris kõrvalisi iooneid, loob elektronidele ühes suunas liikumiseks soodsad tingimused (kas metallist pooljuhile või pooljuhilt metallile, sõltuvalt materjalide keemilisest koostisest). Esineb ka vastassuunaline vool, kuid see on märksa väiksem kui otsesuunaline vool.

Neid omadusi iseloomustab piltlikult kristall-suunaja tunnusjoon, mis, nagu nähtub jooniselt 290, on kõvera kujuga, väljendades selle suunivaid omadusi. Näeme, et voolu sõltuvus pingest on positiivse pingega piirkonnas märksa suurem kui negatiivse pingega piirkonnas.

Elektronlampide ilmumisega vähenes raadiotehnika huvi kontakt-suunajate vastu. Pooljuhite abil suunamise tehnika arenes oluliselt tugevoolu tehnika valdkonnas, kus leidsid laialdast kasutamist vaskoksüüdi ja seteen suunajad (neid kasutati ka raadioparaatide toitevooluga varustamisel). Vastuvõtjais tiiduvad detekteerimise ülesandeid dioodid, millede eeliseks on vastassuunalise voolu läielik puudumine.

Kõrgsagedustehnika (detisimeeter- ja sentimeeterlained) aga nõudab kriitiliselt ümber ka elektronlampide omadusi ja sunnib loomama mitmetest lambitüüpidest ning neid asendama uute tüüpidega. On näiteks teada, et pentood ei sobi detisimeeter- ja sentimeeter-

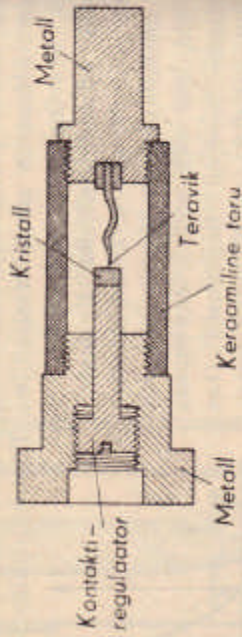


Joon. 290. Kristall-suunaja tunnusjoon.



meeterlainete võimendamiseks. Sageduse muundamiseks küllaltki keerukas lamp pentagriid osutub sumuti neil lainel kõlbmatuks. Ta ei sobi mitte ainult suure sisendmahitvuse ja väikese sisendtakistuse tõttu, vaid tema piiduseks on siin suhteliselt ebaühtlane elektronide vool, mis tekitab suure võimenduse korral vastuvõtja telefonis müra.

Olikõrgsageduste pentagriidiga muundamise asemel mindi üle diodidga muundamisele. Sagedusil aga, mida arvestatakse miljar-  
dites hertsides, ei tööta ka diod enam rahuldavalt, sest elektronide liikumise aja vähendamiseks tuleb temas vähendada anoodi ja



Joon. 291. Kristall-diood sentimeeterlainete.

katoodi vahelist kaugust, milline omakorda viib sisendmahitvuse suurendamisele, mis pole aga ülikõrgeil sagedusil vastuvõetav.

Siis hakati sageduse muundamise ülesannet lahendada kristall-suunaja abil, mis osutus seks otstarbeks sobivaks isegi sentimeeterlainel. Sageduse muundamiseks kasutatava kristall-suunaja peamiseks eeliseks on tema poolt tekitatava müra madal tase.

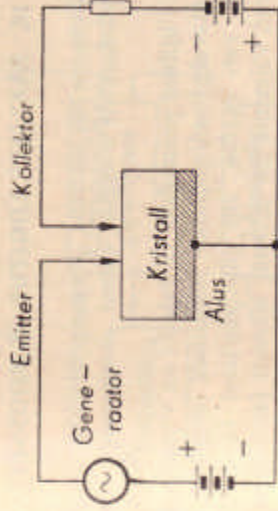
Kristall-suunaja sentimeeterlainete (joonis 291) koosneb ränipreparaadist ja sellele toetuvast volfram-traadist. Ränit kasutatakse reguleeritava kruvi olsmikuna ja volframtraat kujutab endast klemmi külge kinnitatud teravikku. Kõgu konstraktsioon on kinnitatud keramillise torusse, mille sisemus täidetakse volframtraadiga paigaltnikumise takistamiseks vahataolise massiga.

Kristall-diood paigutatakse võnkuva süsteemi õõnsusse ja ta muundab kaks ülikõrgsagedusega võnkumist vahesageduslikuks energiaks.

Pooljuhi ja metalli vahelise kontakti omadused võimaldavad neid kasutada ka võimendajainä. Viimaseaja uurimused näitavad, et räni pooljuhtidel koos kahe metallist kontaktiga ja vooluallikaga

on trioodiga võrdsed omadused. Niisugust süsteemi nimetatakse „kristall-trioodiks“. Tuleb märkida, et kristallide sellised omadused avastati esimesena nõukogude raadioamatööri Losevi poolt juba aastal 1923.

Kristall-triood (joonis 292) koosneb pooljuhist, mille alumine pool on kaetud liitusega ühendamise otstarbel metalliga. Kaks volframtraadist teravikku suruvad kristalli pinnale punktides, mis on teineteisele väga lähedal (0,05—0,2 mm). Vasakpoolset kontakti, mida nimetatakse emitteriks, toidetakse patarei plussist ja



Joon. 292. Kristall-trioodi skeem.

teine vooluringis on võimendatava pinge generaator; teisiti öeldes, emitter täidab trioodi võre osa. Parempoolne kontakt, mida nimetatakse kolektoriks, on ühendatud oma patarei miinusega läbi koormuskohtuse. Emmitteri vooluringis generaatori mõjul tekib vahelduvvool tekitab kolektori vooluringis vastassuunalise voolu; seejärel tekitab emmitteri vooluringis olev väikese amplituudiga vool kolektori vooluringis voolu, mille amplituud on samasugune või sellest suurem. Kollektori vooluringi on ühendatud suure takistusega takisti ja seepärast temal eraldub võimsus osutub kümneid kordi suuremaks emmitteri vooluringis generaatori poolt kulutatavast võimsusest.

Kristall-trioodi füüsikalised omadused pole veel küllaldaselt uuritud ja seepärast on nende edaspidise kasutamise perspektiivid veel raskel midagi kindlamat ütelda. Sagedused, millel on õnnestus saavutada võimendust, ei ületanud 10 MHz.

Kõrgel, kui kristall-diood on leidnud endale raadioaparaadis kindla koha, siis kristall-triood nõuab veel tõsiselt uurimusi.