

*Eesti NSV Kõrgema ja Keske-erihariduse
Ministeerium
Teaduslik-metoodiline Kabinet*

ELEKTROONIKA ALUSED

Tallinn 1970

Eesti NSV Kõrgema ja Keske-erihariduse
Ministeerium
Teaduslik-metoodiline Kabinet

ELEKTROONIKA ALUSED

Koostanud A. Karu

Tallinn 1970

E e s s ö n a

Käesolev konspekt on koostatud tehnikumide nende tehnoloogiliste erialade jaoks, kus õpitakse õppeainet "Üldelektrotehnika koos elektroonika alustega". Elektroonika alused moodustavad selle õppeaine teise poole mahuga umbes 60 tundi.

Konspekti iseseisva kasutamise hõlbustamiseks on materjal esitatud väiksemate annuste kaupa ning varustatud lisaküsimustega või harjutustega, mille vastuseid saab õppija ise kontrollida. Seega erinevana tavalisest konspektist sisaldab käesolev konspekt programmõppe elemente.

Koostaja

Käesoleva sajandi teisel veerandil kujunes välja elektrotehnika eriharu - elektroonika. Elektrotehnika tegeleb seadistega, milles kasutatakse elektrivoolu vaakuumis (elektronseadised), gaasides (ioonseadised) või pooljuhtides (pooljuhtseadised).

Kaasaegne elektroonika jaguneb sideelektroonikaks (raadioelektroonikaks) ja tööstuselektroonikaks. Käesolevas konspektis käsitletakse elektroonikat tööstuselektroonika seisukohalt, s.t. elektroonikavahendite tööstusotstarbelise kasutamise seisukohalt.

Tuua näiteid elektroonikaseadmete tööstusotstarbelisest kasutamisest.

I. ELEKTRONSEADISED

Elektron elektri- ja magnetväljas

1. Lihtainete väikseimateks osadeks on aatomid. Aatom koosneb omakorda osadest, milledest kõige olulisemad on prootonid, neutronid ja elektronid. Positiivsed prootonid ja laenguta neutronid moodustavad aatomituuma, kuhu on põhiliselt koondunud kogu aatomi mass.

Tuletage füüsika- või keemiakursusest meelde: 1) Millised aatomit iseloomustavad suurused olenevad prootonite ja neutronite arvust aatomituumas? 2) Miks aatomituum ei lagune koost, kuigi ta koosneb ühenimeliselt laetud osakestest?

2. Aatomituuma ümber paiknevad kindlatel kihtidel (orbitidel) elektronid. Positiivsete prootonite ja negatiivsete elektronide arv aatomis on normaalselt võrdne ja aatom elektriliselt neutraalne. Tuumale lähemal olevad elektronid on tuumale tugevamalt seotud. Nad liiguvad harva oma kohtadelt ja neid nimetatakse seotud elektronideks. Väliskihis olevaid

elektrone nimetatakse valentselektronideks.

Mis iseärasus on aatomi väliskihi elektronidel?

3. Elektronil on negatiivne püsiv laeng suurusega $1,602 \cdot 10^{-19}$ kulonit ja väga väike mass - $9,108 \cdot 10^{-28}$ grammi. Relatiivsusteooria kohaselt ei ole elektroni mass püsiv, vaid suureneb kiiruse kasvamisel.

- 1) Kas gravitatsiooniväli avaldab elektronile mõju?
- 2) Millise kiiruse juures tekib elektroni massi tunduvalt suurenemine?

4. Laengu tõttu ümbritseb paigalseisvat elektroni elektriväli ja välisesse elektrivälja paigutatud elektronile mõjub jõud:

$$F = -eE,$$

kus F - elektronile mõjuv jõud njuutonites (N),

e - elektroni laeng kulonites (C),

E - välise elektrivälja väljatugevus voltides meetri kohta (V/m).

Toodud valem kehtib ühtliku ehk homogeense välja kohta. Elektrivälja jõud võib elektroni liikumist kiirendada või pidurdada, samuti võib ta elektroni liikumise suunda muuta. Seetõttu on elektrivälja abil võimalik elektroni liikumist juhtida. Elektroni poolt elektrivälja mõjul omandatud lõppkiirus sõltub keskkonnast, kus elektron liigub. Näiteks metalljuhtmes saavutavad elektronid elektrivälja mõjul kiiruse mõni sentimeeter sekundis, vaakuumis aga kiiruse mõni tuhat kilomeetrit sekundis.

- 1) Miks ülaltoodud valemis kasutatakse miinusmärki?
- 2) Millal elektriväljas liikuv elektron kiireneb, pidurdub, kaldub esialgselt suunast kõrvale?
- 3) Millistes seadmetes kasutatakse elektroni mõjutamist elektrivälja abil?

5. Kuna liikuva elektrilaengu, s.t. elektrivoolu ümber tekib magnetväli, siis võib elektroni liikumist mõjutada ka magnetväli. Magnetväljas liikuvale elektronile mõjub elektromagnetiline jõud:

$$F_m = Bev \sin \alpha,$$

- kus B - välise magnetvälja vootihedus teslades (T),
 e - elektroni laeng kulonites (C),
 v - elektroni kiirus meetrit sekundis (m/s),
 α - nurk elektroni liikumise suuna ja välise magnetvoo suuna vahel,
 F_m - elektronile mõjuv jõud njuutonites (N).

Nimetatud jõud mõjub risti elektroni liikumise suunale ja ta võib elektroni liikumise suunda muuta. Jõu mõjumise täpne suund on määratav vasakukäejuhise abil. See jõud võimaldab elektroni liikumist juhtida välise magnetvälja abil.

- 1) Millal ei mõju magnetväljas asuvale elektronile mingit jõudu?
- 2) Kuidas liigub elektron, mis siseneb välisesse homogeensesse magnetvälja teatava algkiirusega, kui elektroni liikumise suund on: a) risti magnetvälja suunaga; b) magnetvälja suhtes mingi nurga all?
- 3) Kuhu kaldub elektron, mis liigub homogeenses magnetväljas horisontaalselt suunaga eest taha ja väline magnetväli on suunatud ülevalt alla?
- 4) Kus kasutatakse elektroni liikumise mõjutamist välise magnetvälja abil?

Elektronide emissioon

6. Metallide aatomid on ühinenud kristallvõreks, moodustades nn. kristallstruktuuri. Metallide aatomite väliskihi elektronid (valentsielektronid) on tuumaga nõrgalt seotud ja võivad muutuda nn. poolvabadeks elektronideks. Aatomil, mille väliskihist elektron lahkeb, on ülekaalus tuuma positiivne laeng ja ta muutub seetõttu positiivseks iooniks. Poolvabad elektronid võivad ionidevahelises ruumis meelevaldselt liikuda ja tekitada nn. elektrongaasi. Poolvabad elektronid võivad metallis liikuda ka elektrivälja mõjul. Siis nad moodustavad elektrivoolu. Metallil pinnast poolvabad elektronid siiski väljuda ei saa. Takistuseks on piirikihis mõjuvad molekularsed jõud ja piirikihti kogunenud elektronide pilv.

Miks metalli poolvabad elektronid võivad metalli sees meelevaldselt liikuda, kuid metallist väljuda ei saa?

7. Vabaks nimetatakse kõrgvaakuumis (praktiliselt tühjas ruumis) olevat elektroni, millele aine ioonid mõju ei avalda. Vaba elektron liigub edasi ainult väliste elektriväljade toimel. Et metalli poolvaba elektron väljuks metallist ja muutuks vabaks elektroniks, peab ta tegema tööd metalli aatomituumade mõjujõudude ületamiseks. Seda tööd nimetatakse väljumistööks. Väljumistööd mõõdetakse elektrovoltides (eV). 1 eV on töö, mida elektron peab tegema, et ületada elektrivälja potentsiaalide vahet 1 V. Väljumistöö suurus on näiteks volframil 4,52 eV, baariumil 2,3 eV, tseesiumil 1,8 eV, plaa-tinal 6,3 eV jne.

Volframil on väljumistöö 4,52 eV, tseesiumil 1,8 eV. Mida sellest saab järeldada?

8. Elektronide väljumist aine pinnast nimetatakse elektronide emissiooniks. Ainest ajaühikus väljunud elektronid moodustavad emissioonivoolu. Kui vabu elektrone liikumapanev väline elektriväli puudub, siis moodustavad emiteerunud elektronid aine pinna kohal elektronpilve (negatiivse ruumlaengu), mis tõukab väljunud elektronid tagasi ja emissioonivool lakkab.

20° C temperatuuril on metallisestest poolvabade elektronide kineetiline energia mõni elektronvolt (oleneb metalli liigist). Emissiooni tekitamiseks tuleks anda metalli poolvabadele elektronidele nii palju lisaenergiat, et elektroni energia ületaks väljumistöö. Mida väiksem on aine väljumistöö, seda väiksemat lisaenergiat elektron vajab ainest väljumiseks. Emissioone liigitataksegi selle järgi, kuidas elektronidele vajalikku lisaenergiat antakse: termoemissioon, fotoemissioon, sekundaaremmissioon, elektrostaatiline emissioon.

Milline on elektronide emissiooni praktiline tähtsus?

9. Kui metalli poolvabad elektronid saavad emissiooniks vajaliku täiendava energia soojusenergia arvel (s.t. metalli

kuumutamisel), siis nimetatakse emissiooni termoemissiooniks. Mida kõrgem on metalli temperatuur, seda suurema kiirusega ja kineetilise energiaga liiguvad poolvabad elektronid. Kui poolvaba elektroni kineetiline energia ületab väljumistöö, on võimalik ta väljumine ainest. Mida väiksem on aine väljumistöö, seda madalamal temperatuuril tekib küllaldane termoemissioon. Mida kõrgem on temperatuur, seda rohkem elektrone emiteerub ja seda tugevamaks kujuneb emissioonivool.

- 1) Kuidas on võimalik suurendada termoemissiooni?
- 2) Kus kasutatakse termoemissiooni?

10. Fotoemissioon on elektronide väljumine ainest sellele langeva ja selles neeldunud valgusvoo toimel. Aine pinnale langenud valguskvandid (footonid) annavad ära oma energia. Selle energia omandab mingi arv aine elektrone, mis saadud lisaenergia mõjul ainest väljuvad (s.o. tekib väline fotoefekt). Väljunud elektronide hulk oleneb aine valgustundlikkusest, talle langenud valgusvoost ja valguse lainepikkusest. Footonite energia on suurem lühemate lainepikkuste puhul (spektri nähtamatu osa), mistõttu nähtava valguse footonite energiast ei piisa fotoemissiooni tekitamiseks tavaliste metallide juures (välja arvatud näiteks tseesium).

Kus kasutatakse fotoemissiooni?

11. Sekundaaremissioon tekib aine pommitamisel kiirete (kiirus vähemalt mõni tuhat kilomeetrit sekundis) elektronidega. Need ainele langenud nn. primaarelektronid tungivad ainesse teatud sügavuseni ja annavad osa oma energiast sealselele elektronidele. Selle energia arvel väljuvad ainest uued elektronid - sekundaarelektronid, mille arv on mitu (maksimaalselt isegi mitu tuhat) korda suurem primaarelektronide arvust. Sekundaarelektronide arv oleneb primaarelektronide kiirusest, nende langemisnurgast, materjalist ja pinna olukorrast.

Kus kasutatakse sekundaaremissiooni ja kus ta osutub mittesoovitavaks nähtuseks?

12. Elektrostaatiline emissioon (külmemissioon, autoemissioon) tekib aine pinnal mõjuva väga tugeva elektrivälja toimel (väljatugevus $10^6 \dots 10^7$ V/cm). Elektronid lihtsalt

tõmmatakse elektrivälja poolt ainest välja.

Elektrostaatiline emissioon esineb näiteks eksitronides (vt. p.II-28).

Millise suunaga elektrivälja tekitab elektrostaatiline emissiooni?

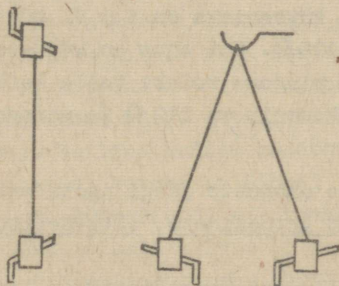
Katoodid

13. Elektron- ja ioonseadistes nimetatakse katoodiks elektronide emiteerimiseks ettenähtud elektroodi. Sõltuvalt emissiooni liigist on olemas termokatoodid (nimetatakse enamasti lihtsalt katoodideks), fotokatoodid ja sekundaaremitteerivad katoodid ehk dünoodid.

Elektronseadistes kasutatakse termokatoode. Neid iseloomustab viljakus $H = I_e/P_f$ [mA/W], mis on emissioonivoolu I_e ja küttevõimsuse P_f suhe ja väljendab katoodi ökonoomsust. Viljakust tõstab kõrgem töötemperatuur, kuid see vähendab katoodi tööiga. Seetõttu peaks katoodi materjal olema võimalikult väiksema väljumistööga ja kõrgema sulamistemperatuuriga.

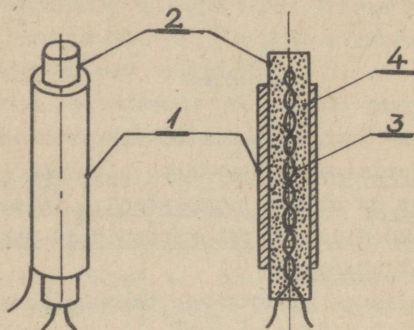
- 1) Ühel katoodil on viljakus $H = 2$ mA/W, teisel katoodil $H = 14$ mA/W. Kumb katood on ökonoomsem ja miks?
- 2) Kuidas mõjutab katoodi kestav töö ja viljakust?
- 3) Mis võib olla katoodi töökõlbmatuks muutumise põhjuseks?

14. Termokatoodid jagunevad oma konstruktsioonilt otsekütte- ja kaudküttekatoodideks.



Joonis 1

Otseküttekatoodil (joonis 1) läbib küttevool emiteerivat keha (peenikest metallniiti) ja kuumutab selle hõõgumiseni. Neil on väike soojuslik inertsi, mistõttu nende kütteks kasutatakse enamasti alalisvoolu (vahelduvvooluga kütmisel hakkaks emissioonivool muutuma küttepinge kahekordse sagedusega).



Joonis 2

Kaudküttekatoodil (joonis 2) on metallsilindril 2 asuv emiteeriv pind 1 ja kütteniit 3 teineteisest isoleeritud keraamilise isolatsiooniga 4. Selline konstruktsioon suurendab soojusliku inertsi ja kütteks võib kasutada vahelduvvoolu. Isolatsioonikiht 4 võimaldab katoodi pingestada.

1) Mis on põhjuseks, kui üks elektronlamp hakkab tööle peaaegu kohe pärast küttevoolu sisselülitamist, teine aga vajab kuni minut aega soojenemiseks?

2) Kas on mõeldav ka otseküttekatoodi kütmine vahelduvvooluga?

3) Katoodi küttepinge on 6,3 V, kütteniidi takistus kuumas olekus 5,26 Ω . Kui suur on küttevool?

4) Millise pingega tuleks toita katoodi, kui kütteniidi takistus kuumalt on 210 Ω ja normaalne küttevool 60 mA?

15. Füüsikaliste omaduste järgi jaotatakse termokatoode puhastest metallidest katoodideks, aktiveeritud katoodideks ja oksiidkatoodideks.

Puhastest metallidest katoodidest on levinuim volframka-

tood. Ta töötab otseküttekatoodina, töötemperatuur on 2100 ...
... 2400°C (hõõgub heledalt), viljakus 2 ... 14 mA/W, tööiga
2000 ... 3000 h. Tänapäeval kasutatakse selliseid katoode vä-
he.

Aktiveeritud katoodil on volframtraat (otseküttekatoo-
dil) või nikkelsilindrike (kaudküttekatoodil) kaetud ühe aato-
mi paksuse leelismuldmetalli (põhiliselt tooriumi või baariumi)
kihiga. Nende töötemperatuur on 1500 ... 1700°C, viljakus
30 ... 70 mA/W. Ka neid katoode tänapäeval peaaegu ei kasuta-
ta.

Praktikas kõige kasutatavamad on oksiidkatoodid. Neid
valmistatakse otse- ja kaudküttekatoodidena. Metallist (volf-
ram, nikkel vm.) alusele kantakse pooljuhtiv baarium-, stront-
sium- ja kaltsiumoksiidi kiht. Nende töötemperatuur on 700 ...
... 900°C, viljakus 50 ... 250 mA/W, tööiga 1000 ... 1500 h.
Nad on tundlikud ülekuumenemisele (emissioon kaob) ja ei sobi
kõrge anoodpingega lampides.

Milleks termokatoode aktiveeritakse või kaetakse
oksiidikihiga?

Kahe elektroodiga elektronlamp

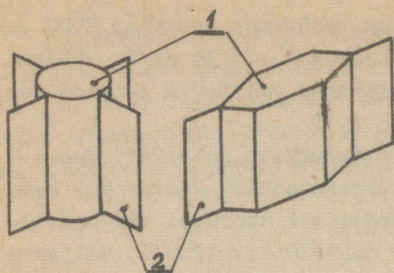
16. Kahe elektroodiga elektronlamp ehk diood on liht-
saim elektronlamp.

Dioodil on õhust tühjaks pumbatud (rõhk 10^{-6} ... 10^{-8}
mm Hg) klaas- või metallkest ehk -kolb. 1 (vt. joonis 5), mille
kuju ja suurus sõltuvad lambi tüübist.

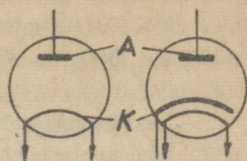
Dioodi kolvis on kaks elektroodi: anood ja katood. Kak-
sikdioodidel on ühises kolvis kaks anoodi ja üks või kaks ka-
toodi. Anoodiks on katoodi ümbritsev jahutusribidega 2 (joo-
nis 3) varustatud musta värvi metallsilinder või -karp 1 (ta-
valiselt niklist). Selline ehitus soodustab anoodi jahtumist.

Elektriskeemidel kasutatav dioodi tingmärk on kujutatud
joonisel 4 (a - otseküttediood, b - kaugküttediood).

Kui elektronlambi kolvis on gaasi (halb vaakuum), 42
siis katood kiiresti puruneb. Miks?



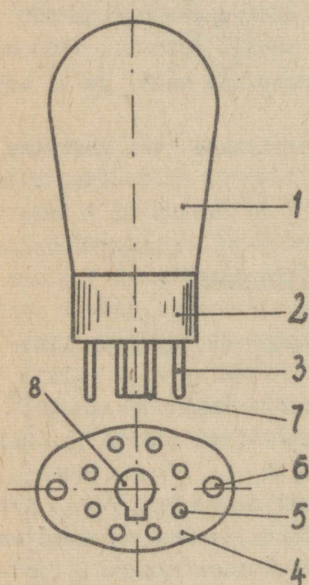
Joonis 3



Joonis 4

17. Anood ja katood ühendatakse lambi alumises osas oleva sokli 2 jalgade 3 külge (joonis 5). Jalad paiknevad mööda

ringjoont. Oktaalsoklil on 8 jalga, kusjuures osa jalgu võib ka puududa - nende asemel on tühjad kohad. Lamp tervikuna paigutatakse lambipessa 4, millel on puksid 5 lambi jalgade 3 jaoks ning kinnitussavad 6. Valeühenduste vältimiseks on soklil lukk 7 ja lambipesal lukuava 8. Sõrmlampidel lukuga sokkel puudub ja läbiviigid on kujundatud kohe jalgadena. Et selline lamp satuks pessa alati ühes asendis, on tal üks jalgadevaheline kaugus teistest erinev.



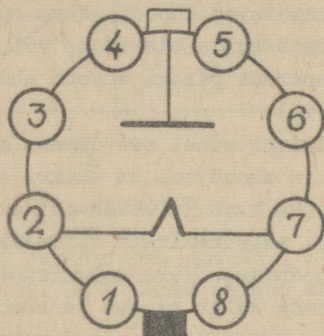
Joonis 5

Kuidas on välditud elektronlambi valesti pessa paigutamine?

18. Elektronlambi soklilülitus näitab, millise lambi jalaga mingi elektrood on ühendatud. Soklilülituse skeem on

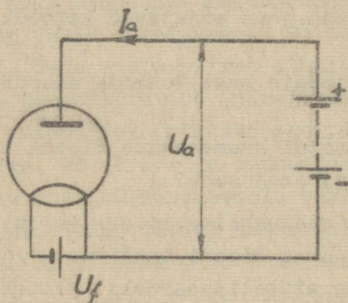
elektronlambi passis. Need skeemid on koondatud ka elektronlampide kataloogidesse. Soklilülituse skeem kujutab elektronlampi altvaates. Orienteerumiseks tuleb jälgida luku asendit.

- 1) Kuidas määrata kindlaks, millise lambi jalaga mingi elektrood on ühendatud?
- 2) Analüüsida joonisel 6 kujutatud soklilülitust.



Joonis 6

19. Diiodi töölerakendamiseks tuleb ta katoodi kütteniidile rakendada sobiv küttepinge U_f (joonis 7). Selle poolt



Joonis 7

tekitatud küttevool kuumutab katoodi ja viimane emiteerib elektrone. Need elektronid moodustavad katoodilähedases ruumis negatiivse ruumlaengu, mis takistab elektronide edaspidist emiteerimist.

Kui samal ajal ühendada katoodi ja anoodi vahele anoodpinge U_a selliselt, et anood on positiivne, siis tõmbab anood katoodilt emiteerunud elektrone enda külge. Elektronid läbivad lambi ning tekitavad lambis (ühtlasi ka välisahelas) anoodvoolu I_a , mille kokkuleppeline suund on vastup line elektronide liikumise suunale. Katoodilt suure kiirusega anoodile liikuvad elektronid kuumutavad anoodi. Kuum anood võib eraldada kahjulikke gaase, emiteerida elektrone või põhjustada katoodi ülekuumenemist. Seepärast peabki anoodi ehitus soodustama ta jahtumist (vt. p.I-16).

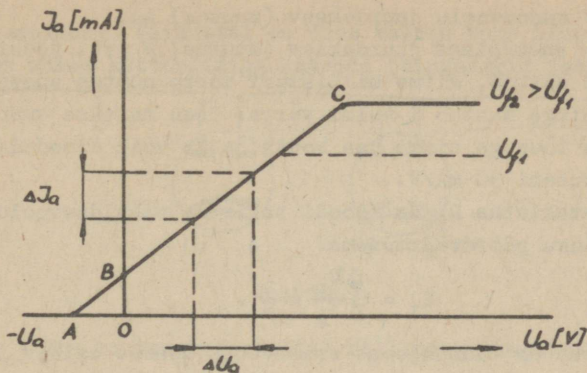
Väikese anoodpinge puhul ei tõmmata kõiki ruumlaengu elektrone anoodile ja anoodvool on väike. Anoodpinge suurenemisel ruumlaeng lõpuks kaob ja anoodvool saavutab küllastusvoolu väärtuse (s.o. maksimaalselt võimaliku anoodvoolu).

Kui muuta anoodpingeallika polaarsust, tõmbab positiivne katood elektronid enda külge tagasi ja anoodvoolu ei teki (anood ei emiteeri). Seega diodi omaduseks on ühesuunaline elektrijuhtivus (juhhib anoodilt katoodi suunas). Selle omaduse tõttu võib diod töötada elektrilise ventiiлина.

- 1) Kuidas saab elektronlambi vaakuum juhtida elektrivoolu?
- 2) Millised jõud mõjutavad katoodist emiteerunud elektroni?
- 3) Kas diodis saab tekkida anoodvool ka ilma anoodpinge mõjuta?
- 4) Kas anoodi kuumenemine diodi töö ajal on seletatav Joule-Lenzi seadusega?

20. Diodiga vooluahelas ei saa voolu arvutada Ohmi seaduse ($I=U/R$) abil, sest diodi takistus $R \neq \text{const}$. Sellist takistust nimetatakse mittelineaarseks. Mittelineaarse takisti vool on määratav graafiliselt pingevoolu tunnusjoonelt. Diodi pingevoolu tunnusjoont nimetatakse anoodtunnusjooneks. Anoodtunnusjoon võetakse praktilise katsetamise teel punkthaaval üles. Joonisel 8 on näidatud selle tunnusjoone põhimõtteline kuju, millel võib eraldada järgmisi piirkondi:

AB - algvoolu piirkond; mingi väike arv elektrone väljub katoodilt nii suure kiirusega, et vaatamata ruumlaengu



Joonis 8

mõjule ja anoodpinge puudumisele anoodile liiguvad (tekkivat voolu iseloomustab lõik OB). Diod sulgub anoodpingega $-0,1\dots\dots -1$ V (lõik AO);

BC - ruumlaengu piirkond, mis moodustab tunnusjoone praktiliselt kasutatava osa ehk tööpiirkonna. Siin piirab anoodvoolu negatiivne ruumlaeng;

CD - küllastusvoolu piirkond; teatud anoodpinge juures ruumlaeng kaob ja kõik katoodilt emiteerunud elektronid liiguvad anoodile ning tekib anoodpingest sõltumatu maksimaalselt võimalik anoodvool. Seda voolu piirab ainult katoodi emissioon, mis sõltub katoodi temperatuurist (järelilikult katoodi küttepingest). Mõnedel katoodidel (näiteks oksiidkatoodil) on küllastusvool nii kõrge, et ei avaldu tunnusjoone kasutatavas osas - katood hävib enne küllastusvoolu tekkimist.

- 1) Millest oleneb diodi anoodvool?
- 2) Kuidas saab muuta diodi küllastusvoolu?

21. Diodi parameetriteks ehk iseloomustussuurusteks on tunnusjoone tõus, sisetakistus, maksimaalselt lubatav anoodkaudu, maksimaalselt lubatav anoodvool, maksimaalselt lubatav vastupinge (anodi negatiivne pinge), maksimaalselt lubatav küttepinge või küttevool.

Tunnusjoone tõus

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_a} \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right],$$

kus ΔI_a - anoodvoolu juurdekasv (muutus) mA,

ΔU_a - anoodpinge juurdekasv (muutus) V (vt. joonis 8).

Tõus näitab, mitme milliampri võrra muutub anoodvool, kui anoodpinge muutub 1 voldi võrra. Tõus antakse tunnusjoone suurima tõusuga sirge osa kohta ja ta võib diodidel ulatuda väärtuseni 30 mA/V.

Sisetakistus R_i on diodi takistus vahelduvvoolule ja ta avaldub tõusu pöördväärtusena:

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{1}{S}.$$

Sisetakistus on tunnusjoone erinevates osades erinev ja negatiivse ruumlaengu tõttu suhteliselt suur. Seetõttu on diodi anoodvool nõrk (mõõdetav milliamprites). Diodi takistus alalisvoolule $R_o = U_a/I_a > R_i$.

$$SR_i = 1$$

Anoodkao ehk anoodi kaovõimsuse $P_a = I_a U_a$ [W] mõjul anood kuumeneb. Et lamp ei rikneks, ei tohi anoodkadu ületada lubatavat väärtust.

1) määrata lampdiodi sisetakistus vahelduvvoolule, kui anoodpinge muutus 2 V põhjustas anoodvoolu muutuse 2 mA.

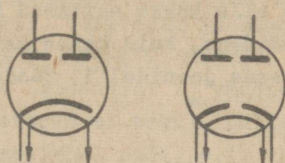
2) Milliseks muutub diodi sisetakistus küllastusvoolu piirkonnas?

3) Määrata lampdiodi anoodil eraldunud võimsus, kui 230 V anoodpinge puhul oli anoodvool 90 mA.

4) Mis juhtub lampdiodiga, kui ta anoodpinge ületab lubatava väärtuse?

22. Diodi kasutamine põhineb ta omadusel juhtida voolu ainult ühes suunas. Selle nn. ventiiliomaduse tõttu kasutatakse diodi vahelduvvoolu alaldamiseks. Tööstusliku sagedusega (50 Hz) vahelduvvoolu alaldamiseks kasutatavaid diode nimetatakse kenotronideks. Töö ajal on diodi katoodi temperatuur (järelilikult ka küttepinge) normaalselt konstantne. Vaekuumi hea isoleeriva omaduse tõttu on diodi (kenotroni) lätilõõgipinge kõrge, mistõttu kenotrone valmistatakse ka kõrge vahelduvpinge alaldamiseks. Madalpingelisi kenotrone valmistatakse

kaksiklampidena. Viimastel on ühes kolvis kaks anoodi ja üks või kaks ühise kütteniidiga katoodi (tingmärgid joonisel 9).



Joonis 9

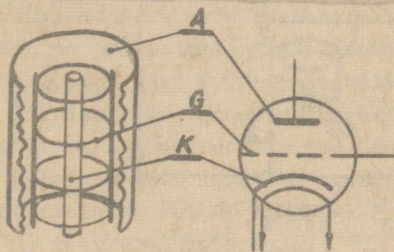
Mis on kenotronalaldi? Milline on kenotronalaldi pinge, vool ja võimsus?

23. Dioodi tähises näitab esimene arv küttepinget volti- des, teine täht lambi liiki (A - kõrgsagedusdiod, X - kõrgsa- geduslik kaksikdiod, U - kenotron), kolmas arv on antud liiki lambi tüübinumber, neljas täht tähistab lambi konstruktsiooni (C - klaaskest, П - sõrnlamp, A - üliminiatuurne lamp läbimõõ- duga 6 mm, B - sama, läbimõõduga 10 mm). Neljanda tähe puudu- misel on tegemist metallkestaga (-kolviga) lambiga.

Teha kindlaks, mida tähendavad järgmised lambitäh- sed: 1) 6A6A; 2) 6X6C; 3) 1U11П; 4) 5U4C.

Kolme elektroodiga elektronlamp

24. Kolme elektroodiga elektronlambi ehk trioodi ehi- tus sarnaneb dioodi omale (vt.p.I-16), kuid anoodi ja katoodi vahele on paigutatud veel kolmas elektrood - võre (nimetatak-



a)

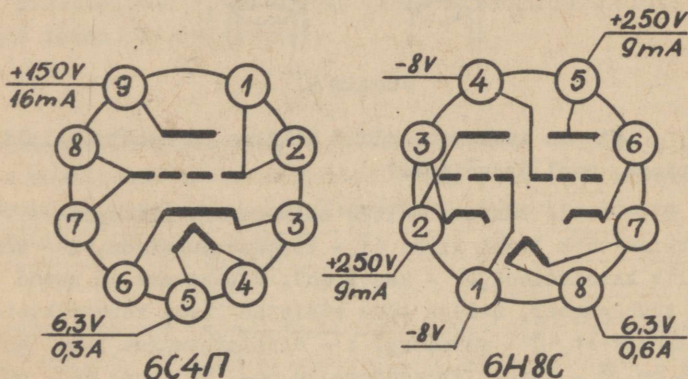
b)

Joonis 10

se ka tüürvõreks). Joonisel 10, a on näidatud trioodi elektroodid ja b - trioodi tingmärk. Võre valmistatakse niklist, mõlõbdeenist vms. spiraali kujulisena.

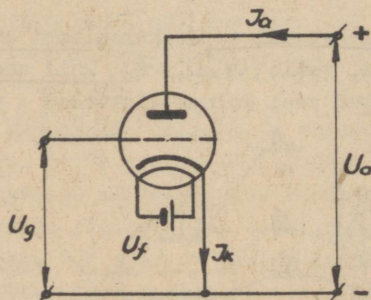
Ühte kesta võib olla kokku ehitatud ka kaks trioodi (tavaliselt eraldi katoodidega, kuid ühise katoodi kütteniidiga).

Mida saab teada joonisel 11 toodud sokliülitustest?



Joonis 11

25. Triood lülitatakse vooluahelasse põhimõtteliselt nii nagu diod (vt. joonised 7 ja 12). Erinevuseks on võrepinge U_g andmine katoodi ja tüürvõre vahele. Peale ruumlaengu (vt. p. I-19) ja anoodpinge U_a mõjutab nüüd anoodvoolu I_a ka võrepin-



Joonis 12

ge U_g . Mida tihedam on võre ja mida lähemal katoodile ta paikneb, seda tugevam on võrepinge mõju. Kui $U_g = 0$, siis töötab

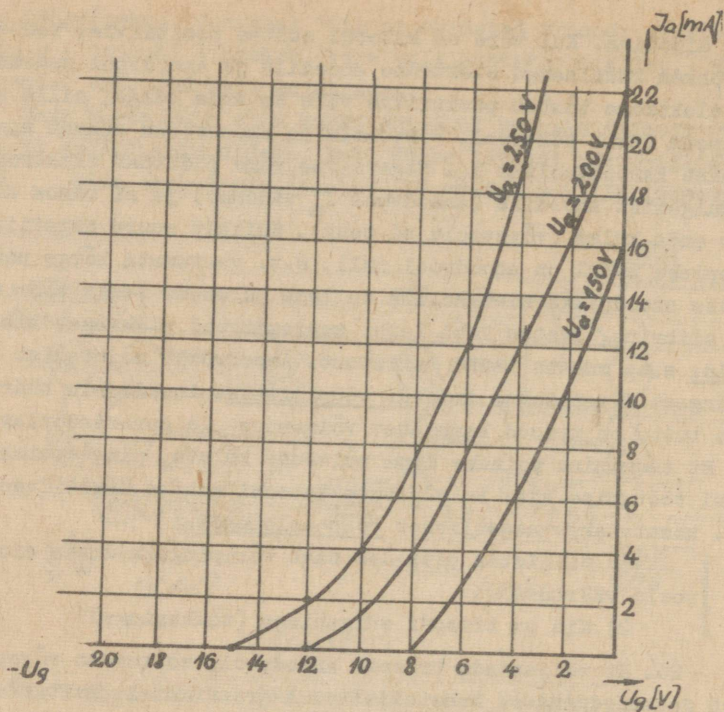
lamp dioodina. Kui võre on katoodi suhtes positiivne, tõmbab ta rohkem ruumlaengu elektrone anoodile ja anoodvool suureneb. Osa elektrone tõmbab positiivne võre ka enda külge, mille tulemusena tekib võrevool. Võrevoolu ja anoodvoolu summat nimetatakse katoodvooluks I_k . Negatiivne võre pidurdab elektronide kulgemist anoodile (anoodvool I_a väheneb) ja ei tõmba elektrone enda külge (võrevoolu ei teki). Küllalt suure negatiivse võrepinge puhul on anoodvool null, s.t. vaatamata kõrge positiivse anoodpinge olemasolule on lamp suletud. Seega võre töötab siibrina, lastes läbi lambi suuremat või väiksemat anoodvoolu, s.o. muutes lambi takistust. Anoodvoolu mõjutamist võrepingega nimetatakse trioodi tüürimiseks. Anoodvoolu tüüritavause tõttu on triood kasutatav võimendus- ja generaatorlambina. Et tüürimine toimuks ilma võimsuse kuluta, pingestatakse lambi töötamise ajal ta tüürvõre katoodi suhtes negatiivselt, s.t. kasutatakse negatiivset võre-eelpinget.

1) Millistes piirides saab võrepingega muuta anoodvoolu väärtust?

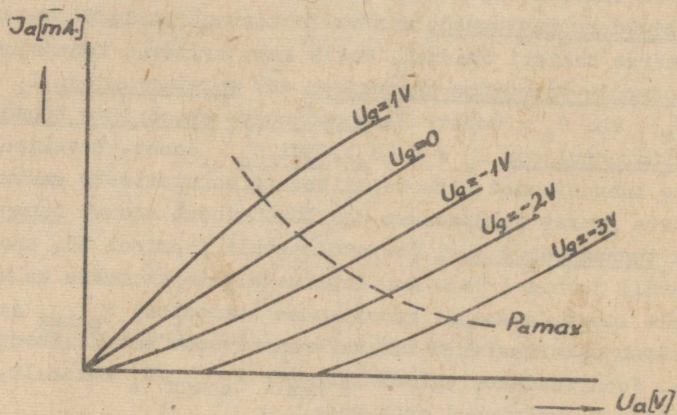
2) Mis on trioodi sulgepinge (tõkkepinge)?

26. Et väljendada trioodi anoodvoolu sõltuvust võrepingest ja anoodpingest kaheteljelistel graafikutel, hoitakse üks pingetest konstantne ja muudetakse teist pinget. Kui tunnusjooned selliselt punkthaaval üles võtta, saadakse trioodi staatilisised tunnusjooned, mis iseloomustavad trioodi kui mittelineaarse takisti omadusi. Tekib kaks erinevat tunnusjoont:

① anoodvoolu-võrepinge tunnusjoon ehk võretunnusjoon $I_a = f(U_g)$, kui $U_a = \text{const}$; ② anoodvoolu- anoodpinge tunnusjoon ehk anoodtunnusjoon $I_a = f(U_a)$, kui $U_g = \text{const}$. Tavaliselt antakse tunnusjooned mitmete erinevate konstantsete muutujate väärtuste juures ja saadakse ühe tunnusjoone asemel tunnusväli ehk tunnusjoonte sari (võretunnusväli joonisel 13, anoodtunnusväli joonisel 14). Anoodtunnusväljale kantakse ka maksimaalselt lubatava anoodi kaovõimsuse (anoodkao) $P_{a \text{ max}}$ joon, mis määrab maksimaalselt lubatava anoodvoolu antud anoodpinge juures. Joon saadakse valemi $I_{a \text{ max}} = P_{a \text{ max}}/U_a$ kohaselt, kui anoodpinge U_a väärtused ette anda.



Joonis 13



Joonis 14

1) Kas trioodi anoodvoolu saab arvutada Ohmi seaduse abil?

2) Kuidas mõjutab võretunnusjooni anoodpinge U_a suurenemine?

3) Kuidas mõjutab anoodtunnusjooni negatiivse võrepinge $-U_g$ suurenemine?

27. Trioodi parameetrid (tunnussuurused) antakse optimaalse tööpunkti jaoks. Tööpunkti asukoha trioodi tunnusväljal määrab anoodpinge U_a suurus ja võrepinge U_g suurus. Parameetriteks on võretunnusjoone tõus, sisetakistus, läbitavus ja võimendustegur. Kui parameetrid on määratud staatilise tööolukorra jaoks, nimetatakse neid staatilisteks parameetriteks.

Võretunnusjoone tõus (lühidalt: tõus) iseloomustab trioodi vooluvõimendust ja võre tüüriivat toimet:

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} \left[\frac{\text{mA}}{\text{V}} \right], \text{ kui } U_a = \text{const.}$$

ΔI_a - anoodvoolu muutus mA; ΔU_g - võrepinge muutus V. Tõus näitab, mitme milliampri võrra muutub trioodi anoodvool, kui võrepinge muutub ühe voldi võrra. Trioodide tõus ulatub kuni väärtuseni 50 mA/V, kuid enamasti on 10 mA/V piirides.

Sisetakistus vahelduvvoolule:

$$R_1 = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} \left[\Omega \right], \text{ kui } U_g = \text{const.}$$

ΔU_a - anoodpinge muutus V; ΔI_a - anoodvoolu muutus A (kui anoodvoolu muutus väljendatakse milliamprites, saadakse sisetakistus kilo-oomides). Trioodidel $R_1 = 0,3 \dots 110 \text{ k}\Omega$ (tavaliselt 1,5 ... 10 k Ω).

Läbitavus D on suhtarv ja näitab, mitu volti on vaja muuta võrepinget, et tekitada sama suur anoodvoolu muutust, nagu tekitab ühevoldine anoodpinge muutus:

$$D = \frac{\Delta U_g}{\Delta U_a}, \text{ kui } I_a = \text{const.}$$

ΔU_g - võrepinge muutus V; ΔU_a - anoodpinge muutus V. Võrepinge U_g , mille juures triood avaneb või sulgub,

$$U_g = -DU_a.$$

Võimendustegur μ on ühikuta suhtarv ja näitab, mitme voldi võrra tuleb muuta anoodpinget võrepinge muutmisel ühe voldi võrra, et anoodvool jääks konstantseks:

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g}, \text{ kui } I_a = \text{const.}$$

On näha, et $\mu = 1/D$. Trioodidel $\mu = 2 \dots 150$ (tavaliselt $\mu = 10 \dots 100$).

Parameetrina kasutatakse ka anoodi kaovõimsust (vt. p. I-21).

- 1) trioodi anoodpinge $U_a = 200$ V, võrepinge $U_g = -4$ V. Määrata joonisel 13 trioodi tööpunkti asukoht ja sellele vastav anoodvoolu I_a väärtus.
- 2) Trioodi läbitavus $D = 0,04$, anoodpinge $U_a = 200$ V. Millise negatiivse võrepinge juures see triood sulgub? Kuidas ta töötab võrepingega $U_g = -5$ V?
- 3) Mida näitab trioodi (staatiline) võimendustegur sisuliselt?

28. Parameetritevahelist seost iseloomustab võrrand, mida nimetatakse trioodi sisevõrrandiks:

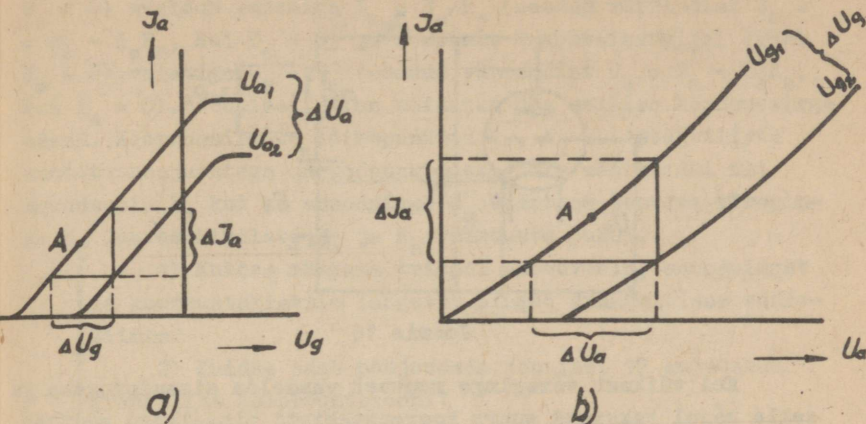
$$\boxed{SR_1 = \mu} \quad \text{ehk} \quad \boxed{SR_1 D = 1}$$

Võrrand näitab, et parameetreid ei saa kujundada meelevaldsetena. Teades kahte parameetrit, võib võrrandi abil leida kolmanda.

Trioodi tõus $S = 10$ mA/V, sisetakistus $R_1 = 2$ k Ω .
Leida selle trioodi võimendustegur ja läbitavus.

29. Staatilised parameetrid määratakse kindlaks staatiliste tunnusoonte (tunnusväljade) abil. Selleks ehitatakse tööpunkti A läbivale tunnusoone sirgjoonelisele osale täisnurkne kolmnurk (tunnuskolmnurk) nii, et tööpunkt jääb selle kolmnurga hüpotenuusi keskele, täisnurga tipp aga toetuks järgmisele tunnusoonele (joonis 15). Saadud kolmnurga küljed ja tunnusoonte vaheline kaugus näitavad vajalike tingimuste juures tekkivaid anoodvoolu, võrepinge ja anoodpinge muutusi, mille abil parameetrite väärtused arvutada saab (vt. p. I-28 toodud valemid).

Kui tööpunkt A satub tunnusväljal kahe tunnusoone va-

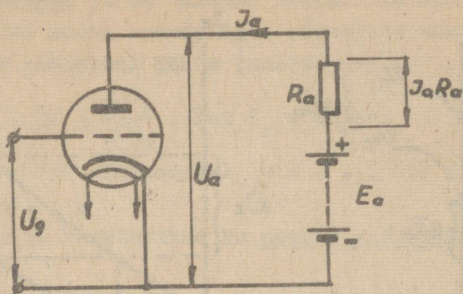


Joonis 15

hele, tuleb teda läbiv tunnusjoon ise tõmmata (paralleelselt naabertunnusjoontega).

Joonisel 13 kujutatud trioodi staatiliste tunnusväljade abil määrata trioodi parameetrid järgmiste tööpunktide jaoks: 1) $U_a = 200 \text{ V}$, $U_g = -5 \text{ V}$; 2) $U_g = 250 \text{ V}$, $U_g = -7 \text{ V}$. Kontrollida tulemusi trioodi sisevõrrandi abil. Antud tööpunktide jaoks määrata kindlaks ka anoodi kaovõimsus.

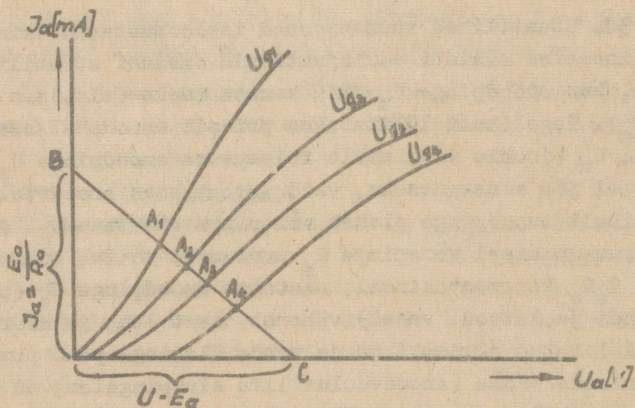
30. Staatilised tunnusjooned iseloomustavad trioodi kui mittelineaarse takisti voolujuhtivaid omadusi staatilises olukorras, kus anoodpinge U_a jääb konstantseks (ei olene võrepingest U_g). Tegelikult lülitatakse trioodi anoodahelasse koormustakisti R_a (joonis 16), mille tulemusena anoodpinge $U_a = E_a - I_a R_a$ ei jää konstantseks, vaid muutub koos anoodvooluga I_a (järelkult anoodpinge oleneb võrepinge väärtusest). Anoodvoolu I_a suurenemisel võrepinge U_g muutumise tõttu, suureneb pingelang $I_a R_a$ koormustakistil, mistõttu anoodpinge U_a (pinge lambi anoodi ja katodi vahel) väheneb, sest lamp ja koormustakisti on lülitatud järjestikku ja nende üldpinge peab praktiliselt konstantseks jääma (anoodvooluallika sisepingelang on väike). Anoodvoolu vähenemisel toimub vastupidine nähtus.



Joonis 16

Kui väikest võrepinge muutust vaadelda sisendpingena ja selle mõjul tekkinud suurt koormustakisti pingelangu muutust väljundpingena, siis võib väita, et triood sellises olukorras töötab võimendina.

