



TARTU RIIKLIK ÜLIKOOL

FÜÜSIKA PRAKTIKUMI
TÖÖJUHEND
MITTEFÜÜSIKUTELE

II

TARTU 1974

TARTU RIIKLIK ÜLIKOOL

Üldfüüsika kateeder

FÜÜSIKA PRAKTIKUMI

TÖÖJUHEND

MITTEFÜÜSIKUTELE

II

Koostanud H. Oks

TARTU 1974

Утверждено Советом физико-химического факультета
18 февраля 1972

A+h.

KUSTUTATU

Ferri Riikliku Ülikooli
Rektoratukogu

2809 2760

Käesolev füüsika praktikumi tööjuhendite kogumik sisaldab TRÜ üldfüüsika kateedris ülesseatud elektri- ja aatomifüüsika tööde juhendeid Arstiteaduskonna, Majandusteaduskonna ja Bioloogia-Geograafiateaduskonna üliõpilastele.

Suure hulga juhendite ümbertöötamisel on aluseks olnud J.Langi, G.Metsa ja A.Pae "Füüsika praktikum". Juhendeid on täiendatud ja kohandatud konkreetsetele tingimustele.

Kogumik on paljude kateedri õppejõudude poolt läbi vaadatud ja tehtud märkused arvesse võetud.

SISUKORD

1. Ampermeetri kalibrimine	5
2. Voltmeetri kalibrimine	11
3. Takistuse mõõtmine Wheatstone'i sillaga	16
4. Elektromotoorjõu määramine kompensatsioonimeetodil	20
5. Termoelemendi kalibrimine termomeetri abil ...	25
6. Alaldite ja filtrite uurimine	28
7. Trioodi omaduste uurimine	36
8. Elektrienergia hulga ja kasuteguri määramine ..	44
9. Transformaatori uurimine	47
10. Induktiivsuse ja mahtuvuse määramine vahelduvvoolu ahelas	54
11. Elektrolüüdi erijuhtivuse määramine	64
12. Ultralühilainegeneraatori uurimine	69
13. Madalsagedusvõimendi amplituud- ja sageduskarakteristiku määramine	79
14. Elektronostsilloskoobiga tutvumine	88
15. Gaaslahendusloendi uurimine	100

AMPERMEETRI KALIIBRIMINE

Tööülesanne

Kaliibrida galvanomeeter etteantud mõõtepiirkonnaga ampermeetriks. Määrata saadud ampermeetri täpsusklass.

Töövahendid

Kaliibritav galvanomeeter, ampermeeter, millivoltmeeter, reostaat, reguleeritava pikkusega šunt, alalispinge allikas, juhtmed.

Teoreetiline sissejuhatus

Mõõteriista kaliibrimise all mõeldakse riistal oleva meelevaldse skaala jaotistele vastavate mõõdetava suuruse väärtuste leidmist. Kaliibritakse kõik uued riistad, samuti olemasolevad riistad nende mõõtepiirkonna laiendamisel või riistade kohandamisel neile algselt mittedääratud suuruse mõõtmiseks.

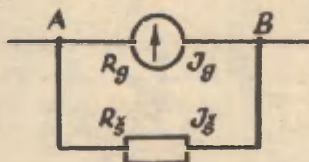
Käesolevas töös tuleb laiendada galvanomeetri mõõtepiirkonda, kaliibrida ta ampermeetriks. Selleks tuleb galvanomeetriga paralleelselt lülitada šunt.

Š u n d i a r v u t u s. Olgu galvanomeetriga, mille sisetakistus on R_g ja lubatav maksimaalne voolutugevus I_g , vaja mõõta voolu tugevusega I . Seejuures olgu mõõdetav vool I lubatavast maksimaalsest voolutugevusest n korda suurem, s.t.

$$\frac{I}{I_g} = n.$$

Suhtearvu n nimetatakse šundi kordajaks.

Vool, mis läheb läbi galvanomeetri, ei saa olla suurem kui I_g . Järelikult ülejäänud vool $I - I_g = I_g^*$ peab minema läbi šundi (joon. 1).



Joon. 1.

Et pinge mõlema haru otstel on sama (punktide A ja B vaheline pinge), siis

$$I_g R_g = I_g^* R_g^* = (I - I_g) R_g^*. \quad (1)$$

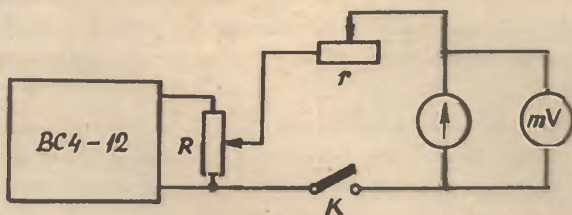
Jagades võrrandi (1) mõlemad pooled I_g -ga ja arvestades, et $\frac{I}{I_g} = n$, saame šundi takistuse jaoks valemi

$$R_g^* = \frac{1}{n-1} R_g. \quad (2)$$

Töö käik

I_g määramiseks koostame joonisel 2 toodud skeemi.

Pingeallika BC-4-12 astmelise lüliti pööramise äärmisesse vasakpoolsesse asendisse ja reostaadi r liugkontakt asugu nii, et takistus oleks maksimaalne. Suleme lüliti K abil vooluringi ja reguleerime reostaadi r abil voolu selliseks, et galvanomeetri osuti hälviks äärmise jaotuseni.



Joon. 2.

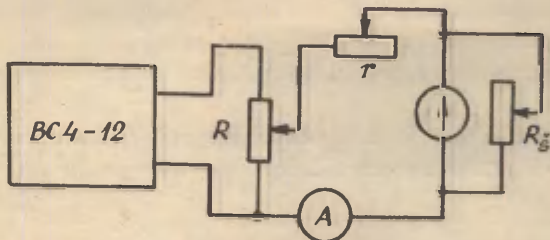
Millivoltmeetrilt registreerime pingelangu galvanomeetril U_g . Et galvanomeetri sisetakistus R_g on riistal antud, siis on lihtne leida I_g .

Nüüd arvutame valemi (2) järgi šundi takistuse, pidades silmas juhendaja poolt antud kalibrimispiirkonda. Šundina kasutame takistustraati, mis on paigutatud alusele ja mille pikkus on reguleeritav. Takistustraadi vajalik pikkus on arvutatav (traadi eritakistus ρ ja diameeter on märgitud alusele) valemist

$$l = \frac{R_g S}{\rho}, \quad (3)$$

kus S on traadi ristlõike pindala.

Kalibrimiseks koostame vooluringi vastavalt joonisele 3.



Joon. 3.

Reguleerime šundi pikkuse vastavaks arvutatule ja pingestame vooluringi. Vajaduse korral reguleerime šundi pikkust katseliselt, kuni mõõtepiirkonna lõppnäit vastab etteantule.

Šundi pikkuse sobitamine nõuab erilist ettevaatust, sest kasvõi hetkeline katkestus šundi ahelas viib galvanomeetri mähise läbipõlemisele (miks?). Igasuguste ümberlülituste tegemisel, eriti aga šundi pikkuse reguleerimisel peab pingesallika välja lülitama.

Kalibrimisel leiame kalibritava mõõteriista igale skaalajaotisele vastavad mõõdetava suuruse väärtused kahel korral - mõõdetava suuruse väärtuste kasvamisel ja kahane-misel - ning arvutame nende aritmeetilise keskmise. Andmed esitame tabelina ja graafikuna.

Galvano-meetri jaotised	Ampermeetri näit kahanedes	Ampermeetri näit kasvades	Aritmeetiline keskmine	Variatsioon

Nüüd leiame saadud ampermeetri täpsusklassi, s.t. taandpõhiva, mis on üheks mõõteriista iseloomustavaks põhiliseks suuruseks. Taandpõhivaeks nimetatakse mõõteriista põhiva ja mõõteulatuset suhet, mis tavaliselt väljendatakse protsentides (eeldus: kalibrimine toimus normaalingimustel).

Põhiva leiame võrdlusampermeetri absoluutse vea, kalibritava galvanomeetri lugemi vea ning poole variatsiooni summana:

$$\Delta I = \Delta I_{\text{võrdl.}} + \Delta I_{\text{lug.}} + 1/2 \Delta I_{\text{var.}}$$

Võrdlusampermeetri absoluutse vea leiame tema täpsusklassi ja mõõteulatuse järgi.

Kalibritava galvanomeetri lugemi vea hindame silma järgi skaalajaotise osana, mis arvutuste tegemiseks tuleb voolutugevuse ühikutes väljendada.

Variatsioon on muutumatu suuruse korduva mõõtmise maksimaalse ja minimaalse näidu vahe. Leiame maksimaalse variatsiooni tabeli viimase lahtri arvudest, mis on saadud samal galvanomeetri jaotisekriipsul teise ja kolmanda lahtri vastavate suuruste vahena.

Taandpõhiviga

$$D = \frac{\Delta I}{2 I} .$$

Arv 2 on valemis sellepärast, et kalibritavad galvanomeetrid on meil nullasendiga keskel, mõõteulatus on aga mõõtepiiride algebralise vahe absoluutväärtus.

Kui saadud taandpõhiviga on väiksem galvanomeetri enda täpsusklassist, jääb kehtima viimane, sest mõõteriista ei saa kalibriada paremasse täpsusklassi kui see, mis on tema konstruktsiooniga määratud.

Lisaküsimusi ja ülesandeid

1. Missugune on põhiline erinevus ampermeetri ja voltmeetri vahel?
2. Miks tehakse šunt manganiniist?
3. Määrata töös kasutatud mõõteriistade tüübid.
4. Dešifreerida töös kasutatavate mõõteriistade skaaladel olevad märgid.
5. Miks ettearvutatud šundi pikkus ei ühti iga kord tegelikuga?

Kirjandus

1. Elektripraktikumi tööjuhendid. TRÜ rotaprint, Tartu, 1970, lk. 38-46.
2. H.Tammst. Praktilise metroloogia algmed. I. TRÜ rotaprint, Tartu, 1967, lk. 16-25.
3. H.Tammet. Praktilise metroloogia algmed. III. TRÜ rotaprint, Tartu, 1968, lk. 4-9, 47-56.

VOLTMETRI KALIBRIMINE

Tööülesanne

Kaliibrida galvanomeeter etteantud mõõtepiirkonnaga voltmetriks. Määrata saadud voltmeetri täpsusklass.

Töövahendid

Kaliibritav galvanomeeter, voltmeeter, takistussalv, reostaat, vooluallikas, juhtmed.

Teoreetiline sissejuhatus

Mõõteriista kalibrimise all mõistetakse riistal oleva meelevaldse skaala jaotistele vastavate mõõdetava suuruse väärtuste leidmist.

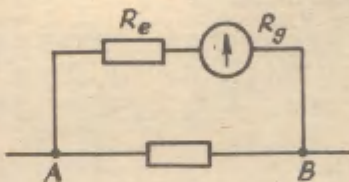
Põhiline erinevus ampermeetri ja voltmeetri ehituses seisneb selles, et voltmeetrina kasutatava riista sisetakistus on suur, ampermeetrina kasutataval riistal - väike. Galvanomeetri kasutamisel voltmeetrina on vaja tema sisetakistust suurendada. Selleks tuleb galvanomeetriga järjestikku lülitada eeltakistus R_e .

Voltmeeter lülitatakse paralleelselt vooluahela osaga AB, mille pinget U_{AB} tahetakse mõõta (joon. 1).

Arvutame eeltakistuse R_e suuruse. Kogu voltmeetri takistus

$$R = R_e + R_g, \quad (1)$$

kus R_g on galvanomeetri sisetakistus.



Joon. 1.

Tegelikult mõõdab voltmeeter voolutugevust, mis teda läbib. Ohmi seadusest vooluahela osa kohta

$$U_{AB} = I_g \cdot R. \quad (2)$$

Kui takistus R on konstantne, siis pinge U_{AB} on võrdeline voolutugevusega I_g ja galvanomeetri skaala võime graadueerida pinge ühikutes.

Kasutades valemuid (1) ja (2), kirjutame

$$U_{AB} = I_g (R_e + R_g),$$

kust

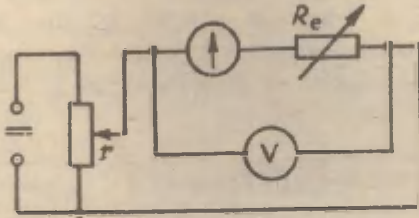
$$\frac{U_{AB}}{I_g} = R_e + R_g$$

ja

$$R_e = \frac{U_{AB}}{I_g} - R_g. \quad (3)$$

Töö käik

Töö tegemiseks koostame järgmise skeemi (joon. 2).



Joon. 2.

Pingeallikana kasutame kohapeal valmistatud alaldit. Potentsiomeetri r liugkontakt olgu sellises asendis, et galvanomeetrit vool ei läbiks. Eeltakistusena R_g kasutame takistussalve. Võrdlusvoltmeeter V on lülitatud paralleelselt galvanomeetri ja takistussalvega.

Kõigepealt määrame pingelangu galvanomeetril. Selleks valime takistussalvest $R_g = 0$. Potentsiomeetri r liugkontakti nihutamisega saavutame olukorra, kus galvanomeetri osuti hälvib äärmisele jaotisele. Registreerime voltmeetri näidu U'_{AB} . Valemist (3) saame leida ($R_g = 0$)

$$I_g = \frac{U'_{AB}}{R_g}.$$

Galvanomeetri sisetakistuse R_g suurus on märgitud riistale.

Nüüd arvutame valemi (3) abil vajaliku eeltakistuse suuruse, pidades silmas juhendaja poolt antud kalibrimispiirkonda U_{AB} .

Valime takistussalvest leitud eeltakistuse suuruse. Reguleerime võrdlusvoltmeetri näidu etteantud pingele U_{AB} . Galvanomeetri osuti peaks sel juhul olema äärmisel jaotisel. Kui see nii ei ole, sobitame eeltakistuse katseliselt täpseks.