Et saada ülevaadet trioodi anoodvoolu, võrepinge ja anoodpinge omavahelisest sõltuvusest tegelikus dünaamilises tööolukorras, konstrueeritakse staatiliste tunnusväljade abil dünaamilised tunnusjooned. Näiteks dünaamilise anoodtunnusjoone konstrueerimiseks tõmmatakse staatilisele anoodtunnusväljale koormussirged erinevate koormustakistite R_a väärtuste jaoks. Iga koormussirge otspunkt B (joonis 17) ordinaatteljel (seal



Joonis 17

$U_a = 0$) avaldub valemiga $I_a = E_a/R_a$ (saadud võrrandist $U_a = E_a - I_a R_a$, kui $U_a = 0$) ja otspunkt C abstsissiteljel (seal $I_a = 0$) valemiga $U_a = E_a$ (saadud võrrandist $U_a = E_a - I_a R_a$, kui $I_a = 0$). Joonisel 17 on näidatud ühe sellise koormussirge asend. Koormussirgete lõikepunktid $A_1, A_2 \dots$ staatiliste anoodtunnusjoontega on tööpunktideks, mis määravadki nii anoodvoolu I_a kui ka anoodpinge U_a väärtuse teatava võrepinge U_g juures kindlate E_a ja R_a väärtuste puhul.

1) Kuidas määrata trioodi anoodvoolu, anoodpinget ja koormustakistile langevat pinget dünaamilises töörežiimis?

2) Kuidas saab põhjendada joonisel 17 kujutatud graafilist konstruktsiooni?

31. Triood on lihtsaim ning ajalooliselt esimene võimendus- ja generaatorlamp.

Trioodi kasutamisel võimendis on ta puuduseks:

a) anoodpingel on suhteliselt tugev mõju anoodvoolule, mistõttu trioodi võimendustegur μ ja sisetakistus vahelduvvoolule R_i jäävad suhteliselt väikesteks;

b) suur mahtuvus (nn. läbivmahtuvus) C_{ag} anoodi ja võre vahel ($C_{ag} = 2 \dots 20$ pF), mis ühendab sisendpingeallika vahetult koormusega (vt. joonis 12) ja võimaldab energia satumist otse sisendist (võreahelast) väljundisse (anoodahelasse) või vastupidi. Selle tagajärjel tekib ebasoovitav tagasidestus ja võimendi ebastabiilne töö (eriti just kõrgetel sagedustel).

Vaatamata nimetatud puudustele kasutatakse trioodi automaatsüsteemides küllalt sageli.

1) Miks on trioodi elektroodide vahel teatav mahtuvus?

2) Millised mahtuvused esinevad trioodis ja milline on nende mõju?

3) Miks trioodi elektroodidevahelised mahtuvused avaldavad eriti tugevat toimet kõrgetel sagedustel?

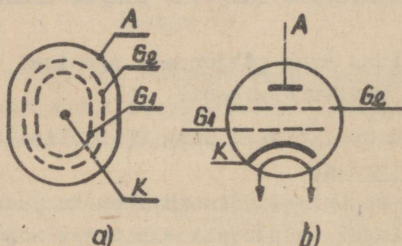
32. Võimendustrioodide tähistatakse analoogiliselt dioodidega (vt.p.I-23). Tähistise teisel kohal võib esineda järgmine täht: C - triood; H - kaksiktriood; Γ - kaksikdiod-tri-

ood (ühte kesta kokku ehitatud).

Mis elektronlamp on: 1) 6C4П ; 2) 6H8C?

Mitme võrega elektronlambid

33. Nelja elektroodiga elektronlambis ehk tetroodis on anoodi ja võre vahelise mahtuvuse vähendamiseks anoodi ja tüürvõre vahele paigutatud tihe traatspiraali kujuline varje, mida nimetatakse varivõreks. Joonisel 18, a on näidatud tet-



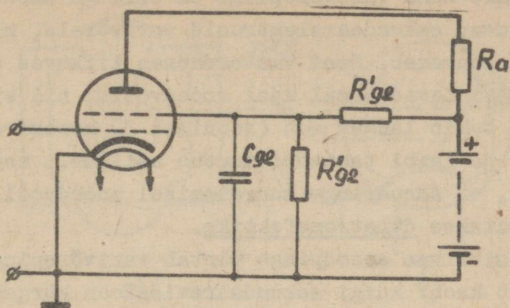
Joonis 18

roodi elektroodide paiknemine ja b - tetroodi tingmärk (A - anood, G_1 - tüürvõre, G_2 - varivõre, K - katood). Tetroodil on järelikult kaks võret ja teda nimetati varem ka varivõrelambiks. Tetroodi tähises on teisel kohal täht (teised tähise elemendid on samad mis p.I-23 kirjeldatud).

- 1) Miks vähendab varivõre lambi läbivõimevõimet?
- 2) Miks peab elektronlambi läbivõimevõime olema väike?
- 3) Kas varivõre võiks olla massiivsest plekist (s.t. ilma avadeta)?

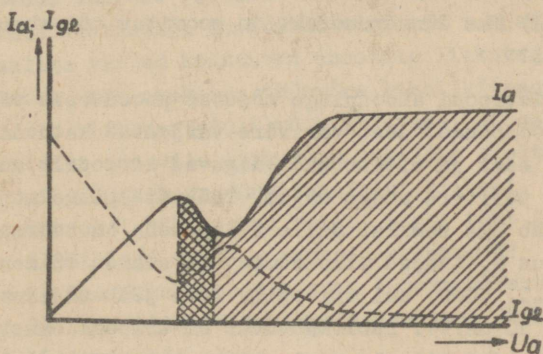
34. Varivõre ühendatakse katoodiga läbi suure mahtuvusega kondensaatori C_{g2} ja talle antakse anoodpingeallikast näiteks läbi pingejaguri $R'_{g2} + R''_{g2}$ püsiv positiivne potentsiaal (vt. joonis 19) suurusega $(0,4 \dots 0,7) U_a$.

- 1) Miks tuleb varivõre ühendada kokku katoodiga?
- 2) Miks varivõret ei ühendata katoodiga otse, vaid läbi kondensaatori?



Joonis 19

35. Tetroodi anoodvoolu-võrepinge tunnusjooned on enam-vähem analoogilised trioodi omadega (vt. p.I-26). Tetroodi anoodtunnusjooned on aga erinevad (joonis 20). Osa elektrone



Joonis 20

tõmbab positiivne varivõre enda külge ja peale anoodvoolu I_a tekib varivõrevool I_{g2} , mis mõnevõrra vähendab anoodvoolu. Anoodpinge puudumisel on anoodvool minimaalne, varivõrevool maksimaalne, sest katoodilt emiteerunud elektrone tõmbab enda külge ainult varivõre. Anoodpinge suurenemisel hakkab osa elektrone tungima läbi varivõre kuni anoodini, mistõttu anoodvool suureneb, varivõrevool väheneb (nende summa jääb konstantseks). Mingist anoodpingest alates (vt. joonisel 20 viirutatud ala) tekitavad anoodile langevad elektronid sekun-

daaremissiooni. Kuna varivõrepinge on esialgu anoodpingest kõrgem, liiguvad sekundaarelektronid varivõrele, mistõttu varivõrevool suureneb. Need vastassuunas liikuva sekundaarelektronid vähendavad samal ajal anoodvoolu, nii et anoodtunnusjoonel tekib langev osa (joonisel 20 kahekordselt viirutatud ala) ja lambi takistus muutub näiliselt negatiivseks. Seda nähtust, et anoodpinge suurenemisel anoodvool hoopis väheneb, nimetatakse dünatronefektiks.

Kui positiivne anoodpinge ületab varivõrepinge, siis dünatronefekt kaob: kuigi sekundaaremissioon kõrgema anoodpinge toimel suureneb, tõmmatakse sekundaarelektronid nüüd anoodile tagasi, mistõttu anoodvool hakkab uuesti suurenema, varivõrevool aga vähenema. Varivõrevool ei kao täielikult ka küllastusvoolu piirkonnas, sest positiivne varivõre tõmbab mõned primaarelektronid ikkagi enda külge.

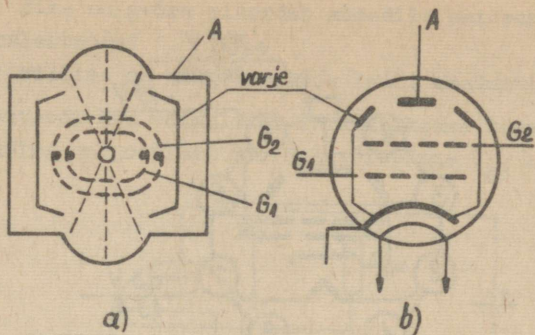
- 1) Kas dünatronefekt saaks tekkida ka trioodis?
- 2) Kas dünatronefekt on soovitatav või ebasoovitav nähtus?

36. Tetroodi anoodpinge mõjutab anoodvoolu vähem kui trioodi anoodpinge, sest varivõre varjestab katoodi anoodpinge mõju eest ja elektronid liiguvad katoodilt anoodile põhiliselt varivõre pingel. Tüürvõre pingel mõju anoodvoolule jääb aga samaks. Selle tulemusena on tetroodil suurem sisetakistus R_1 (sajad kilo-oomid) ja suurem võimendustegur ($\mu = 750 \dots 1000$) kui trioodil. Tõus jääb endiseks (enamasti kuni 10 mA/V). Läbivmahtuvus on trioodi omast väiksem.

Dünatronefekti olemasolu tõttu tetroode võimenduslambina tänapäeval ei kasutata.

- 1) Miks tetroodi anoodpinge mõjutab anoodvoolu vähem kui trioodi anoodpinge?

37. Et saaks ära kasutada tetroodi eeliseid (vt. p. I-36), tuleb likvideerida dünatronefekt, s.t. tuleb kõrvaldada sekundaarelektronide kahjulik mõju. Lampi, kus sekundaarelektronide mõju kõrvaldatakse tihedatesse jugadesse koondatud elektronide ruumlaenguga, nimetatakse jugatetroodiks. Joonisel 21, a on kujutatud jugatetroodi elektroodide paiknemine ja b - jugatetroodi tingmärk. Kõrge positiivse



Joonis 21

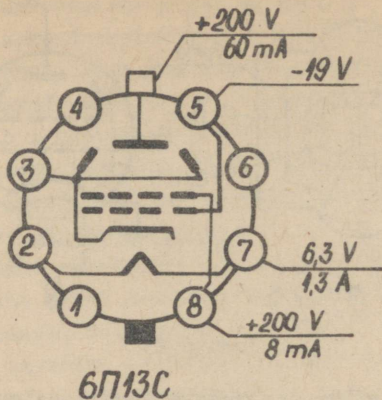
potentsiaaliga varivõre on jugatetroodil paigutatud täpselt tüürvõre taha (tüürvõre varju). Sellest tingituna läheb varivõrele vähem elektrone, varivõrevool on väiksem ning anoodvoolu tihedus suurem. Võresid kinnitavate tugivarraste poole on paigutatud katoodiga ühendatud tõrjuvad varjed. Need nullpotentsiaaliga varjed koondavad anoodile liikuvad elektronid kitsaks vooks, mis omakorda tüürvõre kohal kitsasteks jugadeks jaguneb. Lihtsustatult võib kujutada, et sekundaarelektronid surutakse anoodile liikuvate tihedate elektronjugade poolt anoodile tagasi ja dünatronefekt ei teki.

Jugatetroodi tähises on teisel kohal täht Π .

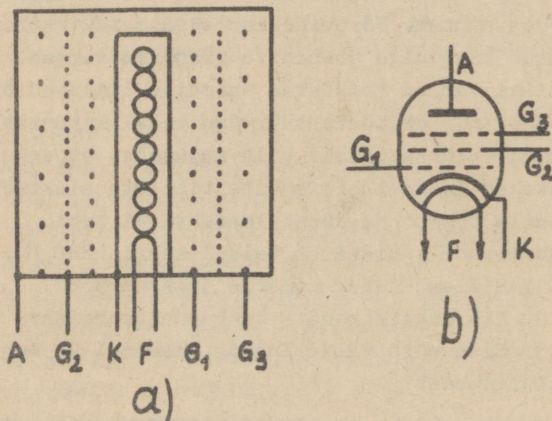
- 1) Millest tuleb nimetus jugatetrood?
- 2) Kas jugatetroodis saab dünatronefekt tekkida?
- 3) Mida võib välja lugeda joonisel 22 kujutatud

soklilülitusest?

38. Dünatronefekt on likvideeritud ka viie elektroodiga elektronlambis ehk pentoodis. Pentoodis paigutatakse anoodi A ja varivõre G_2 vahele veel hõreda traatspiraali kujuline sulgvõre G_3 (nimetatakse ka antidünatronvõreks või pidurvõreks). Joonisel 23, a on näidatud pentoodi elektroodide paigutus ja b - pentoodi tingmärk. Seega on pentoodil kolm võret: keskmise tihedusega tüürvõre G_1 , suure tihedusega varivõre G_2 ja väikese tihedusega sulgvõre G_3 . Kõik võred on traatspiraali kujulised. Sulgvõre G_3 ühendatakse kas lambi



Joonis 22



Joonis 23

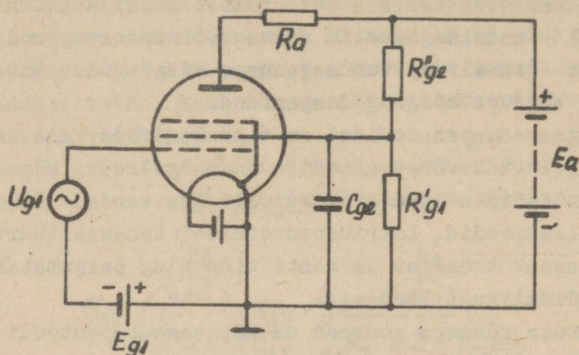
sees või väljas katoodiga K. Seetõttu tõukab sulgvõre sekundaarelektronid anoodile tagasi ja düratronefekti ei saa tekkida. Primaarelektronidel on aga nii suur hoog, et sulgvõre neid oluliselt ei pidurda. Sulgvõre pidurdab ainult väikese osa primaarelektrone, mis pöörduvad varivõrele ja tekitavad varivõrevoolu.

Pentood on kõige levinumaks elektronlambi tüübiks.

1) Miks sulgvõre pidurdab anoodilt emiteerunud sekundaarelektrone?

2) Milline on sulgvõre mõju lambi omadustele?

39. Pentoodi üks võimalikke lülituskeeme tema kasutamisel võimendina on joonisel 24. Sulgvõrepinge $U_{g3} = 0$, vari-



Joonis 24

võrepinge $U_{g2} = (0,2 \dots 1) U_a$, tüürvõrepinge $U_{g1} < 0$ (on negatiivne). Seetõttu tüürvõrevool I_{g1} ja sulgvõrevool I_{g3} praktiliselt puuduvad ja kogu katoodi emissioonvool I_k ja-guneb anoodvooluks I_a ja varivõrevooluks I_{g2} : $I_k = I_a + I_{g2}$.

Mis otstarve on kondensaatoreil C_{g2} ?

40. Pentoodi tunnusjooned ja parameetrid on põhiliselt samad mis trioodil (vt. p.I-26 ja I-28), kuid nad on määratud rohkemate tingimustega.

Anoodvoolu-võrepinge tunnusjoon: $I_a = f(U_{g1})$, kui $U_a = \text{const}$, $U_{g2} = \text{const}$ ja $U_{g3} = \text{const}$.

Anooditunnusjoon: $I_a = f(U_a)$, kui $U_{g1} = \text{const}$, $U_{g2} = \text{const}$ ja $U_{g3} = \text{const}$.

Võretunnusjoone tõus $S = \Delta I_a / \Delta U_{g1}$, kui $U_a = \text{const}$, $U_{g2} = \text{const}$ ja $U_{g3} = \text{const}$ (tavaliselt $S = 5 \dots 8 \text{ mA/V}$).

Sisetakistus $R_1 = \Delta U_a / \Delta I_a$, kui $U_{g1} = \text{const}$, $U_{g2} = \text{const}$ ja $U_{g3} = \text{const}$ ($R_1 \leq 3 \text{ M}\Omega$).

Võimendustegur $\mu = \Delta U_a / \Delta U_{g1}$, kui $I_a = \text{const}$, $U_{g2} = \text{const}$ ja $U_{g3} = \text{const}$ (ta määratakse tegelikult valemiga

$\mu = SR_1$ ja pentoodidel $\mu \leq 7000$).

Pentoodi läbivõimutus on 0,01 ... 0,005 pF.

Seega sisuliselt on pentood parandatud omadustega triood ja on kasutatav võimendus- ning generaatorlambina.

Kuidas määrata pentoodi parameetreid?

41. Pentoodi tähises võib teisel kohal esineda järgmine täht: Π - madalsageduslik võimsusvõimenduspentood; \mathcal{M} - lühikese (tavalise) tunnusjoonega kõrgsageduspentood; K - muutuva tõusuga kõrgsageduspentood.

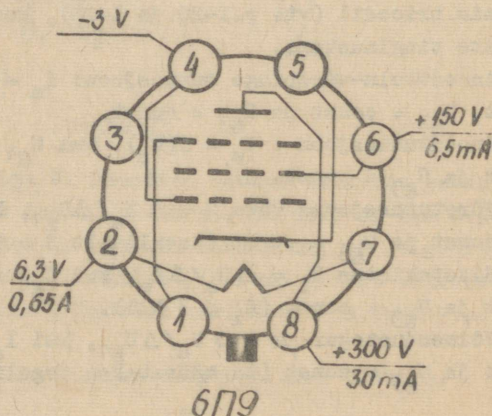
Kõrgsageduspentoodidel on tihe varivõre, mis eraldab igast küljest tüürvõret anoodist ja sulgvõrest. Mõnedes kõrgsageduspentoodides asendavad võresid kas vardad või raamikujulised elektrodid. Lairibapentoodidel tehakse tüürvõre väga peenikesest traadist ja hästi tihe ning paigutatakse katoodile võimalikult lähedale.

Muutuva tõusuga pentood on kõrgsageduspentoodi eriliigiks, mille võimendustegurit saab muuta tüürvõre eelpinge abil. Tema tüürvõre on keskelt keritud hõredamalt kui ääretelt.

1) Mis lamp on: 6 \mathcal{M} 5 Π ; b) 6K7?

2) Mida võib välja lugeda joonisel 25 toodud soklilülitusest?

3) Kuidas eristada jugatetroodi ja madalsagedusliku võimsusvõimenduspentoodi, kui mõlemate tähises on teisel kohal täht Π ?

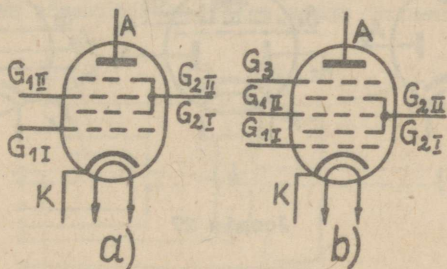


Joonis 25

42. Pentood on maksimaalse elektroodide arvuga elektronlamp, mille igal elektroodil on erinev ülesanne. Suurema elektroodide arvuga lampidel on kaks või rohkem analoogilise ülesandega elektroodi.

Kui lampidel on kaks tüürvõret, mis omavahel eraldatakse täiendava varivõrega, nimetatakse neid segustuslampideks. Selliste lampide anoodvoolu saab üheaegselt tüürida kahe pingega ja neid kasutatakse raadiovastuvõtjate segustus- ja sagedusmuundusastmetes, kahe suuruse liitmiseks või korrutamiseks elektronarvutites jne.

Ilma sulgvõreta segustuslampil on kokku kuus elektroodi ja teda nimetatakse heksoodiks (tingmärk joonisel 26, a).



Joonis 26

Sulgvõrega segustuslampil on kokku seitse elektroodi ja teda nimetatakse heptoodiks (tingmärk joonisel 26, b). Heptood on segustuslampidest kõige levinum. Heptoodiga analoogiline on kaheksa elektroodiga oktoid, mille üks võredest töötab täiendava anoodina.

Segustuslampide tähises on teisel kohal täht A. Töösuselektroonikas nendel lampidel olulist tähtsust ei ole.

1) Kas on mõeldav elektronlampi anoodvoolu tüürimine mitme pingega üheainsa tüürvõre abil?

2) Kuidas on tuletatud elektronlampide nimetused?

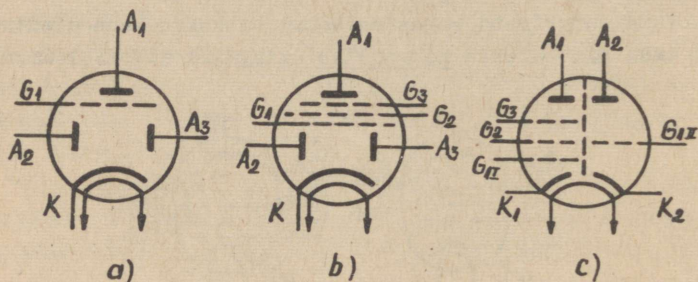
43. Peale segustuslampide on suure elektroodide arvuga veel kombineeritud lampid ehk liitlampid. Nende kestas on üheaegselt kaks või isegi kolm lampi (kas samaliigilised või erinevad). Kõige levinumad on kaksiklampid: kaksikdioodid

(tüübi tähises täht X), kaksiktrioidid (tüübi tähises täht H). Peale nende on kasutusel kaksikdioid-trioid (tüübi tähises täht Γ), kaksikdioid-pentoid (tüübi tähises täht \mathcal{B}), trioid-pentoid (tüübi tähises täht \mathcal{D}), trioid-heptoid või trioid-heksoid (tüübi tähises täht \mathcal{H}).

Liitlampide kasutamise eeliseks on aparatuuri maksumuse ja gabariidi vähenemine. Puuduseks on asjaolu, et ühe lambi riknemisel lakkab korraga töötamast seadme mitu astet.

Milliste lampide tingmargid on kujutatud joonisel

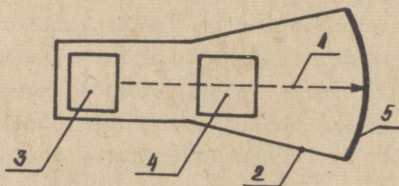
27?



Joonis 27

Elektronkiiretorud

44. Elektronkiireks nimetatakse kiirelt liikuvate elektronide peent voogu. Elektronkiir 1 (joonis 28) tekitatakse elektronkiiretorus. Selliseks toruks on kooniliselt laienev



Joonis 28

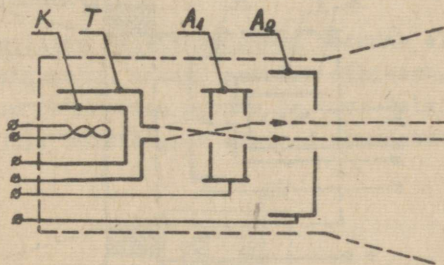
klaaskest 2, milles on tekitatud vaakuum. Kestas paikneb

elektronkiire allikas - elektronkahur 3 ning hällitusüsteem 4, mille abil saab elektronkiirt juhtida, s.t. teda kallutada igas suunas. Klaaskesta laiem ots on kaetud fluorestseeruva ainega ja moodustab ekraani 5, kus elektronkiir jätab helen-dava jälje.

- 1) Kas elektronkiir kujutab endast voolu läbi vaa-kuumi?
- 2) Kui suur on elektronkiire inerts?

45. Elektronkahur tekitab elektronkiire ja fokuseerib selle ekraanil, s.t. tekitab ekraanil terava täpi.

Elektrostaatilise fokuseerimisega elektronkahuris on elektronide allikaks köetav oksiidkatood K (joonis 29). Ka-toodi ümbritseb sõrnkübarakujulise avaga varustatud tüürelekt-



Joonis 29

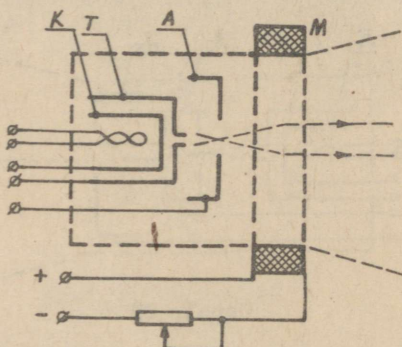
rood T (viimast nimetatakse ka modulaatoriks ja võreks), millele antakse katoodi suhtes väike negatiivne pinge (vt. joo-nis 33). Tüürelektroodi pingega saab muuta elektronide arvu elektronkiires, järelikult katoodvoolu ja täpi heledust ek-raanil.

Tüürelektroodile T järgneb vähemalt kaks silindrilist anoodi - abianood A_1 ning peaanood A_2 , millele antakse ka-toodi suhtes kõrge positiivne pinge (vt. joonis 33). Abianoo-di pinge on $1/8 \dots 1/4$ peaanoodi pingest. Anoodide poolt kiirendatud elektronid läbivad anoodid piki silindri telg-joont ja moodustavad elektronkiire. Anoodide sees on väikes-te avadega diafragmad, mis takistavad kõrvalekalduvad elekt-ronide liikumist (püüavad need kinni). Teravustamine (fooku-

se reguleerimine) toimub abianoodi A_1 pingega, mille tulemusena muutub ebaühtlase elektrivälja kuju tüürelektroodi ja anoodi ning anoodide eneste vahel.

- 1) Võrrelda elektronikiiretoru tööd elektronlambi (trioodi) tööga.
- 2) Miks on vaja elektronkiirt fokuseerida?
- 3) Mis põhimõttel toimub elektrostaatiline fokuseerimine?
- 4) Kuidas saab reguleerida ekraanil tekkiva täpi heledust?

46. Magnetilise fokuseerimise puhul on elektronkahuril teise anoodi asemel toru kaelale keritud mähis M , mille telg langeb kokku toru telgjoonega (joonis 30). Nimetatud mähist

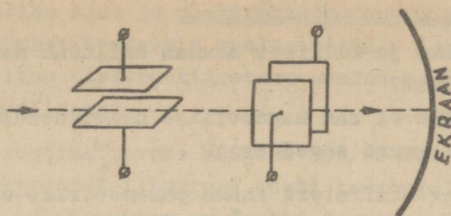


Joonis 30

läbiva alalisvoolu reguleerimisega toimubki fokuseerimine. Tulemusena saadakse väga peen ja terav kiir (eriti just suure voolutugevusega kiire puhul), kuid fokuseerimissüsteemi kaal, gabariit ja energiatarve on suurem kui elektrostaatilisel fokuseerimissüsteemil.

Mis põhimõttel toimub magnetiline fokuseerimine?

47. Elektrostaatiline hälvitussüsteem koosneb paralleelsetest horisontaalsetest ja vertikaalsetest plaadipaaridest (joonis 31). Kui horisontaalsetele plaatidele antakse vahelduv vertikaalhälvituspinge, tekib ekraanil vertikaalne helen-duv joon. Vertikaalsetele plaatidele antud vahelduv horison-

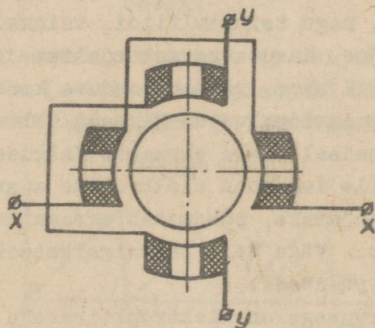


Joonis 31

taalhälvituspinge tekitab ekraanil horisontaalse helenduva joone. Mõlema pinge koosmõjul võib elektronkiirt (seega ka ekraani valgustäppi) nihutada ükskõik millisesse ekraani punkti.

Miks hälvituspiladidele rakendatud laotuspinge hälvitab elektronkiirt?

48. Magnetiline hälvitussüsteem koosneb elektronkiiretoru kaelale paigutatud kahest paarist mähisest. Mähisepaaride telgjooned on teineteise suhtes ja toru telgjoone suhtes risti (joonis 32). Ühistelgised mähised ühendatakse harilikult



Joonis 32

järjestikku. Mähiseid läbiv vool tekitab mähise telgjoone sihilise magnetvoo. Horisontaalne magnetväli hälvitab ehk tüürib elektronkiirt vertikaalsuhtes ja vastupidi.

Magnetilise hälvitusega on lihtsam saada suuri hälvitusnurki, kuid süsteem on elektrostaatilisest hälvitussüsteemist raskem, suurema omatarbega ning madalama võimaliku häl-

vitussagedusega.

1) Miks ja millises suunas kallutab magnetväli elektronkiirt?

2) Miks ei saa magnetilise hälvitussüsteemi laotuspinge olla suure sagedusega?

49. Elektronkiiretoru üheks parameetrik on tundlikkus (hälvitussüsteemi tundlikkus) δ :

$$\delta = \frac{l}{U_h} \left[\frac{\text{mm}}{V} \right],$$

kus l on täpi joonhälve ehk kõrvalekalle mm ja U_h - hälvituse ehk laotuspinge V. Tavaliselt $\delta = 0,2 \dots 0,6 \text{ mm/V}$. Tundlikkuse tõstmiseks tuleb pikendada elektronide viibimise aega hälvitussüsteemis, sest siis on elektronkiire joonhälve ehk kõrvalekalle suurem. Seepärast tehakse hälvitusplaadid võimalikult pikad ja sageli veel väljapoole painutatud otstega, et elektronkiir ei satuks positiivsele plaadile (joonis 33).

Kas elektronkiiretoru tundlikkust saaks tõsta elektronide kiiruse vähendamisega?

50. Ekraani fluorestseeriva materjalina kasutatakse metallide ühendeid, nagu tsinksulfiidi, tsinksilikaati, kaltsiumvolframaati jne. Kasutatud materjalist olenevad ekraani omadused (valgusviljakus, järelhelenduse kestus, helenduse värvus) ja kasutamisevõimalused. Ekraani helendumine tekib elektronide põrkumisel vastu ekraani. Valguseks muutub ainult 2 ... 3 % ekraanile langenud elektronide energiast, ülejäänud energia muutub soojuseks, põhjustab ekraani materjali vananemist ja tuhmumist. Väga hele ja paigalseisev täpp võib ekraani isegi läbi põletada.

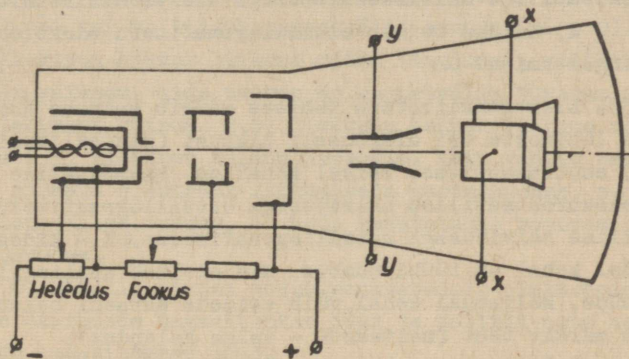
Mis värvusega on elektronkiiretoru ekraani helendus?

51. Elektronkiiretoru on põhiliseks koostisosaks elektronostsillograafis (võimaldab jälgida kiirestitoimuvaid elektrilisi nähtusi), raadiolokaatoris (võimaldab määrata kaugete objektide asukohta), televiisoris (televiisori vastuvõtutoru nimetatakse kineskoobiks), elektronarvutite mälu-seadmes (muudab elektrisignaali laenguteks, mis säilivad

ekraanil vajaliku aja) ja elektronkommutaatoris (lülitab suure kiirusega ümber teatavaid vooluahelaid).

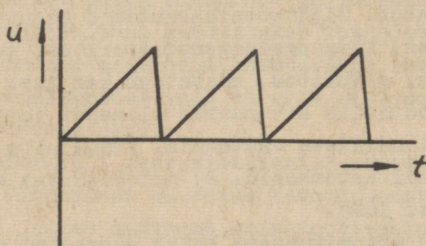
Milline elektronkiiretoru omadus on ta kasutamisel suureks eeliseks?

52. Kiirestimuutuvate pingete või voolude jälgimiseks kasutatav elektronostsillograaf võeti kasutusele 1911.a. Ta põhimõtteline lülitusskeem on toodud joonisel 33. Uuritav



Joonis 33

pinge antakse horisontaalplaatidele (y-teljelised plaadid). Vertikaalplaatidele (x-teljelised plaadid) ühendatakse saahambakujulise graafikuga (joonis 34) hammaspinge, mida sa-



Joonis 34

dakse spetsiaalsest generaatorist. Hammaspinge kallutab elektronkiirt perioodiliselt horisontaalsihis (x-telje sihis) ja võimaldab seega uuritava pingete muutumist vaadelda ajalise

funktsioonina. Kui hammaspinge periood on võrdne või kordne uuritava pinge perioodiga, siis üksikute perioodide jäljed ekraanil kattuvad ja tekib seisev kujutis. Selle saavutamiseks on hammaspinge sagedust võimalik sujuvalt muuta. Ekraanil tekkinud kujutis iseloomustab uuritava pinge ajalist kulgu ristkoordinaatides.

- 1) Miks ostsillograafis eelistatakse kasutada elektrostaatilisest hälvitussüsteemiga elektronkiiretorusid?
- 2) Kuidas toimub ostsillograafitoru elektrodide pingestamine?

53. Elektronkiiretoru tähises märgib esimene number kas ekraani läbimõõtu või diagonaali pikkust (ristkülikulisel ekraanil) sentimeetrites. Teisel kohal on kahetäheline tähis: ΛO - elektrostaatilisest hälvitusega ostsillograafitoru; ΛM - magnetilisest hälvitusega ostsillograafitoru; ΛK - kineskoop. Kolmandal kohal on tüübi number, mis eraldab analoogiliste torude tüüpe. Neljandal kohal võib esineda ekraani helenduse värvust märkiv täht (näiteks 5 - valge helendus).

Dešifreerida järgmised tähised: 1) 8AO 29; 2) 13AM 31; 3) 43AK 25.

Vastused

Sissejuhatus. Elektroonikaseadmeid kasutatakse alaldites, võimendites, kõrgsagedusgeneraatorites, automaatikas, telemehaanikas, arvutites, mõõtetehnikas jne.

1. 1) Prootonite arv määrab elemendi järjekorranumbri elementide perioodilises süsteemis, prootonite ja neutronite mass aga elemendi aatomkaalu. 2) Aatomituumas mõjuvad erilised tuumasisesed jõud.

2. Nad on aatomituumaga kõige nõrgemini seotud ja võivad aatomist ka lahkuda. Nendest oleneb aine keemiline aktiivsus.

3. 1) Kuna elektronil on teatav mass, siis ta ka "kaalub", s.t. teda mõjutab gravitatsiooniväli. 2) Kiiruse punul, mis läheneb valguse kiirusele.

4. 1) Miinusmärk näitab, et elektronile mõjuv jõud on vastupidine välise elektrivälja suunale. 2) Elektron kiireneb, kui ta seisab või siseneb elektrivälja sellele väljale vastassuunas. Elektrivälja suunas liikuv elektron pidurdub. Elektrivälja suhtes risti liikuv elektron kaldub kõrvale elektriväljale vastassuunas, s.t. positiivselt laetud keha suunas. 3) Kõigis elektron-, ioon- ja pooljuhtseadistes.

5. 1) Elektronile ei mõju mingit jõudu, kui ta seisab ($v = 0$) või kui ta liigub magnetvälja suunas ($\alpha = 0$).

2.a) Elektron hakkab liikuma mööda ringjoont, mille raadius on seda väiksem, mida suurem on magnetvälja tugevus ja väiksem elektroni kiirus. 2.b) Elektron hakkab liikuma mööda kruvijoont. 3) Elektron kaldub paremale, sest vasaku käe sõrmed tuleb suunata elektroni liikumisele vastassuunas, s.o. voolu kokkuleppelises suunas. 4) Seda kasutatakse mõnedes elektron-kiiretorudes.

6. Metallil pinnal mõjub poolvabadele elektronidele sealsete elektronide tagasitõukav jõud ja positiivsete metallioonide tagasitõmbav jõud.

7. Tseesiumist väljuvad elektronid kergemini.

8. Elektronide emissiooni rakendatakse elektron- ja ioonseadistes.

9. 1) Tuleks kasutada väiksema väljumistööga materjale või tõsta metalli temperatuuri. 2) Termoemissioon leiab rakendamist hõõguva katoodiga elektron- ja ioonseadistes.

10. Fotoemissiooni kasutatakse fotoelektronseadistes.

11. Sekundaaremissiooni kasutatakse fotokordistites. Mõnedes elektronlampides võib ta olla mittesoovitava dünatronefeki põhjustajaks.

12. Elektriväli peab elektronile mõjuma tõmbejõuga.

13. 1) Ükonoomsem on teine katood, sest ta annab sama küttevõimsuse juures suuremat emissioonivoolu. 2) Termokatoodi materjal kõrge temperatuuri mõjul aja jooksul aurustub, mistõttu emissioonivool ja viljakus vähenevad. 3) Katood muutub töökõlbmatuks, kui emissioonivool (seega ka viljakus) väheneb teatud piirini või kui küttenit katkeb.

14. 1) Ühel elektronlambil on otsekütte-, teisel kaudküttekatood. 2) Katood peaks siis olema võimalikult jämeda-

mast traadist. See on võimalik ainult võimsates lampides.

3) Küttevool $I_k = U/R = 6,3/5,26 = 1,2$ A. 4) Küttepinge

$U_k = I_k R = 0,06 \cdot 210 = 12,6$ V.

15. Aktiveeritud katoodi väljumistöö väheneb, viljakus suureneb.

16. Gaas ioniseerub, ta rasked ioonid langevad katoodile ja purustavad selle.

17. Lambi sokli küljes on lukk ja lambi pesas lukule sobiv ava.

18. 1) See selgub soklilülitusest. 2) Joonisel on kujutatud diodid, mille otseküttekatood on ühendatud jalgadega nr.2 ja 7, anoodi jaoks on aga eraldi läbiviik lambi pealt.

19. 1) Vaakuum on absoluutne isolaator. Kui sinna aga tekitada vabu laenguid (näiteks mingi emissiooni abil), võivad need tekitada voolu läbi vaakuumi. 2) Anoodisuunalise jõu tekitavad emiteerunud elektronile: a) anoodi positiivne pinge; b) temast hiljem emiteerunud elektronide ruumlaeng; c) ta enda hoog. Katoodisuunalise jõu tekitavad: a) temast varem emiteerunud elektronide ruumlaeng; b) katoodi positiivsed ioonid. 3) Mõned kiired elektronid võivad hoo mõjul tõesti anoodini liikuda, kuid see vool on tähtsusetult väike. 4) Ei ole, sest anood kuumeneb elektronide pommitamise tõttu (analoomiliselt haamriga töödeldava metalli kuumenemisele).

20. 1) Ühel ja samal diodil oleneb anoodvool anoodpingest ja küttepingest, erinevatel diodidel oleneb see veel elektrodide kujust ning vahekaugusest. 2) Selleks tuleb muuta küttepinget. See muudab küttevoolu ja katoodi emissioonivoolu. Küttepinge suurendamisel tekib kütteniidi läbipõlemise oht.

21. 1) Sisetakistus $R_i = \Delta U_a / \Delta I_a = 2/2 = 1$ k Ω . 2) Sisetakistus järsult suureneb. 3) Anoodil eraldunud võimsus $P_a = U_a I_a = 230 \cdot 0,09 = 20,7$ W. 4) Võib tekkida nn. läbilöök ja sellega kaasnev voolu järsk tõus.

22. Nende alaldite ventiilideks on kenotronid ja nad on kõrge pingega ning väikese vooluga alaldid.

23. 1) 6,3-V küttepingega üliminiatuurne kõrgsagedusdiod nr.6. 2) 6,3-V küttepingega ja klaaskolviga kõrgsage-

duslik kaksikdiood nr.6. 3) 1-V küttepingega ja sõrmlambi ga-
bariidiga kenotron nr.11. 4) 5-V küttepingega ja klaaskolvi-
ga kenotron nr.4.

24. Esimene lamp on triood, teine kaksiktriood. On nä-
ha, milliste jalgade külge elektrodid on ühendatud. Samuti
on näha anoodpinge, anoodvoolu, küttepinge, küttevoolu ja võ-
re eelpinge suurused ning lambi tüüp.

25. 1) Anoodvool muutub nullist (esineb küllalt suure
negatiivse võrepinge juures) kuni suurima väärtuseni (küllas-
tusvooluni, mis kasutab ära kogu kateodi emissiooni). 2) Sul-
gepinge on nii suur negatiivne võrepinge, mille juures anood-
vool $I_a = 0$.

26. 1) Ei saa, sest trioodi takistus ei ole konstantne.
Anoodvool tuleb määrata graafiliselt tunnusjoonte abil. 2)
Võretunnusjooned nihkuvad vasakule. 3) Anoodtunnusjooned nih-
kuvad paremale.

27. 1) Tööpunkt asub kohas, kus anoodvool $I_a = 12$ mA.
2) Triood sulgub võrepinge $U_g = -8$ V juures. Kui $U_g = -5$ V,
on triood avatud ja tekki anoodvool I_a on määratav selle tri-
oodi tunnusjoonte abil. 3) Võimendustegur näitab, mitu korda
on võrepinge mõju anoodvoolule suurem kui anoodpinge mõju.

28. Võimendustegur $\mu = 20$, läbitavus $D = 0,05$.

29. 1) $S = 2$ mA/V, $R_1 = 8,3$ k Ω , $D = 0,06$, $\mu = 16,6$,
 $P_a = 1,2$ W. 2) $S = 2,25$ mA/V, $R_1 = 11,1$ k Ω , $D = 0,04$, $\mu =$
 $= 25$, $P_a = 1,1$ W.

30. 1) Anoodvooluallika emj. E_a ja koormustakisti ta-
kistuse R_a väärtustest lähtudes konstrueeritakse trioodi tun-
nusväljale koormussirge (jeonis 17) ning vastavalt võrepinge-
le U_g leitakse tööpunkt A. Anoodvoolu näitab lõigu AC pro-
jektsioon ordinaatteljele, anoodpinget lõigu BA projektsioon
abstsissteljele, koormustakisti klemmpinget lõigu AC projekt-
sioon abstsissteljele. 2) Selline graafiline lahendus on ka-
sutatav voolu ja pingete määramiseks vooluahelas, kuhu on
järjestikku lülitatud mittelineaarne ehk muutuv takistus (lam-
bi takistus) ja lineaarne ehk konstantne takistus R_a . Voolu-
ahelas kujunev ühine vool peab korruga rahuldama mõlema takis-
ti pinge-voolu tunnusjooni, mistõttu ühine tööpunkt peab
paiknema tunnusjoonte lõikepunktis.

31. 1) Trioodi metallelektroodid toimivad kondensaatori plaatidena. 2) Peale läbivmahtuvuse C_{ag} esineb veel sisendiga paralleelselt jääv võre ja katoodi vaheline mahtuvus C_{gk} , mis suurendab sisendpingeallika voolu ja pingelangu, järelikult vähendab sisendpinget, ja koormustakistiga paralleelselt jääv anoodi ning katoodi vaheline mahtuvus C_{ak} , mis vähendab koormustakistust ja selle pingelangu, järelikult vähendab väljundtakistust. Mahtuvust C_{gk} nimetatakse sisendmahtuvuseks, mahtuvust C_{ak} - väljundmahtuvuseks. Mõlemad nimetatud mahtuvused vähendavad trioodi võimendustegurit. 3) Mahtuvustakistus on kõrgetel sagedustel väike, sest ta on sagedusega pöördvõrdeline.

32. 1) 6,3-V küttepingega ja sõrmlambi gabariidiga triood nr.4. 2) 6,3-V küttepingega ja klaaskolviga kaksiktrioid nr.8.

33. 1) Kahe elektroodi vahelist mahtuvust saab vähendada, kui nende vahele paigutatakse elektrostaatiline (maandatud) varje. 2) Sel juhul väheneb selle mahtuvuse kaudu anoodahelast võreahelasse tagasiantav energia. 3) Massiivne varje likvideeriks läbivmahtuvuse täielikult, kuid ei laseks ka elektrone läbi.

34. 1) Muidu ta ei töötaks elektrostaatilise varjena. 2) Otsesel ühendamisel saaks varivõre katoodi potentsiaali ja hakkaks anoodile liikuvaid elektrone pidurdama. Kondensaator laseb varivõrevoolu vahelduvkomponendi läbi ja hoiab varivõrel konstantse alalispinge.

35. 1) Sel juhul saab, kui võrele anda anoodpingest suurem positiivne pinge. 2) Võimenduslambis on dünatronefekt mittesoovitatav, sest ta piirab tunnusjoone tööpiirkonda ja põhjustab võimendatava signaali tugevaid moonutusi.

36. Varivõre varjestab anoodi mitte ainult tüürvõrest, vaid ka katoodist.

37. 1) Elektronide voog jaguneb selles lambis kitsasteks jugadeks. 2) Väike dünatronefekt võib tekkida suurte negatiivsete tüürvõrepingete puhul, sest siis on anoodvool väike, seetõttu ka elektronide tihedus jugades väike. 3) Skeemil on näha elektroodide ühendamine lambi jalgadega, anoodpinge,

anoodvool, varivõrepinge, varivõrevool, küttepinge, küttevool, tüürvõre negatiivne eelpinge ja lambi tüüp.

38. 1) Sulgvõrel on anoodi suhtes negatiivne potentsiaal. 2) Sulgvõre kõrvaldab dünatronefekti ja vähendab läbivõimust (ekraneerib ehk varjestab anoodi täiendavalt tüürvõrest), seetõttu suurendab võimendustegurit.

39. Vt. p.34 küsimus 2.

40. Tõus S ja sisetakistus R_1 määratakse graafiliselt tunnusjoonte abil (vt. p.30).

41. 1, a) 6,3-V küttepिंगega ja sõrmlambi gabariidiga lühikese tunnusjoonega kõrgsageduspentood nr.5. 1, b) 6,3-V küttepिंगega ja metallkestaga ning muutuva tõusuga kõrgsageduspentood nr.7. 2) Skeemil on näha madalsageduspentoodi 6/9 elektroodide ühendamine lambi jalgadega, anoodpinge ja -voolu, varivõrepinge ja -voolu, küttepिंगe ja -voolu, tüürvõre negatiivse eelpinge suurused. 3) Eristada saab sokliülilülituste kaasabil.

42. 1) Mõeldav see on, kuid siis on pingeallikad tugevalt teineteisega sidestatud. 2) Kreeka- või ladinakeelse numbriga ja sõna "elektrood" liitmisel: di [s + elektr]ood, tri [+ elektr]ood, tet [tara + elekt]rood, pent [e + elektr]ood, heks [+ elektr]ood, hept [a + elektr]ood, okt [o + elektr]ood.

43. a) Kaksikdiod-triood. b) Kaksikdiod-pentood. c) Triood-pentood.

44. 1) Kujutab küll. Selle nn. katoodvoolu suurus on mõni μA . 2) Elektronikiir on praktiliselt inertsivaba. Ta liikumiskiirus võib ulatuda 200000 km/s.