Kaliibrimisel leiame kaliibritava galvanomeetri igale skaalajaotisele vastavad pinge väärtused kahel korral - kahanemisel ja kasvamisel - ning arvutame nende aritmeetilise keskmise. Andmed esitame tabelina ja graafikuna.

Galvano- meetri jaotised	Voltmeetri näit kahanedes	Voltmeetri näit kasvades	Aritmee- tiline keskmise	Variat- sioon

Leiame saadud voltmeetri täpsuaklassi (vt. esimene töö).
Põhiviga

$$\Delta U_{AB} = \Delta U_{\text{võrdl.}} + \Delta U_{\text{lug.}} + 1/2 \Delta U_{\text{var.}}$$

Tsundpõhiviga

$$D = \frac{\Delta U_{AB}}{2U_{AB}}$$

Lisaküsimusi ja ülesandeid

1. Missugust tüüpi elektrivoolu mõõteriistu te teate?
2. Mis teha, kui etteantud pinge jaoks tuleb eeltakistuse nii suur, et olemasolevatest takistussalvedest pole seda võimalik valida?
3. Määrata töös kasutatud mõõteriistade tüübid.
4. Dešifreerida töös kasutatud mõõteriistade skaaladel olevad märgid.

5. Mida mõistate mõõteriista täpsusklassi all?
6. Missugune peaks olema võrdlusvoltageetri täpsusklass kalibritava galvanomeetri täpsusklassiga võrreldes?

Kirjandus

1. Elektripraktikumi tööjuhendid. TRÜ rotaprint, Tartu, 1970, lk. 38-46.
2. H.Tammet. Praktilise metroloogia algmed. I. TRÜ rotaprint, Tartu, 1967, lk. 16-25.
3. H.Tammet. Praktilise metroloogia algmed. III. TRÜ rotaprint, Tartu, 1968, lk. 4-9, 47-56.

TAKISTUSE MÕÕTMISE WHEATSTONE'I SILLAGA

Tööülesanne

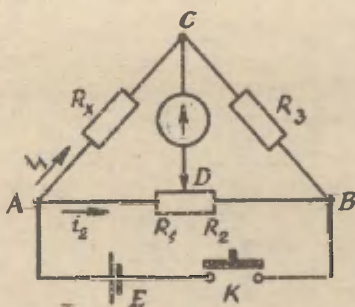
Mõõta kahe takisti takistused. Kontrollida järjestikku ja paralleelselt ühendatud takistite kogutakistuse valemid.

Töövahendid

Reohord, takistussalv, nullgalvanomeeter, vooluallikas, 2 mõõdetavat takistit, lüliti, juhtmed.

Teoreetiline sissejuhatus

Keskmise suurusega takistuste mõõtmisel kasutatakse lihtsat sildskeemi, nn. Wheatstone'i silda (joon. 1).



Joon. 1.

Elemendist E tulev vool jaguneb punktis A kaheks: vooluks i_1 läbi haru ACB ja vooluks i_2 läbi haru ADB. Haru ACB koosneb tundmatust takistist R_x ja takistussalvest R_3 . Haru ADB kujutavad R_1 ja R_2 endast ühe ja sama takistus- traadi - reohordi - kahe osa takistusi. Punktis D on lii- kuv (libisev, veerev) kontakt.

Pinge mõlema haru otstel (punktide A ja B vahel) on sama. Täheandab, mõlema vooluharu otste vahel on võimalik leida lõpmata palju selliseid punktide paare (näiteks C ja D), millel on punkti A suhtes võrdne pinge. Sel juhul punktide C ja D vahele lülitatud galvanomeeter voolu ei näita. Võime kirjutada, et

$$U_1 = i_1 R_x = i_2 R_1$$

ja

$$U_2 = i_1 R_3 = i_2 R_2 .$$

siit jagamise teel

$$\frac{i_1 R_x}{i_1 R_3} = \frac{i_2 R_1}{i_2 R_2}$$

ehk

$$\frac{R_x}{R_3} = \frac{R_1}{R_2} . \quad (1)$$

Reohordiga silla puhul saab takistuste R_1 ja R_2 mõöt- mise asendada vastavate traadiosade pikkuste mõõtmisega. Tõepoolest, ühtlase läbimõõduga traadi korral

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{l_1}{l_2} . \quad (2)$$

Asendades (2) valemisse (1), saame silla tasakaalutin- gimuseks

$$\frac{R_x}{R_3} = \frac{l_1}{l_2}$$

ehk

$$R_x = R_3 \frac{l_1}{l_2} . \quad (3)$$

Valem (3) ongi aluseks takistuste mõõtmisel Wheatstone'i silla abil.

Töö käik

Koostame vooluahela vastavalt joonisel 1 toodud skeemile.

KÕIK KLEMMID TULEB HÄSTI TUGEVASTI KINNI KEERATA.

Seame reohordi õlad võrdseks, s.t. $l_1 = l_2$. Sel juhul on silla tundlikkus maksimaalne. Valime R_3 takistussalve abil sellise, et galvanomeeter voolu ei näitaks. SELLEKS ET VÄLTIDA JUHTMETE JA KONTAKTIDE SOOJENEMIST NING GALVANOMEETRI KAHJUSTUMIST, VÕIB VOOLU AHELASSE LÜLITADA AINULT HETKEKS (K on survenupplüüti). Kui salve takistuse minimaalse võimaliku muutumise korral galvanomeetri osuti nihkub märgatavalt, tuleb tasakaalustamist täpsustada reohordi õlgade suhte $l_1 : l_2$ muutmisega. Nüüd vahetame reohordi õlad, s.t. lülitame reohordi otsad skeemis ümber ja kordame mõõtmist.

Samasugused mõõtmised teeme ka teise takistiga.

Leiame mõlema takisti takistused. Arvutame nende takistite järjestikuse ja paralleelse ühenduse kogutakistused. Saadud tulemusi kontrollime ka katseliselt.

Lisaküsimusi

1. Tuletada valem (2).
2. Millest oleneb juhtme takistus?
3. Millest sõltub juhtide eritakistus?
4. Miks on vaja klemmid tugevasti kinni keerata?
5. Miks on vaja vahetada reohordi õlad?

Kirjandus

1. Elektripraktikumi tööjuhendid. TRÜ rotaprint, Tartu, 1970, lk. 51-57.
2. J.Lang jt. Füüsika üldkursus. II. Tln. 1961, lk.60-68.

ELEKTROMOTOORJÕU MÄÄRAMINE KOMPENSATSIOONIMEETODIL

Tööülesanne

Määrata Leclanché elemendi elektromotoorjõud lihtsaimal kompensatsioonimeetodil.

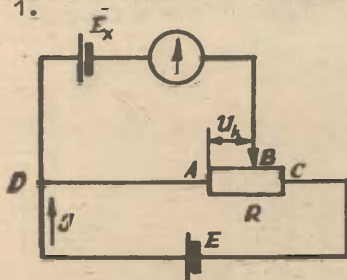
Töövahendid

Rechord, nullgalvanomeeter, surunupuga topeltlüüti, normaalelement, uuritav element, aku, juhtmed.

Teoreetiline sissejuhatus

Alalievooluallikate elektromotoorjõu määramist kompensatsioonimeetodil kasutatakse sellepärast, et 1) vabaneda voltmeetriga mõõtmisel tekkivast mõõteriista voolutarbest tingitud meetodilisest veast ja 2) saavutada võimalikult suurt täpsust.

Elektromotoorjõu määramist kompensatsioonimeetodil selgitab joon. 1.



Joon. 1.

Aku elektromotoorjõuga E on lülitatud ahelasse $EDACE$. Teine vooluahel on moodustatud uuritava pingelähte, mille elektromotoorjõud $E_x < E$, abil: $E_x DABE_x$. Sellesse ahelasse on lülitatud ka galvanomeeter. Lülitus on tehtud nii, et punkt D on ühendatud vooluallikate samanimeliste poolustega.

Punktis D hargneb aku vool kaheks. Kui pinge U_k takisti R osal AB on võrdne uuritava elemendi elektromotoorjõuga E_x , siis uuritava elemendi ja aku pinged harus DE_xB kompenseeruvad (tasakaalustuvad) ja galvanomeeter voolu ei näita:

$$U_k = E_x . \quad (1)$$

Tingimuse (1) täitmiseks reguleeritakse liugkontakti B asukohta takistil R . Sellega ongi saavutatav voolu puudumine läbi uuritava vooluallika (s.t. vabanetud voltmeetriaga mõõtmisel tekkivast meetoodilisest veast).

Kogu mõõteprotsess taandub nüüd kompenseeriva pingelanguga U_k mõõtmisele. Suurema täpsuse saavutamiseks kasutatakse selleks etalonelektromotoorjõuga võrdlemist. Etalonina kasutatakse Westoni normaalelemente, mille elektromotoorjõud püsib konstantsena täpsusega kuni $10^{-3}\%$ ja sõltub nõrgalt temperatuurist. Joonisel 1 tuleks uuritav element asendada normaalelementiga, mille elektromotoorjõud on E_N , ja leida kompenseeriv pingelang ka tema jaoks. Pingelangude mõõtmine asendub nüüd aga takistuste mõõtmisega järgmisel viisil. Eeldades, et aku elektromotoorjõud E ja sisetakistus katse jooksul ei muutu (seega $I = \text{const}$ läbi takisti R), saadakse:

$$E_x = U_k^x = IR_{AB}^x ,$$

$$E_N = U_k^N = IR_{AB}^N .$$

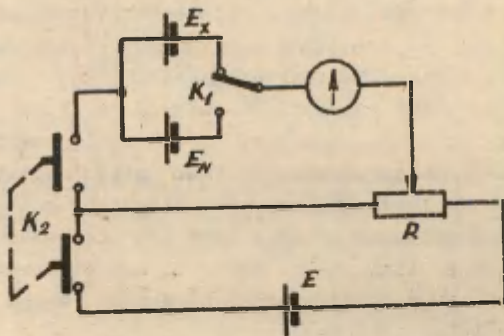
Jagades võrrandite vastavad pooled omavahel läbi, saame

$$\frac{E_X}{E_N} = \frac{R_{AB}^X}{R_{AB}^N} \quad \text{ehk}$$

$$E_X = E_N \cdot \frac{R_{AB}^X}{R_{AB}^N} \quad (2)$$

Töö käik

Koostame joonisel 2 toodud skeemi järgi vooluringi.



Joon. 2.

Takistina R kasutame reohordi. Abipingeallikaks on aku elektromotoorjõuga E . K_1 on ümberlülititi, mis võimaldab korradamööda ahelasse lülitada E_N ja E_X . K_2 on surunupuga to-

peltlüliti, mis tuleb ahelasse ühendada nii, et ta lülitaks enne sisse aku ja alles siis mõõdetava või normaalelemendi.

Lülitame ahelasse normaalelemendi. Reohordi liugkontakti asukohta muutes leiame asendi, kus vool galvanomeetrit ei läbi. K_2 lülitame ainult hetkeks, kuna pikemaajalise lülituse korral juhtmed soojenevad, mis muudab nende takistust; samuti võib muutuda aku elektromotoorjõud. Reohordilt loeme vastava osa pikkuse l_{AB}^N . Sama kordame uuritava elemendiga.

Aku elektromotoorjõu konstantsuse kontrolliks kordame katset normaalelemendiga.

E_x arvutame valemist (2), asendades takistuste suhte reohordi traadi vastavate pikkuste suhtega:

$$E_x = E_N \frac{l_{AB}^x}{l_{AB}^N} .$$

Normaalelemendi elektromotoorjõud on antud.

Lisaküsimusi

1. Miks tekib meetodiline viga elektromotoorjõu ja pinge mõõtmisel voltmeetriga?
2. Kuidas oleks võimalik E_x määrata etalonelektromotoorjõudu kasutamata?
3. Miks on püstitatud nõue, et K_2 lülitaks ahelasse enne aku ja alles siis mõõdetava või normaalelemendi?
4. Missugune on Leolanché elemendi ja normaalelemendi ehitus?

Kirjandus

1. J.Lang., G.Mets., A.Pae. Füüsika praktikum. Tln., ERK, 1960, lk. 173-176, 200-203.

2. Elektripraktikumi tööjuhendid. TRÜ rotaprint, Tartu, 1970, lk. 62-72.

TERMOELEMENTI KALIBRIMINE TERMOMEETRI ABIL

Tööülesanne

Kaliibrida termoelement termomeetriks temperatuurivahemikus 0 - 100°C.

Töövahendid

Kahe jootekohaga termoelement, millivoltmeeter, Dewar'i anum, anum vee soojendamiseks, elektripliit, termomeeter.

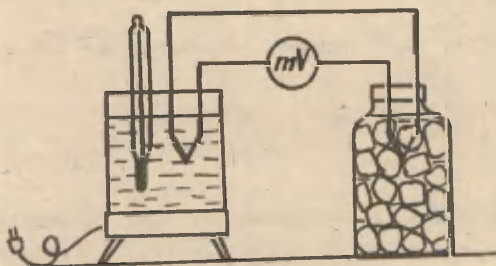
Töö käik

Erinevast ainest traatidest koostatud juhtmeringis tekib elektromotoorjõud, kui traatide ühenduskohtade temperatuurid on erinevad. Seda elektromotoorjõudu nimetatakse termoelektromotoorjõuks ja selle tekitamiseks kasutatakse ainepaari termoelementiks. Elektromotoorjõu mõjul tekib ahelas vool, nn. termovool.

Termoelektromotoorse jõu suurus oleneb ühe konkreetse ainepaari puhul kahe ühenduskoha (jootekoha) temperatuuride vahest. Hoides ühe ühenduskoha temperatuuri konstantseks, saame termoelementi kasutada temperatuuri mõõtmiseks. Sobivalt valitud ainepaari puhul on termopinge laias temperatuuripiirkonnas peaaegu võrdeline temperatuuride vahetusega.

Temperatuuri mõõtmiseks kasutame vask-konstantaantermoelementi. Katse seame üles vastavalt joonisele 1. Dewar'i

anuma täidame jääga, mille temperatuur püsib sulamise ajal konstantsena (C°). Teise anuma täidame veega ja soojendame seda elektripliidil. Vee temperatuuri mõõtmiseks kasutame termomeetrit. Termoelemendi ühenduskohad asetame anumatesse võimalikult keskele. Soojendatavat vett tuleb pidevalt segada.



Joon. 1.

Kui hoiame mõlemad ühenduskohad samal temperatuuril, ei näita galvanomeeter voolu. Kui aga ühe ühenduskoha hoiame konstantsel temperatuuril ja teist soojendame, siis tekkinud voolu tugevus sõltub peale pinge veel ahela kogutakistusest ja pole seetõttu piisav nähtuse iseloomustamiseks. Oluliseks tunnuseks on elektromotoorjõud, mis samade ainete ja samade temperatuuride jaoks on jääv. Katses mõõdamegi tekkiva termoelektromotoorjõu suuruse.

Meie ülesandeks on millivoltmeetri skaala kalibrida kraadides. Selleks mõõdame vee temperatuuri ja registreerime millivoltmeetri näidu. Vee soojenemisel registreerime termomeetri ja millivoltmeetri näidud iga $5^{\circ}C$ järel. Kui

vee temperatuur on tõusnud keemistäpini, lõpetame soojendamise, laseme veel jahtuda ja registreerime termomeetri ja millivoltmeetri näidud endisel viisil.

Katseandmed kanname tabelisse ja joonestame nende põhjal millimeetripaberile kalibrimisgraafiku, kandes horisontaalteljele temperatuuri, vertikaalteljele millivoltmeetri näidud.

Lisaküsimusi

1. Selgitada termoelektromotoorjõu teket erinevatest metallidest koostatud termoelemendis.

2. Missugused paremused on termoelemendil vedeliktermomeetriga võrreldes.

3. Miks ei kasutata termoelemente igapäevases elus temperatuuri mõõtmiseks?

4. Kuidas on võimalik termoelektromotoorjõudu suurendada?

5. Miks ei lange antud graafikul vee soojendamisel ja jahutamisel saadud kalibrimiskõverad täpselt kokku?

6. Kus kasutatakse termoelemente?

Kirjandus

1. J.Lang, G.Mets, A.Pae. Füüsika praktikum. Tln., ERK, 1960, lk. 233-234.

2. J.Lang jt. Füüsika üldkursus. II. Tln., ERK, 1961, lk. 73-77.

ALALDITE JA FILTRITE UURIMINE

Tööülesanne

Tutvumine mitmesuguste alaldite tüüpide ja nende tööga. Tutvumine silumisfiltritega.

Töövahendid

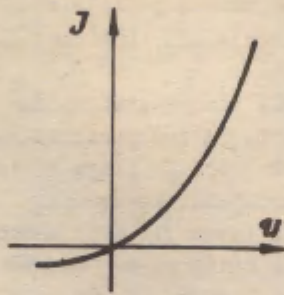
Stend transformaatori, drosseli ja 2 elektrolüüt-kondensaatoriga, 4 germaaniumdiodi, koormustakisti, vahelduv- ja alalisvoolu voltmeetrid, elektronostsillokoop, juhtmed.

Teoreetiline sissejuhatus

Sobiva alalispinge saamise üheks sagedamini kasutatavaks meetodiks on vastava pingeni transformeeritud vahelduvvoolu alaldamine. Alaldiks võib olla mistahes teravalt asümmeetrilise voltamper tunnusoonega seadeldis - suunaja, s.t. seadeldis, mille juhtivus ühes suunas on palju parem kui vastupidises (joon. 1).

Voolu alaldamiseks kasutatakse tavaliselt vaakumsuunajaid (kenotrone), gaaslahendussuunajaid (gasotrone) ja pooljuhtsuunajaid (seleenalaldit, germaanium- ja ränidiodide). Joonisel 2 on näidatud pooljuht-, vaakum- ja gaaslahendussuunaja tähistus skeemidel. Nende ehitusega tuleb tutvuda juhendi lõpus viidatud kirjanduse abil.

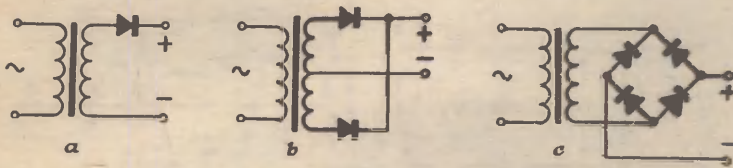
Kasutatavamad alaldite lülitusskeemid on toodud joonisel 3.



Joon. 1.



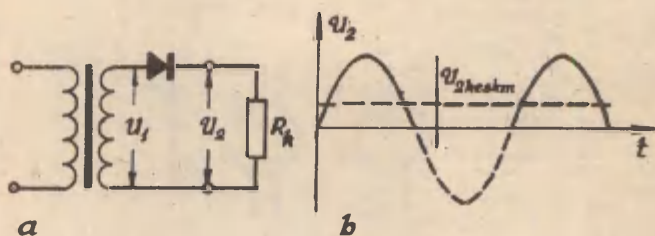
Joon. 2.



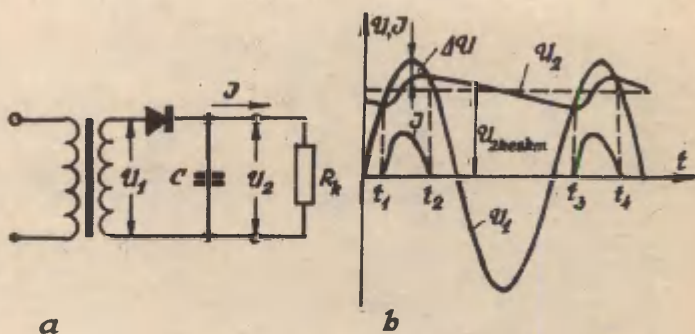
Joon. 3.

Joonisel 3a on kujutatud poolperioodalaldi, joonisel 3b ja 3c - täisperioodalaldid. Lülitust 3c nimetatakse sageli sildskeemiks.

Alaldite väljundil saadav alalispinge on pulseeriv. Näiteks joonisel 4a kujutatud poolperioodalaldi koormustakistit R_k läbib pulseeriv vool ja pinge U_2 selle klemmidel on samuti pulseeriv (joon. 4b). Et aga paljudel juhtudel pinge pulsatsioon ei ole lubatud, siis kasutatakse silumisfiltreid. Lihtsaimaks filtriks on koormustakistiga R_k paralleelselt lülitatud kondenssaator C (joon. 5a). Niisugune kondenssaator vähendab pulsatsiooni, kuid pinge U_2 koormustakistil jääb ikka laineliseks (joon. 5b).



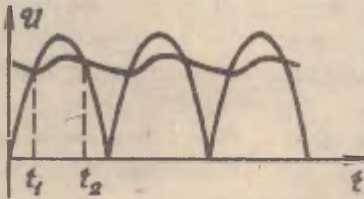
Joon. 4.



Joon. 5.

Nagu nähtub joonisest 5b, läbib vool diodi vaid siis, kui pinge transformaaloril U_1 ületab väljundklemmidel (koormustakistil R_k) oleva pinge U_2 , s.o. ajavahemikel $t_2 - t_1$ ja $t_4 - t_3$. Diodis (suunajas) tekib siis pingelang ΔU . Kondensaator C laadub. Ajavahemikul $t_3 - t_2$ (kui diodist voolu läbi ei lähe) toimub kondensaatori tühjenemine, mille kiirus sõltub koormustakisti R_k poolt tarvitatava voolutugevuse suurusest. Väikeste voolutugevuste puhul ja väikese suunaja sisetakistuse puhul (räni- ja germaaniumdiodid) on pingelang ΔU väga väike, mistõttu teda võib arvestamata jätta. Võib juhtuda, et väikese voolutugevuse puhul, s.t. kui kondensaator ajavahemikus $t_3 - t_2$ tühjeneb vähe, võib keskmine alalispinge U_2 (mõõdab voltmeeter) olla isegi suurem vahelduvpinge efektiivväärtusest U_1 (mõõdab vahelduvvoolu voltmeeter).

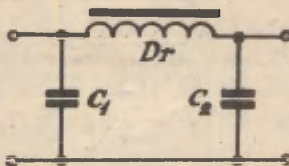
Täisperioodalaldite puhul, võrreldes poolperioodalaldiga (ühesuguse koormusvoolu ja kondensaatori C ühesuguse mahtuvuse korral), on lainesus väiksem, sest kondensaatori laadimine toimub seal ka teise poolperioodi ajal (joon.6).



Joon. 6.

Lainesuse vähendamiseks kasutatakse silumisfiltreid, nendest kõige sagedamini Π -filtrit (joon. 7). Viimane koosneb kahest kondensaatorist C_1 ja C_2 ning drosselist D_r (suure induktiivsusega pool). Vahelduvvoolule on drossel suureks induktiivseks takistuseks, mistõttu lainesus (vaa-

deldav vahelduvvooluna) temast läbi ei pääse. Õigesti valitud Π -filter annab praktiliselt lainesuseta alalispinge.



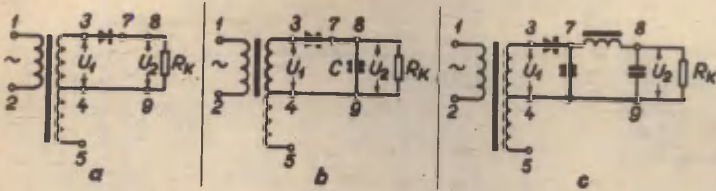
Joon. 7.

Töö käik

1. Käesolevas töös kasutatakse germaaniumdioode Д7М . Koostame poolperioodalaldi skeemi ilma filtrita (joon.8a). **SKHEMIDE KOOSTAMISEL PEAME RANGELT SILMAS, ET JOONISTEL NÄIDATUD GERMAANIUMDIOODIDE ASEND (->-) ÜHTIKS NENDELE PEALE MÄRGITUGA. SKHEMI VÕIB VOOLUVÕRKU ÜHENDADA ALLES PÄRAST SELLE KONTROLLIMIST ÕPPEJÕU POOLT! Mõõdame vahelduvpinge U_1 (punktide 3 ja 4 vahel) ja pulseeriva pinge U_2 (punktide 8 ja 9 vahel). Ühendades samade punktidega ostsilloskoobi, fikseerime pingekõvera kuju. Selleks paigutame ostsilloskoobi ekraanile läbipaistva paberi. Pingekõvera kuju joonistame ostsilloskoobi ekraani rikkumise ärahoidmiseks ettevaatlikult ning pehme pliitsiga.**

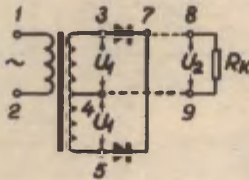
Koostame skeemi vastavalt joonisele 8b. Mõõdame pinged U_1 ja U_2 ning kalkeerime pingekõvera.

Lisame skeemile Π -filtri (joon. 8c), mõõdame pinged U_1 ja U_2 ning joonistame pingekõvera.



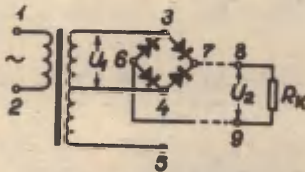
Joon. 8.

2. Koostame täiperioodaladi skeemi (joon. 9) ja teeme sama, mis poolperioodalaldiga.



Joon. 9.

3. Koostame täisperioodalaldi sildskeemi (joon. 10) ning kordame eelkirjeldatud mõõtmisi.



Joon. 10.

Mõõtmistulemused paigutame järgmisse tabelisse.

Alaldi tüüp	Filter	U_1	$U_m = U_1 \sqrt{2}$	U_2
Poolperiood- alaldi	ilma filtrita kondensaator II			
Täisperiood- alaldi	ilma filtrita kondensaator II			
Sildskeemalaldi	ilma filtrita kondensaator II			

Protokollile lisame ülesjoonistatud pingekõverad. Tul-
lemuste analüüsi põhjal võrdleme uuritud skeeme.

Liaaküsimusi

1. Millisesse süsteemi kuuluva riistaga võib mõõta nii alalis- kui vahelduvpinget?
2. Millise voltmeetriga tuleb mõõta antud töös pulseerivat pinget?
3. Joonistada pool- ja täisperioodalaldite skeemid ke-
notronidega.
4. Kas võib pinge U_2 ületada pinget U_1 : a) koormatud
alaldi puhul, b) lahtiühendatud koormustakistuse puhul?
5. Millisel juhul annab lihtne kondensaatorfilter pea-

aegu täielikult silutud pinge?

6. Defineerida vahelduvvoolu efektiivväärtused.

7. Kuidas seletada kondensaatori ja drosseli siluvat toimet filtrites?

8. Defineerida mahtuvuse ja induktiivsuse ühikud.

Kirjandus

1. J. Lang jt. Füüsika üldkursus. II. Tln., ERK, 1961, lk. 165-167.

2. Н.М. Дивенцов. Курс физики для медвузов. М., "Высшая школа", 1966, стр. 185-188.

TRIOODI OMADUSTE UURIMINE

Tööülesanne

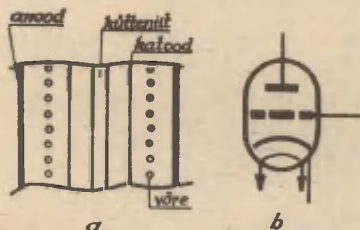
Uurida trioodi anoodvoolu sõltuvust võrepingest ja anoodpingest ning määrata trioodi parameetrid.