45. 1) Mõlematel tekib kuumutatud katoodilt emiteerunud elektronide liikumine anoodi suunas, kusjuures tekkinud voolu saab reguleerida võrepingega. Elektronikiiretorus aga ei liigu elektronid anoodile, vaid läbivad peene joana silindrilised anoodid ning põrkuvad vastu ekraani. 2) Fokuseerimisega saadakse ekraanil terav täpp. 3) Elektroodidevaheline ebaühtlase tihedusega elektrivälja moodustab nn. elektronoptilise süsteemi, millel on elektronidele koondav toime. 4) Täpi heledust reguleeritakse tüürvõre negatiivse pिंगega (sellega võib täpi ka "kustutada"). Anoodpingega reguleerimine muudaks

elektronide kiirust ja seetõttu tüürimise tundlikkust ning võiks saada ohtlikuks ekraanile.

46. Magnetvoos liikuvatele elektronidele mõjub elektromagnetiline jõud (vt. p.I-15). Piki mähise telgjoont liikuvaid elektrone mingi jõud ei mõjuta, sest nad liiguvad magnetvälja suunas. Kõrvalekaldunud elektronid aga hakkavad liikuma mööda kruvijoont, kuni jõuavad mähise telgjoonele.

47. Kuna elektronidel on negatiivne laeng, siis kalduvad nad selle plaadi poole, mis antud hetkel on positiivne.

48. 1) Kuna elektronikiir kujutab endast voolu, siis mõjutab magnetväli teda elektromagnetilise jõuga, mille suund on määratav vasaku käe reeglga (silmas tuleb pidada, et voolu leppeline suund on elektronide liikumise vastassuund). 2) Mähiste induktiivsus avaldab vahelduvvoolule takistust, mis on võrdeline sageduse suurusega.

49. Ei saa. Elektronide viibimise aeg hälvitussüsteemis küll pikeneb, kuid ühtlasi väheneb täpi heledus ekraanil.

50. Ostsillograafitorudel on helendus enamasti roheline, kineskoopidel aga valge.

51. Suureks eeliseks on elektronikiire väike inerts.

52. 1) See hälvitussüsteem võimaldab jälgida suurema sagedusega vahelduvpingesid. Magnetilise hälvitusega ostsillograafitorusid kasutatakse radarites. 2) Pinget antakse ühisest pingeallikast läbi takistitest moodustatud pingejaguri (joonis 32).

53. 1) 8-cm ekraaniläbimõõduga ning elektrostaatilisest hälvitusega ostsillograafitoru nr.29. 2) 13-cm ekraaniläbimõõduga ning magnetilise hälvitusega ostsillograafitoru nr. 31. 3) 43-cm ekraanidiagonaaliga kineskoop nr.2 (ekraani helenduse värvus - valge).

II. IOONSEADISED

Füüsikalised nähtused ioonseadistes

1. Ioonseadiste ehitus sarnaneb põhimõtteliselt elektronseadiste ehitusega. Peamiseks erinevuseks on see, et ioon-

seadiste kolb täidetakse madalarõhulise (kuni mõni kümnendik mm Hg), s.t. hõrendatud inertgaasiga (neoon, argoon, heelium, kseoon või krüptoon) või elavhõbeda auruga.

Miks ionseadistes kasutatakse inertgaasi?

2. Kvantteooria järgi võivad elektronid aatomis paikneda kindlatel energeetilistel tasemetel (orbiitidel, kihtidel). Elektronid püüavad paikneda sisemistel kihtidel, sest seal on nende energia minimaalne (aatomituumaga on nad seal aga tugevamini seotud). Kui elektron saab väljastpoolt energiat juurde (näiteks mingist kiirgusallikast), võib ta üle minna kõrgemale energeetilisele tasemele. Selline aatom neelab kindla koguse energiat (energiakvandi) ja muutub ergastatud aatomiks.

Ergastatud aatom pole püsiv - oma kohalt lahkunud elektron kas läheb tagasi endisele energeetilisele tasemele (siis kiirgab aatom välja energiakvandi, näiteks valguskvandi ehk footoni) või lahkub aatomist, mille tulemusena neutraalne aatom muutub positiivseks iooniks. Ioonide tekkimist gaasis nimetatakse gaasi ioniseerimiseks.

Ionseadised töötavadki ioniseeritud gaasiga. Nendes on põhilisteks laengukandjateks järelikult ja

3. Gaasimolekulide ioniseerimiseks vajalikku lisaenergiat võidakse saada kahest energiaallikast: 1) mingist kiirgusallikast, näiteks välis-ionisaatorist ehk loomulikust ionisaatorist (maakoore radioaktiivne kiirgus, kosmiline kiirgus, päikese ultravioletne kiirgus); 2) neutraalsete aatomite või molekulide omavahelise põrkumise tulemusena (näiteks kõrge temperatuuri mõjul) või elektrivälja toimel oma vaba teekonna ulatuses kiirenenud elektroni põrkumisel gaasi aatomi või molekuliga. Põrkumise tulemusena tekkinud ionisatsioon nimetatakse põrkeionisatsiooniks. Põrkumisel tekkinud uued elektronid võivad samuti kiirenedes ioniseerimisvõimelisteks, seetõttu areneb põrkeionisatsioon järsult, laviinikujuliselt. Põrkeionisatsiooni algust nimetatakse lahenduse süttimiseks. Selline nimetus on tingitud asjaolust, et paralleelselt ioniseerimisega toimub ka gaasimolekulide ergastamine, mille tu-

lemusena lahendusega kaasneb valguse eraldumine.

Ergastamise ja ioniseerimisega üheaegselt toimub ka ioonide rekombineerumine ehk deionisatsioon, s.o. vabade elektronide ning ioonide taasühinemine neutraalseteks molekulideks. Kui välistingimused ei muutu, on ionisatsiooni ja deionisatsiooni intensiivsus püsiv ning gaasi mahuühikus püsib konstantne arv ioone ning vabu elektrone.

- 1) Mis on elektroni vaba teekond?
- 2) Miks kasutatakse ioonseadistes madalarõhulist, s.t. hõrendatud gaasi?

4. Ioniseerimata gaas voolu ei juhi. Kuna aga välisioonisaatorite (loomulike ionisaatorite) toimel tekib igas gaasis väike arv vabu elektrone ning positiivseid ioone, siis võivad need elektronid ja ioonid välise elektrivälja toimel läbi gaasi liikuda ning ühtlasi gaasimolekule ioniseerida. Voolu läbi gaasi koos gaasi ioniseerimisega nimetatakse gaaslahenduseks. Positiivsed ioonid jäävad oma suurema massi tõttu lahendusruumi kauemaks ajaks kui elektronid ja neutraliseerivad elektronide negatiivse ruumlaengu. Seetõttu liiguvad elektronid lahenduse ajal gaasioonide positiivses sarnas nii, nagu poolvabad elektronid metallis. Sellist ioniseeritud gaasi nimetatakse plasmaks; oma olemuselt on plasma elektrijuht.

Kui gaaslahendus tekib ainult elektrivälja jõudude toimel ilma mingite täiendavate tegurite mõjuta, nimetatakse teda sõltumatuks lahenduseks. Kui peale elektrivälja jõudude on lahenduse alleshoidmiseks vaja veel täiendavaid tegureid (näiteks termoemissiooni), siis nimetatakse lahendust sõltuvaks lahenduseks.

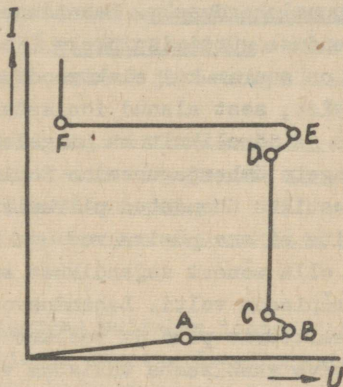
Hõrendatud gaasis võib tekkida kolm põhilist lahenduse liiki: vaikne lahendus, huumlahendus ja kaarlahendus. Need lahendused erinevad omavahel ionisatsiooni intensiivsuse (järelkult ka gaasi läbiva voolu tugevuse) poolest: vaikselt lahendusel on see väikseim, kaarlahendusel suurim.

- 1) Ioniseeritud gaasisammast nimetatakse
Tema juhtivus on lähedane juhtivusele.

2) Kas ioniseeritud gaasisamba takistus on konstantne suurus?

3) Ioonseadistega lülitatakse alati järjestikku voolu piirav takisti (ballasttakisti). Miks?

5. Kui hõrendatud gaasiga täidetud klaastorus sujuvalt suurendada elektrodidevahelist pinget ja mõõta läbi gaasi tekkiv vool, siis saadakse gaaslahenduse pinge-voolu tunnusjoon (joonis 35). Pinge esialgsel suurendamisel liiguvad lä-



Joonis 35

bi gaasi peamiselt välisionisaatorite (loomulike ionisaatorite) toimel tekkinud elektronid. Positiivsed ioonid liiguvad oma suure massi tõttu esialgu väga aeglaselt. Pinge suurenemisel tekib elektronide liikumisest küllastusvool (vt. lõik AB), mis on aga väike ($10^{-12} \dots 10^{-6}$ A). Mingit tõukeionisatsiooni ega gaasimolekulide ergastamist (järelkult ka valgusnähtust) ei teki. Sellist lahendust nimetatakse vaikseks lahenduseks.

1) Järelkult esialgsel gaaslahendust, mis tekib hõrendatud gaasis madalatel pingetel nimetatakse
..... Selle lahenduse praktiline tähtsus on
.....

2) Miks positiivsed ioonid on vähem liikuvad kui vabad elektronid?

6. Kui hõrendatud gaasis asuvate elektrootide vahel pinget veelgi suurendada, siis kiirenevad ka positiivsed ioonid niivõrd, et nad põrkumisel katoodiga löövad oma kiiretilise energia arvel sealt välja uusi elektrone (katood hakkab emiteerima). Ka osa vabu elektrone saavutavad elektrivälja toimet nii suure hoo, et põrkumisel gaasi aatomite või molekulidega kas ergastavad või ioniseerivad neid. Tekib pörkeionisatsioon, millega kaasneb ergastatud aatomitest tingitud valgusnähtus (gaasi helendumine). Sellist gaaslahendust nimetatakse huumlahenduseks. Lahenduse alguspinget nimetatakse huumlahenduse süttimisingeks (joonisel 35 punkt B). Süttimisinge on suurem kui elektrootidevaheline pingelang pärast süttimist, sest alanud ionisatsiooni tõttu väheneb gaasi takistus ja järelikult ka pingelang. Lahenduse süttimisel toimub pingete ümberjagunemine ioniseeritud gaasisamba ja temaga järjestikku ühendatud piiramistakisti vahel. Ilma piiramistakistita ei saa püsiva vooluga lahendust. Huumlahenduse vool võib olla mõnest sajandikust amprist kuni ampriini, pingelang on mõnisada volti. Lahendusvoolu suurenemisel suureneb katoodi emiteeriv pind ja voolust läbitava gaasisamba ristlõige. Juhtiva gaasisamba takistus voolu suurenemisel seetõttu väheneb ja elektrootidevaheline pingelang huumlahenduse piirkonnas peaaegu ei sõltu voolust (vt. lõik CD). See huumlahenduse omadus on kasutatav pinge stabiliseerimiseks.

- 1) Millise värvusega on huumlahendusel gaasi helendus?
- 2) Kus kasutatakse huumlahendust?
- 3) Kas ka normaalrõhuga gaasis saab tekkida huumlahendust?

7. Huumlahendusvoolu suurendamisel maksimaalse huumlahendusvooluni (joonisel 35 punkt D), kasutatakse kõik katoodilt väljunud elektronid gaasi ionisatsiooniks ja kogu katoodi pind emiteerib. Voolu edaspidisel suurenemisel suureneb katoodi voolutihedus, lahendussamba ristlõige enam ei suurene ja elektrootidevaheline pinge hakkab tõusma. Seda lahenduse piirkonda nimetatakse anomaalseks huumlahenduseks (joonisel 35 lõik DE). Teataval pingel (vt. punkt E) toimub kaarlahen-

duse süttimine. Kaarlahenduse puhul läheneb positiivsetest ioonidest tingitud ruumlaeng katoodile sedavõrd, et katoodi pinnal tekib väga tugev elektriväli (kuni 10^6 V/cm). Lisaks positiivsete ioonide pommitamise tõttu eraldunud elektronidele hakkab katood nüüd elektrone eraldama ka elektrostaatilise emissiooni toimetel. Intensiivne emissioon toimub harilikult katoodi ühes punktis, nn. katoodtäpis, kus voolutihedus saavutab väga suure väärtuse (kuni 10^4 A/mm²). Selline täpp on iseloomulik näiteks elavhõbedast katoodile. Kaarlahenduse puhul väheneb lahendussamba (plasma) takistus järsult. See tõttu väheneb järsult ka elektroodidevaheline pingelang kuni mõnekümne voldini (lõik EF). Lahenduse vool võib ulatuda mõnekümne või mõnesaja amprini ja sellega kaasneb intensiivne valguskiirgus.

1) Püsiva kaarlahenduse saamiseks on vaja järjestikust piiramistakistit või järsult langeva väliskarakteristikuga vooluallikat. Miks?

2) Kas kaarlahendus saab tekkida ka atmosfäärirõhul?

8. Sõltuv lahendus hoitakse ioonseadistes alles katoodi termoemissiooni toimetel. Pärast põrkeionisatsiooni algust (s.o. lahenduse süttimist) kujuneb ka see lahendus kaarlahenduseks. Et nüüd hoiab tekkinud kaarlahendust alles katoodi termoemissioon, ei ole ta sõltumatu lahendus. Sõltuva lahendusega ioonseadistele on iseloomulik köetava katoodi olemasolu. Selle poolest nad sarnanevad elektronlampidega, kuid on viimastega võrreldes palju suurema voolujuhtimisvõimega, sest suhteliselt aeglaselt liikuvad positiivsed ioonid neutraliseerivad nendes vabade elektronide negatiivse ruumlaengu.

1) Mis on sõltuva ja sõltumatu lahendusega ioonseadiste iseloomulikuks erinevuseks?

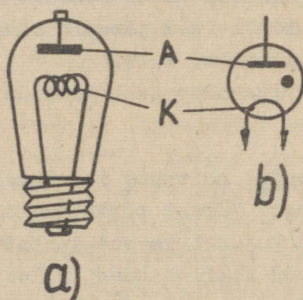
2) Kas ioonseadise voolu saab määrata Ohmi seaduse abil?

Sõltuva lahendusega ioonseadised

9. Sõltuva lahendusega ioonseadistel on köetav katood. Nende klaaskolb on täidetud elavhõbeda auru või inertgaasiga madalal rõhul ($10^{-3} \dots 10^{-2}$ mm Hg). Kui selles klaaskolvis peale köetava katoodi on veel ainult anood (valmistatakse niklist või grafiidist), nimetatakse ioonseadist gasotroniks. Kui anoodi ja katoodi vahele on paigutatud veel võre (mõnikord ka kaks võret), nimetatakse seadist türatroniks.

Seega gasotron on elektroodiga, türatron aga elektroodiga ioonseadis, mistõttu gasotron sarnaneb, türatron aga

10. Kui gasotroni (väliskuju ja tingmärk joonisel 36)



Joonis 36

anood A on positiivne, siis ta tõmbab hõõguvalt katoodilt K emiteerunud ja katoodi ümber negatiivse ruumlaengu moodustanud elektrone enda külge. Küllalt suure positiivse anoodpinge puhul saavad elektronid nii suure hoo, et tekib gasotronis oleva gaasi põrkeionisatsioon ja lahenduse süttimine koos gaasi nõrga helendumisega. Tekkinud positiivsed ioonid hakkavad liikuma negatiivse katoodi suunas ja neutraliseerivad osaliselt katoodi ümber oleva negatiivse ruumlaengu. Seetõttu on süttinud gasotroni sisetakistus ja seetõttu ka pingelang väike ($10 \dots 30$ V) ning anoodvool on palju suurem diodi anoodvoolust, ulatudes tavaliselt mõne amprini. Anoodvoolu suuruse

määrab kindlaks gasotroni anoodahelasse ühendatud koormustakisti. Anoodpinge mõjutab anoodvoolu väga vähe.

Gasotronile maksimaalselt lubatav vool on määratud ruumlaengu kadumisega katoodi ümbrusest. Kui gasotroni vool veel edasi suureneb, algab katoodi intensiivne pommitamine positiivsete ioonide poolt, mis vähendab katoodi tööiga ja võib viia katoodi hävimiseni. Lubatud voolu piirides säilib gasotroni pingelang (ühtlasi anoodpinge) praktiliselt konstantsena.

- 1) Mille abil kuumutatakse gasotroni katoodi?
- 2) Milline gaaslahendus esineb gasotronis?
- 3) Miks gasotroni anoodvool oleneb anoodpingest väga vähe?

11. Kui gasotroni anoodile anda negatiivne pinge, siis ta voolu ei juhi, sest negatiivne anood tõukab hõõguvat katoodi ümbritseva ruumlaengu elektronid tagasi ja gaasi ionisatsiooni ei teki. Seetõttu on gasotronil elektrilise ventii-li omadus (teda nimetatakseioonventiilik) ning ta on kasutatav vahelduvvoolu alaldamiseks nn. gasotronalaldites.

Kui gasotroni anoodi negatiivne pinge ületab lubatava vastupinge väärtuse, võib temas tekkida vastassuunaline vool ehk nn. vastusüttimine. Selle pinge juures hakkavad gaasi positiivsed ioonid anoodi nii tugevasti pommitama, et see hakkab elektrone emiteerima ning tekibki pörkeionisatsioon, s.o. lahenduse süttimine.

- 1) Miks on gasotronis negatiivse anoodpinge puhul positiivseid ioone?
- 2) Millest sõltub gasotronile lubatava vastupinge suurus?

12. Gasotronide puuduseks on nende inerta (sest ionisatsioon ja deionisatsioon vajavad teatavat aega), gaastäidisega gasotroni suhteliselt lühike tööiga ja rida tülikaid eksploatatsiooninõudeid: a) gasotroni katoodi tuleb enne anoodpinge sisselülitamist kindel aeg ette kütta; b) küttevoolu katkemisel peab katkestama ka anoodvoolu; c) väliskeskkonna temperatuur peab olema ettenähtud piirides (elavhõbetäidisega gasotroni tööpiirkond on 15 ... 35°C); d) küttevool peab olema ran-

gelt ettenähtud väärtusega (eriti ohtlik on täiskoormusel töötava gasotroni alakütmine); e) elavhõbetäidisega gasotronid peavad töötama vertikaalasendis (et anoodile ei sadestuks elavhõbe). Nende nõuete mittetäitmine põhjustab katoodi purunemise või tagasisüttimise.

Ülalmainitud asjaolude tõttu gasotrone tänapäeval enam ei kasutata. Nad on eksploatatsioonist välja tõrjutud pooljuhtventiilide ja türatronide poolt.

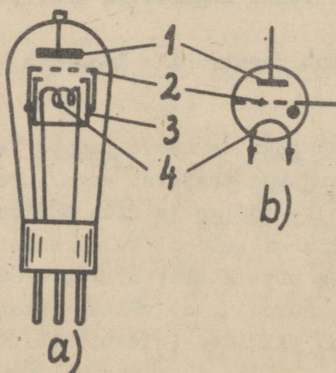
- 1) Võrrelda gasotroni kenotroniga.
- 2) Elavhõbetäidisega gasotroni tööiga on pikem kui gaastäidisega gasotronil. Miks?

13. Gasotroni tüübi tähises tähendab esimene täht Γ gasotroni nime, teine täht märgib täidist: P - elavhõbeda aur, Γ - gaas. Tähtedele järgneb tüübi number ning murd, mille lugeja näitab maksimaalselt lubatavat anoodvoolu amprites, nime-taja aga lubatavat vastupinget kilovoltides.

Madalpingelisi gasotrone valmistatakse sageli kahe anoodiga (s.t. kaksikgasotronina).

- 1) Mida tähendavad järgmised tähised: a) $\Gamma\Gamma 1-0,5/5$;
b) $\Gamma P 1-0,25/1,5$?
- 2) Võrrelda omavahel elavhõbetäidisega ja gaastäidisega gasotronide omadusi.
- 3) Milline tähtsus on gasotronidel tänapäeval?

14. Türatron (väliskuju ja tingmärk joonisel 37) erineb

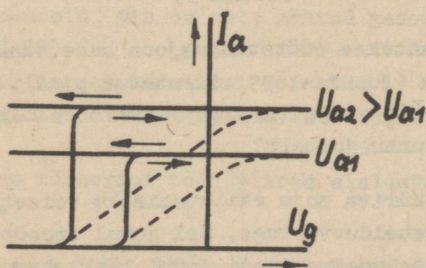


Joonis 37

gasotronist kateodi 4 ja anoodi 1 vahele paigutatud võre 2 poolest. Et elektronid ei pääseks võrest mööda, on kateod ümbritsetud silindrikujulise varjega ehk termoeakraaniga 3, mille ülemine, anoodipoolne ava kaetakse ühe- või mitmeaugulise metallkettaga, mis ongi võreks. Kui türatroni võrel on nullpotentsiaal (kateodi potentsiaal) või positiivne potentsiaal, töötab türatron harilikkuioonventiilina, s.t. nii nagu gasotron. Küllalt suure negatiivse võrepinge puhul osutub türatron suletuks, s.t. ta ei juhi voolu. Seega võre olemasolu muudab türatroni teataval määral tüüritavaksioonventiiliks.

Järelikult türatron sarnaneb ja erineb sellest olemasolu poolest. Võre tõttu on türatronioonventiil.

15. Türatroni minimaalset negatiivset võrepinget, mille juures temas tekib sõltuv kaarlahendus, nii et ta järsku juhtima hakkab (süttib), nimetatakse süttimispingeks. Süttimisel saavutab türatroni anoodvool järsult väärtuse, mille määrab anoodpinge U_a ja anoodahela välistakistus (koormustakistus). Anoodvoolu sõltuvust võrepingest (konstantse anoodpinge juures) näitab türatroni anoodvoolu-võrepinge tunnusjoon (jeoniisel 38 on U_{a1} , U_{a2} erinevad anoodpinged, U_{s1} , U_{s2} - erinevad süttimispinged; punktiirjoonega on kujutatud trioodi tunnusjoon).



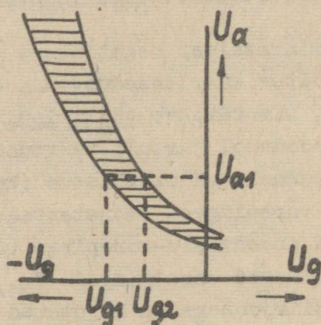
Joonis 38

Pärast türatroni süttimist võrepinge anoodvoolu enam ei mõjuta, sest gaasi ioniseerimisel tekkinud plasma positiivsed ioonid ümbritsevad võre ja kõrvaldavad täielikult selle nega-

tiivse potentsiaali toime. Anoodvoolu katkestamiseks tuleb muuta anoodpinge nulliks (või negatiivseks) või katkestada anoodvool. Kustunud türatronis positiivsed ioonid kiiresti rekombineeruvad ja võre negatiivne toime pääseb uuesti mõjule.

- 1) Võrrelda trioodi ja türatroni võre toimet omavahel.
- 2) Kas türatronil tekib võrevool? Kui suur oli trioodi võrevool?

16. Türatroni süttimist võib põhjustada positiivse anoodpinge tõus või negatiivse võrepinge vähenemine. Nende omavahealise sõltuvuse määrab süütetunnusjoon ehk käivituskarakteristik (joonis 39). Kuna süütepinge oleneb temperatuurist ja võib

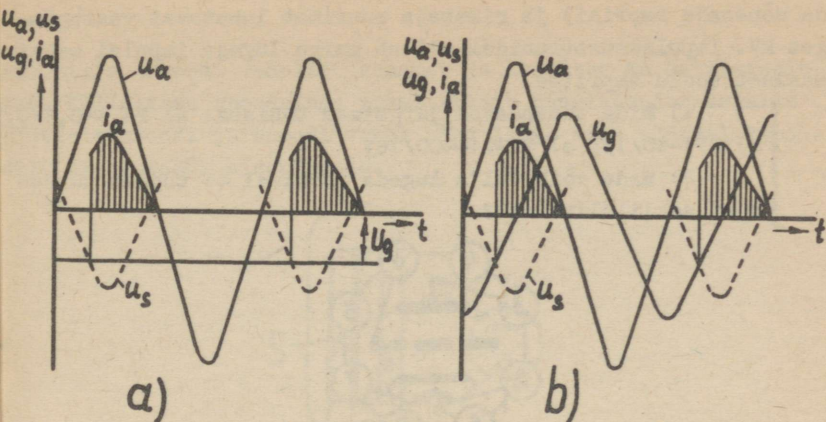


Joonis 39

veidi kõikuda, antakse süütetunnusjoon kahe tunnusjoone vahelise piirkonnana (joonisel 39 viirutatud pind).

Mida võib välja lugeda joonisel 39 kujutatud türatroni süütetunnusjoonelt?

17. Võre tüüriva mõju säilitamiseks toidetakse türatroni anoodahelat vahelduvvooluga. Sel juhul anoodpinge U_a (joonis 40) positiivse poolperioodi lõpul kaarlahendus kustub. Järgmise positiivse poolperioodi algul süttib türatron uuesti, kusjuures süttimishetke (ja järelkult anoodvoolu i_a kestust) saab muuta kas võre negatiivse alalispinge U_g suurusega (joonis 40,a) või võre ja katoodi vahele lülitatud vahelduvpinge u_g faasi muutmisega anoodpinge u_a suhtes (joonis 40,b).



Joonis 40

Türatroni süttimine toimub hetkel, kui negatiivne võrepinge on süttimispingest u_g arvuliselt väiksem, kuid potentsiaalselt kõrgem.

Ülaltoodust järeldub, et vahelduvvooluga toidetav türatroni süttimishetke saab võre abil tüürida. Selle tulemusena saab tüürida (s.t. vajaduse kohaselt muuta) ka alaldatud voolu ja koormustakistil tekkiva alalispinge keskväärtust. Seejärest nimetatakse türatronalaldit reguleeritavaks alaldiks. Peale selle kasutatakse türatroni hammaspingegeneraatorites, mõnedes releedes jne. Türatronide kasutamisel tuleb täita põhiliselt samu nõudeid, mis on ette nähtud gasatronide kasutamisel (vt. p.II-12).

1) Milline on türatroni võre tüüriv toime, kui ta anoodahelat toidetakse: a) alalisvooluga; b) vahelduvvooluga?

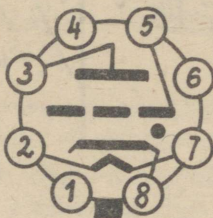
2) Kas türatroni tööd piirab alaldatava vahelduvvoolu sagedus?

18. Türatroni tüübi tähises on esimeseks täheks T (tähistab türatroni nimetust), teine täht märgib täidist: P - elavhõbeda aur, Γ - gaas. Impulsstüratronil on veel kolmas täht N. Tähtedele järgneb tüübi number ja murd, mille lugeja näitab lubatava anoodvoolu keskväärtust amprites (võib ulatu-

da mõnesaja amprini) ja nimetaja suurimat lubatavat vastupin-
get kV. Impulstüratronidel näitab murru lugeja impulsi maksi-
maalset voolu amprites.

1) Mida tähendavad järgmised tähised: a) ТГ4-0,1/0,3;
b) TP1-40/15; c) ТГН1-400/16?

2) Mida võib välja lugeda joonisel 41 toodud türat-
roni soklilülitusest?



ТГ4-0,1/0,3

Joonis 41

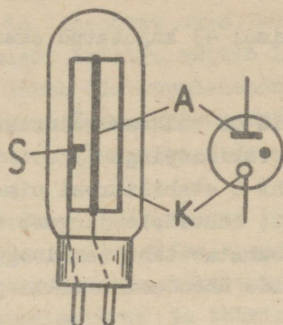
Sõltumatu huumlahendusega ioonseadised

19. Sõltumatu huumlahendusega ioonseadistel on külm, s.t. mittekõetav katood. Lahenduseks vajalikud elektronid vabasta-
takse külmast katoodist positiivsete ionide pommitamise tu-
lemusena. Sõltumatut huumlahendust kasutavateks ioonseadis-
teks on huumlahendusstabilitronid ja külmkatoodtüratronid.

Kui sõltuva lahendusega ioonseadistel on
katood, siis sõltumatu huumlahendusega ioonseadistel on
..... katood.

20. Huumlahendusstabilitroni (väliskuju ja tingmärk joo-
nisel 42) klaaskolb on täidetud madalarõhulise (10 mm Hg) ne-
ooni ja argooni seguga. Anoodiks A on 1 ... 1,5 mm läbimõõdu-
ga molübdeenvarras, mida ümbritseb niklist või terasest silind-
rikujuline katood K. Katoodi sisepind on aktiveeritud baariumi
või mõne teise ainega, mille väljumistöö on väike. Katoodi si-
seküljele on keevitatud väike süüteelektrood S, mis vähendab

anoodi ja katoodi vahelist kaugust ja seetõttu ka süttimispinget. Küllaldase anoodpinge puhul süttib huumlahendus esialgu süüteelektroodi ja anoodi vahel ning läheb siis süüteelektroodilt üle katoodi sisepinnale.

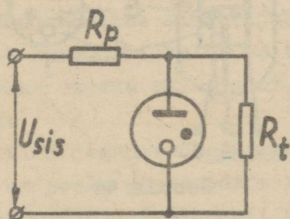


Joonis 42

1) Kui süüteelektroodi mitte arvestada, siis on stabilitronil elektroodi, kusjuures anood on ...
..... pindalaga kui katood (senivaadeldud seadistel oli olukord vastupidine).

2) Mida tähendab stabilitroni süttimine?

21. Stabilitroni töö põhineb nähtusel, et huumlahendusel pingelang peaaegu ei sõltu voolust (vt. joonisel 35 lõik CD). Tarbija R_t (joonis 43) pinge stabiliseerimiseks lülitatakse



Joonis 43

stabilitron sellega paralleelselt. Nende mõlemaga ühendatakse järjestikku piiramistakisti R_p (suurusega mõni $k\Omega$). Kui sisendpinge U_{sis} suureneb, siis suureneb stabilitroni vool ja

pingelang takistil R_p . Tarbija pinge jääb seetõttu peaaegu konstantseks (sisendpinge muutumine 10 ... 20 % ulatuses tekitab tarbija klemmidel pinget muutuse 1 % ulatuses).

1) Miks tarbija pinget stabilisatsiooni kasutamisel konstantseks jääb?

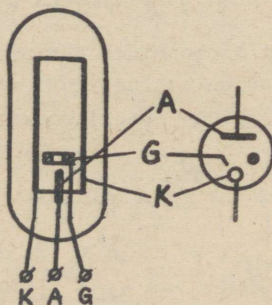
2) Kas joonis 43 kujutatud skeem saaks töötada ilma takistita R_p ?

22. Stabilisatsioon on väikese võimsusega: nende vool on 10 ... 40 mA, stabilisatsioonipinge 75 ... 150 V. Tüübi tähtsena märgib esimene täht C stabilisatsiooni nimetust, teine täht Γ tähendab gaaslahendust. Tähtedele järgneb tüübi number ja konstruktsiooni iseloomustav täht (analoogiliselt elektronlampidele). Elektroodide ühendamine sokli jalgadega selgub sokliühendusest.

1) Mida tähendavad tähised: a) C Γ 2 Π ; b) C Γ 8C?

2) Kus kasutatakse stabilisatsiooni?

23. Külmkatoode tüüpatroni klaaskest on täidetud madalarõhulise (20 ... 30 mm Hg) neoni ja argooni seguga. Silindrikujulise niklist katoodi K (joonis 44) sisepind aktiveeritakse



Joonis 44

emissioonivõime tõstmiseks tseesiumiga. Silindri sees on lühike vardakujuline molübdeenist anood A ja niklist kettakujuline võre G, mille keskel on ava.

Külmkatoode tüüpatrone valmistatakse ka kahe võrega, s.o. nelja elektroodiga.

Seega külmkatoodtüratronil on kokku või
elektroodi, kusjuures katood on pindalaga
kui anood.

24. Külmkatoodtüratroni anoodi ja katoodi vahele raken-
datud pinge ei tekita lahendust enne, kui võrele antakse posi-
tiivne käivitusimpulss. Esialgu süttib lahendus võre ja katoo-
di vahel, mis kohe läheb üle huumlahenduseks anoodi ja katoodi
vahel. Anoodahelas peab olema koormustakisti. Lahenduse kat-
kestamiseks tuleb anoodpinge vähendada nullini (või välja lü-
litada).

Külmkatoodtüratroni eeliseks on kütte puudumisest tingi-
tud ökonoomsus. Puuduseks on väike anoodvool (kuni 10 mA). Te-
da kasutatakse automaatikas kontaktivaba releena, kús ta eeli-
seks on suur rakendumiskiirus ja töökindlus, sest tal pole lii-
kuvaid osi.

- 1) Mis tähtsus on külmkatoodtüratroni võrel?
- 2) Kas peale stabilitrone ja külmkatoodtüratroni on
kasutusel veel teisi sõltumatu huumlahendusega seadiseid?

Sõltumatu kaarlahendusegaioonseadised

25. Sõltumatu kaarlahendusegaioonseadistel on külm
(mitteköetav) elavhõbedast katood. Kaarlahendus tekib hõren-
datud (rõhk mõni tuhandik mm Hg) elavhõbedaaaurus. Sellisteks
ioonseadisteks on ühesuunalise elektrijuhtivusega elavhõbeven-
tiilid. Elavhõbedast katood ei kulu (ta tööiga ulatub 40000
tunnini) ja tagab väga tugeva emissiooni, mistõttu ventiilid
on suure võimsusega.

Elavhõbeventiilid jagunevad eksitronideks ja ignitroni-
deks. Eksitronidel on peale peaanoodide veel abiaanoodid (er-
gutusanoodid, valveanoodid), ignitronil need puuduvad. See-
tõttu eksitron ei kustu pärast koormusvoolu väljalülitamist,
ignitron aga kustub.

Eksitron hakkab eksploatatsioonist kaduma.

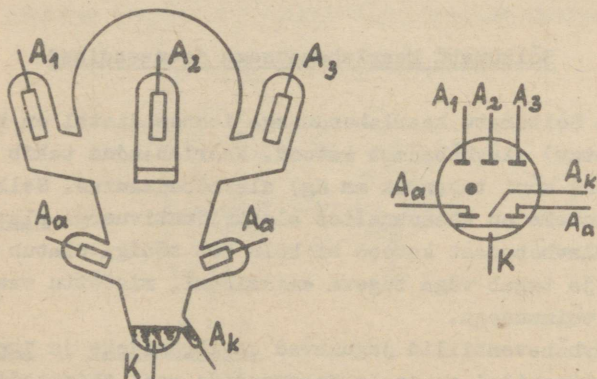
- 1) Eksitronil on kahte liiki anode:
ja Ignitronil on ainult üks

- 2) Miks on elavhõbekatood pika tööeaga?
 3) Ka gasotroni puhul tekib lahendus elavhõbeda aur-
 rus. Mille poolest gasotron siiski erineb elavhõbeventiil-
 list?

26. Eksitronid jagunevad klaas- ja metallkestaga, ühe-
 ja mitmefaasilisteks (-anoodiga) ja mittetüüritavateks ning
tüüritavateks eksitronideks. Kõiki neid iseloomustab abianoo-
 dide olemasolu. Olenemata peaanoodide arvust on eksitronil
 kaks abianoodi. Kuna süttinud eksitroni kaarlahendus säilib
 abianoodi ja katoodi vahel ka siis, kui lahendus peaanoo- i ja
 katoodi vahel kustub (kui koormus välja lülitatakse), siis ei
 vaja eksitron korduvat süütamist ja ta koormusvool võib mee-
 valdselt muutuda. Väikesed eksitronid võivad olla ka ilma abi-
 anoodideta.

Kuidas mõjutab ilma abianoodita eksitroni tööd koor-
 musvoolu väljalülitamine?

27. Tüüpiline kolmefaasiline (kolme anoodiga) klaaskes-
 taga eksitron koos tingmargiga on kujutatud joonisel 45. Ka-



Joonis 45.

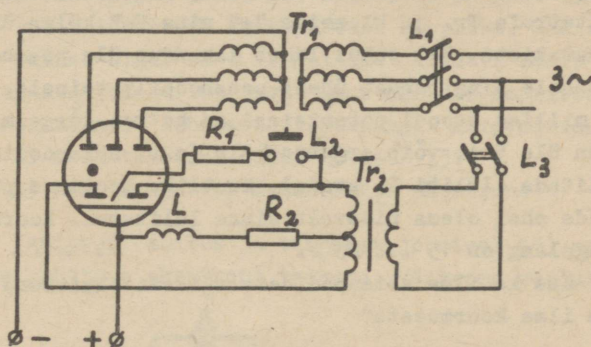
toodiks K on klaaskesta põhjas olev elavhõbe. Põhjas olevas
 eraldi torus ("sarves") on elavhõbe, mis moodustab süüte-
ehk käivitusanoodi A_k . Klaaskestast väljaulatuvates külgtorudes
 ("sarvedes") paiknevad terasest või grafiidist anoodid: mada-

lamal on kaks abianoodi A_a , kõrgemal aga peaanoodid A_1 , A_2 ja A_3 . Sellise anoodide paigutuse korral väheneb vastusüttimise oht.

Klaaskestaga eksitroni valmistatakse vooludele kuni mõnisada amprit ja pingetele kuni 600 V või enam. Nende puuduseks on klaaskesta haprus ja halvemad jahutamisvõimalused.

- 1) Millises asendis peab eksitron paiknema?
- 2) Mis on vastusüttimine?
- 3) Miks on eksitroni vastusüttimine ohtlik?
- 4) Miks vastusüttimise võimalus on suur just eksitronis?
- 5) Kuidas saab vähendada eksitroni vastusüttimise ohtu?

28. Joonisel 46 on kujutatud eksitroniga kolmefaasilise alaldi skeem. Eksitroni töölerakendamiseks lülitatakse lüli-



Joonis 46

tiga L_3 sisse ergutustrafo Tr_2 . Siis kallutatakse eksitroni kolbi nii, et katoodi ja käivitusanoodi elavhõbe kokku valguvad. Nupule L_2 vajutamise tekitab läbi elavhõbeda ja takisti R_1 tugev vool. Samal ajal kallutatakse eksitron tagasi vertikaalasendisse, mistõttu elavhõbe valgub tagasi ja ta lahutuskohale tekib säde, mis kohe areneb kaarlahenduseks abianoodide ning katoodi vahel. Kaarlahendusega kaasneb elavhõbeda pinnal helenduv ja suure voolutihedusega katoodtäpp (vt. p. II-7), mis emiteerib lahenduse säilitamiseks vajalikke elekt-

rons. Emissiooni põhjuseks on: 1) katoodi elavhõbeda pommitamine positiivsete ioonide poolt; 2) positiivsete ioonide poolt elavhõbeda pinnal tekitatud tugev elektrivälja mõju. Kõrge temperatuuriga katoodtäpist väljub elavhõbeda aur, mis liigutab täpi kohal olevaid positiivseid ioone, mistõttu katoodtäpp liigub korrapäratult mööda elavhõbeda pinda.

Et kaarlahendus abianoodide ja katoodi vahel vahelduvpinge nullväärtuse juures ei katkeks, on katoodi ahelasse lülitatud paispool L , mille endainduktsiooni elektromotoorjõud säilitab abianoodide ahelas anoodvoolu sel hetkel, mil toitepinge hetkväärtus on null. Seetõttu kaarlahendus ei kustu, vaid hüppab pidevalt ühelt abianoodilt teisele, kusjuures teine kaare ots on kogu aeg katoodi küljes. Vool abianoodide ahelas (ergutusahelas) on 3 ... 5 A (voolu suuruse määrab takisti R_2 suurus).

Kirjeldatud alaldi koormamiseks lülitatakse lülitiga L_1 sisse toitetrafo Tr_1 ja klemmide "+" ning "-" külge ühendatakse koormustakisti. Sel juhul läheb lahendus üle peaanoodide ja katoodi vahele ning rändab ühelt peaanoodilt teisele, vastavalt sellele, millise anoodi potentsiaal on hetkel kõrgeim. Kui koormusvool on üle 5 A, võib ergutusahela (s.t. abianoodide ahela) välja lülitada (lülitati L_3 avada). Muutliku koormuse puhul peab abianoodide ahel olema pidevalt sisse lülitatud. Koormatud ventiili pingelang on 15 ... 25 V.

Kas ka ilma abianoodideta väikesi eksitroni saab süüdata ilma koormuseta?

29. Võimsad eksitronid (vooludele kuni mitu tuhat amprit ja pingetele mitukümmend kilovolti) on metallkestaga. Metallkestal on vesijahutus. Vajalik vaakuum säilitatakse automaatselt töötava vaakumpumpade süsteemi abil. Elektroodide ja välisahela vahelised ühendused tehakse läbiviikisolaatorite abil. Metallkestaga eksitroni süütamine ei toimu kolvi kallutamise, mistõttu tema süüteanood ei ole elavhõbedast, vaid on vardakujuline ja paikneb katoodi elavhõbeda kohal. Süütamiseks lastakse kas süüteanood hetkeks alla elavhõbeda sisse või pritsitakse elavhõbedat alt üles vastu süüteanoodi. Katoodi ja süüteanoodi vahel tekib siis hetkeks elektriline ühendus, mil-

lest juhitakse läbi vool, nii et ühenduse katkemisel tekib kaarlahendust alustav säde.

Metallkestaga eksitroni tehakse kas ühe või mitme peaanoodiga. Ühe anoodiga eksitronid varustatakse ka võrega, mille abil saab mõjutada kaare süttimise hetke nagu türatronis. Selle tulemusena saadakse tüüritav elavhõbeventiil, mille tingmärk on kujutatud joonisel 47. Ühe anoodiga eksitroni lahen-dus peaanoodil kustub anoodpinge negatiivsel poolperioodil ja süttib uuesti positiivsel poolperioodil.



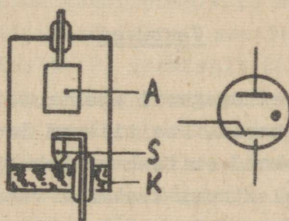
Joonis 47

Võrrelda omavahel mitme peaanoodiga ja ühe peaanoodiga eksitroni tööd.

30. Klaaskestaga eksitroni tüüpi tähises on täht B, metallkestaga eksitronil tähed PM. Tähtedele järgnev arv näitab alaldatud voolu lubatavat keskväertust amprites. Ühe anoodiga eksitroni tähise algul on 31. Sellele järgneva murru lugeja näitab alaldatud voolu lubatavat keskväertust amprites, nime-taja - maksimaalselt lubatavat vastupinget kilovoltides.

- 1) Mida tähendab tähis 31-40/1,5?
- 2) Kus tänapäeval kasutatakse eksitrone?

31. Ignitron (ehitus ja tingmärk joonisel 48) on ühe-anoodilise juhitava eksitroni teisend. Väiksema vooluga ig-



Joonis 48

nitronide ülemine osa on klaasist, suurema vooluga ignitronid on üleni veega jahutatavas metallkestas. Süüteanood ja abi-anoodid (sageli ka võre) ignitronil puuduvad. Nende asemel on tal pooljuhtmaterjalist süüteelektrood S, mille kooniline ots asub katoodi K elavhõbeda sees, kuid ei märgu sellest. Kui

süüteelektrood ühendatakse pingeallikaga, tekivad tema ja katoodi vahele mikroskoopilised sädemed, millest piisab kaarlahenduse süttimiseks. Süttinud kaarlahendus pikeneb ja nihkub piki süüteelektroodi varrast üles ning viskub anoodile A. Abi-anoodide puudumise tõttu ignitron negatiivse poolperioodi jooksul kustub, mistõttu vastusüttimise tõenäosus väheneb ja katoodi ning anoodi vahekaugus võib olla väiksem (seetõttu on ka üldine gabariit väiksem).

Süüteahelasse impulsi andmise aja reguleerimisega saab muuta süttimise algust nagu türatronil. Seetõttu saab ignitroni kasutada tüüritavates alaldites. Mõnikord kasutatakse selleks otstarbeks ka katoodi ja anoodi vahel eraldi võret, mille positiivse potentsiaali muutmiseega tüüritakse ignitroni anoodvoolu.

1) Võrrelda ignitroni türatroniga.

2) Miks süüteelektroodi sädemest tekkinud kaarleek süüteelektroodi varrast pidi üles kuni anoodini tõmbub?

32. Ignitroni tüübi tähises on täht N . Sellele järgneva murru lugeja näitab lubatava voolu keskväärtust amprites, nimetaja lubatavat vastupinget voltides.

1) Mida tähendab tähis $N-20/1500$?

2) Kus kasutatakse ignitroni?

Vastused

1. Inertgaas ei reageeri elektroodidega keemiliselt.

2. Vabad elektronid. Positiivsed ioonid.

3. 1) Vaba teekond on teekond kahe pörke vahel. 2) Hõrendatud gaasis on elektroni keskmine vaba teekond pikem, mistõttu pörkeionisatsioon toimub hõlpsamini.

4. 1) Plasmaks. Metallide. 2) Ei ole. Mida intensiivsem on ionisatsioon, seda väiksem on gaasi takistus. 3) Ioniseeritud gaasi väike takistus võib põhjustada vooluallika lühise ja ionseadise riknemise.

5. 1) Vaikseks lahenduseks. Väike. 2) Ioonide mass on elektronide massist palju suurem.

6. 1) Helenduse värvus oleneb gaasi liigist: neon annab oranžpunase, heelium kollase, elavhõbeda aur sinaka helenduse jne. 2) Peale ionseadiste (stabilitron, külmkatood-tütratron) kasutatakse seda veel huumlampides, luminescentslampides, kvartslampides ja reklaamvalgustustorudes. Looduses esineb huumlahendus virmaliste näol. 3) Ei teki. Normaalarõhuga gaasis tekib väga kõrge elektrivälja tugevuse mõjul selle asemel koroonalahendus.

7. 1) Muidu ei saa tekkida püsiva vooluga kaarlahendust. 2) Saab küll. Sellele võib eelneeda sädelahendus, mis vooluallika küllaldase võimsuse korral läheb üle kaarlahenduseks. Viimasega kaasneb kõrge temperatuur ja pimestav valgus.

8. 1) Esimestel on köetav katood, teistel külmkatood. 2) Ei saa, sest nende takistus ei ole konstantne. Voolu saab määrata graafiliselt pinge-voolu tunnusjoone abil.