Töövahendid

Triood standil, milliampermeeter, kaks voltmeetrit, pingeallikad, juhtmed.

Teoreetiline eelsejuhatus

Triood kujutab endast kolmeelektroodilist elektronlampi. Lambi kest on tavaliselt valmistatud klaasist või metallist. Balloonis, kus rõhk on mitte suurem kui 10^{-7} mm Hg, asuvad elektroodid: anood, võre ja katood. Katood võib olla otseselt või kaudselt kuumutatav. Viimasel juhul on katoodi sees veel kütteniid.



Joon. 1.

Joonisel 1a on kujutatud tegelik elektrootide paigutus lambis, joonisel 1b on toodud trioodi skemaatiline tähistus. Elektrootide otsad tuuakse balloonist välja ja ühendatakse sokliga. Elektronide allikaks trioodis on katood. Kuumutatava katoodi pinnast väljub elektrone (nn. elektronide termoemissioon). Ajaühikus eralduvate elektronide arv sõltub katoodi ainest, pinna töötlustest ja temperatuurist. Väga levinud on nn. oksiidkatoodid, millel on kantud baariumi ja strontsiumi oksiidide segu katoodi pinnale.

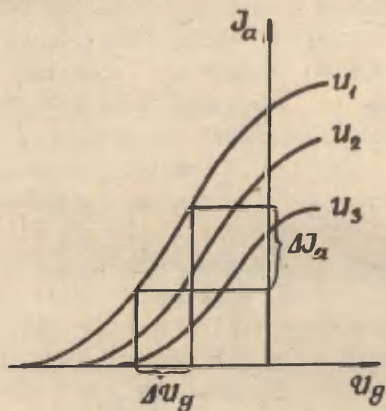
Madala anoodpinge või selle puudumise puhul ei jõua kõik katoodilt eraldunud elektronid anoodile. Katoodi ümber koguneb elektronide pilv, kust osa elektrone langeb katoodile tagasi. See pilv moodustab katoodi ümber negatiivse ruumlaengu. Seetõttu on lampi läbiva anoodvoolu tugevus väiksem kui katoodilt ajaühikus eralduva laengu suurus. Kui suurendame anoodpinget, siis suureneb ka anoodvoolu tugevus ja küllalt suurel anoodpingel liiguvad kõik katoodilt eralduvad elektronid anoodile. Sel juhul on anoodvoolu tugevus saavutanud oma maksimaalse väärtuse, mida nimetatakse küllastusvoolutugevuseks.

Vaatleme võre osa trioodis. Katoodi ja anoodi vahel asuv võre mõjustab elektronide liikumist ja seega ka anoodvoolu. Kui tekitada võrel katoodi suhtes küllalt suur negatiivne pinge, siis elektronide liikumine katoodilt anoodile on takistatud, sest kõik katoodilt eraldunud elektronid tõrjutakse sinna tagasi. Anoodvool puudub täielikult. Kui vähendame negatiivset pinget võrel, siis tekib teatava pinge puhul nõrk anoodvool, mis võrepinge edasisel vähendamisel tugevneb algul aeglaselt, hiljem kiiresti. Kui võrepinge katoodi suhtes on null, siis võre praktiliselt elektronide liikumist ei mõjusta ja triood töötab dioodina. Võrele antav positiivne pinge kiirendab elektronide liikumist anoodile ja tugevdab seega anoodvoolu. Ainult

mitte kõik katoodilt eralduvad elektronid ei jõua anoodile, osa neist langeb võrele ja tekitab nn. võrevoolu. Võrevoolu tugevus suureneb positiivse võrepinge kasvamisel ja lõpuks hakkab anoodvool nõrgenema, sest enamik elektrone langeb võrele.

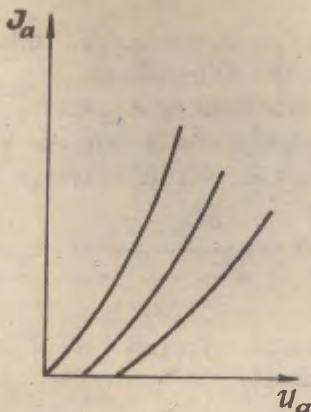
Negatiivse võrepinge suurus, mille puhul anoodvool muutub nulliks e. lamp sulgub, sõltub lambi tüübist ja rakendatava anoodpinge suurusest. Et võre on katoodile lähemal kui anood, siis mõjustavad võrepinge muutused anoodvoolu tugevust rohkem kui anoodpinge muutused. Võretega elektronlampide laialdast kasutamist põhjustabki asjaolu, et VÄIKESTE VÕREPINGE MUUTUSTE ABIL ON VÕIMALIK TEKITADA SUURI ANOODVOOLU TUGEVUSE MUUTUSI.

Trioodi iseloomustamiseks kasutatakse võre- ja anoodkarakteristikuid. Võrekarakteristik kujutab endast anoodvoolu tugevuse I_a sõltuvust võrepingest U_g mingil konstantsel anoodpingel (joon. 2).



Joon. 2.

Anoodkarakteristik kujutab anoodvoolu tugevuse I_a sõltuvust anoodpingest mingil konstantsel võrepingel (joon. 3).



Joon. 3.

Karakteristikute abil saab määrata trioodi parameetrid - konstantsed suurused antud lambitüübi jaoks -, mis iseloomustavad tugevuse muutusi anood- ja võrepinge muutuste toimel. Trioodi parameetriteks on lambi tõus S , sisetakistus R_i ja staatiline võimendustegur μ .

Lambi tõus näitab, kuidas muutub anoodvool võrepinge muutumisel, kusjuures anoodpinge jääb konstantseks:

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_g} ; \quad U_a = \text{const.} \quad (1)$$

Tõusu leidmiseks kasutame võrekarakteristiku (joon. 2) keskosa, mis on küllalt sirge.

Tõusu mõõdetakse tavaliselt ühikutes $\frac{\text{mA}}{\text{V}}$.

Lambi sisetakistus näitab, kuidas sõltub anoodvoolu tugevus anoodpingest konstantsel võrepingel:

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} ; \quad U_g = \text{const.} \quad (2)$$

kusjuures $\Delta U_a = U_1 - U_2$ (joon. 2). Sisetakistust mõõdetakse kas oomides või kilo-oomides.

Staatiline võimendustegur näitab, mitu korda pinge muutus võrel on efektiivsem anoodpinge muutusest, et esile kutsuda sama suurt anoodvoolu muutust:

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_g} ; I_a = \text{const.} \quad (3)$$

Staatilise võimendusteguri pöördväärtust nimetatakse lambi läbitavuseks.

$$D = 1/\mu.$$

Trioodi parameetrid on omavahel seotud järgmiselt:

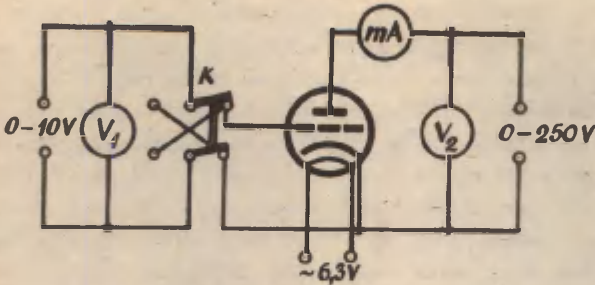
$$\mu = S \cdot R_1 . \quad (4)$$

Parameetrite leidmiseks võib kasutada nii võre- kui ka anoodkarakteristikuid. On selge, et parameetrite sama kõvera erinevatest kohtadest määratud väärtused tulevad veidi erinevad ja valem (4) kehtib ligikaudu.

Töö käik

Trioodi tunnuskõverate määramiseks koostame skeemi vastavalt joonisele 4.

Pingeallikatena kasutame reguleeritava väljundpingega alaldeid. Voltmeeter V_1 on võrepinge mõõtmiseks, ümberlülititi K abil saab võrele anda katoodi suhtes kas negatiivset või positiivset pinget. Anoodpinge registreerime voltmeetriga V_2 , anoodvoolu milliampermeetriga mA .



Joon. 4.

Anoodvoolu tugevuse sõltuvuse määramiseks võrepingest valime mingi konstantse anoodpinge ja reguleerime võrepinge nii negatiivseks, et anoodvoolu ei esine. Järk-järgult negatiivset võrepinget vähendades (näiteks 1 V kaupa) registreerime anoodvoolu tugevuse. Kui oleme jõudnud võrepingeni null, asetame ümberlülitit K nii, et võrepinge oleks positiivne. Mõõtmist jätkame senikaua, kuni oleme jõudnud antud lambitüübile lubatud maksimaalse anoodvoolu tugevuseni (kirjutatud stendile).

Analoogiliselt kordame katset veel kahel erineval anoodpingel.

Mõõtmiste ajal tuleb pidevalt jälgida anoodpinge konstantsust.

$U_{a_1} =$		$U_{a_2} =$		$U_{a_3} =$	
U_{E_1}	I_{a_1}	U_{E_2}	I_{a_2}	U_{E_3}	I_{a_3}

Saadud andmete järgi joonestame millimeetripaberile graafikud, kusjuures horisontaalteljele kanname võrepinge, vertikaalteljele anoodvoolu tugevuse väärtused.

Anoodkarakteristikute määramiseks reguleerime võrepinge mingile konstantsele negatiivsele väärtusele. Hakkame anoodpinget nullist alates suurendama, registreerides anoodvoolu tugevuse näiteks iga 10 V järel. Anoodpinge suurendamise lõpetame, kui anoodvool on saavutanud antud lam-bile lubatud maksimaalse tugevuse. Mõõtmisi kordame veel kahel erineval võrepingel.

Mõõtmistulemused kanname tabelisse.

$U_{\xi_1} =$		$U_{\xi_2} =$		$U_{\xi_3} =$	
U_{a_1}	I_{a_1}	U_{a_2}	I_{a_2}	U_{a_3}	I_{a_3}

Saadud andmete põhjal joonestame graafikud, kandes horisontaalteljele anoodpinge, vertikaalteljele anoodvoolu tugevuse väärtused.

Graafikute abil leiame trioodi parameetrid S , R_1 ja μ . Kontrollime, kas valem (4) kehtib.

Liseküsimused

1. Miks enamik elektronlamps valmistatakse kaudse küttega katoodiga?

2. Kuidas sõltub küllastusvoolu suurus katoodi temperatuurist?

3. Kas ja kuidas on triood rakendatav vahelduvvoolu alaldina?

4. Kuidas töötab triood võimendina?

5. Millest on tuletatud nimetus "lambi tõus"? ΔU_a

6. Mille poolest erineb sisetakistus $R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}$

lambi takistusest $R = \frac{U_a}{I_a}$?

Kirjandus

1. J.Lang, G.Mets, A.Pae. Füüsika praktikum. Tln., ERK, 1960, lk. 246-255.

2. J.A.Štrauf. Füüsika. II. Elekter ja magnetism. Tln., "Valgus", 1965, lk. 191-196.

ELEKTRIENERGIA HULGA JA KASUTEGURI MÄÄRAMINE**Tööleeanee**

Määrata vee soojendamisel elektrikeedukannuga kogu tarvitatud elektrienergia hulk, vee temperatuuri tõstmiseks kulunud elektrienergia hulk ja kasutegur.

Töövahendid

Kaks ühesugust elektrikeedukannu, millest üks on kaetud soojusisolatsioonimaterjaliga, ampermeeter, voltmeeter, termomeeter, sekundkell, juhtmed.

Töö käik

Kogu tarvitatud elektrienergia hulga määramisel lähtume töö valemist

$$A = Nt = IUt, \quad (1)$$

kus I on voolutugevus,

U - pinge,

t - aeg.

Vee soojendamiseks kulunud elektrienergia hulk on avaldatav valemiga

$$Q = c m (t_2 - t_1), \quad (2)$$

kus m on vee mass,

c - vee erisoojus,

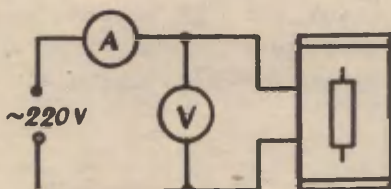
t_1 - vee algtemperatuur,

t_2 - vee lõpptemperatuur.

On selge, et kasutegur

$$\eta = \frac{Q}{\Delta} \quad (3)$$

Töö tegemiseks mõõdame tavalisse kannu umbes 1 liitri vett (kraanist). Koostame skeemi vastavalt joonisele 1.



Joon. 1.

Mõõdame vee algtemperatuuri kannus. Lülitame voolu ja käivitame sekundkella. Kogu katse jooksul jälgime amper- ja voltmeetri näite ja registreerime need iga minuti järel. Katset jätkame, kuni vee temperatuur kannus on tõusnud 80-90 kraadini, kogu katse ajal vett korralikult segades. Siis katkestame voolu, registreerime sekundkella lugemi ja vee temperatuuri.

Asendame vooluahelas tavalise kannu soojusisolatsiooniga kaetud kannuga. Kordame täpselt ülalkirjeldatud mõõtmisi.

Andmed koondame tabelisse. Leiame valemite (1), (2) ja (3) abil nõutud suurused. Võrdleme saadud tulemusi.

Lisaküsimusi

1. Miks elektripeedukannu kasutegur on väiksem kui 100%?
2. Miks saadakse soojuslikult isoleerimata ja isoleeritud kannuga erinevad kasuteguri väärtused?
3. Miks on elektripeedunõude välispind läikiv?
4. Sõnastada Joule-Lenzi seadus.
5. Arvutada kirjeldatud katse puhul äratarvitatud elektrienergia hind, kui 1 kWh maksab 4 kopikat.
6. Katses kasutatakse vahelduvvoolu, mille korral voolutugevuse ja pinge väärtused muutuvad ajas. Mida tähendavad siin U ja I ?

Kirjandus

1. J.Lang, G.Mets, A.Pae. Füüsika praktikum. Tln., ERK, 1960, lk. 206-208.
2. J.Lang jt. Füüsika üldkursus. II. Tln., ERK, 1961, lk. 70-73.

TRANSFORMAATORI UURIMINE

Tööülesanne

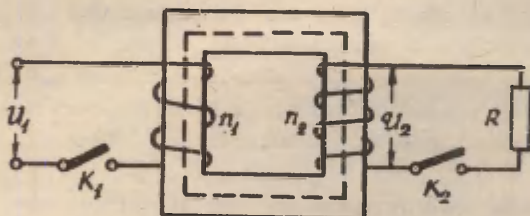
Määrata transformaatori ülekandearv ja kasutegur.

Töövahendid

Transformaator koos ümberlülitiga alusel, kaks voltmeedit, ampermeeter, vattmeeter, reostaat, lüliti, ühendusjuhtmed.

Teoreetiline sissejuhatus

Transformaator e. trafo on riist vahelduvvoolu pinget muutmiseks. Ta töötamine põhineb elektromagnetilise induktsiooni nähtusel. Trafo ehitus on toodud skemaatiliselt joonisel 1.



Joon. 1.

Trafo koosneb kahest poolist ja poolide südamikuks olevast terasraamist. Ühe pooli otsad ühendatakse vahelduvvoolu allikaga, mille pinge on U_1 , teise pooli otstesse lülitatakse koormus. Seda pooli, mis on ühendatud pingevalikaga, nimetatakse primaarpooliks, teist, koormusega ühendatud pooli sekundaarpooliks.

Kui juhime primaarpooli vahelduvvoolu, tekitab see südamikus muutliku suuna ja suurusega magnetvoo, mille üks jõujoontest on kujutatud joonisel 1. Kuna mõlemad poolid on keritud sama südamiku ümber, siis magnetvälja jõujooned läbivad ka teist pooli ning indutseerivad selles vahelduva pinge. Et mõlema pooli kõiki keerde läbib praktiliselt sama magnetvoog, siis on indutseeritud elektromotoorjõu suurus iga keeru kohta võrdne ja seega pooli otstes valitsev indutseeritud pinge võrdeline pooli keerdude arvuga.

Kui primaarpooli keerdude arv on n_1 , sekundaarpoolil n_2 , siis neis indutseeritud elektromotoorjõu suurused on vastavalt

$$E_1 = en_1,$$

$$E_2 = en_2,$$

siit

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{n_1}{n_2}.$$

Trafo tühijooksul, s.t. kui sekundaarpool pole ühendatud koormusega, on sekundaarpooli otstel olev pinge võrdne temas indutseeritud elektromotoorjõuga, s.t. $U_2 = E_2$. Primaarpoolis indutseeritud pinge E_1 on suunalt vastupidine rakendatud pingele U_1 ja tühijooksul temaga peaaegu võrdne.

Seega tühijooksul võime poolide otstel olevate pingete suhte lugeda võrdseks indutseeritud elektromotoorjõudude suhtega

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{E_1}{E_2} .$$

Sekundaar- ja primaarpooli otstes valitsevate pingete suhet nimetatakse ülekandearvuks ja tähistatakse tähega K .

$$K = \frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} . \quad (1)$$

Kui sekundaarpoolis on rohkem keerde kui primaarpoolis, siis on tegemist pinget tõstva trafoga ja $K < 1$. Kui sekundaarpoolis on vähem keerde kui primaarpoolis, saame pinget madaldava trafo, mille $K > 1$.

Energeetilisest aspektist kujutab trafo endast riista, mis annab primaarmähisest energiat üle sekundaarmähisele. See energia ülekandmine on seotud teatud kadudega: sooje-nevad juhtmed (nn. vaseskaod), tekivad pöörivoolud ja energiat kulub ka raudsüdamele ümbermagnetamiseks (nn. rauaskaod).

Trafo kasuteguriks nimetatakse kasuliku võimsuse suhet koguvõimsusesse:

$$\eta = \frac{N_2}{N_1} , \quad (2)$$

kus N_2 on sekundaarahelas tarbitav võimsus,

N_1 - primaarahelas pingesallikalt tarbitav võimsus.

Vaatleme viimast võrrandit üksikasjalikumalt. Ainult aktiivtakistuse olemasolu puhul sekundaarahelas, s.t. kui seal pole ei kondensaatoreid ega induktiivpoole, avaldub kasulik võimsus

$$N_2 = I_2 U_2 ,$$

kus I_2 on koormusvool.

Kõikidel trafodel püütakse rauaskaod N_r viia minimaalseks. Selleks tehakse trafo südamik õhukestest lehekestest, mis on üksteisest isoleeritud. Niisugune südamiku konstruktsioon võimaldab tunduvalt vähendada pöörivoole, mis massiivses südamikus on küllalt suured. Üldiselt on rauaskadu iga konkreetse trafo jaoks praktiliselt konstantne suurus.

Vaseskao moodustavad primaar- ja sekundaarpoolis tekivad kaod:

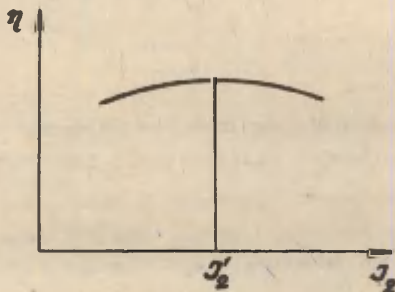
$$N_v = r_1 I_1^2 + r_2 I_2^2,$$

kus r_1 ja r_2 on primaar- ja sekundaarpooli takistused.

Seega võib valem (2) kirjutada kujul

$$\eta = \frac{I_2 U_2}{I_2 U_2 + N_r + (r_1 I_1^2 + r_2 I_2^2)}. \quad (3)$$

Avaldisest (3) on näha, et trafo kasutegur muutub koormusvoolu muutudes. Sõltuvuse graafiline kuju on näha jooniselt 2.



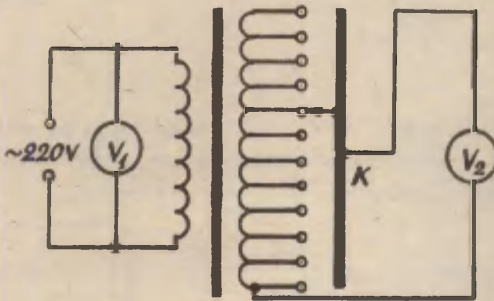
Joon. 2.

Koormusvoolu kasvades 0 kuni I_2^1 kasutegur suureneb, sest kasuliku võimsuse kasv väikestel voolutugevustel on kiirem kui vaseskadude kasv. Alates mingist koormusvoolu väärtusest $I_2 = I_2^1$ ületavad vaseskaod kasuliku võimsuse kasvu ja kasutegur hakkab vähenema.

Võimsate tööstuslike trafode kasutegur ulatub 98 - 99%-ni.

Töö käik

1. Määrame ülekandearvu. Selleks koostame skeemi joonise 3 järgi.



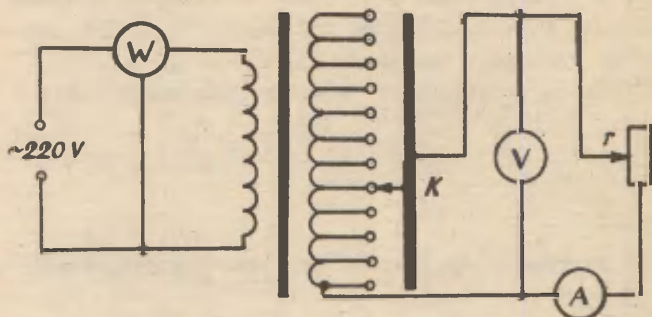
Joon. 3.

Ülekandearvu määramise ümberlülititi K 3 - 5 asendi jaoks.

2. Kasuteguri määramiseks koostame skeemi vastavalt joonisele 4.

Möödame primaarahela võimsuse ja voolutugevuse ning pinget sekundaarahelas. Primaarahela võimsuse möödame vattmeetriga. Vattmeeter on elektrodünaamiline mõõteriist, mille ühest poolist juhitakse läbi möödeta vool ja teisest läbi suure takistuse pingega võrdeline vool. Osutit pöörav moment on sel juhul võrdeline voolutugevuse ja pingekorutisega, s.o. võimsusega. Vattmeetril on tavaliselt neli

klenni. Klennide ühenduse skeem vooluvõrgu ja tarbijaga on näidatud vattmeetri skaalaplaadil.



Joon. 4.

Katsed kordame 6 - 7 erineval voolutugevusel sekundaarahelas. Voolutugevust reguleerime reostaadiga r . Andmed koostame tabelisse.

Jrk. nr.	N_1	I_2	U_2	N_2	η

Joonestame graafiku kasuteguri sõltuvusest koormusvoolust $\eta = f(I_2)$.

Lisaküsimasi

1. Sõnastada Lenzi reegel.
2. Kuidas mõjustaksid sekundaarahela võimsust sinna lülitatud kondensaator või induktiivpool?
3. Miks ei kasutata trafosid alalispinge muutmiseks?
4. Missugune on primaar- ja sekundaarahela voolutugevuste suhe?
5. Mis on tühijooksuvool ja millest ta sõltub?
6. Kuidas tekivad pöörisvoolud?

Kirjandus

1. J.Lang, G.Mets, A.Pae. Füüsika praktikum. Tln., ERK, 1960, lk. 243-246.
2. J.Lang, H.Marran, A.Mitt, H.Mürk, A.Pae. Füüsika üldkursus. II. Tln., ERK, 1961, lk. 162-164.
3. J.A.Štrauf. Füüsika. II. Elekter ja magnetism.Tln., "Valgus", 1965, lk. 433-436.

INDUKTIIVSUSE JA MAHTUVUSE MÄÄRAMINE VAHELDUVVOOLU AHELAS

Tööülesanne

Pooli induktiivsuse ja kondensaatori mahtuvuse määramine.

Töövahendid

• Väljavõtetega induktiivpool, kondensaatorite patarei, reostaat, ampermeeter, voltmeeter, hertsmeeter, alalisvoolu mõõtesild, juhtmed.

Teoreetiline sissejuhatus

Vahelduvvooluks nimetatakse ajas perioodiliselt suunda või suurust ja suunda muutvat voolu. Praktikas puutume kõige rohkem kokku siinuseliselt muutuva vahelduvvooluga, mida üldjuhul võib kirjeldada võrrandiga

$$i = I_0 \sin(\omega t + \varphi); \quad (1)$$

kus i on voolutugevuse hetkväärtus,

I_0 - voolutugevuse maksimaalväärtus,

ω - ringsagedus,

t - aeg,

$\omega t + \varphi$ - faas,

φ - faasinurk ajamomendil $t = 0$.

Sageli loetakse ahelas mõjuva vahelduva elektromotoorjõu algfaas nulliks, siis tähendab φ voolutugevuse aval-

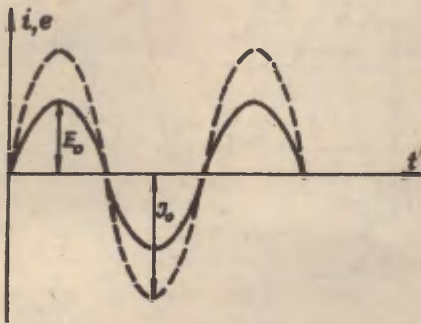
dises ühtlasi faasinurka elektromotoorjõu $e = E_0 \sin \omega t$ suhtes.

Iga siinuseliselt muutuv suurus on määratud, kui on teada selle amplituud, ringsagedus ja algfaas. Kui aega hakata lugema momendist, mil $i = 0$, siis ka $\varphi = 0$ ja võrrand (1) saab kuju

$$i = I_0 \sin \omega t.$$

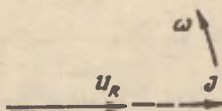
Vahelduvvoolu ahelais eristatakse kolme liiki takistusi e. koormusi: oomiline, induktiivne ja mahtuvuslik. Vahelduvvoolu teooriast tuleneb, et induktiivtakistus $X_L = \omega L$, mahtuvuslik takistus aga $X_C = 1/\omega C$.

Olgu meil vooluring, mis sisaldab ainult oomilist takistust. Sel juhul on ahelat läbiv vool samas faasis teda põhjustava elektromotoorjõuga. Graafiliselt on selline olukord kujutatud joonisel 1, kus pidev joon vastab elektromotoorjõule ja punktiirjoon voolutugevusele.



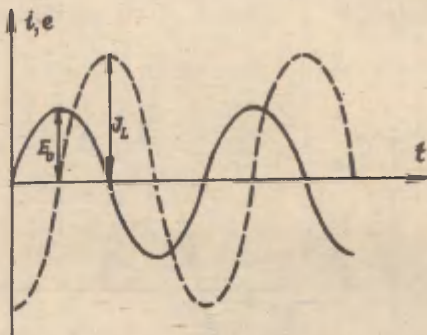
Joon. 1.

Vektordiagrammina kujutatakse vaadeldavat juhtu joonisel 2.



Joon. 2.

Vaatleme induktiivpooli sisaldavat vooluringi. Pooli läbiva voolu ja teda põhjustava elektromotoorjõu (või elektromotoorjõu allika klemmipinge) vahel tekib faasinihe, kusjuures voolu kasv jääb pinge kasvust nurga φ võrra maha (joon. 3). Jättes arvestamata pooli oomilise takistuse, võib kirjutada: $\varphi = -\frac{j\omega L}{2}$.



Joon. 3.

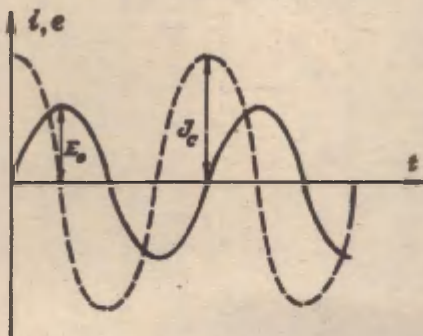
Joonisel 4 on kujutatud pooli otstel olev pinge ja pooli läbiv voolutugevus vektordiagrammina.