9. Kahe. Kolme. Diodiga (kenotroniga). Triodiga.

10. 1) Ettenähtud tugevusega küttevoolu abil. 2) Sõltuv kaarlahendus, kus voolu suurenemine toimub ruumlaengu elektronide ionisatsiooniks kasutamise arvel. Sõltumatu lahenduse puhul saadi ionisatsiooniks vajalikke elektrone katoodi pommitamisel positiivsete ionidega. 3) Anoodpinge (pinge anoodi ja katoodi vahel) on võrdne gasotroni pingelanguga. Viimane peaaegu ei sõltu koormusvoolust.

11. 1) Põhjuseks on välisioonisaatorite toime. Vahelduvvooluahelasse lülitatud gasotronis võib negatiivse poolperioodi vältel olla positiivseid ioone seetõttu, et deionisatsioon ei toimu hetkeliselt. 2) Peamiselt täidisest. Elavhõbetäidisega gasotronidel on lubatav vastupinge suurem.

12. 1) Gasotroni vool on suurem ja pingelang väiksem kui kenotronil; kenotronil on aga väiksem inerts ja tal pole nii palju tülikaid ekspluatatsiooninõudeid. 2) Gaastäidisega gasotronis esineb täidisgaasi kadu ionide difundeerumise tõttu kolvi seintesse. Elavhõbe asub tilkadena kolvi alumises osas ja teda aurustub pidevalt juurde.

13. 1) a - gaastäidisega gasotron nr.1, lubatav anoodvool 0,5 A, lubatav vastupinge 5 kV; b - elavhõbetäidisega gasotron nr.1, lubatav anoodvool 0,25 A, lubatav vastupinge 1,5 kV.

2) Elavhõbetäidisega gasotron on pikema tööeaga ja suurema lubatava vastupingega, kuid on tundlikum väliskeskkonna temperatuurimuutustele, peab töötama vertikaalasendis ja pärast pikemat seisuaega vajab kauakestvat ettekütmist. 3) Tänapäeval neil mingit tähtsust ei ole.

14. Gasotronile. Võre. Tüüritav.

15. 1) Trioodi võrepingega sai anoodvoolu tüürida sujuvalt nii suurenemise kui ka vähenemise suunas. Türatronil saab võrepingega mõjutada ainult süttimist, kusjuures anoodvool muutub hüppeliselt. Süttinud türatroni anoodvoolu võrepingega enam mõjutada ei saa. Seepärast türatron võimenduselemendiks ei sobi. 2) Trioodil võrevoolu negatiivse võrepinge puhul polnud. Türatronil tekib pärast süttimist ka võrevool, sest negatiivne võre hakkab gaasi ioniseerumisel tekkinud positiivseid ioone enda külge tõmbama. Võrevoolu piiratakse 1 ... 100 kΩ takistiga, nii et ta suurus on mõni mA.

16. Anoodpinge U_{a1} juures võib türatron süttida võrepingete U_{g1} ja U_{g2} vahemikus.

17. 1) Alalisvoolutoite korral saab türatroni võrepingega ainult üks kord ta süttimist mõjutada (seda võimalust kasutatakse näiteksioonreleedes). Vahelduvvoolutoite korral on võrepinge mõju türatroni süttimisele korduv, mille tulemusena tekibki tüürimise pidevus. 2) Türatronil nagu kõigil ioonseadistel on inertne, mistõttu neid ei saa kasutada kõrgetel sagedustel (elavhõbetäidisega türatrone kasutatakse sageduseni kuni 1 kHz).

18. 1) a - gaastäidisega türatron nr.4, lubatav anoodvool 0,1 A, lubatav vastupinge 0,3 kV; b - elavhõbetäidisega türatron nr.1, lubatav anoodvool 40 A, lubatav vastupinge 15 kV; c - gaastäidisega impulsstüratron nr.1, impulsi maksimumvool 400 A, lubatav vastupinge 16 kV. 2) Joonisel kujutatud gaastäidisega türatroni sokkel sarnaneb elektronlambi sokliga. Sellelt on näha elektroodide ühendamine sokli jalgadega.

19. Kõetav, kuum. Mittekõetav, külm.

20. 1) Kaks. Väiksema. 2) Süttimine on järsk huumlahenduse tekkimine.

21. 1) Järjestikune piiramis- ehk stabiliseerimistakisti võtab suurenenud pinge enda peale. 2) Ei saa. Ei esineks stabiliseerivat toimet ja stabilitrone süttimine põhjustaks vooluallika lühise.

22. 1) a - sörmlambi gabariidiga stabilitron nr.2; b - normaalmõõtmega klaaskolviga stabilitron nr.8. 2) Stabilitrone kasutatakse väga väikese vooluga (võimsusega) tarbija pingestabiliseerimiseks, kui ei nõuta eriti kvaliteetset stabiliseerimist.

23. Kolm. Neli. Suurema.

24. 1) Võrele antud positiivne käivitusimpulss süütab türatroni. 2) Vt. käesoleva peatüki p.6.

25. 1) Peaanoodid. Abiaanoodid. Anood. 2) Kuigi elavhõbedat kaarlahenduse mõjul pidevalt aurustub, kondenseerub ta kolvi ülemises osas uuesti ja valgub kolvi põhjas olevale katoodile tagasi. 3) Erinevus on põhiliselt katoodi ehituses ja emissiooni mooduses. Elavhõbeventiil on gasotronist palju suurema võimsusega (vooluga). Tema katood talub suuri voolutõukeid.

26. See eksitron kustub ja vajab uut süütamist.

27. 1) Vertikaalasendis (muidu valgub katoodi elavhõbe laiali). 2) Lahenduse süttimine anoodi ja katoodi vahel negatiivsel poolperioodil või lahenduse süttimine anoodide vahel hetkel, kui neil on erinev potentsiaal. 3) Anoodidevaheline kaarlahendus lühistab toitetrafo. 4) Eksitronis on püsiv kaarlahendus abiaanoodide ja katoodi vahel, mistõttu ta kolvis esineb kogu aeg ioniseeritud elavhõbedaauru. 5) Seda saab teha anoodide paigutamise ja pikkaajase järsu põlvega külgtorudesse ("sarvedesse").

28. Ei saa. Süütamiseks peab koormusvool olema vähemalt mõne ampri suurune.

29. Mitme peaanoodiga eksitroni koormamisel rändab lahenduskaare ülemine ots pidevalt ühelt anoodilt teisele (kaar alumine ots on katoodi küljes). Ühe peaanoodiga eksitronil kustub peaanoodi lahendus anoodipinge iga negatiivse poolperioodi jooksul.

30. 1) Ühe anoodiga eksitron, lubatav vool 40 A, lubatav vastupinge 1,5 kV. 2) Seoses võimsate pooljuhtventiilide loo-

misega nende osatähtsus tänapäeval väheneb. Klaaskestaga eksitronone kasutatakse akude laadimiseks, laboratooriumide varustamiseks alalisvooluga jne. Metallkestaga eksitronone kasutatakse transpordis, keemiatööstuses, elektrometallurgias jne.

31. 1) Tüürimisomadustelt on nad sarnased, kuid ignitron on palju võimsam. 2) Varda ülemine ots on positiivne.

32. 1) Ignitron, lubatava vooluga 20 A, lubatava vastupingega 1500 V. 2) Neid kasutatakse tüüritavates suurema võimsusega alaldites.

III. POOLJUHTSEADISED

Pooljuhtseadiste mõiste, kasutamine ja omadused

1. Pooljuhtseadisteks on elektriliste ventillidena töötavad pooljuhtdiodid, võimenduselemendina töötavad pooljuhttrioidid ehk transistorid, valgusele reageerivad fototakistid, fotodiodid ja fototransistorid ning temperatuurile reageerivad termotakistid ehk termistorid.

Pooljuhtseadised on kasutusel alles suhteliselt lühikest aega, mistõttu kõik kasutusala ei ole veel välja kujunenud ja seadised ise arenevad edasi.

Tuua näiteid pooljuhtseadiste kasutamise kohta tehnikas.

2. Pooljuhtseadiste eelised: 1) Väikesed mõõtmed ja kaal; 2) madal toitepinge; 3) pikk kasutusiga (kuni 100000 tundi); 4) vastupidavus tõugetele ja vibratsioonidele; 5) kasutegur (elektrienergia muundumisel ühest liigist teise kuni 95 %); 6) katoodi kütte puudumine.

1) Mis eelis on pooljuhtseadiste väikestel mõõtmetel ja kaalul?

2) Võrrelda pooljuhtseadiste tööiga elektronseadiste tööga.

3. Pooljuhtseadiste puudused: 1) keerukas valmistamistehnoloogia; 2) parameetrite suur hajuvus; 3) omaduste suur

sõltuvus temperatuurist; 4) suur tundlikkus ülekoormustele.

Mida mõista parameetrite hajuvuse all?

4. Pooljuhtseadised valmistatakse pooljuhtmaterjalidest, mistõttu nende töö sõltub pooljuhtmaterjalide elektrilistest omadustest. Pooljuhtmaterjalid ehk pooljuhid on kristallilise (s.t. mitteamorfse) struktuuriga ained, mille elektrijuhtivus on elektrijuhtide ja isoleerainete vahepeal. Pooljuhtide elektrijuhtivust mõjutavad lisandite olemasolu, temperatuur (neil on negatiivne takistuse temperatuuritegur), deformatsioon ja pealangev kiirgus.

1) Milline on kristallilise struktuuriga materjali ehitus?

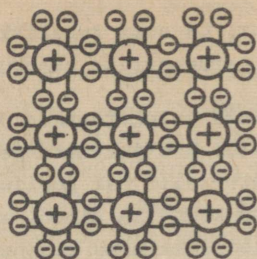
2) Kuidas mõjutab pooljuhi takistust temperatuuri tõus?

5. Tänapäeva tehnikas kasutatakse pooljuhtidena kõige rohkem germaaniumi (Ge) ja räni (Si). Varem kasutati ka seleen (Se) ja vaskoksiidi (Cu_2O). Viimasel ajal on kasutusele võetud galliumarseniid (GaAs).

Germaanium ja räni on Mendelejevi elementide perioodilise süsteemi neljanda rühma elemendid. Germaanium on helehall hõbedase läikega metall (tihedus $5,32 \text{ g/cm}^3$, sulamistemperatuur 958°C). Teda leidub maakoos 7.10⁻⁴ %, kuid puhta germaaniumi tootmine on väga keerukas. Räni on maakoos väga levinud (27,6 %) mittemetall, mille tihedus on $2,33 \text{ g/cm}^3$ ja sulamistemperatuur 1415°C . Poleeritud räni on metalse läikega.

Mis tähtsus on elementide perioodilise süsteemi rühmal, kuhu element kuulub?

6. Germaaniumi ja räni aatomid paiknevad kristallstruktuuris kuubi tippudel ja on omavahel seotud kovalentse ehk paariselektronilise sidemega. Aatomite väliskihi valents-elektronid kuuluvad korraga nagu kahele aatomile, mistõttu iga aatomi väliskihis on näiliselt kaheksaelektroniline stabiilne struktuur (sellise ruumilise kristallvõre tinglik kujutis tasapinnal on näidatud joonisel 49). Pooljuhi sellise ideaalse struktuuri juures temas vabu elektrone ei ole ja ta on iso-



Joonis 49

laator. Ideaalne struktuur esineb aga ainult keemiliselt puhas pooljuhtidel absoluutse nulltemperatuuri juures.

Mis on kovalentne side?

7. Temperatuuri või väliskiirguse toimel võivad puhta pooljuhi aatomi väliskihi elektronid energiat juurde saada, mille tulemusena mõned nendest lahkuvad kristallstruktuuris oma kohalt. Lahkunud elektroni kohale jääb vaba koht ehk nn. auk. Kuna elektroni lahkumise tõttu omandab vastav aatom elektroni laenguga võrdse positiivse laengu (muutub iooniks), vaadeldakse auku positiivse elementaarlaenguna. Välise elektrivälja puudumisel on tekkinud poolvabade elektronide liikumine ja aukude näiline liikumine juhuslik ning kindlat voolu nad siis ei põhjusta.

1) Miks aukude liikumine pooljuhi kristallstruktuuris on näiline?

2) Miks pooljuhi augud ja poolvabad elektronid välise elektrivälja puudumisel liiguvad kaootiliselt?

Pooljuhtide elektrijuhtivus

8. Kui keemiliselt puhas pooljuht satub välise elektrivälja mõju alla, hakkavad poolvabad elektronid liikuma elektriväljale vastassuunas, augud aga elektrivälja suunas. Kuna laengute liikumine on elektrivool, siis järelikult on pooljuhil teatav elektrijuhtivus. Elektronidest tingitud pooljuhi

juhtivust nimetatakse elektron- ehk n-juhtivuseks (negatiivne juhtivus), aukudest tingitud juhtivust aga auk- ehk p-juhtivuseks (positiivne juhtivus). Keemiliselt puhta pooljuhi juhtivust nimetatakse omajuhtivuseks. Omajuhtivus on alati kaheliigiline, kusjuures nii p- kui n-juhtivusel on ühesugune osatähtsus. Omajuhtivust püütakse pooljuhtseadistes enamikel juhtudel vähendada.

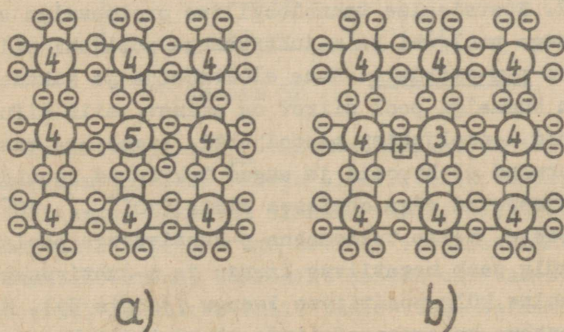
1) Miks pooljuhi poolvabad elektronid liiguvad välisele elektriväljale vastassuunas?

2) Kuidas kujutada ette augu liikumist pooljuhis?

9. Pooljuhi eriliseks omaduseks on vähimagi lisandi suur mõju pooljuhi elektrilistele omadustele. Lisandi mõjul tekib pooljuhti kas poolvabu elektrone või auke. Lisandite abil tekitatud pooljuhi juhtivust nimetatakse lisandjuhtivuseks. Lisandjuhtivus on alati üheliigiline, s.t. kas n- või p-juhtivus.

Kas lisandjuhtivuse kõrval säilib ka omajuhtivus?

10. n-juhtivusega pooljuhi saamiseks lisatakse neljavalentsele pooljuhile veidi (mõni miljondik %) viievalentset lisandit ehk doonorit (näiteks arseeni - As, antimoni - Sb, fosforit - P). Viievalentse lisandi aatom võtab kristallstruktuuris samasuguse koha nagu põhialne aatom. Kuna lisandi aatomi väliskihis on 5 elektroni, siis ühele tema elektronile ei leidu kristallstruktuuris kindlat kohta (joonis 50,a). Esialgu



Joonis 50

see elektron püsib aatomi mõjupiirkonnas, kuid väiksemagi liisaenergia saamisel ta lahkub sealt ja muutub poolvabaks elektroniks. Kuna selline protsess aukusid ei tekita, jäävad elektronid enamuslaengukandjateks, mille tulemusena saadaksegi n-juhtivusega pooljuht.

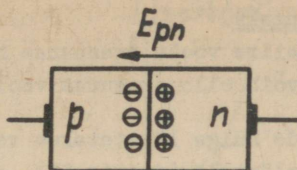
Seega saab järeldada, et n-juhtivusega pooljuhis on enamuslaengukandjateks lisandist tingitud, vähemuslaengukandjateks aga omajuhtivusest tekkinud

11. p-juhtivusega pooljuhi saamiseks lisatakse neljavalentsele pooljuhile veidi kolmevalentset lisandit ehk aktseptorit (näiteks indiumit - In, galliumit - Ga, boori - B). Kui kolmevalentse lisandi aatom võtab kristallstruktuuris põhiline aatomi koha, jääb struktuuris üks elektron puudu ja sinna kohale tekib auk (joonis 50,b). Kuna selline protsess poolvabu elektrone ei tekita, jäävad augud enamuslaengukandjateks, mille tulemusena saadakse p-juhtivusega pooljuht.

Järelikult p-juhtivusega pooljuhis on enamuslaengukandjateks lisandist põhjustatud, vähemuslaengukandjateks aga omajuhtivusest tingitud

Pooljuhtdiodid

12. Spetsiaalse tehnoloogilise protsessiga saadud p-juhtivusega pooljuhi ja n-juhtivusega pooljuhi piirkihti nimetatakse p-n-siirdeks. Kuna elektronide ja aukude kontsentratsioon kummalgi pool siiret on erinev, siis difundeeruvad elektronid n-pooljuhist p-pooljuhti, augud aga vastupidi. Difundeerunud elektronid ja augud tekitavad ioonid, mis kontsentreeruvad väga õhukeses kihis ($10^{-4} \dots 10^{-5}$ cm) siirde külgedele. Selle tulemusena p-juhtivusega pooljuhi siirdepoolne külg saab negatiivse laengu ja n-juhtivusega pooljuhi siirdepoolne külg positiivse laengu (joonis 51). Nende vahele tekib teatava tugevusega siirde elektriväli E_{pn} , mis on suunatud n-juhtivusega pooljuhist p-juhtivusega pooljuhti ja ta-

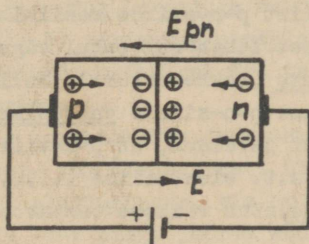


Joonis 51

kistab laengute edasist difundeerumist, samuti ka rekombineerumist. Piirkihis endas aga vastasnimelised laengukandjad rekombineeruvad (ühinevad), nii et piirkihi elektriline takistus suureneb. Seepärast nimetatakse piirkihti ka tõkkekihiks.

- 1) Miks on tõkkekihil suur elektriline takistus?
- 2) Miks p- ja n-juhtivusega pooljuhiga olevad erinevimeelised laengukandjad omavahel ei rekombineeru?
- 3) Miks ei põhjusta p-n-siirde tekkinud elektrivälja siiret läbivat elektrivoolu?

13. Kui p-n-siirde külge lülitatakse väline vooluallikas selliselt, et vooluallika plussklemm ühendatakse p-juhtivusega, miinuskelemm aga n-juhtivusega pooljuhiga (joonis 52), siis



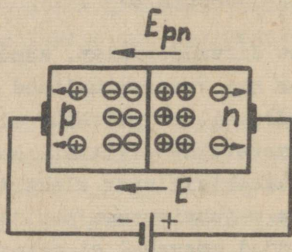
Joonis 52

tekib siirde elektriväljale E_{pn} vastassuunaline väline elektriväli E . Viimane kompenseerib siirde elektrivälja toime, mistõttu p-pooljuhi augud hakkavad liikuma välise elektrivälja suunas, n-pooljuhi elektronid aga sellele vastassuunas. Siirde laengud rekombineeruvad, tõkkekiht kaotab oma takistava toime (likvideerub) ja siiret läbib tugev vool. Sellist p-n-siirde režiimi nimetatakse avasuuunarežiimiks, tekkivat voolu avasuuuna vooluks ehk päri vooluks ning pärisuunas siirdele ra-

kendatud pinget päripingeks.

- 1) Miks p-n-siire voolu avasuunas hästi juhib?
- 2) Kui suur võib olla avasuuna vool?

14. Kui p-n-siirde külge lülitatakse vooluallikas vastupidiselt eelpoolkirjeldatule (joonis 53), siis on välise

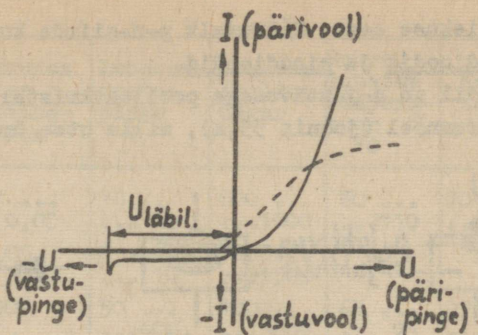


Joonis 53

elektrivälja tugevus E siirde elektrivälja tugevusega E_{pn} samasuunaline ja suurendab selle mõju. Enamuslaengukandjad liiguvad esialgu vooluallika klemmide suunas ja venitavad tõkkekiki paksemaks. Tõkkekiki takistus suureneb ja vool teda praktiliselt ei läbi. Sellist p-n-siirde režiimi nimetatakse vastupingerežiimiks. Siiret läbib sel puhul väga nõrk vool, mida nimetatakse vastuvooluks (tõkkevooluks). Selles suunas rakendatud pinget nimetatakse p-n-siirde vastupingeks.

- 1) Eeltoodust järeldub, et p-n-siirdel on elektrijuhtivus, s.t. elektrilise omadus.
- 2) Millega seletub väikese vastuvoolu olemasolu p-n-siirdes?
- 3) Kui suur on vastuvoolu väärtus?

15. Ventiliomaduste tõttu kasutatakse p-n-siiret pooljuhtdiodides. Oma olemuselt on p-n-siire mittelineaarne takisti, mistõttu teda läbiv vool ei ole määratav Ohmi seaduse abil, vaid pinge-voolu tunnusjoone abil (joonis 54; punktiirjoonega on kujutatud lampdiodi anoodtunnusjoon). On näha, et p-n-siirde pärioolu tõus on suurem kui lampdiodil ning pooljuhtdiodil algvool puudub. Seevastu esineb pooljuhtdiodil väike vastuvool, mis lampdiodil täiesti puudub.



Joonis 54

Pooljuhtdiodide iseloomustavad järgmised suurused (parameetrid): 1) maksimaalselt lubatav avasuuna vool või voolutihedus, mis sõltub p-n-siirde pindalast ja materjalist; 2) maksimaalselt lubatav vastupinge, mille ületamisel võib tekkida p-n-siirde läbilöökk ja vastuvoolu järsk suurenemine, mis tavaliselt hävitab p-n-siirde; 3) maksimaalselt lubatav töötemperatuur (temperatuuri tõus suurendab materjali omajuhtivust, halvendab p-n-siirde ventiiliomadusi ja vähendab lubatavat vastupinget); 4) piirsagedus (sageduse suurenemisel suureneb p-n-siirde vastuvool); 5) pärisuuna pingelang; 6) kasutegur. Diodile lubatav vool määrab ühtlasi ära ta võimsuse ning vajalikud jahutamistingimused.

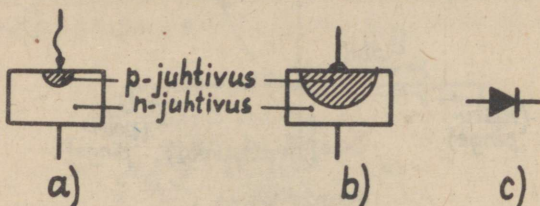
Võimsad diodid varustatakse jahutusradiaatoritega ja kasutatakse õhk-, vesi- või õlijahutust. Diodi alaldavat toimet iseloomustab veel alaldustegur, mis on +1-V pingel juures mõõdetud päri- ja -1-V pingel juures mõõdetud vastu-voolu suhe.

- 1) Kuidas saaks kontrollida pooljuhtdiodi (p-n-siirde) korrasolu?
- 2) Miks pooljuhtdiod on mittelineaarne takisti?
- 3) Miks sageduse suurenemine põhjustab pooljuhtdiodi vastuvoolu suurenemise?

16. Pooljuhtdiodis paigutatakse elektroodidega ja väljavahetajadega ühendatud p-n-siire hermeetilisse kesta, mis

kaitseb teda niiskuse eest. Sõltuvalt p-n-siirde kujundamisest on olemas punktdiodid ja pinddiodid.

Punktdiodil on n-juhtivusega pooljuhtkristalli vastu paigutatud volframööel (joonis 55,a), mille otsa ümber on te-



Joonis 55

kitatud p-juhtivusega tsoon. Siirde väikese pinna tõttu on lubatav päriool väike. Sama asjaolu tõttu on neil ka p-n-siirde mahtuvus väike, mistõttu punktdioode kasutatakse väikese võimsusega kõrgeagedusdiodidena.

Pinddiodis (joonis 55,b) tekitatakse n-juhtivusega pooljuhtkristallis sobiva lisandi sisseviimisega suurem p-juhtivusega tsoon. Siirde suurema pinna tõttu on lubatav päriool, samuti ka lubatav vastupinge suuremad, kuid ka siirde mahtuvus on suurem kui punktdiodil. Pinddioode kasutatakse alaldusdiodidena.

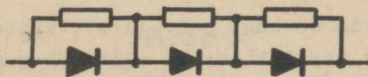
Joonisel 55,c on näidatud pooljuhtdiodi tingmärk (noole suund näitab avasuunda).

- 1) Kuidas teha kindlaks pooljuhtdiodi avasuunda?
- 2) Kuidas pooljuhtdioode jaotatakse otstarbe järgi?

17. Kasutatud materjalide järgi jagunevad pooljuhtdiodid germaanium-, räni-, seleen- ja vaskoksiid- ehk kuproksdiodideks. Nende ligikaudsed tehnilised andmed on koondatud järgnevasse tabelisse:

Ventiili materjal	Pärisuunas lubatav voolutihgus A/cm ²	Lubatav vastupinge V	Alaldustegur	Suurim lubatav temperatuur °C	Kasutegur %	Pärisuunapinge-lang V
Se	0,03 0,05	18 26	8001000	80110	70 80	0,7 1,5
Cu ₂ O	0,05	8 10	1000... ...1500	60	70	0,3 2
Ge	100	50400	1000... ...5000	65 75	97 99	0,5 0,7
Si	200	70800	5000... ...50000	150	95 98	0,8 1,0

Seleen ja kuproksventiilid võeti kasutusele juba varem, kuid nad on mõõtetelt suuremad (tavaliselt ketta või plaadi kujulised) ning halvemate tehniliste omadustega, kui hiljem kasutuselevõetud germaanium- ja räniventilid. Seleen ja kuproksventiilidel on mittehajuvad parameetrid, mis võimaldab neid vajaduse korral järjestikku või paralleelselt ühendada. Germaanium- ja ränidiodidel on aga parameetrid hajuvad, mistõttu neid on raske paralleelselt või järjestikku ühendada. Järjestikühendusel tuleb vastupinge ühtlasemaks jagunemiseks nendega paralleelselt ühendada pinget ühtlustavad takistid suurusega 100 ... 500 k Ω (joonis 56). Nende paralleelühendus



Joonis 56

on mõeldav siis, kui eelnevalt on valitud ühesuguste parameetritega eksemplarid.

- 1) Mida teha, kui tööpinge ületab diodile (ventiilile) lubatava vastupinge?
- 2) Mida teha, kui töövool ületab ühele diodile (ventiilile) lubatava voolu?

18. Germaanium- ja ränidiodide tüübi tähises on esikohal täht Δ . Sellele järgneb number, mis märgib järgmist:

Dioodi liik	Ge	Si
Kõrgsageduslik punktдиод	1 ... 100	101 ... 200
Pinddiოდid (alaldusdiოდid)	301 ... 400	201 ... 300

(Edasi järgnevad eriotstarbeliste diოდide numbrid)

Numbrile võib järgneda veel alatüüpi märkiv täht A ... Ж.

Tugevvoolu-germaaniumdiоди tähiseks on БГ, rändiодиil BK. Sellel tähisele järgnev number märgib maksimaalselt lubatavat alaldatud voolu amprites. Kui numbrile järgneb täht B, siis on diод vesijahutusega. Kõik tugevvoolu diოდid on varustatud jahutusradiaatoriga.

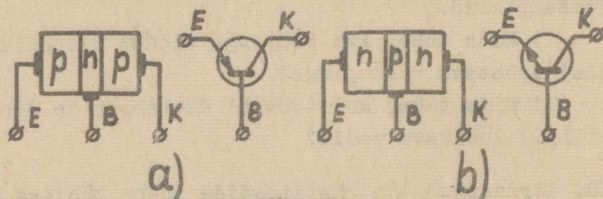
Pärast 1964.a. väljatöötatud diოდidel on esikohal materjali tähistav täht, sellele järgneb täht Д ja number, mis märgib materjali ning otstarvet (on vana tähistusviisi numbrist erinev).

Mida tähendavad järgmised tähised: a) Д 302; b) Д 226; c) БГ - 500 B; d) BK-200?

Transistorid

19. Transistoriks nimetatakse pooljuhtseadist, mida kasutatakse elektriliste pingete (või voolude) võimendamiseks ja genereerimiseks.

Transistoris on kaks p-n-siiret, mistõttu ta koosneb kolmest osast: kaks äärmist osa on alati ühesuguse juhtivusega, keskmine aga erineva juhtivusega. Vastavalt kihtide juhtivusele on olemas p-n-p-tüüpi transistore (skeem ja tingmärk joonisel 57, a) ja n-p-n-tüüpi transistore (skeem ja tingmärk jooni-



Joonis 57

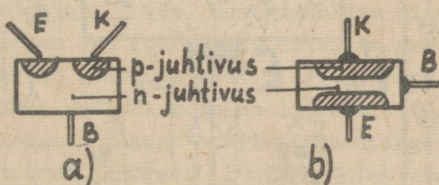
sel 57,b). Rohkem kasutatakse p-n-p-tüüpi transistore.

Transistori erineva juhtivusega kihtidega ühendatakse väljejuhtmed (elektroodid). Elektroodide nimetused on järgmised: 1) emitter E ("emiteerija, kiirgaja", selleks on transistori üks äärmistest kihtidest, mis töötab analoogiliselt lamptriodi katoodiga); 2) baas B (selleks on transistori keskmine kiht, mis töötab analoogiliselt lamptriodi võrele); 3) kollektor K ("koguja", selleks on transistori teine äärmine kiht, mis töötab analoogiliselt lamptriodi anoodile).

Emitteri ja baasi vahelist p-n-siiret nimetatakse emittersiirdeks ja kollektori ning baasi vahelist p-n-siiret kollektorsiideks.

- 1) Mida tähendab sõna "transistor"?
- 2) Kuidas saab kindlaks määrata transistori elektroode?

20. Sõltuvalt p-n-siirete konstruktiivsest kujundusest on olemas punkttransistore (joonis 58,a) ja pindtransistore (joonis 58,b). Punkttransistore tänapäeval enam ei kasutata.

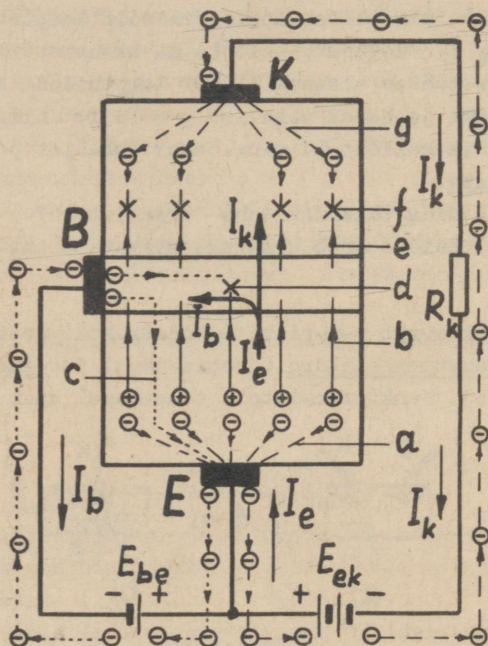


Joonis 58

Transistori erinevate kihtide (osade) mahueritakistused tehakse ligikaudu järgmised: emitteril $\sim 10^{-2} \Omega\text{cm}$, baasil $\sim 1 \Omega\text{cm}$, kollektoril $\sim 10 \Omega\text{cm}$. Baasi osa tehakse võimalikult õhuke ($10 \dots 20 \mu\text{m}$). Kogu transistori kristall paigutatakse väljejuhtmetega (elektroodidega) varustatud hermeetilisse kes- ta.

Seega transistorid jagunevad transistorideks ja transistorideks, milledest tänapäeval kasu- tatakse ainult transistore.

21. Transistori emittersiire pingestatakse avasuunalise pingega ehk päripingega, kollektorsiire vastassuunalise pingega ehk vastupingega. Kuna transistor on kolme elektrodiga, peab üks elektrod jääma ühiseks elektrodiks nii sisendkui ka väljundahelale. Joonisel 59 on kujutatud transistori



Joonis 59

ühise emitteriga lülitus (levinuum lülitus). Samal joonisel on näidatud laengukandjate liikumine: a - elektronide vool emitteril; b - aukude liikumine emitterist baasi; c - elektronide liikumine baasist emitterisse; d - rekombineerumine baasil; e - aukude liikumine läbi kollektorsiidre; f - rekombineerumine kollektoril; g - elektronide vool kollektoril; I_b - baasivool; I_e - emitterivool; I_k - kollektorivool; E_{be} - eelpinget andva baasivooluallika emj. (~ 1 V); E_{ek} - kollektorivooluallika emj. (mõni volt kuni mõnikümmend volti).

Elektromotoorjõud E_{be} mõjub emittersiirde avasuunas, mistõttu emitteri augud liiguvad vabalt läbi emittersiirde baasi. Kuna baasikiht on väga õhuke, ei jõua kõik augud sealsete poolvabade elektronidega rekombineeruda ja enamik nendest vahendavad kollektorsiirde takistust ning lähevad läbi kollektorsiirde kollektortsooni (vastavalt emj. E_{ek} toimemele). Läbi siirete kulgevad augud moodustavad emitterivoolu I_e ja kollektorivoolu I_k , mis on ligikaudu võrdsed: $I_k \approx \approx 0,98 I_e$ (s.o. 98 %). Baasi elektronidest tekib suhteliselt väike baasivool $I_b \approx 0,02 I_k$ (2 %). Nagu joonisest nähtub, on $I_e = I_k + I_b$. Kuna aga $I_b \ll I_k$, siis $I_e \approx I_k$. Tingituna kollektorsiirde vastupingerežiimist võib kollektoriahelasse lülitada koormustakisti R_k , mis peaaegu ei mõjuta kollektoriahela tööd, sest kollektorsiirde takistus on ilma E_{be} mõjuta väga suur - mitusada $k\Omega$ kuni mõni $M\Omega$ (seetõttu on ka kollektori algvool ehk vastuvool $I_{ko} = 20 \dots 30 \mu A \approx 0$). Suure koormustakisti R_k klemmidel tekitab aga juba väike kollektorivool suure pingelangu.

Kui emitteri ja baasi vahele lisaks eelpingena töötavale elektromotoorjõule E_{be} veel nõrk vahelduv sisendpinge lülitatakse, põhjustab see suuri emitterivoolu muutusi (sest emittersiire töötab avasuuna režiimis). Peaaegu sama suured muutused tekivad ka kollektorvoolus I_k , mille tulemusena koormustakisti R_k klemmidelt saab suuri väljundpinge muutusi, s.t. tekib pinge võimendus. Suurust $\beta \approx I_k/I_b$ nimetatakse baasivoolu ülekandeteguriks ja teda võib vaadelda vooluvõimendus-egurina transistori ühise emitteriga lülituse korral.

Peale ülalkirjeldatud ühise emitteriga lülituse võib transistor olla veel ühise baasiga või ühise kollektoriga lülituses.

1) Eeltoodust järeldub, et takistusega emitteriahelas tekitatud voolumuutused kanduvad peaaegu sama suurtena takistusega kollektoriahelasse, mistõttu viimasesse lülitatud koormustakistilt saadakse väljundpinget.

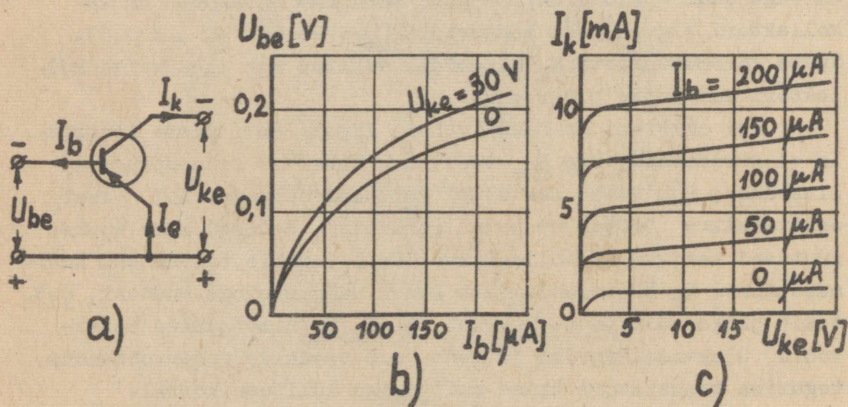
2) Mis on sisuliselt ühist transistori ja lamptriodi vahel?

3) Milline põhimõtteline erinevus on transistori ja lamptriodi lülituskeemis?

4) Kas kollektorihelask tekib vool, kui emitterahel on katkestatud?

22. Transistore iseloomustavad staatiliste tunnusjoonte sarjad jagunevad sisendtunnusjoonteks (neid võib võrrelda lamptriodi võretunnusjoontega) ja väljundtunnusjoonteks (neid võib võrrelda lamptriodi anoodtunnusjoontega). Tunnusjooni saab praktiliste mõõtmistega kindlaks määrata (üles võtta). Erinevate transistori lülituskeemide jaoks on ka erinevad staatilised tunnusjooned.

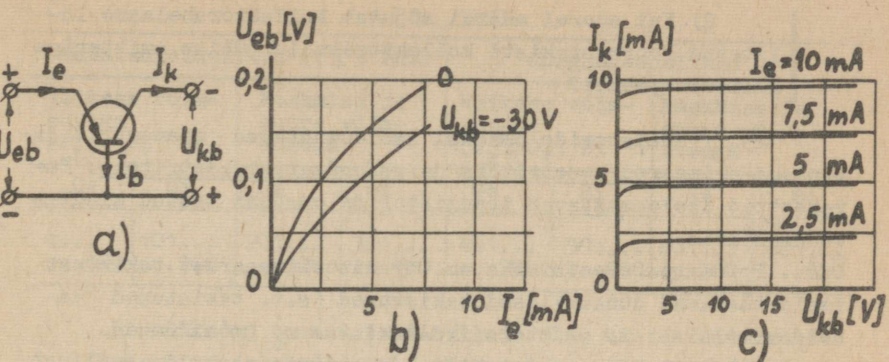
Ühise emitteriga lülituses (joonis 60,a) on sisendvooluks baasivool I_b ja sisendtunnusjoonteks baasi staatili-



Joonis 60

sed pingevoolu tunnusjooned $U_{be} = f(I_b)$, kui $U_{ke} = \text{const}$ (joonis 60,b); väljundvooluks on kollektorivool I_k ning väljundtunnusjoonteks kollektori staatilised pingevoolu tunnusjooned $I_k = f(U_{ke})$, kui $I_b = \text{const}$ (joonis 60,c). Tööpunkti määravad väljundtunnusjoonel sisendsignaali puudumisel esinev baasi algvool I_{b0} ja kollektori pinge U_{ke} .

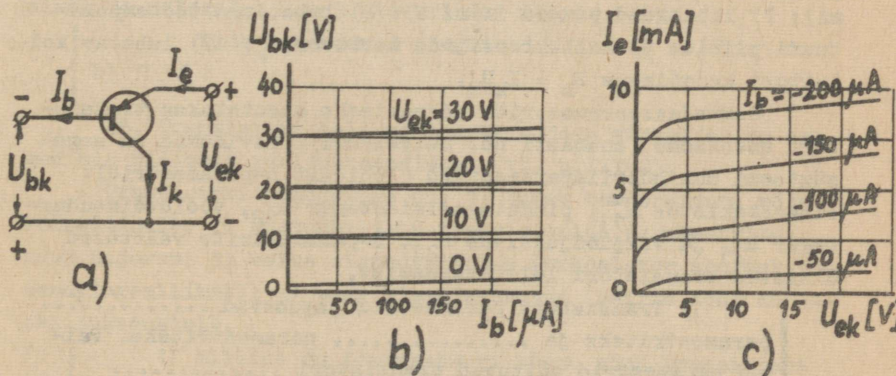
Ühise baasiga lülituses (joonis 61,a) on sisendvooluks emitterivool I_e ja sisendtunnusjoonteks $U_{eb} = f(I_e)$, kui $U_{kb} = \text{const}$ (joonis 61,b); väljundvooluks on kollektorivool I_k



Joonis 61

ning väljundtunnusjoonteks sõltuvus $I_k = f(U_{kb})$, kui $I_e = \text{const}$ (joonis 61,c).

Ühise kollektoriga lülituses (joonis. 62,a) on sisendvooluks baasivool I_b ning sisendtunnusjoonteks $U_{bk} = f(I_b)$,



Joonis 62

kui $U_{ek} = \text{const}$ (joonis 62,b); väljundvooluks on emitterivool I_e ning väljundtunnusjoonteks sõltuvus $I_e = f(U_{ek})$, kui $I_b = \text{const}$ (joonis 62,c).

1) Joonistel toodud väljundtunnusjoonte põhjal järeldada, kui suurel määral sõltub ühise emitteriga lülituses transistori kollektorivool kollektori pingest.

2). Kui suurel määral mõjutab kollektorahelasse lülitatud koormustakisti kollektorivoolu (ühise emitteriga lülituse puhul)?

23. Transistoride omadusi iseloomustavad parameetrid jagunevad primaarparameetriteks ja sekundaarparameetriteks. Parameetrid iseloomustavad transistoride omadusi teatud kindlas tüüprežiimis.

Primaarparameetriteks on: 1) mittelineaarset takistust iseloomustavad dünaamilised takistused (s.t. takistused vahelduvvoolule): a) emittersiidetakistus r_e (mõnikümnea oomi); b) kollektorsiidetakistus r_k (mõnisada kilo-oomi); c) baasitakistus r_b (mõnisada oomi); 2) vooluvõimendustegur ühise baasiga lülituses ehk emitterivoolu ülekandetegur $\alpha \approx I_k/I_e$ ($\alpha = 0,9 \dots 0,995$); 3) vooluvõimendustegur ühise emitteriga lülituses ehk baasivoolu ülekandetegur $\beta \approx I_k/I_b = \frac{\alpha}{1-\alpha}$; 4) kollektori algvool ehk vastuvool I_{ko} (on mõni μA); 5) piirsagedus (mõni MHz); 6) lubatavad voolud (mõni mA); 7) lubatavad pinged (mõni V); 8) lubatavad töötemperatuuri piirid; 9) kollektorsirde mahtuvus C_k ; 10) lubatav kollektori kaovõimsus $P_k = I_k U_k$.

Sekundaarparameetrite määramiseks kasutatakse transistori aseskeeme (enamasti nn. neliklemmi). Levinumad on segasüsteemi ehk hübriidparameetrid (lühidalt h-parameetrid): sisendtakistus h_{11} , pingetagasisidetegur h_{12} , vooluvõimendustegur h_{21} ja väljundjuhtivus h_{22} . h-parameetrite väärtused olenevad transistori lülitusskeemist.

1) Transistori parameetrid jagunevad parameetriteks ja parameetriteks. Paljud parameetrid sõltuvad transistori

2) Millised transistori lülitusskeemid on võimalikud?

3) Mis on kollektori algvool ehk vastuvool I_{ko} ?

24. Enne 1964.a. väljatöötatud pindtransistoride tüübi tähises on esikohal täht \square . Sellele järgnev number näitab transistori liiki (vt. järgmine tabel).

Madalsageduslikud ($f < 5$ MHz)				Kõrgsageduslikud			
Väikese võimsusega ($P_k \leq 0,3$ W)		Keskmise ja suure võimsusega		Väikese võimsusega ($P_k \leq 0,3$ W)		Keskmise ja suure võimsusega	
Ge	Si	Ge	Si	Ge	Si	Ge	Si
1... ...100	101... ...200	201... ...300	301... ...400	401... ...500	501... ...600	601... ...700	701... ...800

Erandiks on transistorid $\Pi 3$ ja $\Pi 4$, mis on madalsageduslikud võimsad transistorid. Kolmandaks tähiseks tüübi tähises võib olla veel täht A, B, Γ jne., mis määrab sama liigilise transistori alavariandi.

Pärast 1964.a. väljatöötatud transistoride tüüpidel on esikohal materjali määrav tähis: Γ - Ge, K - Si, A - gallium-arseniid. Teisel kohal on täht T. Kolmandal kohal on kasutusala ja omadusi määrav number (on erinev varem kehtinud süsteemist) ja neljandal kohal alavarianti määrav täht.

Mida tähendavad järgmised tähised: a) $\Pi 101$ A;

b) $\Pi 35$?

25. Transistori eelised lamptriöödiga võrreldes on samad mis üldiselt pooljuhtseadistel (vt. p.III-2).

Transistori puudusteks on: 1) tugev temperatuuri mõju töörežiimile; 2) ühetüübiliste transistoride parameetrite suur hajuvus; 3) väike sisendtakistus (transistor koormab sisendpingeallikat); 4) suur sisendmahtuvus (häirib tööd kõrgetel sagedustel).

1) Milline on temperatuuri tõusu mõju transistori tööle?

2) Kas temperatuuri mõju transistori tööle saab vältida?

3) Miks sisendpinge sageduse suurenemisel transistori võimendusomadused halvenevad?

Vastused

1. Alaldid, võimendid, generaatorid, arvutid, releed jne.
2. 1) Aparaadid muutuvad väiksemaks. 2) Õige ekspluaatsiooni korral on pooljuhtseadiste tööiga 100 korda pikem.
3. Samatuübiliste eksemplaride omadused võivad olla küllalt erinevad.
4. 1) Aatomid paiknevad ruumis kindlatel kohtadel. 2) Pooljuhi takistus väheneb.
5. See määrab ära elektronstruktuuri väliskihi elektronide (nn. valentselektronide) arvu.
6. See on kristalli aatomite vaheline side, mille tekitab ühine elektronpaar vastavate aatomite vahel.
7. 1) Kui kristallstruktuuris mõni elektron täidab vaba augu, siis elektroni endisele kohale tekib uus auk (auk on näiliselt läinud uude kohta). 2) Poolvabade elektronide tekkimine ja nende rekombineerumine aukudega toimub juhuslikes kohtades.
8. 1) Negatiivne elektron tõmmatakse positiivselt laetud keha suunas (elektrivälja leppeline suund on sealt eemale). 2) Augu liikumine on analoogiline teatrisaali esireas oleva vaba koha näilise liikumisega tagumisse ritta, kui igas reas üks inimene istub ühe koha võrra ettepoole.
9. Säilib küll.
10. Elektronid. Augud.
11. Augud, elektronid.
12. 1) Tõkkekihis on ruumlaengu tihedus null ja seal puuduvad voolu juhtimiseks vajalikud laengud. 2) Takistuseks on piirkihi elektriväli, mis tekitab nn. potentsiaalibarjääri. 3) Siirde elektriväli tekib enamuslaengukandjate difusiooni toimele ja pärast tekkimist takistab nende laengukandjate edasist liikumist. Omajuhtivusest tingitud vähemuslaengukandjad liiguvad vastassuundades, nii et ka nende summaarne vool on null.
13. 1) Päripinge toimele kaob siirde elektriväli ja tõkkekiht täitub laengukandjatega. 2) Võimsate diodidel

võib päri vool ulatuda mitmesaja amprini.