Joon. 4.

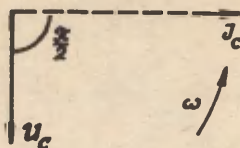
Kui vooluahel sisaldab kondensaatorit, toimub voolutugevuse kasv pingest kiiremini (joon. 5). Jättes arvestamata vooluahela oomilise takistuse, võib kirjutada

$$\rho = + \frac{\pi}{2} .$$



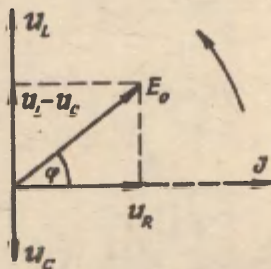
Joon. 5.

Joonisel 6 on kujutatud voolutugevuse ja pingest vektor-diagramm kondensaatorit sisaldava vooluahela jaoks:



Joon. 6.

Olgu meil vooluring, mis sisaldab aktiiv-, induktiiv- ja mahtuvuslikku takistust. Sellisel juhul on faasinurga φ ja voolutugevuse amplituudväärtuse I_0 leidmiseks sobiv kasutada pingete vektordiagrammi (joon. 7).



Joon. 7.

Jooniselt 7 on näha, et

$$E_0^2 = U_R^2 + (U_L - U_C)^2 = I_0^2 R^2 + I_0^2 (X_L - X_C)^2,$$

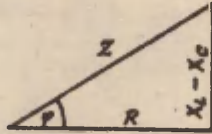
millest

$$I_0 = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}. \quad (2)$$

$$\text{Saurust } Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2} \quad (3)$$

nimetatakse kogu- või näivtakistuseks või impedantsiks.

Kui vähendada joonisel 7 kujutatud pingete kolmnurga külgede pikkusi I_0 korda, saadakse joonisel 8 kujutatud takistuste kolmnurk.



Joon. 8.

Jooniselt 8 võib leida faasinurga:

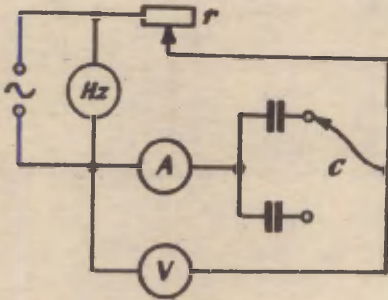
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{\omega L - \frac{1}{\omega C}}{R} \quad (4)$$

Töö käik

A. Pooli induktiivsuse määramiseks koostame vooluringi vastavalt skeemile (joon. 9).

Uurimisobjektiks on väljavõtetega induktiivpool. Enne skeemi pingestamist asetame reostaadi r liugkontakti nii, et takistus oleks maksimaalne. Hiljem suurendame voolutugevust ahelas reostaadi takistuse vähendamisega. Üheaegselt ampermeetri lugemiga registreerime ka voltmeetri näidu. Katse teeme kahe erineva induktiivsusega, mõlemal korral

B. Kondensaatori mahtuvuse määramiseks koostame vooluringi vastavalt skeemile (joon. 10).



Joon. 10.

Uurimisobjektiks on kondensaatorite patareid. Määrame analoogiliselt tööle A voolutugevuse ja pinge väärtused kahe erineva kondensaatori jaoks.

Mahtuvuse leiame valemist (tuletada!)

$$C = \frac{1}{2\pi \nu X_c} \quad (6)$$

Tulemused koondame tabelisse.

Väljavõte	Jrk. nr.	I	U	ψ	X_c	C
	1.					
	2.					
	3.					
	1.					
	2.					
	3.					

Lisaküsimusi

1. Mida nimetatakse vahelduvvoolu perioodiks?
2. Tuletada X_L ja X_C ühikud.
3. Mis on pinge ja voolu amplituud- ja efektiivväärtused?
4. Defineerige induktiivsuse ja mahtuvuse ühikud.
5. Mis on oomiline takistus?
6. Miks ei kohusta tööjuhend faasinurga arvutamist mahtuvuse mõotmisel?
7. Missugune on organismi kudede induktiivsus, mahtuvus?

Kirjandus

1. Elektripraktikumi tööjuhendid. TRÜ rotaprint, Tartu, 1970, lk. 211-229.
2. J.Lang jt. Füüsika üldkursus. II. Tln., ERK, 1961, lk. 148-156.

3. Н.М.Дивенцев. Курс физики для медвузов. М., "Высшая школа", 1966, стр. 230-240.

ELEKTROLÜÜDI ERIJUHTIVUSE MÄÄRAMINE

Tööülesanne

Elektrolüüdi erijuhtivuse määramine sillameetodil.

Töövahendid

Spetsiaalne anum plaatinaelektroodidega, vahelduvpinge allikas, reohord, tuntud juhtivusega ja uuritavad elektrolüüdid, induksioonivaba takistussalv, telefon või ostsillokoop nullindikaatorina, juhtmed.

Teoreetiline sissejuhatus

Soolade, hapete ja aluste vesilahuseid nimetatakse elektrolüütideks ehk teist järku juhtideks. Elektrivoolu kandjaiks neis on ioonid, mis tekivad lahuses lahustunud aine neutraalsete molekulide dissotseerumise tulemusena.

Lahuste elektrijuhtivuse kvantitatiivseks iseloomustajaks on nende erijuhtivus.

Elektrolüüdi takistus R väljendub (analoogiliselt metalsetele juhtidele) järgmiselt:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad (1)$$

kus S on elektroodi pindala,

l - kaugus elektroodide vahel,

ρ - eritakistus.

Eritakistuse pöördväärtust nimetatakse aine erijuhtivuseks:

$$\kappa = \frac{1}{\rho} . \quad (2)$$

Võrranditest (1) ja (2) leiame:

$$\kappa = \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{S} . \quad (3)$$

Nagu valemist (3) selgub, on erijuhtivuse määramiseks vaja teada takistust R ja suurust $1/S=A$, mida nimetatakse takistusmahtuvuseks (anuma takistuskonstandiks).

Takistuse R mõõtmiseks kasutame Wheatstone'i silla skeemi. Pingeallikana kasutame ca 700-Hz vahelduvvoolu generaatorit, voolu indikaatorina kas telefoni või elektronostsillooskoopit. Telefonis kuuleme vahelduvvoolu läbimineku suminat, mille tugevus muutub voolutugevuse muutumisel. Silla tasakaaluseisus telefon vaikib. Elektronostsillooskoopit kasutades määrame nullseisu kindlaks vertikaalse sirge minimaalpikkuse järgi.

Vedelike puhul valmistab raskusi konstandi A leidmine. Kasutades tuntud erijuhtivusega elektrolüüti, on võimalik A määrata valemist

$$A = \kappa R . \quad (4)$$

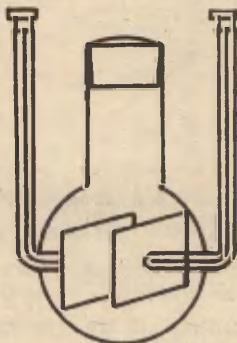
Kui A on leitud, täidame anuma uuritava elektrolüüdiga, määrame takistuse R_1 ja arvutame erijuhtivuse:

$$\kappa_1 = \frac{A}{R_1} . \quad (5)$$

Elektrolüütide juhtivus sõltub oluliselt temperatuurist, seepärast peame alati silmas pidama, missugusel temperatuuril mõõtmine toimus.

Töö käik

Töö teostamiseks kasutatakse spetsiaalset anumad (joonis 1) plaatinast elektrodidega. Anum täidetakse alati ühe ja sama niivooni (korgini). Sellisel juhul on suhe l/S antud riista jaoks konstantne.



Joon. 1.

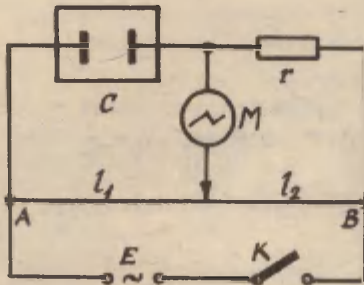
Valame anumasse tuntud erijuhtivusega elektrolüüdi, milleks kasutame KCl lahust (KCl lahuse erijuhtivus sõltuvalt kontsentratsioonist ja temperatuurist on toodud tabelis 1). Anuma paigutame vette, mille temperatuuri mõõdame termomeetriga.

Tabel 1

Temperatuur $t^{\circ}\text{C}$	Erijuhtivus κ ($\Omega\text{ m}$)			
	1N KCl	0,1N KCl	0,02N KCl	0,01N KCl
15	0,09252	0,01048	0,002243	0,001147
18	0,09827	0,01119	0,002397	0,001225
21	0,10400	0,01191	0,002553	0,001305
25	0,11800	0,01288	0,002767	0,001413

Koostame skeemi joonise 2 järgi, kus E on pingeallikas, AB - reohord, r - induktsioonivaba takistussalv, C - anum elektrolüüdiga, M - vooluindikaator, K - lüliti.

Valime takistussalvest mingi takistuse, lülitame vooluallika sisse ning jälgime suminat telefonis või kiire pikkust ostsilloskoobi ekraanil (maksimaalse tundlikkuse korral). Leiame reohordi pööramisega liugkontakti sellise asendi, mille puhul sumin telefonis või kiire pikkus ekraanil on minimaalne. Takistus r valitakse nii, et silla



Joon. 2.

tasakaalu korral liugkontakt oleks võimalikult reohordi keskel. Elektrolüüdi takistus R arvutatakse valemist

$$R = \frac{l_1}{l_2} r .$$

Vool lülitatakse sisse ainult mõõtmise ajaks. Pikaajalisel voolu läbiminekul elektrolüüt soojeneb ja see muudab oluliselt tulemusi.

Valemi (4) abil leiame A.

Tühjendame anuma, loputame ta deatilleeritud veega ja täidame uuritava elektrolüüdiga. Määrame takistuse R_1 ja valemi (5) abil oteitava erijuhtivuse \mathcal{R}_1 .

Pärast katsed tühjendame anuma, loputame ja kuivatame. Katseandmed koondame sobivalt koostatud tabelisse.

Täiendavaid küsimusi

1. Miks ei kasutata antud töös alalisvoolu?
2. Miks ei kasutata nullgalvanomeetrit nagu Wheatstone'i sillaga takistuse määramise töös?
3. Miks silla tasakaaluasendis telefon vaikib (kiire pikkus on minimaalne)?
4. Miks peab tundud takistus olema induktsioonivaba?
5. Mille poolest erinevad elektrolüütide ja metallide elektrijuhtivused?
6. Kuidas muutub elektrolüütide juhtivus temperatuuri tõustes? Miks?
7. Millistel tingimustel võime lugeda vetteasetatud anumad oleva elektrolüüdi temperatuuri võrdseks vee temperatuuriga?
8. Anuma elektroodid kujutavad kondensaatorit teatud mahtuvusega O . Miks me võime aga lugeda sillaga määratud takistuse puhtoomiliseks? Miks ei arvestata siin mahtuvuslikku takistust $X_C = 1/\omega O$ (vt. käesoleva kogumiku juhend nr. 10)?

Kirjandus

1. J.Lang, G.Mets, A.Pae. Füüsika praktikum. Tln., ERK, 1960, lk. 197-199.
2. J.A.Štrauf. Füüsika. II. Elekter ja magnetism. Tln., "Valgus", 1965, lk. 208-211.

ULTRALÜHILAINEGENERAATORI UURIMINE

Tööülesanne

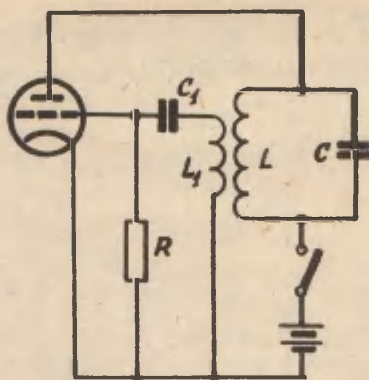
Tutvumine meditsiinilise ultralühilainegeneraatori põhimõttelise lülituse, konstruktsiooni ja töötamisega. Tutvumine elektrilise resonantsi nähtusega. Resonantskövera ülesvõtmine. Elektromagnetiliste võnkumiste sageduse ja võimsuse mõõtmine.

Töövahendid

Meditsiiniline ultralühilainegeneraator JBY-62, kõrge-sageduslikeks mõõtmisteks kohandatud mõõteriist, huumlamp (vastavas käepidemes), pikk liin, hõõglambike (vastavas hoidjas), hõõglambid alustel (üks neist plaatelektroodidega), fotomeeter, autotrafo, voltmeeter, ampermeeter, juhtmed.

Elektronlamp-generaator

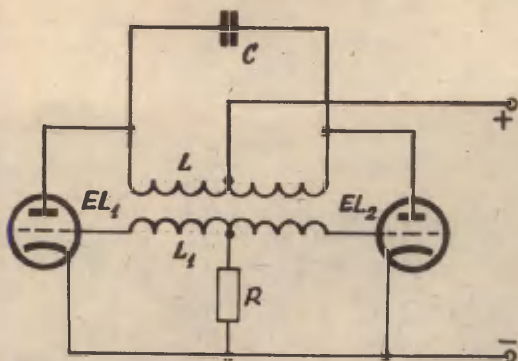
Lampgeneraatori ülesandeks on tekitada sumbumatuid elektrilisi võnkeid. Levinuma ühetaktilise generaatori skeem on toodud joonisel 1. Ta töötab järgnevalt. Anoodpingeallika sisselülitamisel läbib lampi anoodvool, mis tõttu generaatori võnkeringi LC kondensaator C saab laengu, mis omakorda põhjustab võnkeringis võnkeprotsessi. Poolis L voolav vahelduvvool indutseerib tagasisidestuspooli L_1 otstel vahelduva elektromotoorjõu. Poolperioodil, mil



Joon. 1.

võnkevoolu suund võnkeringi poolis ühtib lambi anoodvoolu suunaga, muutub võre positiivseks. Selle tagajärjel tugevneb anoodvool, tugevdades seega võnkevoolu võnkeringis. Järgmisel poolperioodil muutub võre negatiivseks, anoodvool kahaneb, mis nüüd soodustab vastupidise suunaga võnkevoolu. Takisti R piirab võrepinge positiivsel poolperioodil tekkivat võrevoolu, kondensaator C_1 on kõrgesagedusvoolu lühistamiseks.