14. 1) Ühesuunaline. Ventili. 2) Põhjuseks on omajuhtivust tekitavad vähemuslaengukandjad. Nende piiratud kontsentratsiooni tõttu ei sõltu vastuvool siirdele rakendatud pingest. 3) Vastuvool on maksimaalselt mõni milliamper.

15. 1) Võib mõõta takistust nii päri- kui ka vastusuunas (näiteks oommeetriga). Vastusuunas takistus peab olema väga suur. 2) Tema takistus ei ole konstantne suurus, vaid oleneb rakendatud pinge suuruselt ning polaarsusest. 3) Siirde mahtuvuse tõttu ta mahtuvusjuhtivus suureneb sageduse suurenemisel. Peale selle on tõkkekihi tekkimisel ja kadumisel teatav inertts, mistõttu sageduse suurenedes läbib siiret ka negatiivse poolperioodi algul teatav vool.

16. 1) Avasuund on p-juhtivusega pooljuhist n-juhtivusega pooljuhti. Ventiliile võib olla avasuunda näitav tingmärk peale trükitud. Takistuse mõõtmisel on avasuuna takistus väike. 2) Alaldusdiodid, kõrgsagedusdiodid, eriotstarbelised diodid.

17. 1) Diodid ühendatakse järjestikku. 2) Diodid ühendatakse paralleelselt. Mõlemal juhul tuleks silmas pidada, et kokkuühendatud diodid oleksid ühesuguste parameetritega.

18. a) Germaanium-pinddiod (alaldusdiod). b) Ränipinddiod (alaldusdiod). c) Vesijahutusega tugevvoolu-germaaniumdiod voolule 500 A. d) 200 A nimivooluga tugevvoolu rändidiod.

116



19. 1) Transistor on lühend ingliskeelsest nimetusest "tran[sformer of re]sistor" ("takistuse muundur"). 2) Elektroode saab kindlaks määrata kataloogides vm. antud transistoride joonistelt (joonis 63).

Joonis 63

20. Punkt. Pind. Pind.

21. 1) Väikese. Suure. Võimendatud. 2) Mõlemad on tüüritavad mittelineaarsed takistid. 3) Elektronlambi anoodahel pingestatakse pärisuunas. Sellele vastav transistori kollektoriahel pingestatakse aga vastassuunas. Elektronlambi tüürvõreahel pingestatakse vastusuunas, mistõttu sisendtakistus on lõpmata suur ja sisendahel võimsust ei tarbi. Sellele vastav transistori emitteriahel pingestatakse aga pärisuunas,

mistõttu tema sisendis tarbitakse võimsust. 4) Tekib tühiselt väike (mõni A) kollektori algvool ehk vastuvool.

22. 1) Sõltuvus on väga väike. 2) Mõjutab väga vähe, sest kuigi koormustakistuse juurdelülitamine muudab kollektoripinget, siis kollektorivool sellest peaaegu ei muutu (vt. joonisel 60,c toodud väljundtunnusjoon).

23. 1) Primaar. Sekundaar. Lülitusskeemist. 2) Ühise emitteriga, ühise baasiga ja ühise kollektoriga lülitused. 3) Avatud emitteriahela puhul kollektorsiidet läbiv vool.

24. a) Väikese võimsusega madalsageduslik ränitransistor. b) Madalsageduslik võimsusvõimenduse germaaniumtransistor.

25. 1) Kollektori algvool suureneb. 2) Lülituses tuleb kasutada lisaelemente temperatuuri mõju kompenseerimiseks. 3) Suure sisendmahtuvuse tõttu väheneb sageduse suurenemisel transistori sisendtakistus.

IV. FOTOELEKTRILISED SEADISED

Põhimõisteid

1. Fotoelektrilisteks nimetatakse seadiseid, mille elektrilised omadused (vool, takistus, elektromotoorjõud) muutuvad neile langeva kiirgusenergia (harilikult valguskiirguse) toimel (eesliide "foto-" on tuletatud kreeka keelsest sõnast "phos", mis tähendab "valgus"). Ülalnimetatud omaduse tõttu on fotoelektrilist seadist läbiv vool või seadise väljundpinge tüüritav valguskiirguse abil.

Kas fotoelektrilised seadised reageerivad ainult nähtavale valgusele?

2. Kui valguse footonid tungivad läbi aine pindmiste kihtide, annavad nad oma energiakvandid aatomite väliskihi elektronidele. Saadud täiendava energia toimel mõned elektronid lahkuvad oma tuumade mõjupiirkonnast ja muutuvad pool-

vabadeks elektronideks, suurendades seega aine elektrijuhtivust. Seda nähtust nimetatakse sisefotoefektiks.

- 1) Mis on footon?
- 2) Mis on energiakvant?
- 3) Kuidas muutub sisefotoefektiga ainete elektritakistus valguse toimel?

3. Kui ainesse tunginud kiirgusenergia kvandid annavad mõnele elektronile nii suure täiendava energia, et elektronid suudavad antud ainest väljuda, siis seda nähtust nimetatakse välisfotoefektiks ehk fotoemissiooniks (vt. p.I-10).

Kas nähtava valguse toimel tekib välisfotoefekt kõigis ainetes?

4. Kui valguse mõjul aatomitest lahkunud elektronid lähevad valgustatud kihist üle teise kihti, mida eraldab esimesest p-n-siire, siis on tegemist fotogalvaanilise efektiga.

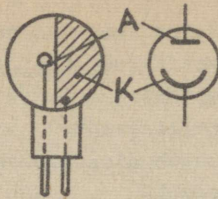
Seega on olemas kolme liiki fotoefekti: ja fotoefekt ning fotoefekt.

5. Olenevalt kasutatavast fotoefektist jagunevad fotoelektrilised seadised välisfotoefektiga fotoelementideks (ehk fotorakkudeks), sisefotoefektil põhinevateks fototakistiteks ja fotogalvaanilise efektiga fotoelementideks (ehk pooljuhtfotoelementideks).

Kõigi fotoelektriliste seadiste väljundvool või -pinge on tüüritav abil.

Välisfotoefektiga fotoelemendid

6. Välisfotoefektiga fotoelemendil ehk fotorakul on kerakujuline klaaskest. Klaaskesta siseküljele on kantud katoodina töötav valgustundlik kiht (näiteks antimon-tseesium - SbCs või hapnik-tseesium - AgOCs), mis katab kuni pool kolvi sisepinnast (joonis 64, a - fotoelement, b - fotoelemendi tingmärk). Valguse toimel tekib sellisest katoodist foto-



Joonis 64

emissioon (s.t. esineb välisfotoefekt), mistõttu teda nimetakse ka fotokatoodiks. Fotoelemendi anood valmistatakse peenest traadist väikese rõnga kujuline. Klaaskesta see osa, mis ei ole kaetud katoodiga, moodustab akna, mille kaudu valgus võib tungida katoodile.

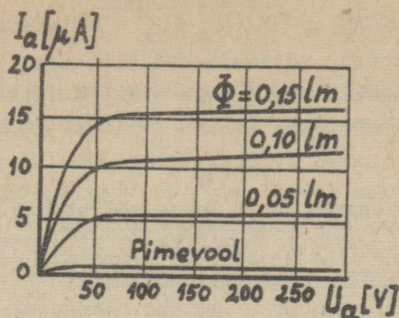
Miks peab fotoelemendi katood olema suure, anood aga väikese pindalaga?

7. Kui fotoelemendi anood ühendada toitepingeallika positiivse klemmiga ning katood negatiivse klemmiga, siis liiguvad katoodilt emiteerunud elektronid anoodile, tekitades anoodvoolu, mida nimetatakse fotovooluks. Fotovool on väga nõrk (mõõdetav mikroamprites) ja onoleb anoodpingest ning katoodile langevast valgusvoost. Fotovoolu sõltuvust katoodile langevast valgusvoost (konstantse anoodpinge juures) nimetatakse valgustustunnusjooneks. Valgustustunnusjoon on tõusev kõverjoon, mille tõus onoleb katoodi materjalist ja fotoelemendi tüübist.

Kas fotovool tekib ka valgustamata katoodi puhul?

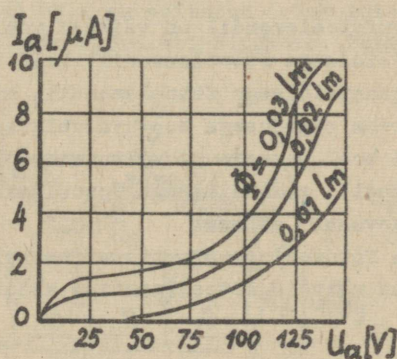
8. Õhutühja klaaskolviga fotoelemendi nimetatakse vaakuumfotoelemendiks. Joonisel 65 toodud vaakuumfotoelemendi pingevoolu tunnusjoontest nähtub, et anoodpinge suurenemisel üle 50 V fotovool peaaegu enam ei suurene. Sellise anoodpinge juures liiguvad kõik katoodilt emiteerunud elektronid anoodile ja tekib küllastusvool. Viimase suurus onoleb katoodile langenud valgusvoost, mida mõõdetakse lumenites.

Kui suur on vaakuumfotoelemendi läbiv fotovool?



Joonis 65

9. Gaastäidisega fotoelemendi (ioonfotoelemendi) klaaskest on täidetud madalarõhulise gaasiga (harilikult argooniga). Joonisel 66 toodud gaastäidisega fotoelementide pingevoolu



Joonis 66

tunnusjoontest nähtub, et nendel fotoelementidel küllastusvoolu ei teki, vaid anodpinge suurenemisel fotovool järsult kasvab. Ühesuguste tingimuste juures on nende vool 4 ... 5 korda suurem vaakumfotoelemendi voolust. Põhjuseks on gaasi ioniseerimine fotoelemendi läbivate elektronide poolt. Tekkiv gaaslahendus peab aga jääma valke lahenduse piirkonda, sest sõltumatu huumlahenduse tekkimisel katodi emiteeriv kiht puruneb positiivsete ionide põrmitamise tulemusena. Seepärast

nende anoodpinge $U_a \leq 0,7 U_s$ (U_s - huumlahenduse süttimispinge).

- 1) Millal tekib fotoelemendis gaasi ionisatsioon?
- 2) Kuidas saab piirata gaastäidisega fotoelemendi voolu?

10. Fotoelemendi tundlikkus määratakse fotovoolu ja kiirgusvoo suhtena ($\mu A/W$). Tundlikkust kiirguse lainepikkusele nimetatakse spektraalseks tundlikkuseks. Üldist tundlikkust kindla koostisega valgusvoo suhtes nimetatakse integraalseks tundlikkuseks. Tundlikkus oleneb katoodi materjalist (näiteks SbCs-katoodid on tundlikumad kui AgOCs-katoodid) ja gaastäidisest olemasolust (gaastäidisega fotoelemendi tundlikkus võib kuni 10 korda ületada vaakuumfotoelemendi tundlikkuse).

Kas fotoelemendi tundlikkus on konstantne suurus?

11. Vaakuumfotoelemendil on väiksem vool ja väiksem tundlikkus kui gaastäidisega fotoelemendil, kuid tal on ka väiksem inertis kui gaastäidisega fotoelemendil, mis võimaldab teda kasutada suurema sagedusega muutuva valgusvoo puhul. Vaakuumfotoelemendi vool peaaegu ei sõltu anoodpingest (küllastusvoolu tekkimisel), gaastäidisega fotoelemendi vool on aga anoodpingest tugevasti sõltuv.

- 1) Kas fotovool on praktikas otseselt rakendatav?
- 2) Tuua näiteid fotoelementide kasutamise võimaluste kohta.

12. Fotoelemendi (fotoraku) tüüpi tähistab täht U_2 hapnik-tseesium-katoodi, $C U_2$ - antimon-tseesium-katoodi ja $BC U_2$ - vismut-hõbe-tseesium-katoodi. Enne sidekriipsu olev täht B märgib vaakuumtäidist, Γ - gaastäidist. Sidekriipsule järgnev number on antud tüüpi fotoelemendi järjekorranumber.

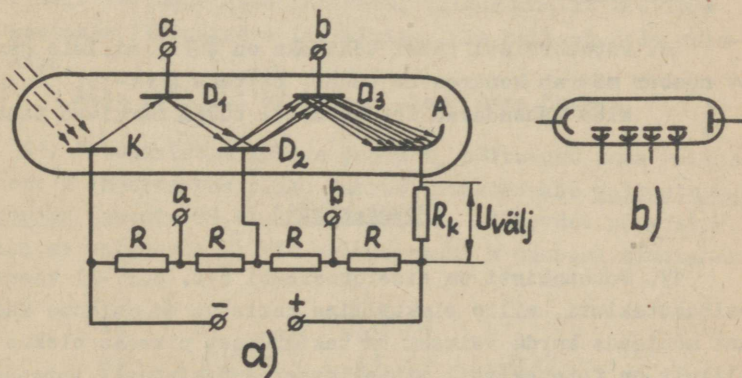
Mida tähendavad järgmised tähised: a) $C U_2 B-4$; b) $U_2 \Gamma-3$; c) $U_2 B-3$?

Fotokordistid

13. Eespool vaadeldud fotoelemendi (fotoraku) vool on väga nõrk. Automaatsüsteemide täiturmehhanismid vajavad vähe-
malt mõne milliampri tugevust voolu, mistõttu fotovoolu tuleb
võimendada. Et eraldi võimendit vaja ei oleks, kasutatakse fo-
tokordistit, kus sisuliselt on fotoelement kokku ühendatud
vooluvõimendiga. Fotokordisti tundlikkus on kuni mõni amper
luumeni kohta ja maksimaalne vool tohib olla kuni üks milliam-
per, sest liiga suur vool põhjustaks elektroodide purunemise.
Puuduseks on fotokordisti suur pimevool ja selle spontaanne
kõikumine.

- 1) Mis eelis on fotokordistil fotoelemendiga võrrel-
des?
- 2) Kus kasutatakse fotokordisteid?

14. Joonisel 67, a on esitatud fotokordisti ehitus ja lü-
litusskeem ja b - fotokordisti tingmärk. Fotokordisti õhutüh-



Joonis 67

jas klaaskestas asub fotokatood K, sekundaarkatoodid ehk dü-
noodid D₁, D₂, ... (neid on tegelikult rohkem kui joonisel
näidatud) ning anood A. Kasutatava anoodpinge suuruseks on
1000 ... 2000 volti. Toiteallika pinge U jagatakse pingeja-
guri takistite R abil nii, et iga järgmise dünoodi pinge on

eelmise omast 50 ... 150 V suurem. Toiteallika plussklemmi ja anoodi vahele lülitatud koormustakistilt R_k saadakse väljundpinget $U_{välj}$.

Millest oleneb fotokordisti väljundpinge suurus?

15. Fotokordisti kasutab oma töös välisfotoefekti ja sekundaaremissiooni (vt. p.I-11). Fotokatoodilt valguse toimel emiteerunud elektronid liiguvad elektrivälja mõjul esimesele dünoodile. Oma teekonnal saavad nad nii suure kiiruse (nad liiguvad vaakumis!), et löövad dünoodist välja nende endi arvust 3 ... 5 korda rohkem sekundaarelektrone. Kõik need elektronid liiguvad edasi järgmisele dünoodile, kus kordub sama protsess jne. Selle nähtuse tulemusena tekibki fotovoolu võimalus. Et dünoodid ei puruneks, tohib fotokordisti anoodvool olla maksimaalselt kuni üks milliamper.

1) Millise kujuga võiksid olla fotokordisti pingevoolu tunnusjooned?

2) Kas fotokordistit võib sisse lülitada tugeva valguse käes?

16. Fotokordisti tüüpi tähisteks on $\Phi 3Y$, millele järgnev number määrab konkreetse tüübi, näiteks $\Phi 3Y-35$.

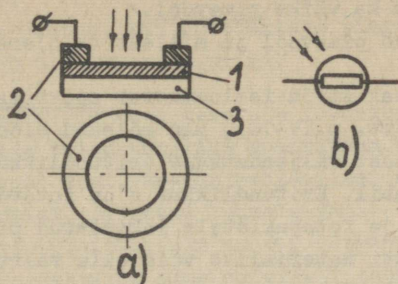
Mida tähendavad fotokordisti tüüpi märkivad tähed?

Fototakistid

17. Fototakisti on sisefotoefekti (vt. p.IV-2) kasutav pooljuhttakisti, mille elektriline takistus on valguse käes kuni mõnisada korda väiksem ta takistusest pimedas olekus (järelilikult on fototakistil mittelineaarne takistus). Fototakistite materjalina kasutatakse seleeni või selle ühendeid (kaadmiumseleneedi) ning mitmeid väävliühendeid: kaadmium-, tallium-, plii- ja vismutsulfiide. Takistuse muutumise inertsi vähendamiseks kasutatakse väga õhukest (peaaegu läbipaistvat) aktiivaine kihti.

Järelilikult fototakisti takistus valguse suurenedes
....., mistõttu teda läbiv vool

18. Fototakisti (ehitus joonisel 68, a ja tingmärk joonisel b) koosneb tavaliselt klaasplaadist 3, millele on kantud

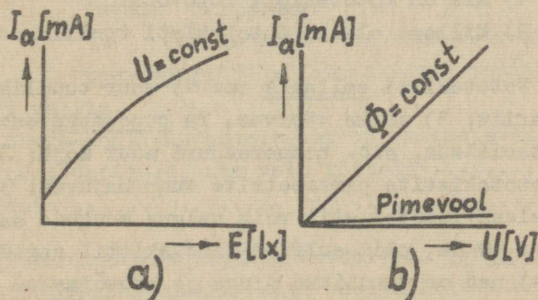


Joonis 68

õhuke pooljuhi kiht 1. Pooljuhi kahele vastasküljele on kinnitatud metallelektroodid 2. Kõik see paigutatakse aknaga varustatud plastmassist korpusesse. Elektroodid ühendatakse korpuse külge kinnitatud metalljalgedega, mis võimaldavad teda pistikutaoliselt vooluahelasse lülitada. Valgustundlik aktiivne pind kaetakse läbipaistva lakikihiga, mis kaitseb teda niiskuse eest.

Miks pooljuhi kiht peab olema väga õhuke?

19. Fototakistit läbiva voolu I_a sõltuvust tema valgustatusest E (konstantse pinge juures) nimetatakse valgustustunusjooneks (joonis 69, a). Sama voolu I_a sõltuvust pingest U (konstantse valgusvoo Φ või valgustatuse E juures) nimetatakse

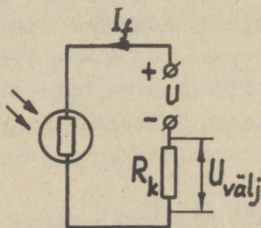


Joonis 69

pinge-voolu tunnusjooneks (joonis 69,b). Kuna valgustustunnusjoon on mittelineaarne, siis ei ole fototakisti tundlikkus konstantne, vaid oleneb valgustatusest. On ühtlasi näha, et fototakistil on ka väike pimevool.

· Mis on pimevool ja millest ta oleneb?

20. Fototakisteid iseloomustab spektraalne ja integraalne tundlikkus (vt. p.IV-10), mis mõlemad olenevad takisti materjalist. Viimast väljendatakse eritundlikkuse $s = I_f / (\Phi U)$ [$\mu A / (lm \cdot V)$] abil. Eritundlikkus s on fotovoolu I_f jagatis valgusvooga Φ ja fototakistile rakendatud pingega U ning olenevalt takisti materjalist võib olla väärtusega 500 30000 $\mu A / (lm \cdot V)$. Fototakisti tundlikkus on suurem fotoelemendi tundlikkusest, mistõttu neid on mõnikord võimalik kasutada ilma fotovoolu võimendamiseta (joonis 70).



Joonis 70

Fototakisteid iseloomustab veel lubatav tööpinge V (15 ... 400 V), pimetakistus Ω ($4 \cdot 10^4$... $10^7 \Omega$), takistuse vähenemise kordsus valgustatusel 200 lx (1,5 ... 500).

- 1) Mis on fototakisti fotovool?
- 2) Millest oleneb fototakisti tundlikkus?

21. Fototakisti eeliseks on: 1) suur tundlikkus; 2) väike gabariit; 3) väike väsimus. Ta puuduseks on: 1) termiline ebastabiilsus, s.t. temperatuuri suur mõju; 2) ühetüübiliste fototakistite parameetrite suur hajuvus; 3) suur inertts (seleen-fototakistil võib valgus muutuda sagedusega ainult kuni 10 Hz, plii-sulfiid-fototakistil sagedusega kuni 10 kHz); 4) nad on tundlikud pingele ja kaovõimsuse suurenemisele; 5) nende tundlikkus oleneb valgustatusest.

1) Miks temperatuuri muutumine avaldab mõju fototakisti tööle?

2) Mis juhtub, kui fototakisti pinge või kaovõimsus suureneb üle lubatava piiri?

22. Fototakisteid saab kasutada fotoelementide asemel automaatsüsteemide valgustundlike anduritena (näiteks fotoreleede koosseisus) seal, kus on mehaanilisi surveid, vibratsioone, rappumisi, piiratud ruumala vms.

Fototakisti tüübitähiseks on ΦC (= фотосопротивление). Sellele järgneb sidekriips ning materjali tähistav täht: A - pliisulfiid; Б - vismutsulfiid; К - kaadmiumsulfiid; Д - kaadmiumseleenid. Viimaseks tähiseks on konstruktiivset kuju märkiv number.

Mida tähendavad tähised: a) $\Phi C-A1$; b) $\Phi C-52$?

Pooljuhtfotoelementid

23. Pooljuhtfotoelemente valmistatakse seleenist, germaaniumist, ränist või teistest pooljuhtmaterjalidest, kusjuures kasutatakse kahte erisuguse juhtivusega materjali, mida eraldab p-n-siire. Selle siirde olemasolu tõttu nimetatakse pooljuhtfotoelemente fotodiodideks (tingmärk joonisel 71).

Fotodiod on põhimõtteliselt harilik pooljuhtdiod, mille p-n-siiret on võimalik mõjutada valgusega.



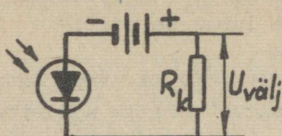
Joonis 71

Fotodiodidel on kaks töörežiimi: 1) fotomuunduri (ehk fototakisti) režiim; 2) fotogeneraatori režiim.

Seega pooljuhtfotoelement on valgustatava p-n-siirdega pooljuhtdiod, mis võib töötada abil tüüritava või

24. Praktikas kasutatakse fotodiodi fotomuunduri režiimis. Fotodiodile antakse siis vooluallikast vastupinge (joonis 72). Valgustamata diodi läbib väike pimevool (kuni mõnekümne mikroamprine vastuvool). p-n-siirde valgustamisel

tekitavad sinna tunginud valguskvandid täiendavaid laengukandjaid (elektrone ja auke), mille arvel diodi vastuvool suureneb kuni mõnesaja mikroamprini. Koormustakistilt R_k saab



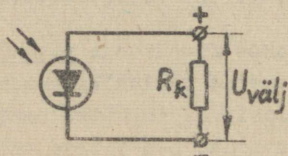
Joonis 72

seetõttu valgustatusega võrdelise väljundpinge $U_{välj}$.

Fotomuundurina töötava fotodiodi spektraalne ja integraalne tundlikkus võib olla kuni mõnikümmend $mA/\mu m$. Väike inertts võimaldab fotodiode kasutada nendes automaatseadmetes, kus on vaja suuremat reageerimiskiirust (alates sagedusest 9 MHz väheneb nende tundlikkus kuni 25 %).

- 1) Mida saab fotodioidil valguse abil tüürida?
- 2) Võrrelda fotodiodi inertsi vaakuumfotoelemendi (fotoraku) inertsiiga.
- 3) Kas valguse abil oleks võimalik ka transistori tüürida?

25. Fotogeneraatori režiimis töötavat fotodiodi nimetatakse galvaaniliseks fotoelemendiks (ka fotopingeelemendiks). Kui valgus langeb p-n-siirdele, siis selline element muutub ise vooluallikaks, sest valguse toimel tekib siirde tsoonis vabu laengukandjaid (elektrone ja auke), mis siirde elektrivälja mõjul liiguvad nii, et n-juhtivusega pooljuht saab negatiivse potentsiaali ja p-juhtivusega pooljuht positiivse potentsiaali (sellist nähtust nimetatakse fotogalvaaniliseks efektiks - vt. p.IV-4). Fotodiodi elektroodide vahel tekib potentsiaalide erinevus (emj., pinge), mis põhjustab läbi koormustakisti R_k voolu (joonis 73). Tekkiv fo-



Joonis 73

to-emj. on suurusega mõni kümnendik volti kuni paar volti (olenevalt materjalist). Kiirgusenergiast muutub elektrienergiaks ainult väike osa, mistõttu nende elementide kasutegur on madal. Ränidiodidega on saavutatud siiski kasutegur 11 %, galliumarseniiddiodidega isegi kuni 35 %. Sellistest elementidest valmistatakse nn. päikesepatareisisid, mis muudavad päikese energia otse elektrienergiaks, andes võimsust 60 100 W/m². Seleenfotoelementide spektraalne tundlikkus on lähedane inimsilma tundlikkusele, mistõttu neid kasutatakse anduritena luksmeetrite koosseisus (valgustatuse mõõtmiseks).

- 1) Kus kasutatakse galvaanilisi fotoelemente?
- 2) Mis tähtsus on päikesepatareidel?

26. Fotodiodi tüüpi tähistes kasutatakse tähti ΦA (= $\phi o m o g u o g$). Nendele järgnev täht märgib diodi materjali, näiteks K - ränidiod jne. Sidekriipsule järgnev number on tüüpi numbriks.

- Mida tähendavad järgmised tähisted: a) $\Phi A K-1$;
- b) $\Phi A-3$?

Vastused

1. Ei. Nad reageerivad ka ultravioletsetele, infrapunastele ja veel mõnele teisele kiirguseliigile.
2. 1) Footon on elektromagnetilise välja energiakvant, mille energia suureneb lainepikkuse lühenedes. 2) See on kindel energiakogus, mis neeldub aatomis või kiirgub aatomist, kui elektron hüppeliselt ühelt energiatasemelt teisele lähed. 3) Väheneb.
3. Ei. Tekib ainult väikese väljumistööga ainetes (vt. I pt., p.7).
4. Sisefotoefekt. Välisfotoefekt. Fotogalvaaniline efekt.
5. Valguse ehk valguskiirguse.
6. Katoodi valgusviljakus on väike ($\sim 1 \mu A/cm^2$). Anood ei tohi varjata katoodile langevat valgust.

7. Praktiliselt ei teki. Esineb ainult väga väike (mõni tuhandik või sajandik mikroamprit) pimevool, mille tekitab katoodi termoemissioon ja klaaskolvi juhtivus (lekkevool).

8. Mõni kuni mõnikümmend mikroamprit.

9. 1) Ionisatsioon tekib siis, kui elektronid on anoodpinge mõjul omandanud vajaliku kiiruse. 2) Anoodpinge abil.

10. Ei ole. Eksploatatsioonis tundlikkus väheneb (tekib nn. väsimus). Tundlikkus oleneb ka langevast valgusvoost.

11. 1) Enamasti on fotovoolu vaja võimendada. 2) Nad on automaatsüsteemides, helikiinos jne. valgusele reageerivateks anduriteks.

12. a) Antimon-tseesium-katoodiga vaakuumfotoelement nr.4; b) hapnik-tseesium-katoodiga gaastäidisega fotoelement nr.3; c) hapnik-tseesium-katoodiga vaakuumfotoelement nr.3.

13. 1) Fotokordistil on suurem tundlikkus ja vool. 2) Neid kasutatakse väga väikeste valgusvoogude (kuni $10^{-3} \mu\text{m}$) registreerimiseks (näiteks astronoomias jne.).

14. See oleneb fotokordistit läbivast voolust, sest see tekitab takistil R_k pingelangu.

15. 1) Sarnanevad vaakuumfotoelemendi tunnusjoontele (vt. joonis 65). 2) Ei või, sest tekiks ohtlikult tugev vool.

16. Фотоэлектронный усилитель.

17. Väheneb. Suureneb.

18. Õhukeses kihis levib valgus kiiresti kogu materjali paksuse ulatuses ning takistuse muutumise kiirust iseloomustav inerts on väiksem.

19. Pimevool on läbi valgustamata fototakisti tekkiv vool, mille suurus oleneb pimetakistusest ning takistile rakendatud pingest.

20. 1) Fotovool on valgusvoolu ja pimevoolu vahe. 2) Tundlikkus oleneb takisti materjalist, langeva valguse spektrist ja valgusvoost (takisti valgustatusest).

21. 1) Temperatuuri tõustes väheneb pooljuhi takistus. 2) Takisti rikneb.

22. a) Plisulfiid-fototakisti nr.1; b) vismutsulfiid-fototakisti nr.2.

23. Valguse. Takistina. Vooluallikana.

24. 1) Saab tüürida p-n-siirde vastutakistust ja vastuvoolu. 2) Fotodiodid on suurema inertsiga, mistõttu ta tundlikkus sageduse suurenemisel väheneb. 3) Mõjutab küll. 4) On olemas fototransistore, mille kollektorivoolu saab tüürida emittersiirde valgustamisega (säilib ka elektrilise tüürimise võimalus).

25. 1) Neid kasutatakse valgustustehnilisteks mõõtmisteks ja valguse abil töötavates vooluallikates. 2) Päikesepatareisid kasutatakse vooluallikatena kosmoselaevadel.

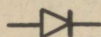
26. a) Ränifotodiodid nr.1; b) germaaniumfotodiodid nr.3.

V. ALALDID

Alaldite mõiste ja liigitus

1. Alaldiks nimetatakse muundurit, mis muudab vahelduvvoolu alalisvooluks. Peaaegu kõik tänapäeval kasutatav alalisvool saadakse alaldite abil.

Alaldi koosseisus peab tingimata olema elektriventil (tingmärk joonisel 74), milleks võib olla ühesuunalise elekt-
rijuhtivusega mittelineaarne takisti (juhtivuse suunda näitab tingmärgi noole suund). Staatilisi elektriventile nimetatakse diodideks.



Joonis 74

Vahelduvvooluahelasse lülitatud ventiil muudab vahelduvvoolu pulseerivaks vooluks, s.o. püsiva suunaga, kuid muutuva väärtusega vooluks.

- 1) Tuua näiteid alalisvoolu vajaduse kohta.
- 2) Millest on tulnud nimetus "elektriventil"?
- 3) Kas peale staatiliste ventiilide on olemas veel teisi elektriventile?

2. Reaalsel elektriventilil on teatav päritakistus, mistõttu päri vool tekitab energiakadusid ja ventiili kasutegur on alla 100 %. Energiakaod muutuvad soojuseks. Et ventiil ei rikkneks, siis on talle lubatud kindel koormus, mida väljendatakse alaldatud voolu lubatava maksimaalse väärtusega.

Tõkkeperioodil langeb kogu vahelduvvooluallika pinge ventiilile, kujutades endast vastupinget. Vastupinge ei tohi ületada ventiilile lubatavat vastupinget.

Millist ventiili võiks nimetada ideaalseks ventiiliks?

3. Peale elektriventili võib alaldi koosseisus olla veel trafo, silufilter ja stabilisaator. Nendest trafo muudab vahelduvpinge selliseks, et saadav alalispinge oleks ettenähtud väärtusega. Silufilter vähendab alaldatud pinget või voolu pulsatsiooni. Stabilisaator hoiab väljundvoolu või pinget konstantsena (vaatamata sisendpinge või koormuse võimalikele kõikumisele).

Kas alaldi võiks töötada ka ilma trafota?

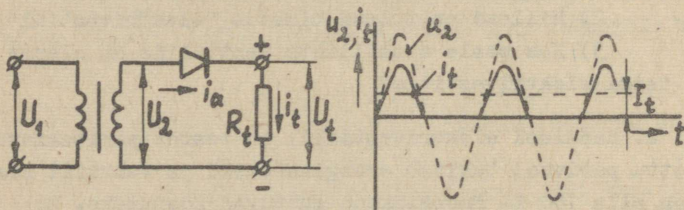
4. Kasutatavate ventiilide järgi jaotatakse alaldeid elektronalalditeks (kenotronalaldid), ioonanalalditeks (gasotron-, türatron- ja elavhõbealaldid), pooljuhtalalditeks (räni-, germaanium-, seleen- ja kuproksalaldid).

Alaldatava voolu liigi järgi jagunevad alaldid ühe- ja kolmefaasilisteks (üldjuhul - mitmefaasilisteks) alalditeks.

Alaldi skeemi järgi jagunevad alaldid poolperiood- ja täisperioodalalditeks.

Säega kokkuvõtteks võib öelda, et on olemas ja faasilised periood- ja perioodalaldid.

5. Ühefaasilise poolperioodalaldi põhimõtteskeem ja alaldatud voolu graafik on kujutatud joonisel 75 (kaitsmeid



Joonis 75

sellel lihtsustatud skeemil, nagu ka järgnevatel skeemidel, ei ole märgitud). Skeemil on kasutatud järgmisi tähiseid: U_1 - primaarse vahelduvpinge efektiivväärtus; U_2 - sekundaarse vahelduvpinge efektiivväärtus; u_2 - sama pinge hetkväärtus; U_t - alaldatud pinge keskvärtus ühe perioodi kestel; i_a, I_a - ventiili läbiva voolu hetkväärtus ja keskvärtus; i_t, I_t - tarbijat läbiva voolu hetkväärtus ja keskvärtus; R_t - tarbija ehk koormuse takistus.

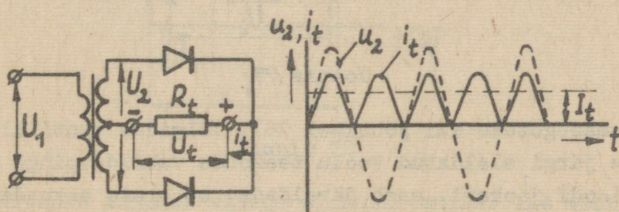
Nimetus poolperioodalaldi tuleneb sellest, et kasutatav ainuke ventiil laseb läbi (alaldab) ainult ühe vahelduvvoolu poolperioodi, teise poolperioodi aga kustutab (vt. alaldatud voolu graafik joonisel 75).

Vaadeldava lülituse eeliseks on ventiilide vähesus. Puudusteks on: 1) alaldatud vool on suure pulsatsiooniga (vool on poole perioodi jooksul nullväärtusega); 2) trafo sekundaarmähist läbiv alalisvool tekitab südamiku eelmagneetamise, mis suurendab trafo primaarvoolu ja südamiku vajalikke mõõtmeid; 3) ventiilile mõjub suur vastupinge.

Nimetatud puuduste tõttu kasutatakse ühefaasilist poolperioodalaldi suhteliselt harva (näiteks väikese vooluga kõrgpingealaldites).

- 1) Millisteks komponentideks on pulseeriv vool lahutatav?
- 2) Millist voolu väärtust näitab tarbija järjestikku ühendatud ampermeeter?
- 3) Kuidas määrata alaldi väljundklemmide polaarsust?

6. Joonisel 76 on kujutatud ühefaasilise täisperioodalaldi skeem, kus on kasutatud sekundaarmähise keskväljavõt-



Joonis 76

tega (ehk nullpunktiga) trafot, ning alaldatud voolu graafik. Joonisel olevate tähiste tähendus on sama, mis eelmises punktis.

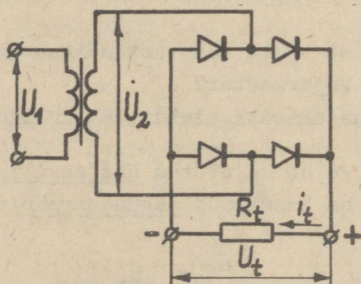
On näha, et selles skeemis on kaks ventiili (või ventiilide gruppi). Jälgides ventiilide avasuundi võib järeldada, et üks ventiil alaldab ühe, teine ventiil aga teise vahelduvvoolu poolperioodi. Ühe poolperioodi jooksul töötab trafo sekundaarmähise üks pool, teise poolperioodi jooksul teine, kusjuures voolud sekundaarmähise erinevates pooltes on erineva suunaga.

Selle skeemi eelised: 1) ei teki trafo südamiku eelmagnetimist alalisvooluga; 2) alaldatud voolu kuju on parem (voolu nullväärtused esinevad ainult hetkeliselt).

Skeemi puudused: 1) trafo sekundaarmähise keskväljavõtte vajadus (harilikul trafol see puudub); 2) trafo sekundaarmähise halb kasutamine (korraga töötab ainult pool mähist); 3) suurema arvu ventiilide vajadus; 4) ventiilidele langeb suur vastupinge.

Miks kirjeldatud skeemis ei teki trafo südamiku eelmagnetimist alalisvooluga?

7. Ühefaasilise täisperioodalaldi sildlülituse põhimõtteskeem on kujutatud joonisel 77 (alaldatud voolu graafik ku-



Joonis 77

juneb samasuguseks kui joonisel 76). Jälgides ventiilide avasuundade järgi alaldatud voolu teekonda vahelduvpinge mõlema poolperioodi jooksul, saab järeldada, et trafo sekundaarmä-

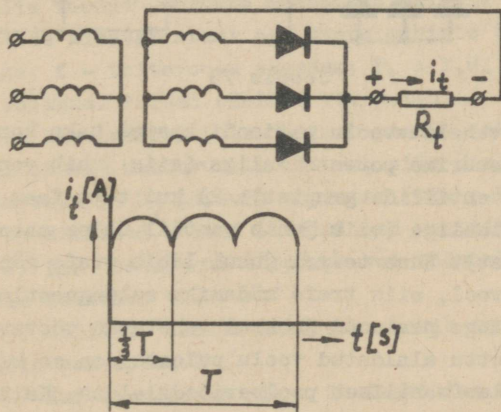
hist läbib tavaline vahelduvvool. Vajalik ventiilide arv on küll suurem, kuid kuna vastupinge igale ventiilile kujuneb 2 korda väiksemaks kui eelmises skeemis (kaks ventiili jäävad töötamisel alati järjestikku), võib üldine vajalik ventiilide arv kujuneda samaks mis eelmises punktis kirjeldatud skeemis.

Skeemi eelised: 1) trafo sekundaarmähist kasutatakse täielikult; 2) ei ole vaja erikonstruktsiooniga trafot ja võib isegi ilma trafota läbi saada; 3) ventiilidele langev vastupinge on väiksem.

Skeemi puudused: 1) ventiile kasutatakse ainult ühe poolperioodi jooksul; 2) koormusega jääb alati järjestikku kaks ventiili (pingelang ja energilakaod suurenevad, kasutegur väheneb).

Milliseid ventiile oleks sildlülituses soovitav kasutada, et eelpoolnimetatud lülituse puudused vähem mõju avaldaksid?

8. Kolmefaasilises poolperioodalaldis (joonis 78) on ventiilid (või ventiilide grupid) tähtlülituses, kusjuures



Joonis 78

trafo nullpunkt kujuneb alaldi miinusklommiks. Iga ventiil juhib siin ainult 1/3 perioodi vältel, s.o. sellise aja vältel, millal vastava faasi pinge ületab teiste faaside pinge.

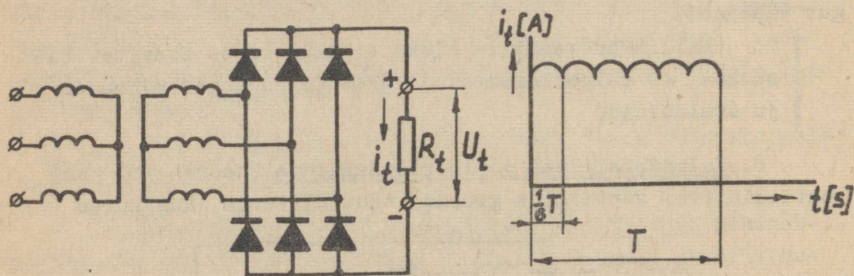
Eeliseks on alaldatud voolu pulsatsiooni väiksem sügavus ja suurem sagedus (alaldatud vool sarnaneb rohkem alalisvoolule). Puuduseks on trafo südamiku eelmagneetimine alalisvooluga.

Kolmefaasilisi alaldeid eelistatakse kasutada suurema võimsusega alalditena.

1) Miks kirjeldatud kolmefaasilise alaldi lülitus kannab poolperioodalaldi nimetust?

2) Miks tekib kirjeldatud alaldis trafo südamiku eelmagneetimine alalisvooluga?

9. Veel paremate omadustega alaldatud vool (väiksema sügavusega ja suurema sagedusega pulsatsioon) saadakse kolmefaasilise alaldi sildlülituses ehk Larionovi lülituses alaldist (joonis 79). Selles lülituses töötab trafo iga se-



Joonis 79

kundarmähis vahelduvvoolu perioodi kestel kaks korda: 1) kui tema faas on suurima potentsiaaliga (siis juhib ventiil ühise katoodiga ventiilide grupist); 2) kui tema faas on väikseima potentsiaaliga (siis juhib ventiil ühise anoodiga ventiilide grupist). Kuna teisel juhul läbib trafo mähist vastassuunaline vool, siis trafo südamiku eelmagneetimist ei teki. Vahelduvpinge perioodi jooksul vahetuvad töötavad faasid 6 korda, mistõttu alaldatud voolu pulsatsioon on kaks korda suurem kui kolmefaasilises poolperioodalaldis. Ka trafot kasutatakse siin paremini. Puuduseks on asjaolu, et korruga juhib kaks järjestikust ventiili või ventiilide gruppi, mistõttu alaldi koormamisel suurenevad pingelang ja energiakaod.

Kui suur on kirjeldatud alaldist saadava voolu pulsatsioonisagedus, kui toitepinge sagedus on 50 Hz?

10. Kirjeldatud alaldite omaduste võrdlemiseks on järgmisse tabelisse koondatud iseloomustavad parameetrid.

Parameetri nimetus	1-faasiline poolperiood-alaldi	1-faasiline täisperiood-alaldi	1-faasiline sildlülitus	3-faasiline poolperiood-alaldi	3-faasiline sildlülitus
U_2/U_t	2,22	2,22	1,11	0,855	0,428
U_v/U_t	3,14	3,14	1,57	2,09	1,05
I_a/I_t	1	0,5	0,5	0,33	0,33
Pulsatsioonisagedus	f	2f	2f	3f	6f
Trafo sekundaarmähise näivvõimsus	3,49P _t	1,74P _t	1,23P _t	1,48P _t	1,045P _t

Tabelis toodud suuruste määramisel ei ole arvesse võetud ventiilide sisetakistusi ega trafo mähiste takistusi. U_v - vastupinge; f - toitevoolu sagedus; $P_t = I_t U_t$ - alalisvoolutarbija võimsus. Teised tähised vt. p.V-5.

Tabeli kasutamisel tuleb silmas pidada, et kui alaldi juurde lülitatakse mahtuvuslik filter, siis ühele ventiilile rakenduv vastupinge U_v järsult suureneb (vt. p.V-12).

- 1) Millised andmed on olulised ventiilide valikul?
- 2) Mis teha, kui tööpinge või töövool ületavad ventiilile lubatava väärtuse?
- 3) Millises alaldi lülituses tekib ventiilidele väikseim vastupinge?
- 4) Kui suur peaks olema ühefaasilise alaldi toite-trafo sekundaarpinge efektiivväärtus, et väljundpinge oleks 220 V?

Silufiltrid ja stabilisaatorid

11. Selleks et tarbija saaks ühtlast, s.o. võimalikult väikese pulsatsiooniga (lainelisusega) alalispinnet, lülitatakse vajaduse korral alaldi ja tarbija vahele silufilter (joonis 80). Pulseeriv alalispinge või -vool koosneb kahest



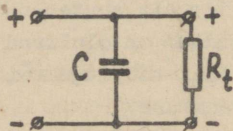
Joonis 80

komponendist: 1) püsiva väärtusega alaliskomponent; 2) vahelduvkomponent. Silufiltris kasutatakse elemente, mis alaliskomponendi lasevad vabalt tarbijasse, vahelduvkomponendile on aga suureks takistuseks või juhivad vahelduvkomponendi tarbijast mööda.

Filtri kadude tõttu väheneb filtriga alaldi kasutegur ja ta pinge langeb koormusvoolu kasvades järsumalt, s.t. alaldi välis- ja sisetunnusjooned on järsumalt langevad.

Miks filtriga alaldil tekib järsumalt langev välis- ja sisetunnusjoon?

12. Lihtsaimaks silufiltriks on tarbijaga paralleelselt ühendatud kondensaator (joonis 81). Kuna mahtuvuse tähis on



Joonis 81

C , võib seda filtrit nimetada ka C -filtriks. Paralleelne kondensaator juhib pulseeriva voolu vahelduvkomponendi tarbijast mööda (ta juhtivus suureneb vahelduvkomponendi sageduse suurenedes), mille tulemusena tarbijat läbib ühtlasem alalivool. Olukorda võib käsitleda ka nii, et sel ajal, kui alaldi pinge

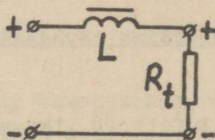
hetkväärtus on null, toidab tarbijat kondensaator (kondensaator tühjeneb läbi tarbija). Vooluimpulsi ajal kondensaator laadub ja kogub energiat, impulsi vaheajal aga tühjeneb ja annab energia tarbijale.

Kirjeldatud filtri puudused: 1) kuna alaldi ventile läbib kondensaatori laadimisvool, on vaja suurt maksimaalvoolu taluvaid ventile; 2) kuna laetud kondensaatori pinge liitub trafo poolt ventiilidele tekitatud vastupinge amplituudiga, siis ühele alaldi ventiilile rakenduv vastupinge peaaegu kahekordistub; 3) on vaja väga suure mahtuvusega kondensaatoreid (eriti just poolperioodalaldites).

1) Oma suure mahtuvuse tõttu kasutatakse väikese vooluga filtrites elektrolüüt-kondensaatoreid. Milliseid erinevusi tuleb täita nende kasutamisel?

2) Millisele alaldile sobib kirjeldatud lihtne filter?

13. Lihtsa silufiltrina töötab ka tarbijaga järjestikku ühendatud paispool ehk drossel (terassüdamikuga pool, vt. joonis 82). Drosselil on väike aktiivtakistus ja suur induktiivtakistus. Kuna induktiivsuse tähiseks on L, võib sellist



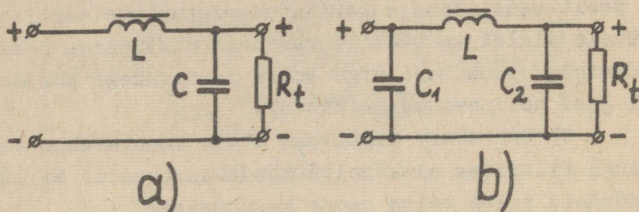
Joonis 82

filtrit nimetada ka L-filtriiks. Voolu alaliskomponenti vähendab drossel vähe, sest ta aktiivtakistus on väike. Voolu vahelduvkomponent väheneb aga seda rohkem, mida suurem on ta sagedus, sest drosseli induktiivtakistus on sagedusega võrdeline. Vooluimpulsi ajal salvestab drossel endasse energiat magnetvälja energia näol, vooluimpulsi vaheajal see magnetväli indutseerib drosselis endainduktsiooni elektromotoorjõu, mis säilitab tarbijas endise suunaga voolu.

Kirjeldatud filtri puuduseks on drosseli suur gabariit, kaal ja kõrge hind.

Millistes alaldites sobiks silufiltrina kasutada ainult drosselit?

14. Täiuslikumas silufiltris kasutatakse nii drosselit kui ka kondensaatorit korraga. Üheks levinumaks filtriks on Γ -kujuline LC-filter (joonis 83,a). Temast veel paremini si-



Joonis 83

lub pulseerivat voolu Π -kujuline filter (joonis 83,b), kuid selle filtri kondensaator C_1 koormab alaldit (alaldis on vaja suurema lubatava vooluga ventiile) ja sama kondensaatori olemasolu tõttu ei saa seda filtrit kasutadaioonventiilidega alaldis (sisselülitamise alghetkel tekiks nendes lubamatult tugev vool).

Kuidas oleks võimalik saada eriti hästi silutud alaldatud voolu?

15. Et muuta silufiltrit lihtsamaks ja odavamaks, kasutatakse väikeste alaldatud voolude korral Γ -kujulises filtris drosseli asemel aktiivtakistit r , mis ei tohi olla liiga suure takistusega. Sellist filtrit nimetatakse rC-filtriks.

Mis on rC-filtri puuduseks?

16. Mõnedes lülitustes nõutakse peale alaldatud voolu silumise ka tema stabiliseerimist, s.t. hoidmist konstantse-
na, vaatamata pinge teatavale kõikumisele. Voolu stabiliseerimiseks saab kasutada tarbijaga järjestikku ühendatud raud-
vesiniktakistit ehk barreteri. Viimane koosneb vesinikuga (rõhk 50 ... 200 mm Hg) täidetud klaaskolvist, millesse on paigutatud terasest või volframist traat (hõõgniit). Vesinikus kuumenenud traadi takistus muutub selliselt, et teatud

pingevahemikus jääb barreteri läbiv vool konstantseks (muutub ainult barreteri pingelang). Seega barreter töötab mittelineaarse takistina. Suhteliselt suure inertsiga tõttu stabiliseerib ta aeglasi voolu muutusi.

- 1) Miks barreteril on voolu stabiliseeriv toime?
- 2) Kus võiks tekkida voolu stabiliseerimise vajadus?

17. Barreteri tingmärk on kujutatud joonisel 84. Barreteri tüübi tähises esikohal olev arv näitab barreterimisvoolu (stabiliseeritava voolu keskmist väärtust) amprites; järgnev täht **B** märgib barreteri nimetust. Viimased kaks arvu näitavad pingepiirkonda voltides, mille vahel tekib voolu stabiliseerimine.

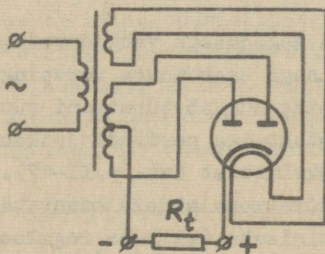


Joonis 84

- Mida tähendavad järgmised tähised: a) 0,24512 - 18;
b) 0,3517 - 35?

Erinevate ventiilidega alaldite iseärasusi

18. Kenotronalaldis kasutatakse ventiilidena kaksikkeenotrone (vt. p.I-22). Nende abil saab koostada täisperioodalaldeid, kuid nad vajavad sekundaarmähise keskväljavõttega trafot (joonis 85). Selliseid kenotronalaldeid saab kasutada väikese võimsusega, kuid kõrgema pingega alalisvooluallikate-



Joonis 85

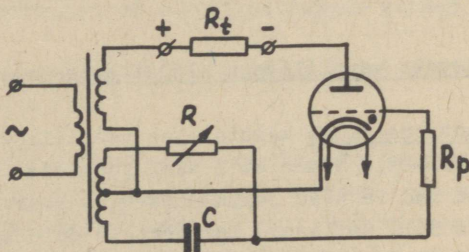
na näiteks automaatsüsteemide, telemehaanikaseadmete, mõnede mõõteriistade jne. koosseisus.

Milliseks kujuneb kenotronaaldis väljundklemmide polaarsus?

19. Gasotronaaldis kasutatakse enamasti kaksikgasotrone, mistõttu ta lülitusskeem põhimõtteliselt ei erine kenotronaaldis skeemist (joonis 85). Katood on gasotronidel tavaliselt otseküttega. Gasotronaaldis saab kasutada akude laadimiseks, kõrgsagedusgeneraatorite toitmiseks jne. Nende kasutamisel on vaja täita rida gasotronidele esitatavaid erinõudeid (vt. p.II-10 ... II-13). Nendest nõuetest ilmneb, et gasotronaaldisite kasutamine on küllalt tülikas, mistõttu neid tänapäeval enam ei kasutata.

Millist silufiltrit ei tohi gasotroni juures kasutada?

20. Türatronaaldisid töötavad tüüritavate aladitena. Lihtsaim ühefaasiline poolperioodlülituses türatronaaldis skeem on kujutatud joonisel 86. Türatroni võre saab anoodpin-



Joonis 86

gega võrreldes sama sagedusega vahelduvpinget. Takisti R takistuse reguleerimisega saab muuta võrepinge faasi anoodpinge suhtes. See toiming muudab türatroni süttimishetke ning alaldatud voolu kestust iga perioodi jooksul ja seetõttu ka alaldatud voolu keskvärtust (vt. p.II-17).

Tüüritavaid türatronaaldisid kasutatakse näiteks alalisvoolumootorite juhtimiseks (kiiruse reguleerimiseks), võõrgutusega alalisvoolugeneraatorite ergutuse reguleerimiseks jne.

Miks muutub türatroni võrepinge faas takistuse R muutumisel (vt. joonis 86).

21. Pooljuhtalaldid on oma lihtsuse ja töökindluse tõttu tänapäeval kõige levinumad alaldid. Nende põhimõttelised lülitusskeemid on samasugused kui joonistel 75 ... 79 kujutatud skeemid (elektriventili tingmärgi asemel tuleb joon.75...77 kujutada pooljuhtventiili tingmärk - vt. joonis 55,c). Enamasti kasutatakse sildlülituses pooljuhtalaldeid.

Vastavalt kasutatavatele ventiilidele jagunevad pooljuhtalaldid vaskoksiid- ehk kuproksalalditeks, seleenalalditeks, germaaniumalalditeks ja ränialalditeks. Eriti hea kasuteguriga ja suure võimsusega alalditeks on tänapäeval kujunenud räni-alaldid.

Kõigile pooljuhtalalditele on iseloomulik, et alaldatud voolu või pinge väärtuse tõstmiseks on võimalik pooljuhtventiilile ühendada paralleelselt, järjestikku või segalülitusse (vt. p.III-17). Selle võimaluse kasutamine on eriti levinud seleen- ja kuproksalaldites.

Miks seleen- ja kuproksalaldites ühendatakse ventiilid peaaegu alati järjestikku ja paralleelselt?

22. Pooljuhtalaldi erivariandiks on tüüritav pooljuhtalaldi. Selles alaldis kasutatakse tüüritavaid räniventile ehk türistore, mis erinevalt tavalisest pooljuhtventiilist (pooljuhtdiodist) on varustatud veel kolmanda elektroodiga - tüürelektroodiga (tingmärk joonisel 87). Kui tüürelektroodile anda pingepulss, hakkab ventiil juhtima ja juhib voolu nii kaua, kui anoodil on pinge. Voolu väärtus ei sõltu tüürimispingest. Järelikult sarnaneb türistor oma omadustelt türatronile. Ta eeliseks on väiksem gabariit, suur töökindlus ja väike sisepingelang. Tüürimisseadise ülesandeks on anda tüürelektroodile perioodilisi pingepulse (nagu türatronalaldis, vt. p.V-20).

Kus saab kasutada tüüritavaid pooljuhtalaldeid?

Vastused

1. 1) Alalisvoolu kasutatakse akude laadimiseks, elektro-
lüüsi teostamiseks, alalisvoolumootorite toitmiseks, sidesead-
metes jne. 2) Elektriventili nimetus on tulnud sarnasusest
pumba klappventiiliga, mis laseb vedelikku (õhku) läbi ainult
ühes suunas. 3) Pöörlevate mehaaniliste ventiilidena töötavad
näiteks kommutaatorid (alalisvoolumasinates).

2. Ideaalsel ventiilil oleks päritakistus null, vastu-
takistus aga lõpmata suur.

3. Trafo võib pünduda siis, kui antud vahelduva toite-
pinge puhul saadav alaldatud pinge on vajaliku suurusega.

4. Ühe. Kolme. Pool-. Täis-.

5. 1) Keskväertusega võrdseks alaliskomponendiks ja va-
helduvkomponendiks. 2) Magnetoelektriline mõõteriist näitab
alaldatud voolu keskväertust, elektromagnetiline mõõteriist
aga efektiivväertust. 3) Ventili avasuuna järgi määratakse
voolu suund tarbijas. Kokkuleppeliselt läbib vool tarbijat
vooluallika plussklemmilt miinusklemmi suunas.

6. Trafo sekundaarmähist läbivad ventiilide voolud on
vastassuunalised.

7. Oleks soovitav kasutada võimalikult väikese sisepin-
gelanguga ventiile.

8. 1) Igas faasis on ainult üks ventiil (või ventiilide
grupp), mis töötab selle faasipinge ühe poolperioodi kestel
(1/3 perioodi jooksul). 2) Kuna trafo iga sekundaarmähisega on
järjestikku lülitatud üks ventiil (või ventiilide grupp), siis
läbib trafo mähist alaldi koormamisel ühesuunaline pulseeriv
vool.

9. 300 Hz.

10. 1) Ventiilile lubatav vool ja lubatav vastupinge.
2) Tuleb kasutada ventiilide järjestik- või paralleelühendust.
3) Sildlülituses. 4) Poolperioodalaldil 488 V, täisperiood-
alaldil 488 V (sekundaarmähise täispinge), sildlülituses alal-
dil 244 V.

11. Filtri takistus tekitab täiendava pingelangu.

12. 1) Elektrolüüt kondensaatoris dielektrikuna töötav

oksiidikiht on ühesuunalise elektrijuhtivusega, mistõttu kondensaatori alumiiniumkest tuleb ühendada alaldi miinusklemmiga, keskmine klemm aga plussklemmiga (elektrolüütkondensaatori tingmärk on joonisel 88). 2) Väikese vooluga, s.o. suure koormustakistusega alaldile.



Joonis 88

13. Suure vooluga, s.o. väikese koormustakistusega alaldis.
14. Tuleb kasutada mitmeastmelist filtrit (näiteks kaks Γ -kujulist filtrit järjestikku).
15. Takistil r tekkiva alalispingelangu tõttu suurenevad alaliskomponendi kaod.
16. 1) Vesinikus kuunenud traadi takistus suureneb tunduvalt juba voolu väikese suurenemise korral. 2) Voolu stabiliseerimise vajadus võib tekkida näiteks elektronlampide küttehelates, mõnedes elektromagneti mähistes jne.
17. a) 0,24-A vooluga barreter, mis stabiliseerib pingevahemikus 12 ... 18 V; b) 0,3-A vooluga barreter, mis stabiliseerib pingevahemikus 17 ... 35 V.
18. Kenotroni katood on alaldi plussklemmiks ja trafo sekundaarmähise keskväljavõtte miinusklemmiks.
19. Π -kujulist silufiltrit (vt. p.V-14).
20. Muutub takisti R klemmipinge suurus, mis aga koos kondensaatori C pingega põhjustabki võrepinge faasi muutuse anoodpinge suhtes.
21. Seleen- ja kuproksventiilidele (diodidele) lubatavad vastupinged ja voolud on väikesed, ventiilide parameetrid aga on vähe hajuvad.
22. Neid saab kasutada tüüritavate ioonalaldite asemel (näiteks alalivoolumootoriga ajamites jne.).

VI. VÕIMENDID

Võimendite mõiste ja liigitus

1. Võimendi on seade, mille väljundvõimsus on sisendvõimsusest suurem. Võimendamise protsess toimub võimendi toiteallika energia arvel (võimendi tarbib lisaenergiat). Toiteallikast saadud võimsuse muundamiseks on võimendis vajalik spetsiaalne võimenduselement. Sisendsignaali energia reguleerib (juhib, tüürib) võimenduselemendi abil toiteallikast saadavat energiat, mis ongi võimendi väljundenergiaks. Väikese sisendenergia kuluga saab tüürida suuri väljuva energia hulki.

Võimenduselementideks võivad olla võrega elektronlambid ja transistorid.

Kas peale elektronlampide ja transistoride on olemas ka teisi võimenduselemente?

2. Tööstuses kasutatakse võimendeid peamiselt mitmesugustes automaatsüsteemides - näiteks andurite nõrkade signaalide võimendamiseks, et nende abil oleks võimalik tööle panna täiturelemente. Seadet, millele antakse võimendi väljundvõimsus, nimetatakse võimendi koormuseks. Kuna võimendi tööd mõjutab koormuse takistus, siis vaadeldakse võimendi koormusena ainult tema takistust R_t (tarbija takistus).

Tuua näiteid võimendite kasutamise kohta erinevatel tehnikaaladel.

3. Elektrivõimendites võimendatakse kas pinget, voolu või võimsust. Sellest olenevalt liigitatakse neid pingevõimenditeks (eelvõimendid), vooluvõimenditeks ja võimsusvõimenditeks (lõppvõimendid). Tegelikult toimub ka kahel esimesel juhul võimsuse võimendamine. Reaalne mõte võimsusvõimendusel puudub ainult siis, kui võimenduselemendi sisendtakistus on nii suur, et sisendvõimsus praktiliselt puudub (võimendi tüürimine toimub siis ainult pinge abil).

Lampvõimendist võib saada maksimaalset pinget, voolu või võimsust sobiva koormustakistuse R_t valikuga (seda vali-

mist nimetatakse koormuse sobitamiseks). Maksimaalne vool saadakse siis, kui $R_t = 0$ (lühiseolukord), maksimaalne pinge saadakse siis, kui $R_t = \infty$ (tühijooksuolukord), maksimaalne võimsus saadakse siis, kui koormustakistus võrdub võimenduselemendi sisetakistusega.

Pinget kõrgendaval trafol on väljundpinge kõrgem sisendpingest. Kas selline trafo on võimendi?

4. Kasutatava võimenduselemendi järgi jagunevad elektri-võimendid lampvõimenditeks ja pooljuhtvõimenditeks. Peale nende on olemas veel elektrimasinavõimendid, magnetvõimendid jne., mis aga ei kuulu elektroonika kursusse.

Võimendatava signaali sageduse järgi jagunevad võimendid kõrgsagedusvõimenditeks (kasutatakse raadiosides), madalsagedus- (helisagedus-) võimenditeks ja alalispingevõimenditeks.

Võimenduselementide arvu järgi võivad kõik võimendid olla ühe- ja mitmeastmelised.

Mis eesmärgil kasutatakse mitmeastmelisi võimendeid?

5. Võimendi tähtsamaks parameetriks on võimendustegur k . Pinge-võimendustegur k_U , mida nimetatakse sageli lihtsalt võimendusteguriks, on väljundpinge ja sisendpinge suhe. Voolu-võimendustegur k_I on väljundvoolu ja sisendvoolu suhe. Võimsus-võimendustegur k_P on väljundvõimsuse ja sisendvõimsuse suhe.

Kuidas määrata mitmeastmelise võimendi võimendustegurit?

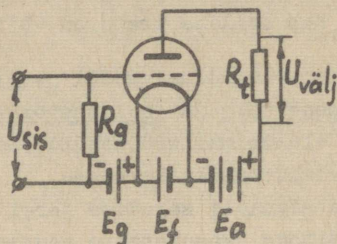
6. Võimendi väljundpinge kuju peab täpselt vastama sisendpinge kujule. Mittevastavust nimetatakse moonutuseks. Moonutused jagunevad lineaarmoonutusteks (nende põhjuseks on asjaolu, et reaktiivtakistuste olemasolu puhul võimendatakse erineva sagedusega pingeid erinevalt) ja mittelineaarmoonutusteks (need on tingitud võimenduselemendi tunnusjoone kõverusest - mittelineaarsusest).

Lubatavate moonutuste suurus oleneb võimendi kasutus-alast.

Mis on võimendis tekkivate moonutuste põhjuseks?

Madalsageduslikud lampvõimendid

7. Lihtsaima ühelambilise ehk üheastmelise lampvõimendi skeem on kujutatud joonisel 89. Võimenduslambiks on siin tri-ood (analoogiline lülitus pentoodiga on joonisel 24). Jooni-



Joonis 89

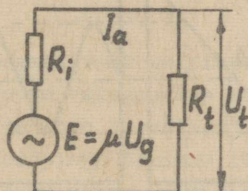
sel on U_{sis} sisendpinge (võimendatav vahelduvpinge); R_g - võreahelasse lülitatud takisti (suurusega kuni mõni $M\Omega$); E_g - võre negatiivse eelpingeallika elektromotoorjõud; U_g - võrepinge; E_f - küttevooluallika emj.; E_a - anoodvooluallika (võimendi toiteallika) emj.; R_t - koormustakistus (pingevõimendis valitakse selle suurus tavaliselt 2 ... 5 korda trioodi sisetakistusest suurem); I_a - anoodvool; R_1 - trioodi sisetakistus; U_a - anoodpinge; $U_{\text{välj}}$ - väljundpinge (võimendatud pinge).

On näha, et lampvõimendis esineb kaks vooluahelat: võreahel (sisendahel) ja anoodahel (väljundahel). Seejuures trioodi katood on mõlemale vooluahelale ühine (s.o. nn. ühise katoodiga lülitus). Sisendpinge U_{sis} väike muutus kutsub esile anoodvooluallikast E_a saadud anoodvoolu I_a küllalt suure muutuse, mis omakorda põhjustab kujult sarnase, kuid palju tugevama väljundpinge muutuse (vt. p.I-27), sest muutub pingelang takistil R_t . Seega võreahelas mõjuva sisendpingega tüüritakse voolu ja väljundpinget anoodahelas. Tüürimiseks kasutatav, samuti katoodi kütmiseks kasutatav energia väljundahelasse ei kandu. Kogu väljuv energia saadakse võimendi anoodvooluallikast E_a .

1) Miks võrel kasutatakse negatiivset eelpinget?

- 2) Kui suur on lampvõimendi inertis?
- 3) Milline on faas: a) sisendpinge U_{sis} ja väljundpinge $U_{\text{välj}}$ vahel; b) võrepinge U_g ja anoodpinge U_a vahel?
- 4) Kas kirjeldatud lihtne lampvõimendi on praktiliselt kasutatav?

8. Võimendi töö analüüsimiseks asendatakse võimendi lülitusskeem ekvivalentse aseskeemiga (joonis 90). Joonisel



Joonis 90

kujutatud aseskeem on hargnematu vooluahel, kus triood on asendatud vahelduvpingeallikaga, mille emj. $E = \mu U_g$ on konstantne, s.t. ei sõltu koormustakistusest. U_g on tüüriiv võrepinge, μ - trioodi võimendustegur (vt. p.I-28); seejuures U_g mõjub anoodvoolule I_a μ korda tugevamini kui anoodpinge U_a . Lambi sisetakistus R_i näidatakse vahelduvpingeallikaga järjestikku. Selline aseskeem ei näita elektronlambi toimuvat tööprotsessi, kuid selle abil on võimalik määrata pingete ning voolude vahelisi suhteid elektronlambi anoodahelas. Aseskeemi abil saab arvutada näiteks võimendusastme võimendusteguri

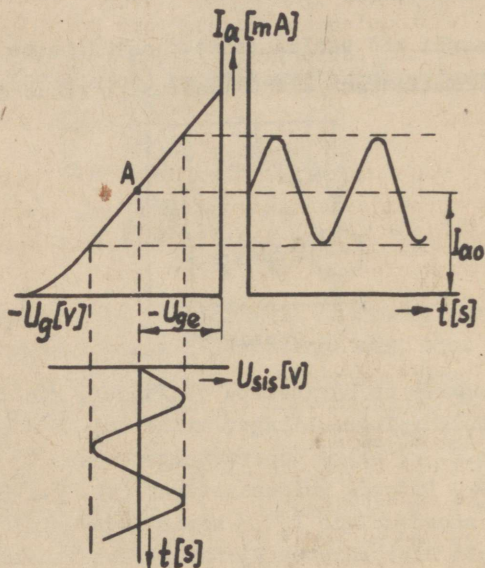
$$k = \frac{U_t}{U_g} = \frac{U_g R_t}{(R_i + R_t) U_g} = \frac{\mu}{\frac{R_i}{R_t} + 1} \quad (\text{sest } I_a = \frac{\mu U_g}{R_i + R_t} \text{ ja}$$

$$U_t = I_a R_t).$$

Millest oleneb võimendusastme võimendustegur?

9. Võimendusprotsessi analüüsimiseks joonestatakse võimenduslambi anoodvoolu-võrepinge tunnusjoone juurde sisendpinge graafik ja konstrueeritakse nende abil anoodvoolu graa-

fik (joonis 91). Kui võimenduslambi negatiivne võre-eelpinge U_{ge} fikseerib tööpunkti A anoodvoolu-võrepinge tunnusjoone sirgjoonelise osa keskele ja kui sisendpinge (tüürpinge) U_{sis} muudab tüürvõrepinget ainult tunnusjoone sirgjoonelise osa ulatuses, siis tekib võimendi A-klassi töörežiim. Selles töörežiimis on väljundpinge peaaegu täpselt sisendpinge



Joonis 91

kujuline ja mittelineaarhoonutused on minimaalsed. Kuna aga sisendpinge puudumisel läbib võimenduslambi suhteliselt suur alalisvool I_{a0} (selle suuruse määrab tüürvõre negatiivne eelpinge $-U_{ge}$), siis on võimendi kasutegur selles töörežiimis madal (alla 25%). Sisendpinge (tüürpinge) U_{sis} hetkväärtus liitub võre negatiivse eelpingega algebraliselt ja annab võrepinge U_g hetkväärtuse, mis tüüribki lambi anoodvoolu I_a . Viimane on siis alaliskomponendi I_{a0} ja vahelduvkomponendi summa. Ka koormustakistil R_t pingelanguna tekkiiv väljundpinge koosneb seetõttu alalis- ning vahelduvkomponendist. Kui sisendpinge amplituud ei ületa lambi negatiivse eelpinge

väärtust, jääb tüürvõre potentsiaal pidevalt negatiivseks, võrevoolu ei teki ja võimenduslambi tüürimine toimub ilma võimsuse kuluta, s.t. ainult pinge abil (võreahela välistakistusel ei ole siis mingit tähtsust). Sisendpinge mõlemad poolperioodid saab võimendada üheainsa lambiga.

1) Kas võimendi töötamise ajal võretakistil R_g tekiv alalispingelang ei mõjuta võre eelpinget ja seega võimenduslambi töörežiimi?

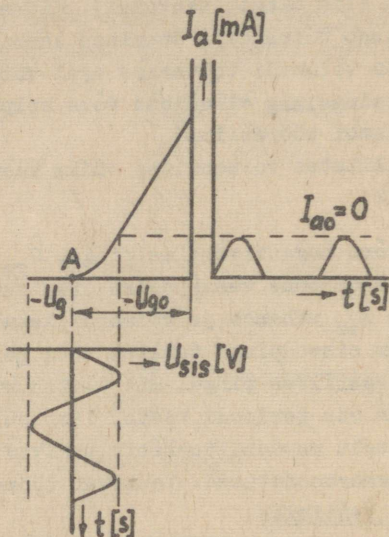
2) Millistes võimendites võiks kasutada A-klassi töörežiimi?

10. Kui võre negatiivset eelpinget U_{ge} suurendada, nihkub tööpunkt tunnusjoone vasakpoolse otsa suunas, anoodvoolu alaliskomponent I_{ao} väheneb ja võimendi kasutegur suureneb. Kuna võimendatav sisendpinge tekitab nüüd perioodiliselt võrel nii suure negatiivse pinget, mis ületab võimenduslambi sulgepinge, siis on osa perioodi kestel lamp suletud ja anoodvool perioodiliselt puudub. Seetõttu tekivad väljundpinges suured mittelineaarharmoonutused. Tekkivat töörežiimi nimetatakse AB-klassi režiimiks.

Kui võre negatiivne eelpinge $-U_{ge} = U_{go}$ (kus U_{go} on sulgepinge), siis asub tööpunkt anoodvõretunnusjoone alumises otsas (joonis 92). Sellises režiimis anoodvoolu alaliskomponent I_{ao} puudub ja sisendpinge puudumisel lambis anoodvoolu ei ole. Võimendi kasutegur on seetõttu 50 %. Maksimaalse võimsuse saamiseks tüüritakse sisendpinge U_{sis} abil võrepinge U_g kuni nullini välja (joonisel 92 on tüürimise ulatus näidatud väiksem). Anoodvoolu vahelduvkomponent esineb ainult ühe poolperioodi jooksul. Seega ühe lambiga võimendatakse nüüd ainult vahelduvpinge üks poolperiood, mistõttu täielikuks võimendamiseks vajatakse nüüd kaht lampi nn. vastastaktilülituses: siseneva pinget üks poolperiood tüürib siis positiivses suunas ühe lambi võret, teine poolperiood aga teise lambi võret ja koormustakistit läbib vool mõlema poolperioodi jooksul (joonis 99). Vastastaktilülituses kasutatakse mõnikord kaksiktriode.

Viimatikirjeldatud töörežiimi nimetatakse B-klassi töörežiimiks. Kui sisendpinge amplituud võret positiivseks ei

tee, on tegemist B_1 -klassi režiimiga. Kui sisendpinge amplituud on nii suur, et võre muutub perioodiliselt positiivseks, siis tekib B_2 -klassi töörežiim ehk võrevooluga B-klassi töörežiim.

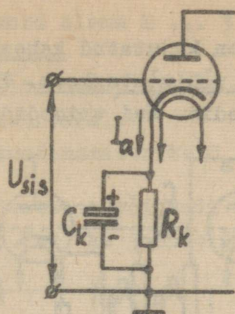


Joonis 92

1) Võrrelda võimendi A- ja B-klassi töörežiime omavahel.

2) Kas peale eelpoolvaadeldute saab olla veel teisi võimendi töörežiime?

11. Vajalikku negatiivset võre-eelpinget võib saada automaatselt nn. katoodekomplekti R_k ja C_k abil (joonis 93). Kondensaator C_k on suure mahtuvusega ja väikese tööpingega elektrolüüt-kondensaator, mis juhib anoodvoolu vahelduvkomponendi takistist R_k mööda. Seetõttu tekib takisti R_k klemmidel püsiva väärtusega pingelang. Kuna anoodvool läbib takistit R_k suunaga ülevalt alla, on ta alumine, s.o. võrepoolne ots negatiivne, katoodepoolne ots aga positiivne, mistõttu võre on katodi suhtes negatiivsem. R_k suurus valitakse selline, et anoodvoolu alaliskomponent (s.t. sisendpinge puudu-



Joonis 93

misel tekki anoodvool) tekitab vajaliku võre eelpinge.

1) Võimenduslamp vajab võre-eelpinget 16,8 V. Lei-
da vajalik takisti R_k suurus ja võimsus, kui lampi anood-
vool on 42 mA.

2) Kas katoodkomplekt on kasutatav B-klassi tööre-
žiimis töötava lampi juures?

12. Kui ühe lambiga saavutatav võimendus ei ole küllal-
dane, kasutatakse mitmelambilisi ehk mitmeastmelisi võimen-
deid. Esimesed võimendusastmed ehk eelvõimendid on siis pin-
gevõimendid. Nendelt nõutakse ainult võimalikult suurt väl-
jundpinget, mis suunatakse järgmise lampi võrele. Kuna või-
menduslambid töötavad praktiliselt ilma võrevooluta, on nen-
de tüürimiseks vajalik võimsus tühine.

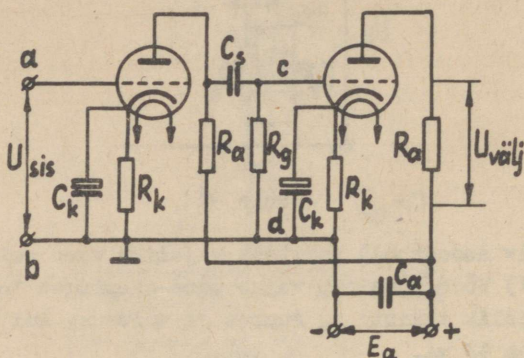
Mitmeastmelise võimendi lõppaste töötab võimsusvõimen-
dina, sest võimendi koormusvool võib olla suhteliselt suur.
Toiteallikad on kõigile astmetele ühised.

Sõltuvalt sellest, kuidas teostatakse sidestus ühe või-
menduastme anoodahela ja teise astme võreahela vahel, on ole-
mas takistussidestuses, paisspoolsidestuses ja trafosidestuses
võimendeid.

1) Mis on võimendusaste?

2) Millest oleneb võimendusastmete arv?

13. Joonisel 94 on kujutatud kaheastmelise takistussidestuses pingevõimendi põhimõtteskeem. Võimenduselementideks on selles skeemis trioodid. Kui trioodide asemel kasutada



Joonis 94

pentode, jääks skeem samaks, ainult juurde tuleb lisada pentoodi varivõreahela kondensaator C_{g2} ja takisti R_{g2} (vt. joonis 24). Esimese võimendusastme sisendklemmid on ab ja väljundklemmid cd.

Alalis- ja vahelduvvoolud kulgevad vaadeldavas skeemis erinevaid ahelaid mööda (küttevooluahelaid ei ole skeemil märgitud). Anoodvoolu alaliskomponent kulgeb läbi takisti R_a , läbi lambi (lamp on talle samuti takistuseks) ja läbi takisti R_k . Anoodvoolu vahelduvkomponent, mille allikaks on võimenduslamp ise, kulgeb läbi suure mahtuvusega kondensaatori C_a , mis juhib vahelduvkomponendi anoodvooluallikast E_a mööda, ja läbi kondensaatori C_k . Et positiivne alalispinge ei satuks järgmise lambi võrele, kasutatakse sidestuskondensaatorit C_s . See laseb läbi ainult pinge vahelduvkomponendi, mis hakkab tüürima järgmise lambi anoodvoolu. Selle kondensaatori tõttu nimetatakse takistussidestuses võimendit ka RC-võimendiks.

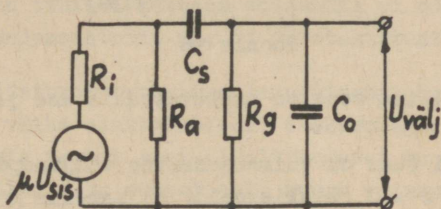
Kirjeldatud võimendi eliseks on lihtsus, odavus, väikesed mõõtmed, väikesed moonutused (moonutused suurenevad kõrgetel ja madalatel sagedustel); võimendi puuduseks on suur anoodpinge kadu koormustakistil, mistõttu anoodpingeal-

lika pinge peab mõnikord olema 2 ... 3 korda kõrgem kui lambi toiteks vaja oleks.

1) Miks positiivne pinge ei või sattuda järgmise võimendusastme tüürvõrele?

2) Mis on kondensaatorite C_a ja C_k ülesanne?

14. Takistussidestuses võimendi ühe astme aseskeem on kujutatud joonisel 95 (vt. ka joonis 90). Anoodpingeallika



Joonis 95

sisetakistust ja katoodkomplekti takistust arvesse ei võeta. Väikese mahtuvusega paralleelne kondensaator C_o ei ole tegelik kondensaator, vaid kujutab endast antud astme väljundmahtuvuse, järgmise lambi sisendmahtuvuse ja montaažimahtuvuse summat.

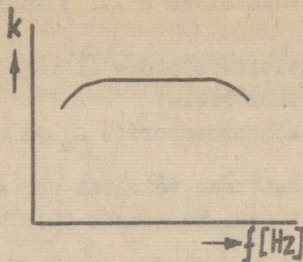
Keskmiitel sagedustel on mahtuvuste C_s ja C_o mõju väike ja nad võib skeemist välja jätta. Siis on astme võimendustegur arvutatav valemiga (vt. p.VI-8)

$$k = \frac{\mu}{1 + \frac{R_1}{R_a} + \frac{R_1}{R_g}}$$

Madalatel sagedustel suureneb kondensaatori C_s mahtuvustakistus, mistõttu takistit R_g läbiv vool ja väljundpinge $U_{välj}$ (järelilikult ka astme võimendustegur) vähenevad.

Kõrgetel sagedustel väheneb kondensaatori C_o mahtuvustakistus, mistõttu üldvool ja pingelang sisetakistusel R_1 suurenevad. Selle tulemusena väljundpinge $U_{välj}$ ja koos sellega ka võimendustegur jälle vähenevad.

Võimendusteguri k sõltuvust sagedusest väljendab võimendi sageduskarakteristik (joonis 96). Kuna C_s ja C_o tõttu võimendatakse erineva sagedusega pingeid erinevalt, siis suurenevad sageduse vähenemisel või suurenemisel ka võimendi lineaarmoonutused (vt. p.VI-6).

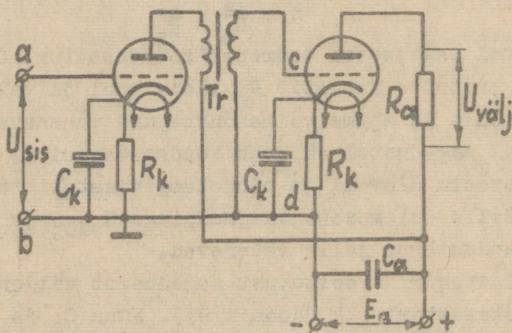


Joonis 96

1) Milline seos on mahtuvustakistuse ja sageduse vahel?

2) Kui suur on võimendusastme väljundpinge, kui:
a) sagedus $f = 0$ (alalisvool); b) sagedus $f = \infty$?

15. Paispoolsidestuses pingevõimendil kasutatakse anoodkoormustakistuseks madalsageduslikku terassüdamikuga paispoolsi. Viimasel on küll väiksem takistus anoodvoolu alaliskomponentidele ja seetõttu väiksem anoodpinge kadu kui takistusidestuses võimendil, kuid teda käesoleval ajal siiski peaaegu ei kasutata. Selle asemel kasutatakse omadustelt temale sarnanevat trafosidestuses võimendit, mille põhimõtteskeem on kujutatud joonisel 97. Joonisel on kujutatud kaheastmeline ehk kahelambiline võimendi: esimene aste algab klemmidelt ab, teine aste klemmidelt cd. Võimenduslambid on omavahel sises-

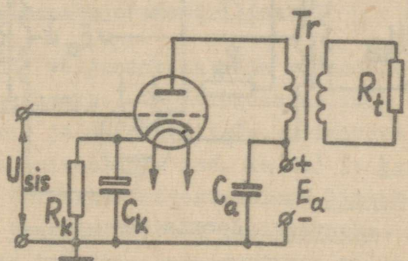


Joonis 97

tatud terassüdamikuga sidestustrafo Tr kaudu. Viimane töötab praktiliselt tühijooksuolukorras, kandes järgmisele lambile üle ainult võimalikult suure pinge. Seega paispoolsidestuses võimendiga võrreldes annab trafosidestuses võimendi suurema pingevõimenduse. Ta puuduseks on trafo induktiivtakistusest ja terassüdamikust tingitud suuremad moonutused, suuremad mõõtmed ja kaal ning kõrgem hind.

Miks trafosidestuses võimendil ei ole vaja: a) sidestuskondensaatorit C_s ; b) võretakistust R_g ?

16. Tööstusotstarbelise lampvõimendi koormuseks võib olla näiteks väike elektrimootor, elektromagnetilise relele mähis vms., mis tarbib suhteliselt tugevat voolu (kuni üks amper), järelikult ka suhteliselt suurt võimsust. Sellist võimsust annab madalsageduslik võimsusvõimendi (joonis 98).



Joonis 98

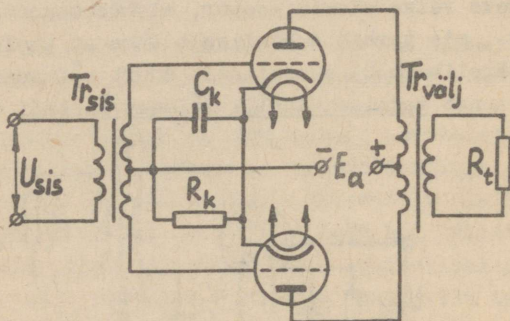
Võimsusvõimendi on ühtlasi mitmeastmelise võimendi lõpp- ehk väljundastmeks. Nagu eespool selgus (vt. p.VI-3), eraldub võimendi koormusel maksimaalne võimsus, kui $R_1 = R_t$ (praktiliselt kasutatakse $R_t = (3 \dots 4) R_1$). Kuna tegelik koormustakistus on täiesti juhuslik suurus, siis lülitatakse koormuse ja lambi anoodahela vahele pinget madaldav väljundtrafo Tr. Skeemi teiste elementide otstarve on samasugune, kui eespool kirjeldatud. Kuna nimetatud trafo töötab alalisvooluga eelmagneetimise olukorras, peavad ta mõõtmed olema suuremad kui eelmagneetimiseta trafol. Trafo ülesandeks on tarbijale anda võimalikult suurt võimsust ja sobitada tarbija takistust lambi sisetakistusega. Näiteks kui koormustakistus on

3 Ω ja trafo ülekanalitegur on 100, siis trafo primaarmähisesse ülekanalunud (seega võimenduslambile mõjuv) koormustakistus on $100^2 \cdot 3 = 3 \cdot 10^4 \Omega = 30 \text{ k}\Omega$.

Võimsusvõimendis tekivad tavaliselt küllalt suured mitelineaarmoonutused, mis sõltuvad lambi töörežiimist (vt. p.VI-9 ja VI-10), samuti võimendi koormustakistusest.

Miks liiki vool on võimsusvõimendi väljundvool?

17. Peaaegu kõik madalsageduslikud võimsusvõimendid väljundvõimsusega üle 3 W ehitatakse vastastaktilülituses (joonis 99). On näha, et selles lülituses kasutatakse vähe-



Joonis 99

malt kaht võimenduslambi või üht kaksiklambi (üldjuhul võidakse kasutada mitut paralleelselt lülitatud lambipaari). Skeemi üheks puuduseks on mähise keskväljavõttega spetsiaalse sisendtrafo Tr_{sis} ja väljundtrafo $Tr_{välj}$ vajadus. Kuna sisendtrafo on eelmisele võimendusastmele koormuseks, siis kujuneb viimane trafosidestuses pingevõimendiks. Skeemil kujutatud katoodekomplekti R_k ja C_k asemel võidakse kasutada ka eraldi negatiivse võre-eelpinge allikat.

Kummagi lambi anoodvoolu alaliskomponent läbib väljundtrafo $Tr_{välj}$ primaarmähise ülemist ja alumist poolt vastasuundades, mistõttu trafo eelmagnetimist alalisvooluga ei teki ja ta südamikü mõõtmel võivad olla väiksemad. Lampide anoodvoolude vahelduvkomponendid on üksteise suhtes vastasuunalised ja läbivad seetõttu väljundtrafo primaarmähise

alumist ning ülemist poolt ühesuunaliselt. Selle tulemusena mõjub koormusel korruga kahe lambi võimsus ja ühesuguste lampide puhul järelkult kahekordne võimsus (ühelambilise võimendiga võrreldes).

Anoodpingeallikat läbivad anoodvoolude vahelduvkomponendid vastassuundades (nad on vastandfaasilised), mistõttu summaarset vahelduvvoolu läbi anoodpingeallika ei kulge.

Vastastaktlülituses võib kasutada nii A-, AB- kui B-klassi töörežiimi, kuid põhiliselt rakendatakse vastastaktlülituse lambid tööle AB- või B-klassi režiimis. Kõigil juhtudel tekivad vastastaktlülituses võimendis väiksemad mittelineaarmoonutused kui tavalises, lihtlülituses võimendis.

1) Kuidas vastastaktlülituses võimendis saavutatakse anoodvoolude vahelduvkomponentide vastasfaasilisus?

2) Millistel tingimustel võib vastastaktlülituses võimendit nimetada sümmeetriliseks?

18. Võimendi väljundahela mõju sisendahelale nimetatakse tagasisidestuseks. Tagasisidestus võib olla parasiitne (tekib elektri- ja magnetväljade, võimenduslambi läbivõimenduse, ühise toiteallika jne. kaudu) ja kasulik (tahtlik, kunstlik). Kui tagasisidestuspinge liitub sisendpingega, nimetatakse tagasisidestust positiivseks. Positiivne tagasisidestus võib tekitada endaergutuse, mille tagajärjel siseneva signaali mõju kaob. Seepärast muudab endaergutus võimendi töö ebastabiilseks ja ta tekkimine võimendis ei ole lubatav. Parasiitse positiivse tagasisidestuse vastu võideldakse filtritega, varjetega, ratsionaalse montaažiga jne.

Kui tagasisidestuspinge vähendab sisendpinget, on tegemist negatiivse tagasisidestusega. Kuigi negatiivne tagasisidestus vähendab astme võimendust, kasutatakse teda võimendites tihti, sest selle mõjul vähenevad võimendi lineaar- ja mittelineaarmoonutused ja suureneb võimendi tööstabiilsus. Ühtlasi suureneb siis võimendi sisendtakistus, mis tavaliselt on kasulik.

Miks võimendis ei ole lubatav positiivse tagasisidestuse tekkimine?

Eriotstarbelised lampvõimendid

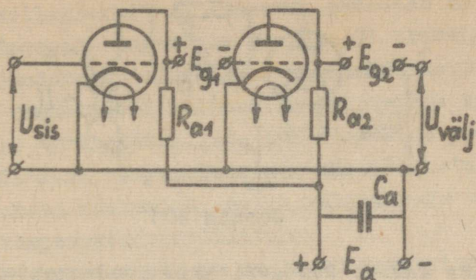
19. Automaatsüsteemides leiavad kasutamist eriotstarbeliste võimenditena alalispingevõimendid ja faasitundlikud võimendid. Andurite väljundsignaaliks on sageli nõrk alalispinge (või emj.), mis alles pärast võimendamist suudab tööle panna mingi täiturelemendi. Harilik lampvõimendi selleks otstarbeks ei sobi, sest seal kasutatakse sidestuselemendid (kondensaatoreid või trafod) ei kanna alalispinget üle.

Peale selle kasutatakse automaatsüsteemides sageli nähtust, et vahelduvpinge faasi muutus 180° võrra on mõjult võrdne alalispinge polaarsuse muutumisega. Seetõttu ongi kasutusel võimendid, mis on tundlikud neile rakendatud vahelduvpinge faasi suhtes. Selliste võimendite koormuseks on tavaliselt väikesed elektrimootorid (nn. servmootorid), millede pöörlemissuund sõltub neile rakendatud vahelduvpinge faasist.

Seega eriotstarbelisi lampvõimendeid kasutatakse peamiselt süsteemides ja sellistest võimenditest on olulisemad võimendid ning võimendid.

20. Alalispingevõimendis antakse alalispinge eelmise astme koormustakistilt (väljundilt) järgmise astme võrele (sisendile), kus see tekitab vajaliku negatiivse eelpinge. Sellist sidestust nimetatakse galvaaniliseks sidestuseks. Et kompenseerida eelmise astme kõrget anoodpinget ja takistada teda sattumast järgmise astme võrele, kasutatakse alalisvooluvõimendite võreringis alalisvooluallikaid, mille elektromotoorjõud on vastassuunaline mõjuvale anoodpingele (joonisel 100 E_{g1} ja E_{g2}). Galvaaniline sidestus toimubki läbi nende vooluallikate. Kui näiteks anoodpingeallika $E_a = 200$ V ja sellest 100 V langeb takistile R_a , siis on anoodi potentsiaal +100 V. Kui lambi võrele tahetakse saada -5 V eelpinget, peab olema $E = 105$ V.

Kui võimendisse antakse nõrk alalispingeline signaal, siis muutub esimese lambi anoodi, järelikult teise lambi võre potentsiaal ja võimendi väljundklemmidelt saadakse võimendatud alaldipinget.



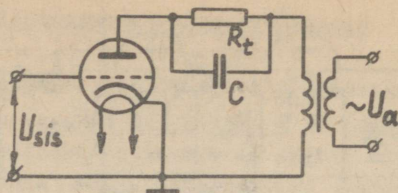
Joonis 100

Joonisel 100 kujutatud skeemi puuduseks on suure arvu toiteallikate vajadus. Kas ei oleks võimalik kasutada ainult ühte toiteallikat?

21. Alalispingevõimendi põhiliseks puuduseks on nullitriiv, s.o. nähtus, et väljundklemmide vahel tekib pidevalt muutuv pinge ka siis, kui sisendpinge puudub. Põhjuseks on asjaolu, et alalispingevõimendis antakse järgmise lambi võrele pinge absoluutväärtus. Viimane aga sõltub lambi tööpingetest: anoodpingest, küttepingest jne. Viimaste juhuslik muutumine takitabki nullitriivi. Nullitriivi vähendamiseks kasutatakse anoodpinge ja küttevoolu stabiliseerimist, negatiivset tagasisidetust, sildlülitust või muunduriga lülitust.

- 1) Kas nullitriiv esineb ka vahelduvpingevõimendites?
- 2) Mis on muunduriga alalispingevõimendi?