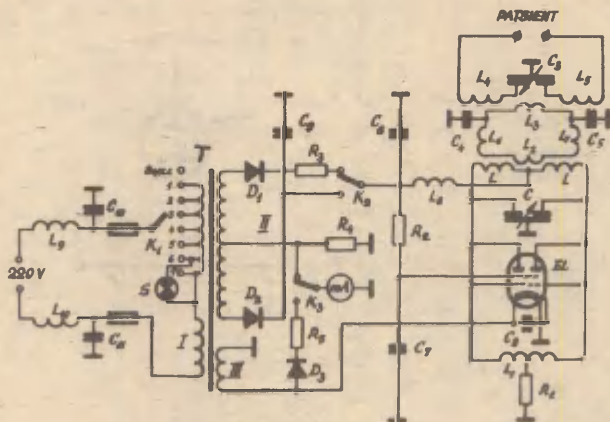
Praktikas, sealhulgas ka meditsiinilises, kasutatakse võimsamate generaatorite puhul kahetaktilist generaatori lülitust (joon. 2). Nagu skeemist nähtub, läbivad lampide anoodvoolud võnkeringi pooli L vastavaid pooli. Pool L_1 on ka siin tagasisidestuspool. Võnkumiste ühel poolperioodil tugevneb positiivse võrega lambi vool ja nõrgeneb negatiivse võrega lambi vool. Järgmisel poolperioodil lampide võrepinged ja voolud muutuvad vastupidisteks. Analoogiliselt ühetaktilise generaatoriga soodustavad ka siin anoodvoolu muutused võnkeprotsessi võnkeringis LC . Generaatori võnkesagedus sõltub võnkeringi kondensaatori mahtuvuse ja



Joon. 2.

pooli induktiivsuse suuruselt ($\dot{\nu} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$).

Joonisel 3 on toodud töös kasutatava ultralühilainege-
neraatori YB4-62 põhimõtteline skeem. Generaator on kahe-
taktiline, seal kasutatakse trioodide asemel tetroode (mõ-
lemad tetroodid on ühises klaaskestas). Tetrood on nelja-
elektroodiline elektronlamp, mille teisele võrele, nn. va-
rivõrele antakse anoodpingest väiksem positiivne pinge
(skeemil R_2 kaudu). Kondensaator C ja pool L moodustavad
generaatori võnkeringi. Tagasisidestus võreringi pooliga L_1
teostub kahe väikese ketaskondensaatori C_1 ja C_2 abil. Te-
rapeutilise ehk patsiendi võnkeringi moodustavad poolid L_4
ja L_5 , kondensaator C_3 ning patsiendiklemmidega ühendata-
vad plaatelektroodid. Plaatelektroodidevahelise kõrgsage-
dusliku elektriväljaga mõjutatakse ravitavat kehaosa. Te-
rapeutiline võnkering on induktiivselt sidestatud generaatori
võnkeringiga poolide L_2 ja L_3 kaudu, millede vahele
on ühendatud harmooniliste sageduste filter ($C_4; C_5; L_6;$
 L_7).



Joon. 3.

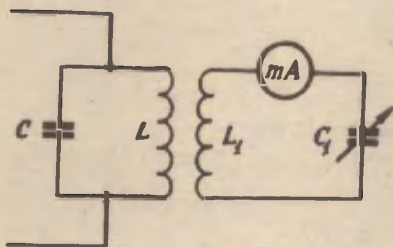
Generaatorit toidetakse vahelduvvoolu võrgust transformaatori T kaudu. Mähis I on primaarmähis, sellel on väljavõtted, et saaks lüliti K_1 abil kompenseerida võimalikke võrgupinge kõikumisi. Mähis II annab pooljuhtaladite D_1 ja D_2 kaudu lampide anood- ja varivõrepinged. III on küttemähis. Kondensaator C_9 on alaldatud pinge silumiseks. Kondensaatorid C_6 , C_7 , C_8 , C_{10} ja C_{11} lühistavad kõrgsagedusvoolu, poolid L_8 , L_9 ja L_{10} tõkestavad selle võimalikku teed generaatorist elektrivõrku. Mõõteriist (milliampermeeter) mõõdab lampide poolt tarvitatavat voolu, ümberlülititi K_3 abil aga võib temaga mõõta toitepinget. Lüliti K_2 võimaldab muuta astmeliselt generaatori võimsust (lampide

toitepinge muutmise teel).

NSVL Sideministeeriumi määruse järgi lubatakse meditsiinilistel ultralühilainegeneraatoritel töötada ainult sagedustel 40,68 MHz $\pm 2\%$ ja 152,5 MHz $\pm 1\%$. Töös kasutatav generaator töötab sagedustel 40,68 MHz.

Sageduse ja lainepikkuse mõõtmine

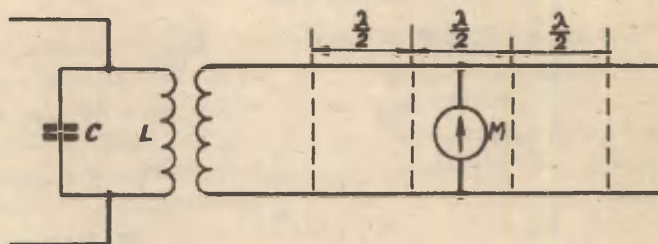
Lampgeneraatorite sageduste mõõtmisel kasutatakse tavaliselt resonantsinähtust. Generaatori võnkeringiga LG sidestatakse nõrgalt sagedusmõõtja võnkering L_1C_1 , mille pöördkondensaatori skaala on kalibreeritud sageduse ühikutes (joon. 4). Pöörates pöördkondensaatori nuppu sagedusmõõtja mõõteriista maksimaalse lugemi saavutamiseni (resonantsi olukord), loetakse sagedus pöördkondensaatori skaalalt.



Joon. 4.

Ultralühilainete puhul, s.o. üsna lühikeste lainepikkuste puhul, võib lainepikkust mõõta nn. pika liini (kahe paralleelse lähestikku asetatud juhtme) abil. Liini üks ots sidestatakse generaatoriga. Elektromagnetilised lained hakkavad levima piki liini ja peegelduvad teisest otsast

tagasi. Mõlemas suunas levivate lainete koosmõju tulemusena tekivad liinis seisvad elektromagnetilised lained oma (pinge- ja voolu-) paisude ja sõlmedega. Naaberpaisude (-sõlmede) vaheline kaugus on pool lainepikkust. Nihutades indikaatoriga M (mõõteriist, hõõglamp) varustatud lühistajat piki liini, saab kindlaks teha paisude ja sõlmede asukohad (joon. 5).

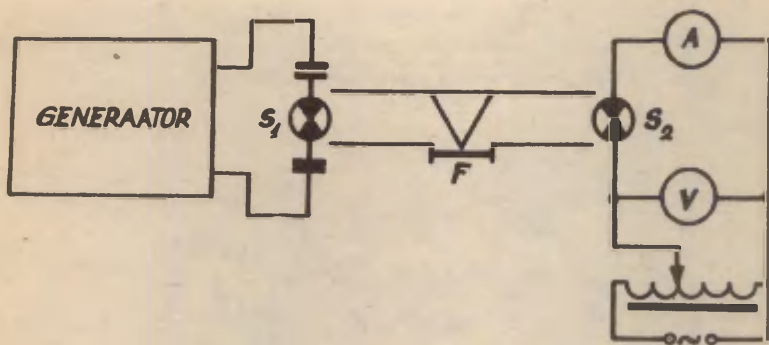


Joon. 5.

Generaatori võimsuse mõõtmine

Tihti on vaja kontrollida, kui suurt võimsust annab meditsiiniline generaator patsiendile. Kuid kõrgete sageduste puhul tavalised elektrilise võimsuse määramise meetodid ei kõlba. Seepärast kasutatakse praktikas sageli järgmist viisi. Patsiendi plaatelektroodide vahele asetatakse generaatori nimivõimsusest veidi suurema võimsusega hõõglamp S_1 , millega on ühendatud plaatelektroodid (joon. 6). Kogu generaatori võimsus kulub nüüd praktiliselt hõõglambi toitmiseks. Lambi S_1 valgustugevust võrreldakse fotomeetri F abil teise samasuguse, kuid teadaoleva võimsusega ($N = UJ$) toidetava lambi S_2 valgustugevusega. Võrdse-

te valgustugevuste puhul on ka lampide poolt tarvitatavad võimsused võrdsed.

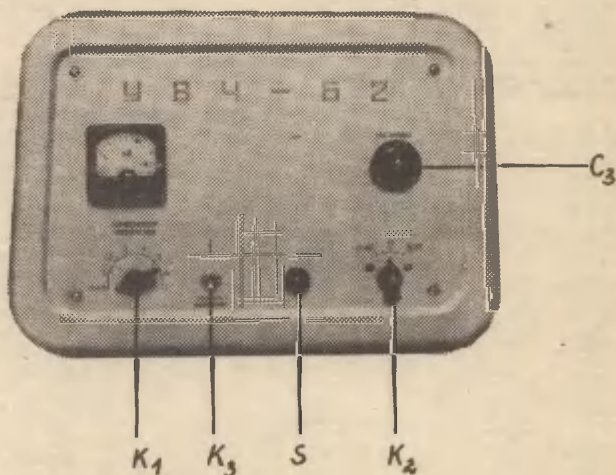


Joon. 6.

Töö käik

1) Tutvume generaatori ehitusega, ühendame patsiendi plaatelektroodide juhtmed generaatori klemmidega. Käivitage generaatori juhendava õppejõu juuresolekul. Selleks pöörake lüliti K_1 (joon. 3, joon. 7) asendisse 1, nüüd peab süttima ka aparadi signaallamp S . Surudes lüliti K_2 ülemisse asendisse, kontrollime, kas toitepinge on õige. Pinge on õige, kui mõõteriista osuti asub skaala punase sektori ulatuses. Kui osuti ei ulatu punase sektorini, siis tuleb pöörata lüliti K_1 asendisse 2, 3 jne. Ootame 1,5 - 2 minutit, kuni lambi katood kuumeneb. Pöörake võimsuse lüliti K_2 asendisse 15 W. Lähendades isoleeritud käepidemega

huumlambi elektrodidele ja pöörates terapeutilise võnkeringi häälestuskondensaatori C_3 nuppu, saavutame lambikese maksimaalse helenduse, s.o. resonantsolukorra. Sellejuures on ka milliampermeetri näit maksimaalne.



Joon. 7.

Aparaadi väljalülitamiseks viime algasendisse (ВЫКЛ.) esiteks võimsuslülitit K_2 , seejärel ka lülitit K_1 .

2) Resonantskövera ülesvõtmiseks ühendame aparadi klemmidega (patsiendi elektrodide asemele) mõõteriista (vastavate resistorite ja alaldiga varustatud milliampermeetri). Käivitame aparadi. Pöörates kondensaatori C_3 nuppu, märgime selle jaotustele vastavad mõõteriista hälbed. Mõõtmiste teostamisel püüame asuda mõõteriistast võimalikult eemal ja asendit muutmata, et mitte mõjutada sellega mõõtmistulemusi. Mõõtmistulemused kanname tabelisse ja joonestame resonantskövera (mikroampermeetri näitude sõltuvus kondensaatori skaala lugemitest).

3) Generaatori lainepikkuse mõõtmiseks viime riista pika liini juurde (asub koridoris). Ühendame liini ühe otsa aparraadi patsiendiklemmidega, jälgides, et ka ühendusjuhtmed oleksid enam-vähem paralleelsed ja ei puutuks omavahel kokku. Käivitame aparraadi. Nihutades vastavasse hoidjasse kinnitatud hõõglambikese kontakte piki liini, leiame kaks naaberaset, kus lamp põleb kõige heledamini (voolutugevuse paisud). Fikseerime saadud asendid ja mõõdame nendevahelise kauguse.

Täpsema tulemuse saamiseks kordame sama mõõtmist mõõteriistaga (sellesamaga, mida kasutasime resonantskõvera ülesvõtmisel). Mõõteriista vertikaalselt käes hoides surume ta küljel olevad kontaktid vastu liini juhtmeid ning nihutame teda piki liini. Jälgides mõõteriista näitu märgime ära naaberkohad, kus hälve on minimaalne (pinge sõlmed). Mõõdame nende vahekauguse.

Saadud mõõtmistulemuste alusel arvutame generaatori lainepikkuse λ ja sageduse ν ($\nu = \frac{c}{\lambda}$, kus c on elektromagnetiliste lainete levimise kiirus). Teeme järelduse selle kohta, kas generaator töötab lubatud sagedusel või mitte.

4) Võimsust mõõdame joonisel 6 toodud skeemi järgi. Ühendame generaatori klemmidega uuesti patsiendi plaat-elektroodid. Nende vahele paigutame plaatelektroodidega hõõglambi S_1 . Teise samasuguse võimsusega lambi S_2 ühendame vastavalt toodud skeemile muudetava pingeallikaga, vool- ja ampermeetriga. Lampide vahele asetame fotomeetri nii, et lambid asuksid tema mattklaasist võrdsetel kaugustel. Käivitame generaatori, kuid nüüd viime võimsuslüli asendisse 30 W. Häällestame terapeutilise võnkeringi generaatoriga resonantsi. Selle juures põleb hõõglamp S_1 maksimaalse heledusega. Muudame lambi S_2 toitepinget fotomeetri ekraani mõlema poole võrdse pinnavalgustuse saavutamiseni. Nüüd on võrdsed ka nende võimsused. Lambi S_2 võimsuse arvutame vool- ja ampermeetri näitude järgi.