22. Faasitundlik võimendi on vahelduvvoolutoitega võimendi: ta snoodahelat toidetakse ja võret tüüritakse ühesuguse sagedusega vahelduvpingega. Selleks toidetakse sisendpinget tekitavat andurit ja võimenduslambi anoodahelat ühisest vahelduvpingeallikast. Seejuures eelistatakse kasutada suurema sagedusega toitevoolu, kui 50 Hz, sest siis kujunevad aparatuuri mõõtmed väiksemad. Joonisel 101 kujutatud lihtsaim faasitundlik võimendi töötab ühtlasi poolperiood-alaldina, mistõttu ta koosmustakistus R_p (näiteks elektromag-



Joonis 101

netilise rele mähis) šunteeritakse kondensaatoriga C. Koor-
mustakistust läbiva alalisvoolu keskväärtus on maksimaalne,
kui sisendpinge on faasis toitepingega, sest siis on leabi
võre ja anood üheaegselt positiivsed. Voolu keskväärtus on
null, kui sisend- ja toitepinge on vastandfaasis, sest siis
on positiivse anoodpinge puhul võre negatiivne ja vastupidi.
Järelikult koormust läbiv alalisvool muutub koos sisendpinge
faasi muutumisega toitepinge suhtes.

Mis otstarbeks saaks kasutada kirjeldatud võimendi
lülitust?

23. Sageli kasutatakse faasitundlikke võimendeid mitte
alalditena koos samaaegse võimendamisega (nagu eelmises lü-
lituses), vaid võimendina, mille väljundpinge faas muutub
 180° võrra vastava sisendpinge faasi muutuse korral. Neid
võimendeid kasutatakse vahelduvvoolu servomootorite automaat-
juhtimiseks (automaatseks reverseerimiseks). Sellise faasi-
tundliku võimendi skeem kujuneb aga keerukam ja kallim.

Kus võiks kasutada faasitundliku võimendiga juhi-
tavaid servomootoreid?

Transistorvõimendid

24. Lamptrioodiga võrreldes tuleb transistoride kasuta-
misel võimenduselementidena arvestada järgmisi iseärasusi:
1) transistoril on väike sisendtakistus, mistõttu sisendpin-
geallikas peab arendama küllaldaselt võimsust (sisuliselt
vähendab see transistori omadus ta võimsusvõimendust); 2)

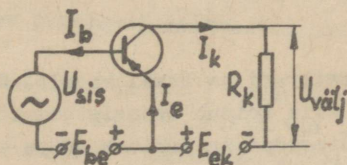
transistori kollektorsirde mahtuvus vähendab ta võimendust töötamisel kõrgemate sageduste juures; 3) transistoril on sisend- ja väljundahelad sidestatud sisetakistuste kaudu, mis võib mõnedes transistori lülitustes põhjustada endaergutust (vt. p.VI-18); 4) ühetüübiliste transistoride parameetrid on hajuvad ja sõltuvad temperatuurist, mis põhjustab valitud tööpunkti asukoha muutumist; selle vältimiseks tuleb kasutada nn. termokompensatsioonilülitust.

Kas transistoril on eeliseid lamptrioodiga võrreldes?

25. Kuna võimendil on neli klemmi (kaks sisend- ja kaks väljundklemmi), transistoril ainult kolm elektroodi (vt. p.III-19), siis peab üks elektrood olema väljundi ja sisendi jaoks ühine. Sõltuvalt ühisest elektroodist on olemas ühise emitteriga, ühise baasiga ja ühise kollektoriga lülitused (vt. p. III-22 ja III-23).

Milline ülalootletud transistori lülitis on praktilikas kõige levinum?

26. Ühise emitteriga lülituses (joonis 102 ja 60, a) kasutatakse eelpinget andvat baasivooluallikat E_{be} , mis ühenda-



Joonis 102

takse emittersirde avasuunas ning kollektorivooluallikat E_{ek} , mis lülitatakse kollektorsirde tõkkesuunas (vt. p.III-21).

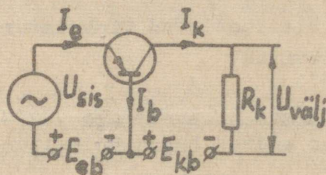
$E_{ek} \gg E_{be}$. Sisendpinge U_{sis} lülitatakse baasi ja emitteri vahele, nii et kollektorivoolu I_k tüürimine toimub baasivooluga I_b . Kuna baasivool on väike, siis on vooluvõimendustegur (baasivoolu ülekandetegur) $\beta \approx I_k/I_b$ väärtusega kuni kakssada. Väljundpinget $U_{välj}$, mis on sisendpinge suhtes faasis 180° nihutatud, saadakse kollektoriahelasse lülitatud

koormustakisti R_k klemmidelt. Pingevõimenduse väärtus on ku-
ni mõnisada, nii et üldine võimsusvõimendus ulatub mõne tu-
handeni. Seega ühise emitteriga lülitis annab suurima võim-
susvõimenduse. Võrreldes teiste lülitustega on siin sisend-
takistus suurem ja väljundtakistus väiksem, mistõttu astmete-
vahelist sidestust on kerge, teostada.

1) Miks transistori ühise emitteriga lülitis väi-
ke baasivoolu I_b muutus põhjustab suure kollektorivoolu
 I_k muutuse?

2) Millise lamptriooni lülitusega on võrreldav tran-
sistori ühise emitteriga lülitis?

27. Ühise baasiga lülitis (joonis 103 ja 61,a) on eel-
pingeallikaks emittersiiret avasuunaliselt pingestav emj. al-
likas E_{eb} ja kollektorivooluallikaks kollektrosiiret tõkkesuu-
naliselt pingestav emj. allikas E_{kb} . $E_{kb} \gg E_{eb}$. Sisendpin-

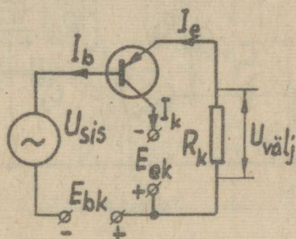


Joonis 103

ge U_{sis} antakse emitteri ja baasi vahele. Kuna sisendvooluks
on emitterivool, siis toimub transistori tüürimine nüüd emit-
terivoolu abil. Sisendpinge tekitab suure emitterivoolu muu-
tuse. Viimane tekitab umbes sama suure kollektorivoolu muutu-
se (kollektorivool on väljundvooluks), mistõttu vooluvõimen-
dustegur (emitterivoolu ülekandetegur) $\alpha \approx I_k/I_e = 0,92 \dots$
 $\dots 0,99$. Suure koormustakisti R_k tõttu tekivad siiski väl-
jundpinge suured muutused, mistõttu pingevõimendus tekib sel-
les lülitis suurem (ulatudes mõnesajani). Üldine võimsus-
võimendus jääb aga väikeseks. Väike sisendtakistus ja suur
väljundtakistus raskendab lülituse sobitamist järgmise või-
mendusastmetega, mistõttu ühise baasiga transistori lülitust
kasutatakse harva.

Kirjutada Kirchhoffi I seaduse alusel voolude võrrand transistori ühise baasiga lülituse kohta.

28. Transistori ühise kollektoriga lülituses (joonis 104 ja 62,a) on sisendvooluks jällegi baasivool I_b , väljundvooluks aga emitterivool I_e , mis tekitab koormustakistil R_k väl-



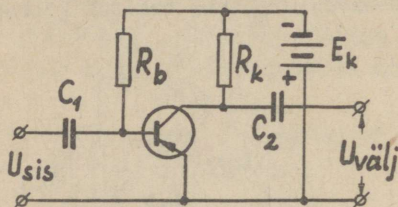
Joonis 104

jundpinge $U_{välj}$. Vooluvõimendus on ligikaudu sama mis ühise emitteriga lülituses (sellest veidi suurem), kuid pingevõimendust ei teki (pingevõimendus on väiksem kui 1), mistõttu võimsusvõimendus jääb vooluvõimendusest veidi väiksemaks. Lülitusel on suur sisendtakistus ja väike väljundtakistus, kusjuures sisend- ja väljundpinged on omavahel faasis. Sellist lülitust kasutatakse peamiselt mitmeastmelise võimendi sobitusastmena.

- 1) Kirjutada Kirchhoffi I seaduse alusel voolude võrrand transistori ühise kollektoriga lülituse kohta.
- 2) Miks transistori ühise kollektoriga skeem ei anna pingevõimendust?

29. Analoogiliselt lamptrioidiga valitakse ka transistori tööpunkt, mille asukohast oleneb transistori töörežiim (A-, AB- või B-klassi töörežiim) ja samuti võimendatava signaali moonutused. Ühise emitteriga lülituses tuleb tööpunkti valikuks teada transistori väljundtunnussarja ja baasile mõjuva võimendatava signaali väärtust. Lähtetööpunkti valikuga määratakse algbaasivool I_{b0} ja kollektorivool sisendsignaali puudumisel (algtööpunkti vool). Baasivoolul on transistori juures seesama ülesanne mis võre-eelpingel lamptrioidi juu-

res. Algbaasivoolu saamiseks tuleb baasile anda emitteri suhtes väike negatiivne eelpinge (~ 1 V). Selleks ei kasutata eraldi vooluallikat, nagu eelmistes skeemides on näidatud, vaid transistori baasi ja üldise toiteallika miinusklemmi vahele lülitatakse takistus $R_b \approx E_k / I_{bo}$ (joonis 105). Selle



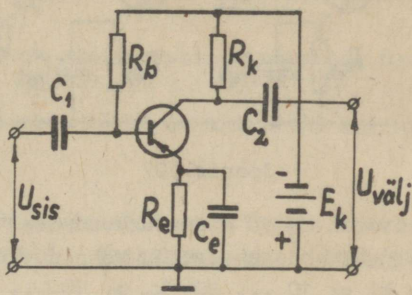
Joonis 105

takistiga toimubki tööpunkti fikseerimine.

- 1) Millest oleneb baasi algvool I_{bo} ?
- 2) Milleks on joonisel 105 toodud skeemis kondensaatorid C_1 ja C_2 ?

30. Tööpunkti asukohta mõjutab ka transistori temperatuur, sest väljundtunnusjooned (vt. joonis 60, c) nihkuvad temperatuuri tõustes ülespoole. Eriti tundlik selles suhtes on ühise emitteriga lülitus, sest temperatuuri tõus vähendab kollektorsirde takistust, mistõttu kollektori algvool I_{ko} tõuseb, vaatamata baasivoolu konstantsusele. Lähtetööpunkt nihkubki selle tagajärjel väljundtunnusjoontel ülespoole. See nähtus võib põhjustada võimendatava signaali moonutusi, mistõttu tema vältimiseks võetakse kasutusele abinõud võimendi tööpunkti asendi stabiliseerimiseks. Üheks võimalikuks lähtetööpunkti termostabilisatsiooniks saavutamiseks on negatiivse voolutagasisidestuse kasutamine (joonis 106). Selleks lülitatakse emitteriahelasse takisti R_e . Sellega paralleelselt lülitatud suure mahtuvusega kondensaator C_e juhib emitterivoolu vahelduvkomponendi temast mööda. Takistid R_e ja R_b koos emittersirde ja baasitakistusega moodustavad toiteallikatega E_k ühendatud pingejaguri. Kui temperatuuri tõustes emitterivool suureneb (sest suurenes kollektorivool, aga $I_e \approx I_k$), suureneb pingelang takistil R_e . Selle arvel vähe-

neb seda takistit läbiv baasi algvool I_{b0} . Viimane nihutabki temperatuuri tõusu mõjul ülespoole nihkunud tööpunkti allapoole tagasi, nii et kollektori algvool väheneb tagasi endise väärtuseni (joonis 60, c).



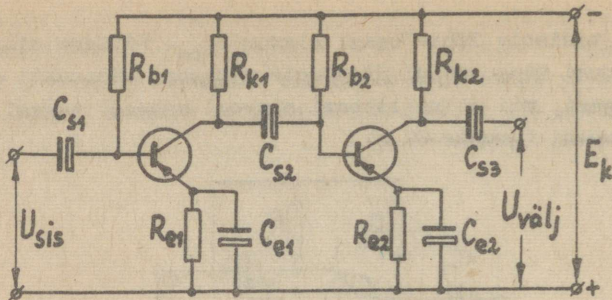
Joonis 106

- 1) Millise polaarsusega pingelang tekib takisti R_e klemmidel?
- 2) Kas praktikas kasutatakse ka teisi lähtetöökpunkti termostabilisatsioonilülitusi?

31. Kuna signaali vajalikuks võimendamiseks enamasti ei piisa ühest võimendusastmest, kasutatakse ka mitmeastmelisi transistorvõimendeid. Transistorvõimendi astmeid liigitatakse kokkuleppeliselt pinge- ja võimsusvõimenditeks. Kuna iga võimendusaste arendab üheaegselt pingevõimendusega ka küllalt suurt võimsusvõimendust, on nimetatud liigitus tinglik ja sageli nimetatakse mitmeastmelise transistorvõimendi esimesi võimendusastmeid eelvõimendusastmeteks, väljundastet aga lõppvõimendusastmeks (lõppastmeks).

Mis on üks võimendusaste?

32. Mitmeastmelises pooljuhtvõimendis võib astmete vahel kasutada kas takistussidestust või trafosidestust nagu lampvõimendiski. Transistoride emitterlülituse korral kasutatakse peamiselt takistussidestust, sest see on lihtne, odav ja kompaktne. Joonisel 107 on toodud emitterlülituses transistoridega takistussidestuses pingevõimendi põhimõtteskeem. Takistite otstarvet on kirjeldatud eespool (vt. p. VI-29 ja



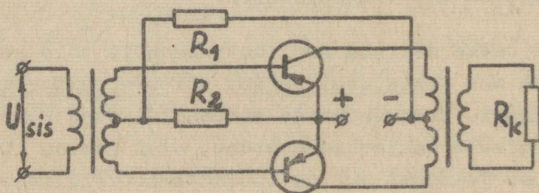
Joonis 107

VI-30). Kondensaatorid C_s on sidestuskondensaatorid, mis lahevad läbi ainult võimendatava voolu vahelduvkomponendi. Iga astme võimendus: $k_U \approx 10 \dots 20$; $k_I \approx 10 \dots 20$; $k_P \approx 200 \dots 400$.

Mis otstarve on joonisel 107 kujutatud skeemis takistitel R_k , R_b ja R_e ?

33. Transistorvõimendi lõppvõimendusaste on tavaliselt trafosidestuses, sest siis on parem sobitada koormustakistust võimendusastme väljundtakistusega.

Väljundastmes kasutatakse enamasti vastastaktlülitust, mis annab parema kasuteguri. Emitterlülituses transistoridega vastastaktlülituse põhimõtteskeem on kujutatud joonisel 108 (vt. ka joonist 99). Võimendi töötab AB- või B-klassi töörežiimis, kusjuures töörežiimi määravad pingejagurina töötavad takistid R_1 ja R_2 (tavaliselt $R_1 = 10R_2$). Antud hetkel töötab see transistor, mille baas on sisendsignaali mõjul emitteri suhtes negatiivne. Siinuselise sisendsignaali korral



Joonis 108

transistorid töötavad kordamööda; nad peavad olema ühettiübilised ning ühtivate tunnusjoontega. Moonutuste vähendamiseks kasutatakse negatiivset tagasisidestust või teisi taolise mõjuga lülitusi.

1) Mis tüüpi võimendina töötab joonisel 108 kujutatud lülitus?

2) Mis on mitmeastmelise võimendi trafosidestuse eeliseks?

3) Mis vool läbib joonisel 108 kujutatud skeemis takistit R_2 ?

34. Transistoride abil on võimalik koostada ka eriotstarbelisi võimendeid - faasitundlikke võimendeid ja alalispingevõimendeid.

Faasitundlikku pooljuhtvõimendit kasutatakse sageli faasitundliku alaldina. Väljuva alalispinge polaarsus oleneb siis sisendpinge faasist.

Transistoridega alalispingevõimendite oluliseks probleemiks on temperatuuri mõjust tingitud nullitriivi (vt. p. VI-21) vähendamine. Lähtetööpunkti stabiliseerimiseks ja nullitriivi vähendamiseks kasutatakse negatiivset tagasisidestust, sildlülitust või muundatakse võimendatav alalispinge vahelduvpingeks ja hiljem uuesti alaldatakse.

1) Mis on nullitriiv?

2) Kas vahelduvpingevõimendis esineb nullitriivi?

Vastused

1. Võimenduselementideks võivad olla veel mitmesugused elektromehaanilised ja magnetilised elemendid, kuid nende käsitlemine ei kuulu elektroonika kursusesse.

2. Peale tööstuse kasutatakse rohkesti võimendeid sidetehnikas (nii traatsides, raadiosides kui ka televisioonis), heli- ja kinotehnikas, arvutustehnikas, raadiolokatsioonis jne.

3. Trafo ei ole võimendi, sest ta väljundvõimsus on ener-

giakadude tõttu sisendvõimsusest väiksem. Trafo on muundur.

4. Eesmärgiks on suurema võimenduse saamine, sest ühe astme väljundsuurus on järgmisele astmele sisendsuuruseks.

5. Mitmeastmelise võimendi võimendustegur on võrdne kõigi astmete võimendustegurite korrutisega.

6. Lineaarmoonutusi tekitavad võimendi skeemis olevad reaktiivtakistused, sest nende suurus oleneb voolu sagedusest. Mittelineaarmoodustusi põhjustavad võimendi skeemis olevad mittelineaarsed elemendid, milleks on võimenduselemendid. Moonutused olenevad valitud tööpunkti (vt. p.VI-10) ja selle stabiilsusest.

7. 1) Positiivse võre puhul tekiks võrevool, mis moonutaks sisendsignaali. 2) Lampvõimendi on praktiliselt inertsi- vaba. 3) a - sisend- ja väljundpinge on omavahel faasis; b - võrepinge ja anoodpinge on vastandfaasis, sest anoodvoolu suurenemisel suureneb pingelang koormustakistil R_t , mistõttu anoodi ja katoodi vaheline pinge väheneb; 4) teda saab kasutada mõnedes releedes, samuti ka elektronmõõteriistades, näiteks nn. lampvoltmeetris.

8. Astme võimendustegur oleneb lambi võimendustegurist μ ja takistite R_1 ning R_t omavahelisest suhtest.

9. 1) Kui lamp töötab negatiivse võrepingega, siis võrevoolu pole ja alalispingelang takistil R_g on praktiliselt null. 2) Väikese võimsusega ühelambilistes võimendites.

10. 1) B-klassi režiimis on kasutegur parem, kuid moonutuste vähendamiseks tuleb kasutada vastastaktilülitust. 2) On veel olemas C-klassi töörežiim, mis tekib veelgi suurema võre negatiivse eelpinge juures kui B-klassi töörežiim. Suurte mittelineaarmoonutuste tõttu seda lülitust madalsageduslikes võimendites ei kasutata.

11. 1) $R_k = U/I = 400 \Omega$; $P_k = UI = 0,7 \text{ W}$ ($\sim 1 \text{ W}$). 2) Ei ole, sest sel juhul keskmine anoodvool kasvab koos sisendsignaali suurenemisega ja pole võimalik saada konstantset võre-eelpinget.

12. 1) Võimendusastmeks on võimenduslamp koos tema juurde kuuluvate sidestuselementidega. 2) See oleneb vajalikust võimendustegurist.

13. 1) Positiivse võrepinge puhul hakkaks lamp töötama võrevooluga; võre liiga suure positiivse potentsiaali korral lakkaks lamp võimenduselemendina töötamast. 2) Need kondensaatorid juhivad anoodvoolu vahelduvkomponendi anoodvooluallikast ja katoodektakistist R_k mööda.

14. 1) Mahtuvustakistus on sagedusega pöördvõrdeline: $x_C = 1/(2\pi fC)$. 2•a) $-U_{välj} = 0$, sest kondensaatori C_s mahtuvustakistus on lõpmata suur (ta ei lase alalisvoolu läbi); 2•b) $U_{välj} = 0$, sest kondensaatori C_o (vt. aseskeem) mahtuvustakistus on null ja tekib lühis; lühiskoha pinge on alati null.

15. a) Kondensaator ei ole vajalik, sest ka trafo ei anna edasi anoodpinge alaliskomponenti. b) Eelpinge mõjub järgmise lambi võrele vahetult läbi trafo sekundaarmähise.

16. Vahelduvvool.

17. 1) Selleks kindlustatakse sekundaarmähise keskväljavõttega sisendtrafo Tr_{sis} abil võrele antavate vahelduvate tüürpingete vastandfaasilisus. 2) Sümmetrilisel võimendil on elektronlambid võrdsete parameetritega.

18. Positiivne tagasisidestus tekitab endaergutuse ja ülemineku nn. generaatorirežimi.

19. Automaat-. Alalispinge-. Faasitundlikud.

20. On võimalik kasutada ühte tavalisest kõrgema pingega toiteallikat, mille klemmide vahele on lülitatud järjestiku rida takisteid. Need takistid töötavad siis potentsiomeetri põhimõttel ja vajalikud pinged saadakse nende klemmidelt.

21. 1) Ei esine. Vahelduvpinge võimendus sõltub ainult lambi parameetritest, mis peaaegu ei olene lambi toitepingest. 2) Selles võimendis muundatakse võimendatav alalispingesignaal vahelduvpingeks. See võimendatakse ja muundatakse uuesti alalispingeks.

22. Sellise lülituse abil saab muu hulgas mõõta võrepinge ja anoodpinge vahelist faasinihet.

23. Neid võiks kasutada mitmesugustes automaatikaskeemides, näiteks muu hulgas automaatsilla või automaatkondensaatori tasakaalumootorina.

24. Transistori eelised on loetletud p.III-25.

25. Kõige levinum on ühise emitteriga lülitus.

26. 1) Baasivool mõjutab emitterivoolu I_e , sest emittersiire on pingestatud avasuunas. Emitterivooluga umbes võrdne tekib kollektorivool I_k (vt. p.III-21). 2) See on võrreldav tavalise nn. ühise katoodiga lülitusega (vt. joonis 89).

$$27. I_e = I_k + I_b \text{ (kuna } I_b \ll I_k, \text{ siis } I_e \approx I_k).$$

28. 1) $I_e = I_k + I_b$ (kus $I_b \ll I_k$). 2) Selles lülituses tekib saajaprotsendiline negatiivne tagasisidestus, sest baasi ja emitteri vahel mõjub E_{bk} ja sellele vastassuunas mõjuva väljundpinge summa.

29. 1) See oleneb toiteallika E_k pingest ja takistusest R_b (on suur takistus). 2) Kondensaatorid lasevad läbi vahelduvvoolu ja on tõkkeks alalisvoolule. Seega võimendatava signaali vahelduvkomponendi lasevad nad läbi, alalispinget nad järgmisele astmele edasi ei anna.

30. 1) Arvestades emitterivoolu suunda (vt. joonis 102) on emitter baasi suhtes takistil R_e tekkiva pingelangu võrra negatiivsem. See pingelang vähendab baasi eelpinget, s.t. vähendab kollektorivoolu. 2) Kasutatakse küll. Näiteks kui joonisel 105 takisti R_b ülemine klemm ühendada takisti R_k alumise klemmi külge, siis takisti R_b annab baasile ikkagi vajaliku negatiivse pinge, kuid samaaegselt ka stabiliseerib talitlusrežiimi.

31. Võimendusaste sisaldab võimenduselementi (transistori) koos selle juurde kuuluvate sidestuselementidega.

32. Takisti R_k on kollektoriahela koormustakisti, R_b fikseerib transistori tööpunkti ja määrab töörežiimi, R_e stabiliseerib lähtetööpunkti asendit.

33. 1) Võimsusvõimendina. 2) Trafosidestus võimaldab sobitada sisend- ja väljundtakistust selliselt, et võimendus oleks maksimaalne. 3) Pingejaguri alalisvool ja võimendatava signaali vool (baasivoolu alaliskomponent lühistub läbi takisti R_2).

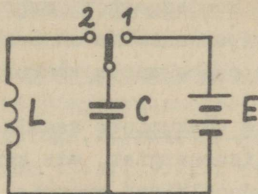
34. 1) Nullitriiv on väljundpinge muutumine sisendpinge puudumise korral. 2) Võib esineda voolu alaliskomponendi triiv, kuid see on kõrvaldatav kondensaatorite või trafode abil.

Võnkering

1. Võnkeringiks nimetatakse vooluahelat, kus toimub elektrivõnkumine. Elektrivõnkumine on elektrijuhtides toimuv elektrilaengute võnkliikumine, millega kaasneb vahelduva elektrivälja ja magnetvälja tekkimine ümbritsevas ruumis.

Elektrilaengute kindlasuunaline liikumine elektrijuhtides on teatavasti elektrivool. Mis liiki vool tekitab elektrilaengute võnkliikumisel?

2. Võnkeringi moodustab kondensaatorist ja poolist koostatud vooluahel (joonis 109). Kui joonisel kujutatud üm-



Joonis 109

berlülitati lülitada asendisse 1, siis kondensaator C laadub ja temasse salvestub teatav elektrivälja energia. Viies ümberlülitati asendisse 2, hakkab kondensaator tühjenema läbi pooli L. Kondensaatori elektrivälja siis kaob ja selle asemele tekib pooli magnetväli. Pärast kondensaatori tühjenemist hakkab ka pooli magnetväli kahanema ja indutseerib endisesuunalise voolu (endainduktsiooni emj.), mis laeb kondensaatori vastupidiselt. Hetkel, mil pooli magnetväli on vähenenud nullini, osutub kondensaator ümberlaetuks. Pärast seda hakkab kondensaator tühjenema vastassuunas ja kogu nähtus kordub.

Miks poolist ja kondensaatorist koostatud vooluahelat nimetatakse võnkeringiks?

3. Ilma välise toime mõjuta võnkumisi nimetatakse vabavõnkumisteks. Kui võnkeringis ei oleks energiakadusid, kestaksid vabavõnkumised lõpmata kaua. Reaalses võnkeringis esinevad energiakaod nii juhtmete aktiivtakistuses kui ka kondensaatori dielektrikus ja võnkeringi elektrivõnkumine on sumbuv (s.t. võnkeringis tekkiva vahelduvvoolu võngete amplituud pidevalt väheneb, kuni võnkumine kaob). Vabavõnkumise sagedus ehk omavõnkesagedus

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

ja võnkeperiood

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

kus f_0 - omavõnkesagedus Hz;

T - omavõnkeperiood s;

L - võnkeringi pooli induktiivsus H;

C - võnkeringi kondensaatori mahtuvus F.

1) Miks vabavõnkumine on sumbuv võnkumine?

2) Kuidas saaks muuta võnkeringi omavõnkesagedust?

4. Sumbumatute võnkumiste saamiseks on vaja võnkeringi anda väljastpoolt lisaenergiat, mis kompenseeriks võnkeringi aktiivtakistuses kadumaläinud energia. Seda protsessi nimetatakse võnkeringi ergutamiseks. Ergutust võib saada võnkeringiga kokkuühendatud vahelduvpingegeneraatorist. Maksimaalne võnkeamplituud tekib siis, kui ergutussagedus ehk sundvõnkesagedus on võrdne võnkeringi omavõnkesagedusega. Sel juhul tekib võnkumiste resonants.

Miks resonantsi olukorras tekib maksimaalse amplituudiga võnkumine?

5. Resonantsolukorras olev ergutatud võnkering töötab elektrivõnkumiste võimendina, kusjuures võnkesageduse määravad võnkeringi parameetrid L ja C (vt. p.VII-3). Kui võnkeringi pooli kõrvale paigutada veel teine pool, siis on mõlemad poolid sidestatud ühise magnetvooga. Sellist sidestust nimetatakse transformaatorseks sidestuseks. Võnkeringi pooli magnetvoo muutus indutseerib temaga sidestatud poolis elektromotoorjõu, mistõttu see pool töötab vahelduvvooluallikana.

Kogu selline seade on järelikult generaator. Kuna võnkeringi-ga generaatorist saadava vahelduvvoolu sagedus on suur, nime-tatakse teda üldjuhul kõrgsagedusgeneraatoriks.

Millistes seadmetes saab kasutada elektrilisi võn-keringe?

Siinuspingegeneraatorid

6. Siinuspingegeneraatorid on kõrgsagedusliku siinus-pinge allikad. Nendes kasutatakse võnkeringi, sest ergutatud võnkeringis tekivad siinuselise kujuga, konstantse sageduse ning amplituudiga elektrivõnkumised. Kui võnkeringi erguta-miseks saadakse pinget mingist välisest pingeallikast, nime-tatakse generaatorit võõreergutusega generaatoriks. Kui gene-raator tekitab ise kõrgsagedusliku sisendpinge, nimetatakse teda endaergutusega ehk iseergutuvaks generaatoriks.

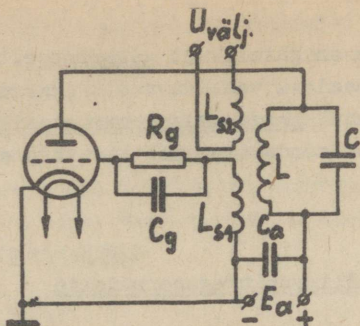
1) Seega siinuspingegeneraatorid on sa-gedusliku vahelduvpinge allikateks ja nad jagunevad ...
.... ergutusega ning ergutusega generaa-toriteks.

2) Mis on siinuspinge?

7. Kui siinuspingegeneraatoris kasutatakse võnkeringi, nimetatakse generaatorit LC-generaatoriks. Võnkeringi erguta-miseks kasutatakse elektronlampi (trioodi), mida sel puhul nimetatakse generaatorlambiks. Elektronlamp reguleerib ener-gia andmist võnkeringile ja tagab mittesumbuvate võnkumiste tekkimise. Vajalikku lisaenergiat saadakse elektroniambi anoodpingeallikast, mis on ühtlasi generaatori toiteallikaks. Seetõttu töötab siinuspingegeneraator sisuliselt muundurina, mis muundab alalispinge kõrgsageduslikuks vahelduvpingeks.

Mis otstarve on generaatorlambil?

8. Üks võimalikke endaergutusega siinuspingegeneraato-ri põhimõtteskeeme on kujutatud joonisel 110. Selles skeemis on generaatorlambi anoodahelasse järjestikku ühendatud anood-toiteallikas, võnkering ning lambi anoodi ja katoodi vahe-



Joonis 110

mik. Võreahelasse on järjestikku ühendatud eelpingeallikas (võrekomplekt R_g ja C_g), sidestuspool L_{s1} ja lambi võre ning katoodi vahemik. Võnkeringi pool L on magnetvälja kaudu sidestatud poolidega L_{s1} ja L_{s2} (sellist sidestust nimetatakse trafosidestuseks), mistõttu võnkeringis tekkiva kõrgsagedusliku voolu magnetvoog indutseerib sama sagedusega pinged poolides L_{s1} ja L_{s2} . Pooli L_{s2} pinget kasutatakse väljundpingena, pooli L_{s1} pinge aga tüürib generaatorlambi (trioodi) täpselt võnkeringi omavõnkesagedusega. Võnkeringi energiakaod ja energia, mis antakse sidestuspoolidesse L_{s1} ja L_{s2} ; kompenseeritakse generaatorlambi võimendava toimega ja võnkeringi võnkumised muutuvad mittesumbuvaks. Kirjeldatud endaergutus tekib tingimusel, et lambi anoodpinge ja võrepinge oleksid vastandfaasis. Kui see nii ei ole, tuleb ümber ühendada sidestuspooli L_{s1} otsad. Sellise faasitingimuse juures kujutab endaergutusega generaator endast positiivse tagasisidestusega võimendusastet.

1) Miks positiivse tagasisidestuse puhul tekib generaatori endaergutus, negatiivse tagasisidestuse puhul aga ei teki?

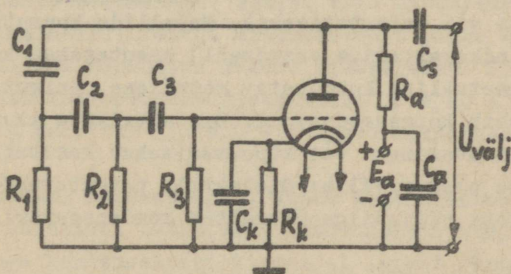
2) Kuidas saada tugevat tagasisidestust?

9. Võre-eelpinget saab joonisel 110 kujutatud generaatorlamp takistil R_g tekkiva pingelanguna. Võnkumiste algul on võre-eelpinge null, mille tulemusena tekib võrelt katoodile suunduv võrevool. Viimane tekitab takistis R_g pingelangu,

mille "miinus" mõjub võrele, nii et kujuneb negatiivne võre-eelpinge. Võnkeprotsessi tugevnemisel võrevool kasvab, mistõttu generaatorlambi negatiivne võre-eelpinge suureneb ja piirab võnkumiste amplituudi kasvu (s.t. stabiliseerib võnkumisi). Saabub tasakaalustatud režiim, mille juures eelpinge tagab sellise võimenduse, et lambi anoodahelast võnkeringile antav energia võrdub täpselt kadudega võnkeringis (kaasa arvatud energia, mis võnkeringist välja antakse). Et takisti R_g ei oleks takistuseks sidestuspoolilt L_{g1} lambi võrele antavale kõrgsageduspingele, šunteeritakse takisti R_g kondensaatoriga C_g . Analoogiliselt vabastab kondensaator C_a generaatori toiteallika kõrgsageduslikust vahelduvvoolust.

- 1) Miks takisti R_g tekitab generaatorlambile negatiivse võre-eelpinge?
- 2) Kuidas saab kontrollida kõrgsagedusgeneraatori tööd?

10. Ülalkirjeldatud LC-generaatorit on raske kasutada madalama sagedusega (näiteks helisagedusega) vahelduvvoolu saamiseks, sest vajalikud L ja C väärtused kujunevad siis väga suurteks. Sellest puudusest on vaba RC-generaator ehk mahtuvusliku tagasisidestusega generaator, mille üks võimalikke lülituskeeme on kujutatud joonisel 111. Joonisel on kujuta-



Joonis 111

tud üheastmeline (ühelambiline) kolme tagasisidestuslüliliga ehk kolmeastmelise RC-filtriga generaator. Lambi anoodpinge antakse järjestikku ühendatud kondensaatorile C_1 ja aktiivtakistile R_1 . Selle ahela vool on mahtuvuslik ja seetõttu

anoodpingest faasiliselt ees. Faasinihkenurk oleneb voolu sagedusest, sest sellest sõltub kondensaatori C_1 mahtuvustakistus. Kuna takisti R_1 klemmidel tekkinud pinge (pingelang) on vooluga faasis, siis on ta järelikult anoodpingest mingi nihkenurga võrra faasiliselt ees. See pinge antakse vooluahelale C_2R_2 ja sealt edasi vookuahelale C_3R_3 , kus tekivad täpselt analoogilised nähtused. Nii saavutatakse, et takistilt R_3 saadav generaatorlambi võrepinge on mingi kindla sageduse juures anoodpingest nihutatud 180° . Sellega on rahuldatud endaergutuse tingimus ning generaatorlambi läbib ülalnimetatud sagedusega kõrgsageduslik pulseeriv vool, mille pingelangu takistil R_a kasutatakse väljundpingena. Kondensaator C_s tõkestab alalispinge sattumist väljundisse, kondensaator C_a takistab kõrgsagedusliku voolu sattumist toiteallikasse E_a . Negatiivne võre-eelpinge tekitatakse katoodkomplektiga R_kC_k (analoogiliselt võimenditele).

RC-generaatori sagedust saab muuta mahtuvuste C_1 , C_2 , C_3 või takistite R_1 , R_2 , R_3 muutmisega.

Kuidas saavutatakse RC-generaatoris kindel väljundpinge sagedus?

11. Tööstuses kasutatakse siinuspingegeneraatorist saadud kõrgsagedusvoolusid peamiselt kuumutamiseks (termiliseks töötlemiseks või kuivatamiseks). Metallide kuumutamiseks (näiteks pindkarastamise eesmärgil) kasutatakse kõrgsagedusvoolude magnetvälja: kuumutatav metallese paigutatakse pooli, mida läbib kõrgsagedusvool. Dielektrikute kuumutamiseks (näiteks kuivatamiseks või küpsetamiseks) kasutatakse kõrgsagedusvoolude elektrivälja: dielektrik paigutatakse kõrgsagedusgeneraatori väljundiga ühendatud kondensaatori plaatide vahele.

- 1) Miks kõrgsageduslikku elektrivälja paigutatud dielektrik soojeneb?
- 2) Kas on olemas veel teisi siinuspingegeneraatorite võimalikke rakendusalasid?

Hammaspingegeneraatorid

12. Hammaspingeks nimetatakse mittesiinuselise pinget, mis kasvab või kahaneb enamvähem konstantse kiirusega ja suhteliselt pika ajavahemiku jooksul mingi maksimaalse väärtuseni ja taandub siis kiiresti oma esialgse väärtuseni. Seega hammaspinge koosneb perioodiliselt üksteisele järgnevatest pingepulssidest. Kuna sellise pinge graafik sarnaneb kolmnurksetele saehammastele, nimetatakse teda saehammaspingeks või lühemalt hammaspingeks (graafik vt. joonisel 34).

Hammaspinge allikaks on spetsiaalne hammaspingegeneraator. Neid generaatoreid kasutatakse elektronkiire hälvitamiseks elektronostsillograafides (vt. p.I-52), raadiolokaatorites ja televiisorites.

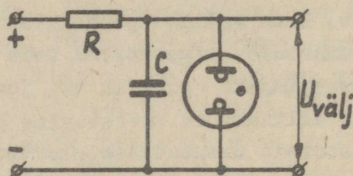
Järelkult hammaspinge koosneb kujulistest perioodilistest pingepulssidest, mida kasutatakse elektronkiiretorude pingena.

13. Hammaspingegeneraatori töö põhineb kondensaatori laadimis- ja tühjenemise nähtusel. Alalisvooluallika ja takistiga järjestikku ühendatud kondensaator laadub pingeni $U = Q/C$, kus Q on kondensaatori laeng kulonites ja C - kondensaatori mahtuvus F . Pinge kasvamine kondensaatori klemmidel ei toimu täpselt võrdeliselt ajaga, vaid mittelineaarselt (eksponentsiaalselt). Teatud ulatuses võib pinge suurenemist siiski küllaldase täpsusega lugeda lineaarseks. Pinge suurenemise kiirust iseloomustab ajakonstant $\tau = RC$ s, kus R on laadimisahela takistus Ω ja C - laetava kondensaatori mahtuvus F .

Et tekitada hammaspinget, tuleb kondensaator teatud aja möödumisel lühistada. Lühistatud kondensaator tühjeneb kiiresti ja pinge kondensaatori klemmidel langeb järsult. Lühise eemaldamisel suureneb pinge kondensaatori plaatidel uuesti kuni kondensaatori järjekordse lühistamiseni. Kui sellist protsessi korratakse kindlate ajavahemike tagant, saadaksegi kondensaatori klemmidelt hammaspinget.

Kuidas saadakse (tekitatakse) hammaspinget?

14. Kondensaatori automaatselt lühistamiseks saab hammaspingegeneraatoris kasutada elektron- või ioonseadiseid. Üheks kondensaatori automaatselt lühistamist võimaldavaks lihtsaimaks elemendiks on neoonlamp. Neoonlamp on sõltumatu huumlahendusega ioonseadis (vt. p.II-19). Kui neoonlamp lülitada paralleelselt kondensaatoriga C (joonis 112), siis pinge



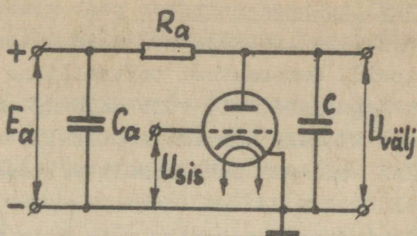
Joonis 112

tõusmisel kondensaatori plaatide vahel tõuseb pinge ka neoonlambi elektroodidel. Kui pinge neoonlambi klemmidel on tõusnud kõrgemaks neoonlambi süttimispingest, siis lamp süttib, hakkab juhtima ja lühistab kondensaatori plaadid. Kondensaator tühjeneb kiiresti läbi väikese takistusega neoonlambi ja pinge ta klemmidel järsult väheneb. Kui neoonlambi pinge langeb kustumispingeni, siis neoonlamp kustub ja kogu protsess kordub uuesti.

Tegelikes hammaspingegeneraatorites kasutatakse neoonlambi asemel enamasti türatroni (vt. p.II-14 ... 18).

- 1) Kuidas reguleerida hammaspingegeneraatori sagedust?
- 2) Mis eelis on türatronil neoonlambiga võrreldes?

15. Ioonseadiste inertsit tõttu (vt. p.II-12) on nende baasil koostatud hammaspingegeneraatoritel piiratud sagedus: huumlambiga generaatori sagedus võib olla kuni mõni tuhat Hz, türatroniga generaatoritel kuni 50 kHz. Kõrgemate sageduste saamiseks kasutatakse elektronlampidega (näiteks trioodidega) hammaspingegeneraatoreid (joonis 113). Sisendpingena U_{sis} antakse trioodi võrele negatiivseid pingepulsse (n. ristikülkipinget). Niikaua kui trioodi võre on negatiivne, on triood suletud ja kondensaator C laadub läbi suure takistuse R_a . Kui trioodi võre negatiivne pinge kaob (impulsi vahe-



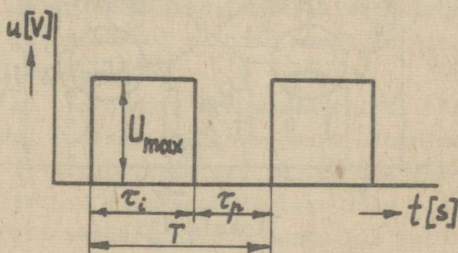
Joonis 113

ajal), siis triood avaneb (hakkab juhtima) ning kondensaator tühjeneb läbi trioodi. Toiteallikas E_a peab siin olema suhteliselt kõrge pingega. Kondensaator C_a juhib anoodvoolu vahelduvkomponendi toiteallikast mööda.

Mis on trioodiga hammaspingegeneraatori eeliseks ja puuduseks?

Ristkülikpingegeneraatorid

16. Ristkülikpinge on impulsspinge, mille ristkülikukujulise graafikuga impulsid korduvad perioodiliselt. Peale kuju iseloomustavad impulssi periood T (koosneb impulsi kestusest τ_i ja pausi kestusest τ_p), impulsi polaarsus, impulsi amplituud jne. (joonis 114). Impulsspinget kasutatakse



Joonis 114

mitmesugustes automaatsüsteemides, telemehaanikas, raadiolokatsioonis jm.

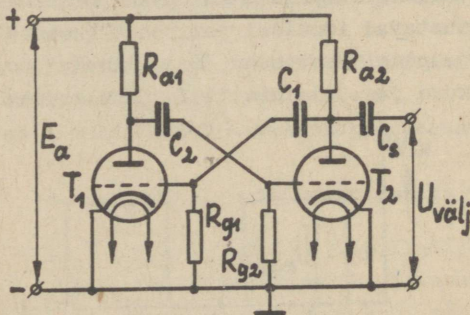
Mis on pingepulss?

17. Ristkülikpingegeneraator peab genereerima energiat üksikute lühiajaliste ristkülikukujuliste impulssidena, mida katkestavad pausid. Generaatori toiteallikas töötab pidevalt, andes energiat kogujasse, mis võib kogutud energia ära anda lühikese impulsi vältel. Harvade impulsside korral võib saada suurt impulsi võimsust suhteliselt väikese energiaallika võimsuse korral.

Ristkülikpingegeneraatoriks võib olla multivibraator (multi- = palju-, mitme-; vibraator = võngete tekitaja). Multivibraator on paljude võnkumiste generaator, sest ristkülik-impulsid koosnevad lõpmatust reast erineva sagedusega siinuselistest komponentidest ehk nn. harmoonilistest.

- 1) Mis on harmoonilised?
- 2) Mis otstarve on multivibraatoril?

18. Multivibraator on sisuliselt kaheastmeline RC-võimendi, mille astmed on üksteisega vastamisi sidestatud. Positiivse tagasisidestuse tõttu (ühe lambi anoodilt antakse pinge teise lambi võrele) töötab selline võimendi endaergutusega generaatorina. Multivibraatoris võidakse kasutada elektronlampe (näiteks triode, nagu joonisel 115) või tran-



Joonis 115

sistore. Kuna multivibraator genereerib üheaegselt erinevate sagedustega harmoonilisi, tekib nende liitumisel ristküliku kujuga väljundpinge. Kui multivibraatori mõlemad astmed koosnevad ühesugustest elementidest ($R_{a1} = R_{a2}$, $C_1 = C_2$ ja $R_{g1} = R_{g2}$) siis nimetatakse teda sümmeetriliseks multivibraato-

riks. Sümmeetrilises multivibraatoris kasutatakse kaksiktriode.

1) Milline erinevus on sümmeetrilise ja mittesümmeetrilise multivibraatori väljundpinge vahel?

2) Milline on transistoridega multivibraatori toitepinge elektronlampidega multivibraatori toitepingega võrreldes?

19. Sümmeetrilises multivibraatoris (vt. joonis 115) näib, nagu peaksid mõlema trioodi anoodvoolud olema ühesugused ja multivibraator peaks olema püsiva tasakaalu olukorras. Tegelikult mitmesuguste juhuslike asjaolude tõttu sümmeetria alati rikneb ja lampide anoodvoolud kujunevad mittevõrdseteks. Kui näiteks trioodi T_2 anoodvool juhuslikult kasvab, suureneb pingelang anoodtakistil R_{a2} ja trioodi T_2 anoodi potentsiaal väheneb. Kondensaator C_1 tühjeneb läbi trioodi T_2 ja takisti R_{g1} . Pingelang takistil R_{g1} vähendab trioodi T_1 võrepotentsiaali, mistõttu selle trioodi anoodvool väheneb kuni trioodi täieliku sulgumiseni. Pingelang anoodtakistil R_{a1} väheneb ning trioodi T_1 anoodi potentsiaal tõuseb. Kondensaator C_2 laetakse täiendavalt läbi takisti R_{a1} ning läbi trioodi T_2 võre ning katoodi vahemiku. Kondensaatori C_2 laadimisvool suurendab trioodi T_2 võrepotentsiaali, seega ka tema anoodvoolu. Järelikult trioodi T_2 anoodvoolu juhuslik tõus suureneb laviinitaoliselt (praktiliselt hetkeliselt), nii et trioodi T_2 anoodvool omandab mingi maksimaalse väärtuse, triood T_1 aga sulgub.

See olek ei ole püsiv. Kondensaatori C_1 tühjenemisel ta tühjenemisvool väheneb, seega väheneb pingelang takistil R_{g1} ja trioodi T_1 võrepotentsiaal muutub üha vähem negatiivseks. Lõpuks triood T_1 avaneb ja tema võre ning katoodi vahemiku suhteliselt väike takistus sünteerib takisti R_{g1} ning kondensaatori C_1 tühjenemine lõpeb hetkeliselt. Trioodi T_1 anoodvool tekitab pingelangu takistil R_{a1} ja trioodi T_1 anoodi potentsiaal väheneb. Kondensaator C_2 hakkab tühjenema läbi trioodi T_1 ja takisti R_{g2} . Tühjenemisvoolu pingelang takistil R_{g2} vähendab trioodi T_2 võre potentsiaali ja triood T_2 sulgub.

Kirjeldatud protsess hakkab perioodiliselt korduma ja multivibraator võngub.

- 1) Kuidas tekib multivibraatori võnkumine?
- 2) Missugused juhuslikud asjaolud panevad multivibraatori võnkuma?
- 3) Kust võetakse multivibraatori väljundpinget?

20. Kuna multivibraatori ühe trioodi juhtivuse aeg on määratud teise trioodi võrekomplekti ajakonstantiga $\tau = CR_g$ ja vastupidi, siis võib multivibraatori võnkesagedust muuta kas kondensaatorite $C_1 = C_2$ mahtuvuse muutmisega (seda tehakse astmeliselt) või takistite $R_{g1} = R_{g2}$ takistuse muutmisega (seda tehakse sujuvalt).

Väljundpinge suurust saab väiksemas ulatuses muuta takistuse R_a muutmisega, suuremas ulatuses aga anoodtoiteallika E_a pinge muutmisega.

Miks võrekomplekti ajakonstant mõjutab multivibraatori sagedust?

21. Iseergutuvas režiimis töötava (ehk iseõnkuva) multivibraatori võnkesageduse määravad ainult ta lülituse parameetrid. Selle sageduse stabiilsus on suhteliselt väike. Multivibraatori võnkesageduse stabiilsuse tõstmiseks ja ühtlasi sageduse tüürimiseks kasutatakse sünkroniseerimist. Selleks antakse multivibraatori lülitusse sünkroniseeriv pinge. Sel juhul sõltub multivibraatori võnkesagedus peale lülituse parameetrite ka multivibraatorile väljastpoolt mõjuva sünkroniseeriva pinge sagedusest ning parameetritest. Multivibraatori võnkesageduse stabiilsuse määrab siis sünkroniseerivate võnkumiste sageduse stabiilsus. Multivibraatori võnkesagedus võib olla kas võrdne sünkroniseeriva sagedusega või temast täisarv kordi väiksem.

- 1) Miks on iseõnkuva multivibraatori võnkesageduse stabiilsus väike?
- 2) Kuhu tuleb rakendada multivibraatori sünkroniseeriv pinge?

Vastused

1. Vahelduvvool.

2. Selles ahelas hakkab vool perioodiliselt oma suunda muutma, s.t. tekib võnkeprotsess.

3. 1) Võnkumise energia kulub energiakadude katteks.

2) Omavõnkesagedust saab muuta võnkeringi pooli induktiivsuse L või kondensaatori mahtuvuse C muutmisega.

4. See nähtus on seletatav võnkumisenergia salvestumisega võnkeringi induktiivsuses ja mahtuvuses.

5. Kõrgsagedusgeneraatorites ja kõrgsagedusvõimendites.

6. 1) Kõrg-. Võõr-. Enda-. 2) Siinuspinge on vahelduvpinge, mille hetkväärtus muutub sujuvalt ja mille graafikuks on siinusjoon.

7. Generaatorlambi toimel ergutatakse võnkeringi täpselt võnkeringi omavõnkesagedusega võrdse sagedusega.

8. 1) Positiivse tagasisidestuse puhul ühtib generaatorlambi anoodvoolu vahelduvkomponent suunalt võnkeringi pingega ja võnkeringi kondensaator saab sobival hetkel täiendava laengu, s.t. võnkeringi energia täieneb. Negatiivse tagasisidestuse puhul oleks generaatorlamp hetkel, mil võnkeringi energiat oleks vaja täiendada, suletud. 2) Tugeva tagasisidestuse saavutamiseks peavad poolid L ja L_{s1} paiknema võimalikult lähestikku.

9. 1) Negatiivne võrepinge tekib seetõttu, et trioodi võre ja katoodi vahemikul on ventiili omadus - ta juhib voolu ainult võrelt katoodi suunas. Selline võrevool tekitab takistil R_g pingelanguga, mille "miinus" on takisti R_g võrepoolses otsas. Kondensaator C_g vähendab võrevoolu pulseerimist.

2) Generaatori korrasolu saab kontrollida juhtmekeerdu lülitatud madalapingelise ja väikese võimsusega hõõglambiga (indikaatorlambiga). Kui lambiga juhtmekeeru tasapind paigutada paralleelselt võnkeringi pooli keerdude tasapinnaga, siis korrasoleva generaatori puhul lamp süttib põlema, sest juhtmekeerus indutseeritakse kõrgsagedusvool.

10. Endaergutuseks vajalik anood- ja võrepinge vaheline faasinihe tekib antud R ja C väärtuste korral ainult ühel

kindlal sagedusel. Selle sagedusega võnkumine muutub mittesum-
buvaks, kõik teiste sagedustega võnkumised sumbuvad kiiresti.
Seetõttu nimetatakse selle generaatori tagasisidestuslülisid ka
RC-filtriteks ja nendes lülides kasutatud R ja C väärtused
määravadki tekkiva võnkesageduse.

11. 1) Põhjuseks on dielektriline polarisatsioon, s.o.
nähtus, et elektrivälja mõjul dielektriku aatomite või mole-
kulide positiivsed ja negatiivsed laengud ruumiliselt veidi
nihkuvad. 2) Siinuspingegeeneraatoreid kasutatakse veel raa-
dio- ja televisioonisaatjates ja ultraheliallikates.

12. Kolmnurga-. Hälvitus-.

13. Hammaspinge kujuneb kondensaatori klemmidel, mida
perioodiliselt laetakse ja tühjendatakse (laadimine toimub
tühjendamisest aeglasemalt).

14. 1) Sagedust saab reguleerida takistuse R või mahtu-
vuse C muutmisega. Esimest saab tavaliselt muuta sujuvalt,
teist astmeliselt. 2) Türatroni võrepingega saab mõjutada ta
süttimispinget, seega generaatori sagedust. Ka saab sageduse
stabiliseerimiseks kasutada võrele antavat sünkroniseerivat
pinget.

15. Eeliseks on väiksem inerts ja seetõttu kõrgem sage-
dus. Puuduseks on kõrgem toitepinge vajadus ja hammaspinge
eksponentsiaalsus (pinge suurenemine ja kahanemine toimub vei-
di mittelineaarselt).

16. See on lühiajaline pinge (nn. pinge tõuge).

17. 1) Harmoonilised (nimetatakse ka kõrgemateks harmoo-
nilisteks) on mittesiinuselise pinge siinuselised komponendid,
millede hetkväärtuste summa annab mittesiinuselise pinge hetk-
väärtuse. 2) Multivibraator muudab alalispinge ristkülikpin-
geks.

18. 1) Sümmetrilise multivibraatori lampide anoodpin-
ged (anoodi ja katoodi vahelised pinged) muutuvad ühesuguse
sagedusega ja ühesuguse amplituudiga. Mittesümmetrilise mul-
tivibraatori lampide anoodpingete muutumise sagedus ja ampli-
tuud on erinev. 2) Transistoridega multivibraator töötab ma-
dalama toitepingega.

19. 1) Kondensaatorite C_1 ja C_2 tühjenemise ja laadimi-
se tõttu läheb anoodpingeallikaga ühendatud multivibraator pe-

rioodiliselt ühest asendist teise (protsess sarnaneb ümberlülitite kontaktide korduva ümberlülitumisele). 2) Nendeks asjaoludeks on enamasti molekulide või elektronide soojusliikumisest tekkinud juhuslikud kõrvalekalded. 3) Väljundpingena kasutatakse ükskõik kumma lambi anoodpinget, mida võetakse läbi sidestuskondensaatori C_g , mis ei lase läbi voolu alaliskomponenti.

20. Ajakonstant määrab võrekomplekti kondensaatori tühjenemiskiiruse, järelikult teise trioodi juhtivusaja.

21. 1) Põhjuseks võib olla anoodtoiteallika pinge kõikumine ja kondensaatorite tühjenemisahelate takistuste muutumine (näiteks temperatuuri muutumisel). 2) Sünkroniseeriv pinge tuleb rakendada lambi (trioodi) võrele.

VIII. ELEKTROONIKA RAKENDUSI AUTOMAATIKAS

Automatiseerimise põhimõisteid

1. Automaatne on mingi seade või masin siis, kui ta täidab oma ülesandeid ilma inimese otsese osavõtuta sellest protsessist.

Automatiseerimine on automaatseadmete praktiline rakendamise. Automatiseerida võidakse tehnoloogilise protsessi üksikuid astmeid, tehnoloogilist protsessi tervikuna või kogu tootmisprotsessi tervikuna. Automatiseerimine parandab inimeste töötingimusi (töö muutub kergemaks), suurendab tööviljakust, on eelduseks toodangu kvaliteedi tõstmisele, tooraine säästmisele jne.

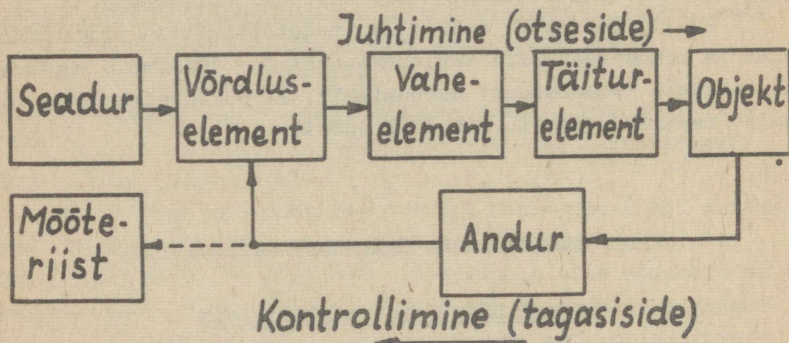
1) Kus osutub tootmisprotsessi automatiseerimine hädavajalikuks?

2) Kas automatiseerimine on majanduslikult alalt õigustatud?

2. Automatiseerimiseks kasutatavate seadmete komplekti nimetatakse automaatsüsteemiks. Automaatsüsteemid jagunevad automaatkontrolli, automaatjuhtimise (hõlmab ka kautomaat-

kaitse) ja automaatreguleerimise süsteemideks.

Iga automaatsüsteemi võib vaadelda omavahel seotud elementide kogumikuna. Otstarbe järgi jaotatakse automaatsüsteemide elemente mõõteelementideks ehk anduriteks, vaheelementideks (võimendid, muundurid), etteandeelementideks ehk seaduriteks, võrdluselementideks ja täiturelementideks. Elementide omavahelist toime suunda näitab joonisel 116 toodud automaatreguleerimissüsteemi lahterskeem.



Joonis 116

1) Missugused kaks põhilist mõjuahelat esineb automaatreguleerimissüsteemis?

2) Kas automaatreguleerimissüsteemi tagasiside on positiivne või negatiivne?

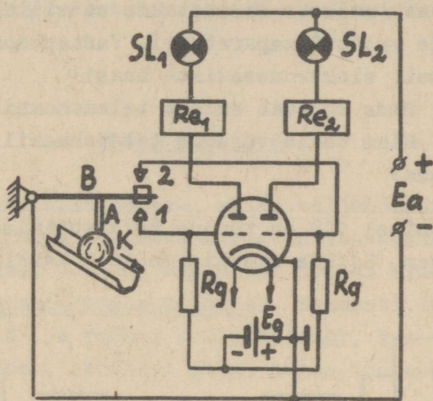
3. Elektroonikaseadistest võivad automaatsüsteemide anduritena töötada fotoelektrilised seadised ja mõned eritüüpi loonseadised. Etteande- ja võrdluselementidena saab kasutada elektroonikaseadiste baasil ehitatud mitmesuguseid arvutus-elemente. Vaheelementideks võivad olla elektron- ja pooljuhtvõimendid, alaldid, muundurid, stabilisaatorid, elektronreleed, fotoreleed jne. Releed võivad töötada ka täiturelementidena.

1) Mis eelised ja puudused on elektronseadiste kasutamisel automaatikas?

2) Milliseid seadiseid automaatsüsteemides veel kasutatakse (peale elektroonikaseadiste)?

3) Elektroonikaseadiste baasil on loodud tänapäeva kõige täiuslikumad programmjuhtimisega automaadid. Mis need on?

4. Elektronseadiste automaatikas kasutamise näitena on joonisel 117 toodud kuulide sorteerimisautomaadi põhimõtteskeem. Sorteeritavad kuulid K veerevad rennis, kus nende lä-



Joonis 117

bimõõtu kontrollitakse vardakujulise anduriga A, mis on ühendatud ümberlülitite hoovaga B. Kui kontrollitava kuuli läbimõõt vastab ettenähtule, jäävad ümberlülitite kontaktid 1 ja 2 avatuks ning kaksiktriodi mõlemad pooled on negatiivse eelpingeallika E_g mõjul suletud. Liiga väikese kuuli puhul sulgub ümberlülitite kontakt 1, mille tulemusena vasakpoolse triodi negatiivne võrepinge kaob, triod avaneb, signaallamp SL_1 süttib ning rele Re_1 rakendub. Rele paneb tööle hoobade süsteemi (seda pole joonisel näidatud), mis lükkab kontrollitava kuuli alamõõduliste kuulide punkrisse.

Analoogiliselt rakendub signaallamp SL_2 ja rele Re_2 ülemõõduliste kuulide puhul, sest siis sulguvad ümberlülitite kontaktid 2. Automaadi elektriskeemi toidetakse alalispingeallikast E_a .

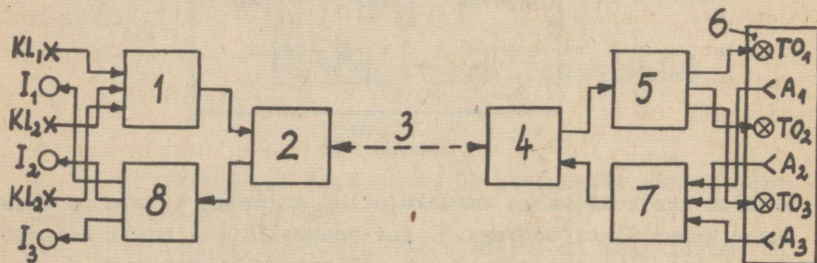
1) Mis otstarve on ülalkirjeldatud automaadis triodidel?

2) Kas ülalkirjeldatud automaat saaks töötada ilma trioodideta?

5. Mitmesuguseid elektronseadiseid kasutatakse telemehaanikas. Telemehaanikaseadmed võimaldavad kontrollida, juhtida või reguleerida protsesse kümnete või sadade kilomeetrite kauguselt. Sel juhul on vaja objektini minevat sidekanalit tihendada, et oleks võimalik mitmeid signaale korruga üle kanda. Selle saavutamiseks kasutatakse sideliini otstes spetsiaalset saate- ja vastuvõtuaparatuuri. Vastav aparatuur koostatakse põhiliselt elektronseadiste baasil.

- 1) Mida kujutab endast telemehaaniline sidekanal?
- 2) Miks tekib vajadus telemehaanilist sidekanalit tihendada?

6. Joonisel 118 on toodud telejuhtimise ja telekontrolli lahterskeem. Selles skeemis on kolm käskluslülitit ehk juh-



Joonis 118

timislülitit KL_1 , KL_2 ja KL_3 , mille asend määrab juhitava objekti 6 kolme parameetri muutumise. Lülitite signaalid antakse äifraatorisse 1, mis kodeerib nad (s.t. formeerib vajalikud impulsid) ja annab need kas erinevatel aegadel või erineva sageduse juures saate-vastuvõtuseadmesse 2. Sealt antakse kodeeritud signaalid sideliini 3 (sideliiniks võib olla ka raadiosidekanal). Sideliinist 3 saabuavad kodeeritud signaalid teise saate-vastuvõtuseadmesse 4, kust nad edasi dešifraatorisse 5 antakse. Dešifreeritud kujul (s.t. muundatult) antakse juhtimissignaale vajalikus järjekorras täiturorganitele TO_1 , TO_2 või TO_3 . Objekti 6 parameetrite muutused määratakse

kindlaks anduritega A_1 , A_2 ja A_3 . Andurite signaalid antakse jällegi šifraatori 7 kaudu saate-vastuvõtuseadmesse 4, kust nad sama sideliini 3 kaudu saate-vastuvõtuseadmesse 2 saavad. Edasi antakse need signaalid dešifraatori 8 kaudu indikaatoritele (signalisaatorid või mõõteriistad) I_1 , I_2 või I_3 .

- 1) Milleks on telemehaanikas vaja signaale kodeerida?
- 2) Missuguses telemehaanikaaparatuuris kasutatakse elektronseadiseid?

Elektronreleed

7. Relee on lülitusorgan, mille väljundsuurus muutub hüppeliselt, niipea kui sisendsuurus on saavutanud teatava rakendumisväärtuse. Sellist hüppelist toimet nimetatakse releetoimeks (ka diskreetseks toimeks). Enamasti lülitab relee suuremat võimsust (ja rohkem vooluahelaid), kui ta enda tüürimiseks vaja läheb, millisel juhul relee töötab sisuliselt võimendina.

Peale rakendumisväärtuse on relee sisendsuurusel veel tagastumisväärtus. Mis see on?

8. Automaatsüsteemides kasutatavad releed jagunevad kontaktidega ja kontaktivabadeks (kontaktituteks) releedeks. Kontaktidega relee teostab lülitamise kontaktide abil. Normaalselt avatud kontaktide (sulguvate kontaktide) väljundsuuruse algväärtus on null. Kontaktide puuduseks on nende inertts (see piirab rakendumiskiirust), kuuluvus ja mustumine (see vähendab töökindlust).

Kontaktivabades releedes saavutatakse releetoime elektron-,ioon- või pooljuhtseadiste abil, mistõttu neid releesid ka elektronreleedeks nimetatakse. Nende releede väljundsuuruse algväärtus ei tarvitse üldjuhul olla null. Kontaktide puudumise tõttu on kontaktivabad releed kiirema toimega, töökindlamad ja pikema tööeaga.

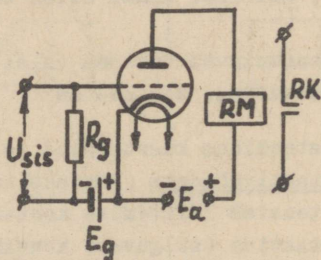
Mis on elektronrelee puuduseks?

9. Kontaktidega releedest on kõige rohkem levinud elektromagnetiline rele, mille liikuvad kontaktid on ühendatud elektromagneti liikuva ankruga. Sellist releed võib vaadelda ka muundurina, sest sisenev elektriline suurus (vool või pinge) muutub rele ankru mehhaaniliseks liikumiseks. Kuna automaatsüsteemi andurite signaalid on sageli liiga nõrgad elektromagnetilise rele töölepanekuks, varustatakse elektromagnetiline rele elektronlamp- või transistorvõimendiga. Rele mähis jääb siis võimendi koormustakistiks. Elektronlambi või transistori olemasolu tõttu nimetatakse sellist releed praktikas elektronreleeks, kuid tegelikult on ta elektronvõimendiga elektromagnetiline rele.

1) Kas elektromagnetilise rele ankru liikumist saab kasutada ka muuks otstarbeks kui kontaktide lülitamiseks?

2) Kuidas saab tõsta elektromagnetilise rele tundlikkust?

10. Elektronvõimendiga elektromagnetilise rele põhimõtteskeem on toodud joonisel 119. Võre negatiivse eelpingeall-



Joonis 119

ka E_g toimel on triood sulatud ja rele mähist RM vool ei läbi. Kui sisendpinge U_{sis} vähendab trioodi võre negatiivset potentsiaali, siis trioodi anoodvool suureneb, rele rakendub ning ta kontaktid RK sulguvad.

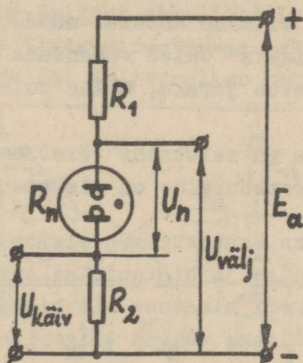
1) Nimetada elektronvõimendiga elektromagnetilise rele eelised ja puudused.

2) Kus võib elektronvõimendiga elektromagnetilist releed kasutada?

11. Kui joonisel 119 toodud skeemis võretakistiga R_g ühendada paralleelselt kondensaator C_g , siis saadakse viivitu-
 sega tagastuv relee, mida praktikas nimetatakse elektronaeg-
 releeks. Viivituse põhjuseks on asjaolu, et pärast sisendpin-
 ge U_{sis} kadumist hoiab laetud kondensaator C_g trioodi võre po-
 tentsiaali veel mõni aeg endise väärtuse juures. Viivituse
 aeg sõltub kondensaatori C_g tühjenemisajast läbi takisti R_g ,
 seega ajakonstandist $\tau [s] = R_g [M\Omega] \cdot C_g [\mu F]$.

Kuidas saab reguleerida kirjeldatud aegrelee viivi-
 tust?

12. Lihtsaim kontaktivaba relee on neonlambiga relee
 (skeem joonisel 120). Toiteallika elektromotoorjõud E_a jagu-



Joonis 120

neb kolme järjestikuse takisti R_1 , R_n (neonlambi sisetakis-
 tus) ja R_2 vahel. Nendest neonlambi sisetakistus ei ole kons-
 tantne, vaid oleneb sellest, kas lamp on süttinud või ei ole
 (vt. p.II-6). Neonlambi süttimiseks peab ta elektroodidevahe-
 line pinge U_n ületama süttimispinge väärtuse. Pinget U_n saab
 mõjutada sobiva polaarsusega käivituspingega $U_{käiv}$, mis an-
 takse takisti R_2 klõmmidele. Neonlambi süttimisel toimub pin-
 gete ümberjagunemine järjestikuste takistite vahel ja väljund-
 pinge $U_{välj}$ muutub hüppeliselt, mis ongi omane releetoimele.
 Kui neonlambi pinge U_n väheneb kustumispingest madalamaks,
 siis lamp kustub ja väljundpinge $U_{välj}$ saab tagasi endise
 väärtuse.

Neonlambiga relee on küll lihtne, kuid et neonlambi süttimis- ja kustumispinge väärtused on väikesed ja teineteisele lähedased, pole relee kuigi töökindel.

1) Milline on väljundpinge väärtus enne neonlambi süttimist ja pärast süttimist?

2) Millise polaarsusega peab olema käivituspinge

Ukäiv?

3) Kas neonlambiga relee on elektronrelee?

13. Neonlambiga releega ligikaudu samal põhimõttel töötavad tütratronreleed, kus neonlambi asemel lülitava elemendina kasutatakse kas külmkatoodiga või kuumkatoodiga tütratroni. Tütratrone saab süüdata tunduvalt väiksemapingelise käivitussignaaliga, sest viimane antakse nüüd tütratroni võrele. Tütratroni "kustutamiseks" tuleb vähendada ta anoodpinget. Tütratron süttib ja kustub järsku, mille tulemusena tekibki releetoime.

1) Millega on seletatav tütratroni releetoime?

2) Kas tütratronrelee on elektronrelee?

14. Tüüpiliseks kontaktivaba elektronreleeks on triger. On tuntud monostabiilse ja bistabiilse trigeri lülitus. Tavaliselt tuntakse trigeri nimetuse all bistabiilset trigerit. Releetoimega elementideks võivad trigerites olla elektronlambid (trioodid), külmkatood- või kuumkatoodtütratronid või transistorid. Nendest transistortrigerite eeliseks on väiksemad mõõtmed, väiksem toitepinge ja pikem tööiga.

Mis on triger?

15. Monostabiilseks trigeriks on ooterežiimis töötav multivibraator, mis rakendub ainult sisendisse antava käsklusimpulsi toimele. Pärast rakendumist läheb lülitus uuesti algasendisse tagasi ja "ootab" kuni järgmise käivitusimpulsi saabumiseni. Seega on monostabiilset trigerit võimalik kasutada lühikeste (mikrosekundites mõõdetavate) pingepulsside saamiseks. Iga impulsi saamiseks peab trigerisse sisenema käivitusimpulss.

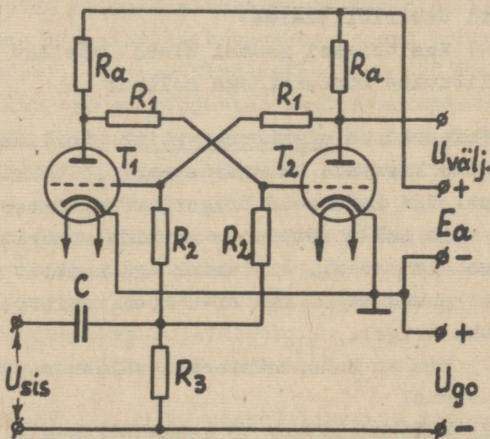
Monostabiilse trigeri lülituse võib saada multivibraatori lülitusest (vt. joonis 115), kui ühe trioodi võrele anda

sulgemispinget ületav negatiivne eelpinge. See triood jääb siis suletuks ja teine triood avatuks. Kirjeldatud stabiilne olek kestab seni, kui sama trioodi võrele antakse positiivne käivitusimpulss (või teise trioodi võrele negatiivne käivitusimpulss). Käivitusimpulsi toimel hakkab seni suletud triood hetkeliselt juhtima ja läheb siis kohe tagasi endisse stabiilsesse suletud seisusse. Väljundisse tekib võimendatud pingeimpulss.

1) Miks monostabiilne triger ei hakka võnkuma (kuigi tal on multivibraatorile sarnanev lülitus)?

2) Kuidas saavutatakse ooterežiimis töötava multivibraatori stabiilne olek?

16. Bistabiilse trigeri ehk lihtsalt trigeri lülitus on vaadeldav positiivse tagasisidestusega kaheastmelise võimendina (joonis 121). Sellel lülitusel on kaks stabiilset ole-



Joonis 121

kut: juhib kas üks või teine triood, kusjuures üleminek ühest stabiilsest olekust teise toimub hüppeliselt sisendsignaali toimel. Selline toime on analoogiline relee kontaktide ümberlülitumisele.

Kuigi ühesuguste skeemielementide tõttu on bistabiilse trigeri lülitus sümmeetriline, põhjustab ühe trioodi anood-

voolu juhuslik suurenemine selle trioodi täieliku avanemise ja teise trioodi sulgumise, sest pingelangu suurenemise ühe trioodi anoodtakistil vähendab teise trioodi võrepinget. Selline olek kestab nii kaua, kui trioodide võredele siseneb negatiivne sisendpinge impulss U_{sis} . Sisendpinge mõjul avatud triood sulgub ja suletud triood avaneb, kusjuures ümberlülitumise kestus on väga väike ($10^{-6} \dots 10^{-8}$ s). Uus sisendpinge impulss põhjustab jälle uue ümberlülitumise, s.t. trigeri käivitumise. Peale joonisel 121 toodud skeemi kasutatakse praktiliselt ka teisi trigeri käivitusskeeme.

- 1) Kuidas on ülalkirjeldatud trigeris teostatud positiivne tagasisidestus?
- 2) Mis otstarve on joonisel 121 kujutatud skeemis pingel U_{go} ?
- 3) Miks negatiivne sisendpinge impulss põhjustab trigeri ümberlülitumise?
- 4) Kas trigeri asemel oleks mõeldav kasutada ümberlülituvate kontaktidega releed?

17. Trigerid on elektronarvutite põhiliseks elemendiks. Neid on lihtne kasutada kahendsüsteemi loendurites. Kui näiteks joonisel 121 kujutatud trigeri väljundisse lülitada neonlamp, võib selle süttimine märkida numbrit 1 (s.t. arvu kohaväärtuse olemasolu), kustumine aga numbrit 0 (s.t. arvu kohaväärtuse puudumist). Iga arvu koha registreerimiseks on siis vaja üks triger.

- 1) Mis on kahendsüsteemis väljendatud arvu kohaväärtusteks?
- 2) Väljendada arv 10 kahendsüsteemis.
- 3) Millise maksimaalse arvu saab kahendsüsteemis registreerida 5 trigeriga?

Fotoreleed

18. Fotorelee on relee, mis rakendub või tagastub, s.t. lülitab oma kontakte valgusvoo muutumisel. Ta võib reageerida nii nähtavatele kui nähtamatutele valguskiirtele. Oma ole-

muselt on fotorelee harilik elektromagnetiline relee, mille juhtimisvoolu lülitab valgustundlik andur (fotoelement või fototakisti). Kuna anduri vool on paljudel juhtudel liiga nõrk elektromagnetilise relee töölerakendamiseks, kasutatakse tihti veel vahevõimendit. Kui võimendiks on lampvõimendi, nimetatakse fotoreleed fotoelektronreleeks. Fotorelee võimendiks saab kasutada ka türatrone ja transistore.

1) Millistel kaalutlustel tuleks valida fotorelees kasutatav fotoelektriline andur? Millised andurid on praktiliselt kõige levinumad?

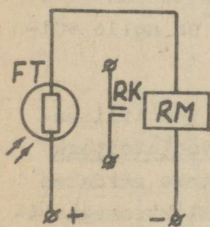
2) Millised eelised või puudused on türatronide või transistoride kasutamisel fotorelee võimendis?

19. Fotoreleesid kasutatakse automaatkontrolli, automaatkaitse, automaatjuhtimise ja automaatreguleerimise süsteemides. Neid saab kasutada näiteks mitmesuguste tsoonide kaitsmiseks (kõrvalise eseme ilmumine kaitstavasse tsooni põhjustab signaali rakendumise), ohutuse kindlustamiseks (kõrvalise eseme ilmumine ohtlikku tsooni põhjustab masina automaatse seiskumise), toodete või inimeste loendamiseks (iga loendatav objekt katkestab korraks fotoreleele langeva valguskiire, mille tulemusena loenduri numeraatori näit suureneb ühe ühiku võrra), teekonnaautomaatikas (fotorelee reageerib liikuva eseme või materjali nivoo kindlale asendile), pindade kvaliteedi või suuruse, vedelike ja gaaside läbipaistvuse, kiirgavate kehade temperatuuri jne. kontrollimiseks.

Millistel nähtustel rajaneb fotoreleede kasutamine?

20. Joonisel 122 on kujutatud lihtsaim fotorelee. Anduriks kasutatud fototakisti FT on seal ühendatud järjestikku

väikesevõimsuselise elektromagnetilise relee mähisega RM. Kui fototakistile valgust ei lange, on ta elektriline takistus üle $10^6 \Omega$ ja relee mähist RM läbib väga nõrk vool. Valgustamisel fototakisti takistus väheneb ja teda läbib vool tugevneb 100 ... 200 korda. Sellise vooluga relee rakendub ja sulgeb oma kontaktid RK.

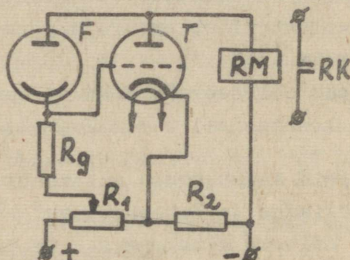


Joonis 122

1) Mis on ülalkirjeldatud fotorelee eeliseks ja puuduseks?

2) Kas vaadeldud fotorelees oleks mõeldav fototakisti asemel kasutada fotoelementi?

21. Elektronvõimendiga varustatud ja alalispingeallikast toidetava fotoelektronrelee põhimõtteskeem on kujutatud joonisel 123. Kui fotoelement F on valgustatud, läbib trioodi



Joonis 123

T võretakistit R_g vool, mis suurendab trioodi võre potentsiaali. Elektromagnetilise relee mähist RM läbib trioodi anoodvool on seetõttu nii suur, et relee rakendub ja sulgeb oma kontaktid RK. Fotoelemendi F pimendamisel muutub trioodi võre negatiivsemaks, ta anoodvool väheneb ja relee tagastub. Takistid R_1 ja R_2 moodustavad pingejaguri, mis võimaldab ühisest alalispingeallikast korruga saada võre-eelpinget ja anoodpinget.

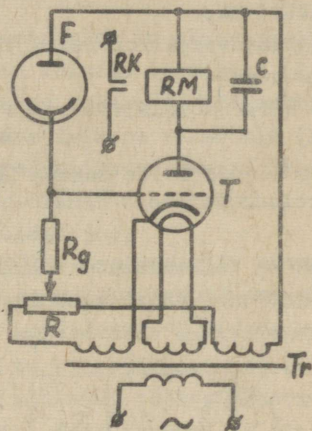
1) Miks vaadeldud skeemis fotoelemendi valgustamisel elektromagnetiline relee rakendub?

2) Kuidas saaks teha vastupidise toimega fotorelee, mis rakenduks fotoelemendi pimendamisel?

3) Aeglaselt muutuva valgusvoo korral töötab fotorelee võimendi alalispingevõimendina. Mis on selle võimendi oluliseks puuduseks?

22. Kui kasutada trioodi ja fotoelemendi ventiiliomadust, saadakse joonisel 124 kujutatud vahelduvvoolutoitega fotorelee. Võre-eelpinge, küttepinge ja anoodpinge saadakse sel juhul mitme sekundaarmähisega trafost Tr. Elektromagneti-

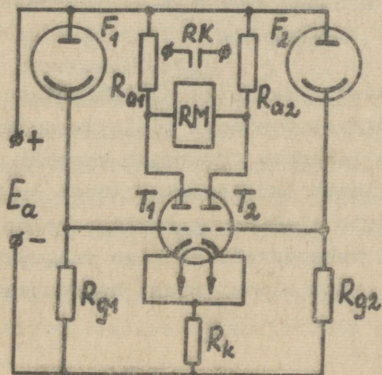
lise relee mähist RM läbib trioodi T anoodvool, mis on alaldatud vool. Kondensaatore C on rele mähisele RM läbiva alaldatud voolu silumiseks, sest ta annab rele mähisele voolu selle poolperioodi jooksul, kui trioodi T anoodpinge on negatiivne. Muus osas töötab see fotorelee täpselt niisamuti kui eelmises punktis kirjeldatud alalispingeallikast toidetav fotorelee (vt. p.VIII-21).



Joonis 124

Mis on vahelduvvoolutoitega fotorelee eeliseks?

23. Et vähendada toiteallika pingemuutuse mõju fotorelee tööle, kasutatakse diferentsiaal-fotorelee (joonis 125).

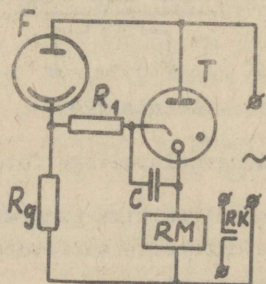


Joonis 125

Sellel fotoreleel on kaks fotoelementi F_1 ja F_2 , millede fotovoolud tüürivad kahe trioodi (kaksiktrioodi) T_1 ja T_2 anoodvoolusid. Kui mõlemad fotoelemendid on valgustatud ühesuguselt, on trioodide anoodvoolud ja anoodide potentsiaalid võrdsed ning elektromagnetilise relee mähist RM vool ei läbi. Mittevõrdse valgustamise puhul selline tasakaal rikneb ja relee mähist RM läbib vool ühes või teises suunas, relee rakendub ja sulgeb oma kontaktid RK.

- 1) Miks diferentsiaalfotorelee tööd ei mõjuta toiteallika pingemuutus?
- 2) Kuidas diferentsiaalfotorelee praktiliselt tööle rakendatakse?
- 3) Millest oleneb relee mähist RM läbiva voolu suund?

24. Kõige suurema võimsusega on fototüatronrelee. Külmkatoodtüatroniga ja vahelduvvoolutoitega fototüatronrelee põhimõtteskeem on kujutatud joonisel 126. See relee rakendub



Joonis 126

fotoelemendi F valgustamisel. Takistit R_g läbib fotoelemendi F vool teeb tüatroni võrepotentsiaali positiivsemaks, mille tulemusena esialgu tekib lahendus tüatroni katoodi ja võre vahel, mis kiiresti üle läheb lahenduseks anoodi ja katoodi vahel. Tüatroni vool läbib elektromagnetilise relee mähist RM ja relee kontaktid RK rakenduvad. Väikese valgusvoo puhul ei sütti tüatron kohe, vaid alles pärast kondensaatori C laadumist.

- 1) Mis tuleks teha, et fototüratronrelee rakendus fotoelemendi F päimendamisel?
- 2) Kas fototüratronreleedes oleksid kasutatavad ka köetava katoodiga türatronid?

Vastused

1. 1) Automatiseerimine on hädavajalik seal, kus töötingimused on ohtlikud inimese tervisele (liiga kõrge või madal temperatuur, mürgine keskkond, radioaktiivne kiirgus vms.) või kui töö pole kohane inimese võimetele (keerukad protsessid, protsesside suured kiirused jne.). 2) Ei ole. Automatiseerimise ökonoomsus on põhjustatud tootmistehnoloogia keerukusest, toodangu ühetüübilisusest jne.

2. 1) Juhtimis- ehk otsesideahel ja kontrollimis- ehk tagasisideahel. 2) Kuna tagasiside peab vähendama automaatre-gulaatori võnkumist, kasutatakse negatiivset tagasisidet.

3. 1) Eeliseks on kiiretoimelisus, suur täpsus ja tundlikkus. Puuduseks on piiratud tööiga (köetav katood!) ja väike mehaaniline tugevus. Neid puudusi ei ole pooljuhtseadistel. 2) Kasutatakse veel elektrilisi, elektromagnetilisi, elektromehaanilisi, hüdraulilisi ning pneumaatilisi seadiseid. Kõik nad võivad ka koos elektronseadistega töötada. 3) Elektronarvutid ehk raalid.

4. 1) Trioodid töötavad võimendina, s.t. automaatsüsteemi vaheelemendina. 2) Saaks töötada küll, kuid siis läbiks kontakte 1 ja 2 suhteliselt suur vool, mis muudaks nad vähem tundlikuks ja rikuks neid.

5. 1) Telemehaaniline sidekanal on traatsideliin või raadiosideliin (viimane sobib ühenduse pidamiseks liikuvate objektidega), mis võimaldab korraga üle kanda mitu juhtimis- või kontrollisignaali. 2) Eraldi sidekanali kasutamine iga juhtimis- või kontrolliahela jaoks oleks suurte kauguste tõttu väga kallis.

6. 1) Signaalide kodeerimisega saab tihendada sidekanalit. 2) Elektronseadiseid kasutatakse signaalide šifraatori-

tes ja dešifraatorites, samuti ka saate-vastuvõtuaparaatides (eriti just raadioside puhul).

7. Sisendsuuruse tagastumisväärtuse juures läheb relee väljundsuurus hüppeliselt oma lõppväärtusest tagasi algväärtuse juurde.

8. Elektronrelee puuduseks on kõrge anoodpinge vajadus ja kestev energiatarvidus elektronlambi kütteks. Transistori kasutamisel neid puudusi ei esine.

9. 1) Relee ankru liikumist kasutatakse näiteks automaatlülitites lüliti kontaktide riivistusest vabastamiseks, mille tulemuseks on lüliti väljalülitumine. 2) Relee tundlikkust saab tõsta võimendi kasutuselevõtmisega.

10. 1) Eeliseks on suurem tundlikkus ja väga väike voolutarve sisendis. Puuduseks on kontaktidega relee puudused (vt. p.VIII-8) ja elektronlambi puudused (vt. p.VIII-3 ja VIII-8). 2) Võib kasutada näiteks elektriajamite mootorite automaatseks lülitamiseks.

11. Viivitust saab reguleerida kas takisti R_g takistuse või kondensaatori C_g mahtuvuse muutmisega.

12. 1) Enne neonlambi süttimist $U_{\text{välj}} \approx E_a$, pärast süttimist on väljundpinge takistil R_1 tekkiva pingelangu võrra väiksem. 2) Kuna käivituspinge peab liituma elektromotoorjõuga E_a , peab takisti R_2 ülemisel klemmil tekkima käivituspinge mõjul negatiivne potentsiaal. 3) Õigem on teda nimetada ioonreleeks.

13. 1) Süttinud türatron juhib voolu hästi (see olek sarnaneb relee kontaktide suletud seisule), kustunud türatron peaaegu ei juhi (see olek sarnaneb relee kontaktide avatud seisule). 2) Ka seda releed on õigem ioonreleeks nimetada.

14. Triger on kontaktivaba relee spetsiaalne lülitus.

15. 1) Siin on saavutatud lülituse stabiilne olek. 2) See saavutatakse ühe trioodi võrele antava negatiivse sulgeva eelpingega.

16. 1) Osa ühe lambi anoodpingest antakse pingejaguri kaudu teise lambi võrele. 2) See on trioodide negatiivne võre-eelpinge. 3) Sisendsignaali pinge ei jagune trioodide võrede vahel ühtlaselt, sest avatud trioodi võre ja katoodi va-

hemiku takistus on väiksem kui suletud trioodi oma. Seetõttu saab avatud trioodi võre tugeva negatiivse impulsi ja see triood sulgub ning ta anoodi potentsiaal tõuseb. Selle tulemusena teise trioodi võre negatiivne potentsiaal väheneb ja see triood avaneb. 4) Mõeldav see oleks, kuid trigeril on palju suurem rakendumiskiirus ja tal puuduvad kuluvad kontaktid. Trigeri puuduseks on väike töövool.

17. 1) Alates paremalt: $2^0 = 1$; $2^1 = 2$; $2^2 = 4$; $2^3 = 8$; $2^4 = 16$ jne. 2) 1010, sest $8 + 0 + 2 + 0 = 10$. 3) 31, sest $16 + 8 + 4 + 2 + 1 = 31$.

18. 1) Valikul lähtutakse vajalikust tundlikkusest, kiirguse intensiivsusest ja selle spektraalsest koostisest ning relee ekspluatatsioonitingimustest. Tänapäeval kasutatakse fotoreleedes peamiselt fototakisteid või fotodiode. 2) Tütratronrelee on suurema võimsusega, kuid ka suurema inertsiaga. Transistorrelee on pika tööeaga, väikese gabariidiga ning energiatarbega. Transistori parameetreid aga mõjutab temperatuur ja parameetrite suur hajuvus raskendab transistoride asendamist.

19. Fotorelee reageerib tema andurile langeva valgusvoo muutumisele. Selle põhjuseks võib olla valguse varjamine läbipaistmatu esemega, keskkonna läbipaistvuse muutumine või mingi pinna peegeldusvõime muutumine.

20. 1) Eeliseks on lihtsus ja odavus, puuduseks on väike tundlikkus ja väike võimsus. 2) Ei oleks - fotoelemendi vool oleks liiga nõrk elektromagnetilise relee töölepanekuks.

21. 1) Fotoelemendi F vool läbib trioodi võretakistit suunaga ülevalt alla, mistõttu trioodi võreaga ühendatud takisti ülemine ots saab positiivse potentsiaali. 2) Selleks tuleks muuta takistit R_g läbiv fotovool vastupidiseks või vahetada omavahel fotoelemendi F ja takisti R_g asukohad. 3) Nullitriiv (vt. p.VI-21).

22. Relee on toidetav vahelduvvooluvõrgust.

23. 1) Pingemuutus mõjutab mõlemate trioodide ja fotoelementide tööd ühesuguselt. 2) Ühte fotoelementi valgustatakse konstantse valgusvooga (etalonvooga), teist aga kontrollitava valgusvooga. 3) Vool tekib kõrgema potentsiaaliga

trioodi anoodilt madalama potentsiaaliga anoodi suunas. Kõrgem anoodi potentsiaal on väiksema anoodvooluga trioodil.

24. 1) Vaadeldud lülituses tuleks ümber vahetada fotoelemendi F ja takisti R_g asukohad. 2) Saab küll, kuid eelistatakse külmkatoodtüratrone, sest neil on väiksem gabariit, pikem tööiga ja stabiilsemad parameetrid.

Kirjandust

1. Bulanov, I. ja Glagoljev, G. Elektroonika alused. Tallinn, "Valgus", 1968.
2. Popov, V., Mansurov, N. ja Nikolajev, S. Elektrotehnika. Tallinn, ERK, 1963.
3. Usai, U. Elektron-, ioon- ja pooljuhtseadised. Tallinn, ENSV MN Riikliku Kõrgema ja Keskk-erihariduse Komitee Teaduslik-metoodiline Kabinet, 1965.

S i s u k o r d

Bessõna	3
Sissejuhatus	4
I. Elektronseadised	
Elektron elektri- ja magnetväljas	4
Elektronide emissioon	6
Katoodid	9
Kahe elektroodiga elektronlamp	11
Kolme elektroodiga elektronlamp	17
Mitme võrega elektronlambid	26
Elektronkiiretorud	34
Vastused	40
II. Ioonseadised	
Füüsikalised nähtused ioonseadistes	46
Sõltuva lahendusega ioonseadised	52
Sõltumatu huumlahendusega ioonseadised	58
Sõltumatu kaarlahendusega ioonseadised	61
Vastused	66
III. Pooljuhtseadised	
Pooljuhtseadiste mõiste, kasutamine ja omadused	70
Pooljuhtide elektrijuhtivus	72
Pooljuhtdioodid	74
Transistorid	80
Vastused	88
IV. Fotoelektrilised seadised	
Põhimõisteid	90
Välisfotoefektiga fotoelemendid	91
Fotokordistid	95
Fototakistid	96
Pooljuhtfotoelemendid	99
Vastused	101
V. Alaldid	
Alaldite mõiste ja liigitus	103

Silufiltrid ja stabilisaatorid	110
Erinevate ventiilidega alaldite iseärasusi	113
Vastused	116

VI. Võimendid

Võimendite mõiste ja liigitus	118
Madalsageduslikud lampvõimendid	120
Eriotstarbelised lampvõimendid	132
Transistorvõimendid	134
Vastused	141

VII. Generaatorid .

Võnkering	145
Siinuspingegeneraatorid	147
Hammaspingegeneraatorid	151
Ristkülikpingegeneraatorid	153
Vastused	157

VIII. Elektroonika rakendusi automaatikas

Automatiseerimise põhimõisteid	159
Elektronreleed	163
Fotoreleed	168
Vastused	173
Kirjandust	177

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ

Составитель А. Кару

На эстонском языке

Министерство высшего и среднего
специального образования ЭССР
Научно-методический кабинет

Таллин, ул. Валли 4

Vastutav toimetaja A. Mattisen

=====

Trükkimisele antud 6. III 1970. Trükipoognaid
11,25. Tingtrükipoognaid 10,5. Arvestuspoognaid
7,6. Trükiarv 1000. MB 00990. Tell. nr. 228.
TRÜ rotaprint 1970. Tartu, Ülikooli tn. 18.

Hind 28 kop.

Hind 28 kop.

ACH
A-3052

76614

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00494783 6