Lisaküsimusi

1. Generaator töötab keelatud sagedusel. Kuidas saab sagedust õigeks reguleerida?
2. Miks ei lubata patsienti ühendada vahetult generaatori võnkeringiga, vaid ainult sellega induktiivselt si-destatud terapeutilise võnkeringiga?
3. Miks muutub terapeutilise võnkeringi häälestus pat-siendi kehaosa paigutamisel plaatelektroodide vahele?

Kirjandus

1. H. M. Ливенцев. Курс физики для медвузов. М., "Высшая школа", 1966, стр. 271-291.
2. H. M. Ливенцев. Электромедицинская аппаратура. М., "Медицина", 1964.

**MADALSAGEDUSVÕIMENDI AMPLITUUD- JA
SAGEDUSKARAKTERISTIKU MÄÄRAMINE**

Tööülesanne

Tutvumine madalsagedusvõimendi ehituse ja tööpõhimõttega. Amplituud- ja sageduskarakteristiku määramine.

Töövahendid

Stend madalsagedusvõimendi skeemiga, anoodpingeallikas, helisagedusgeneraator, lampvoltmeeter, voltmeeter anoodpinge mõõtmiseks, ostsilloskoop, lüliti, juhtmed.

Teoreetiline sissejuhatus

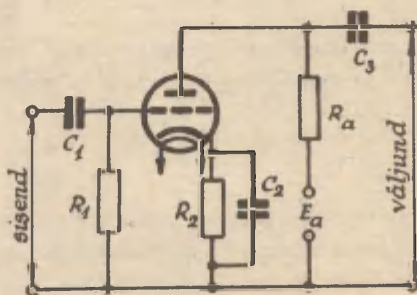
Teaduses ja tehnikas puututakse tihti kokku väga nõrkade elektromagnetiliste võnkumistega, mida saab registreerida alles pärast nende võimendamist. Selleks kasutatakse seadmeid nimetatakse võimenditeks. Võimenditele esitatavaist nõuetest on üks põhilisemaid see, et signaali võimendamine toimuks praktiliselt ilma tema kuju moonutamiseta. Võimendite abil saab võimendada ükskõik missuguse sagedusega signaale. Kaasaegne meditsiin ja bioloogia ei pääse mööda nõrkade elektriliste signaalide (nn.biopotentsiaalide) uurimisest eluskudedes. Nii näiteks on inimese südamelihase töötamisel tekkiva elektrilise potentsiaali suurus mõni tuhandik volti, peaaegu puhul - mõni miljondik volti.

Käesolevaks ajaks on biovoolude uurimiseks loodud

spetsiaalsed riistad: elektrokardiograafid, -entsefalo-
graafid jne., millede põhiliseks osaks on tundlikud elekt-
roonsed võimendid.

Töös uurime lihtsaimat lampidel töötavat madalsagedus-
võimendit.

Ühelambilise võimendi põhimõtteline skeem on toodud
joonisel 1.



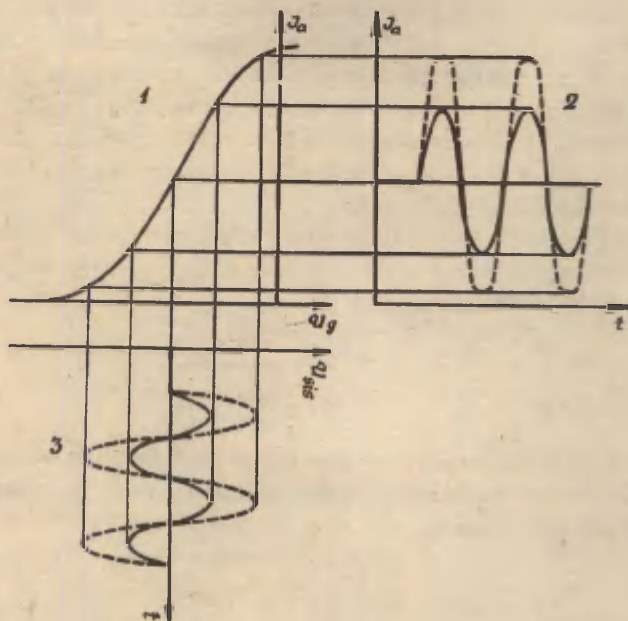
Joon. 1.

Skeemi põhiosaks on kolmeelektroodiline elektronlamp, mis on ühendatud kondensaatorite, takistite ja pingeaallikatega. Lambist vasakule jäävat skeemiosa nimetatakse sisendahelaks, paremalé jäävat - väljundahelaks.

Vaatleme üksikute skeemielementide ülesandeid. Kondensaatorit C_1 nimetatakse lahutus-kondensaatoriks ja tema ülesandeks on takistada alalispinge sattumist lambi võrele (kui see juhuslikult sisendsignaalis olemas on). Takisti R_1 on vajalik selleks, et elektronid, mis satuvad võrele, saaksid sealt katoodile tagasi minna. Takisti R_2 ja kondensaator C_2 moodustavad automaatse eelpingeahela, mille abil antakse lambi võrele katoodi suhtes negatiivne pinge.

See tagab lambi õige töörežiimi. Takistit R_a nimetatakse anoodkoormustekistikaks. Lambi pingestamiseks kasutatakse alalispingeallikat E_a . Kondensaator C_3 on lahutus-kondensaator, mis ei lase anoodpingeallika alalispinget sinna vooluahelasse, kus kasutatakse võimendatud signaali.

Anaüüsimise võimendi tööd joonise 2 abil.



Joon. 2.

Graafik (1) kujutab endast lambi võrekarakteristikut (vt. töö nr. 7), (3) näitab sisendsignaali sõltuvust ajast, (2) aga sellele vastavat lambi anoodvoolu sõltuvust ajast.

Signaali võimendamine toimub järgmiselt. Kui võimendi sisendisse antakse vahelduvpinge U_{sis} , siis tähendab see,

et vastav pinge on rakendatud lambi võre ja katoodi vahele (joon. 1). Selle pinge mõjul anoodvool I_a läbi lambi hakkab muutuma rakendatud pingega samas taktis. Lambi töörežiimi õige valiku korral (nn. tööpunkt asetsegu võrekarakteristiku lineaarses osas) on anoodvoolu muutumise iseloom täpselt vastav sisendpinge muutumise iseloomule (pidev sinusoid joonisel 2). Anoodkoormustakistil R_a tekkiv pingelang $U_{väl} > U_{sis}$ vastab kujult sisendsignaale. Kui aga sisendsignaali suurus hakkab kõikuma nii suure amplituudiga, et väljub võrekarakteristiku lineaarsest osast, siis anoodveolu kujutava kõvera kuju moonduv (joonisel punktiiriga), mille tulemusena signaali võimendamine on väiksem ja väljundpinge moonutatud.

Võimenduse suuruse iseloomustamiseks kasutatakse võimendusteguri mõistet, mis näitab, mitu korda on väljundpinge suurem sisendpingest:

$$K = \frac{U_{väl}}{U_{sis}}, \quad (1)$$

kus K on võimendustegur. Arvutused näitavad, et võimendustegur sõltub kasutatava lambi parameetritest ja skeemielementide suurustest:

$$K = \mu \frac{R_a}{R_a + R_i}, \quad (2)$$

kus μ on lambi võimendustegur,

R_i - lambi sisetakistus,

R_a - anoodkoormustakisti suurus.

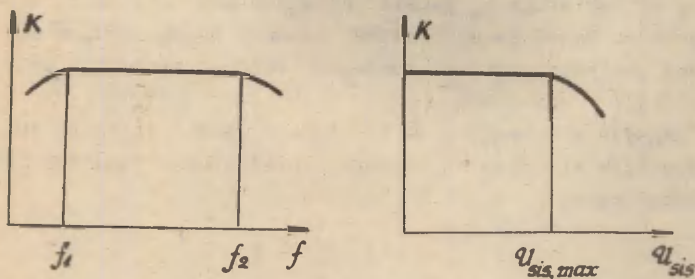
Võimendi tööd iseloomustatakse tavaliselt kahe karakteristikuga:

1) amplituudkarakteristik - võimendusteguri sõltuvus sisendpingest mingil konstantsel sagedusel;

2) sageduskarakteristik - võimendusteguri sõltuvus si-

sendisignaali sagedusest mingil konstantsel sisendpinge väärtusel.

Joonisel 3 on toodud tüüpilised karakteristikute kõverad.



Joon. 3.

Nagu graafikutelt näha, sõltub võimendustegur nii sisendsignaali suurusest U_{sis} kui ka sagedusest f .

Võimendusteguri langus suurtel sisendpinge väärtustel on järeldatav võimendi töö analüüsist joonise 2 abil. Tööpoolest, sisendpinge kasvades $U_{sia} > U_{sis,max}$ (joon. 2 ja 3) jääb anoodvoolu tugevus kogu aeg konstantseks. Kuna

$$K = \frac{U_{väl}}{U_{sis}} = \frac{R_a I_a}{U_{sis}},$$

siis on ilmne, et võimendustegur hakkab vähenema.

Võimendusteguri langusel sageduskarakteristiku puhul tuleb eraldi peatuda madalate ja kõrgete sageduste juures. Kui sagedus $f < f_1$, siis kondensaatori C_1 mahtvuslik takistus on suur (vt. töö nr. 10).

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C_1}.$$

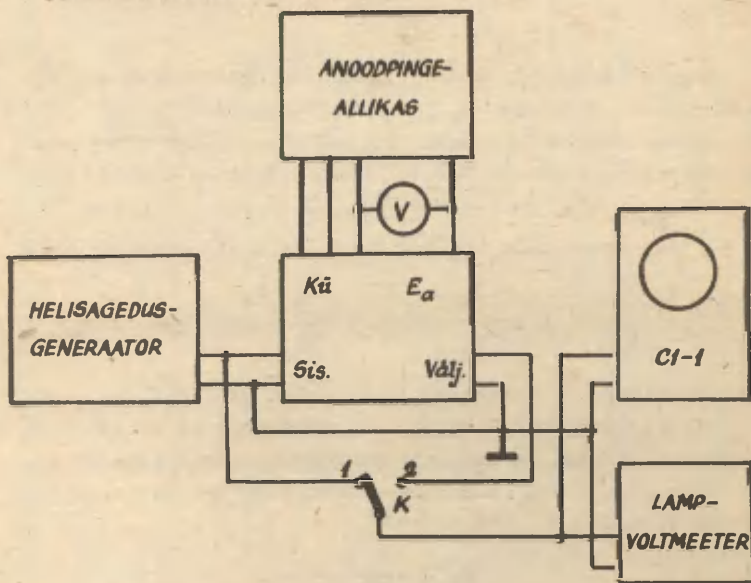
Mida madalam on sagedus, seda suurem sisendsignaali pinge kadu tekib kondensaatoril C_1 .

Võimendusteguri langus kõrgetel sagedustel on tingitud anoodkoormustakisti parasitmahtuvusest. Reaalsetes skeemides on takistiga R_a sageli paralleelselt ühendatud kondensaator. Sageduse suurenedes väheneb anoodkoormuse summaarne takistus ja võimendustegur väheneb vastavalt valemile (2).

Sageduste vahemikku $\Delta f = f_2 - f_1$, mille ulatuses võimendustegur ei sõltu sagedusest, nimetatakse võimendi läbilaskeribaks.

Töö käik

Koostame skeemi vastavalt joonisele 4.



Joon. 4.

Kõik võimendi detailid on monteeritud kinnisele šassile, klemmid ühenduste tegemiseks asetsevad šassii külgedel. Šassii peale on graveeritud vastavate klemmide tähised, keskele on kinnitatud võimendi lamp.

Lambi toiteks kasutatava pingesallikaga paralleelselt ühendame anoodahelasse voltmeetri.

Sisendsignaali allikana kasutame helisagedusgeneraatorit. Jälgime ostsilloskoobi ekraanil sisend- ja väljundsignaali kuju, ühendades lüliti K abil ostsilloskoobiga kord võimendi sisendi, kord väljundi. Sisend- ja väljundpinge suuruse mõõdame lampvoltmeetriga.

Pärast skeemi ülevaatamist lülitame riistad voluvõrku. Anoodipinge reguleerime täpselt 150 V suuruseks ja ei muuda seda kogu katse vältel.

Amplituudkarakteristiku määramiseks tuleb meil kõigepealt leida sagedus, mille puhul võimendustegur oleks maksimaalne. Selleks viime lüliti K asendisse 1. Jälgime ostsilloskoobi ekraanil sisendsignaali kuju ja suurust. Lampvoltmeetri mõõtepiirkond olgu maksimaalne. Viies lüliti K asendisse 2, jälgime väljundsignaali kuju ja suurust. Reguleerime sisendpinge ja ostsilloskoobi võimenduse selliselt, et ekraanil oleks ilma vahepealsete reguleerimisteta võimalik jälgida nii sisend- kui väljundsignaali. Jättes sisendpinge väärtuse konstantseks, muudame sisendsignaali sagedust ja leiame sellise sageduse, mille puhul võimendus on maksimaalne (ilma moonutusteta!).

Nüüd asume mõõtmiste juurde. Leitud sagedusel hakkame muutma sisendpinge väärtust, mõõtes iga kord lampvoltmeetriga sisend- ja väljundpinge suurused. NB! KUNA VÄLJUNDPINGE ON SISENDPINGEST MITUKÜMMEND KORDA SUUREM, TULEB IGA LÜLITI K ASENDI MUUTMISEGA IGA KORD EELNEVALT MUUTA KA LAMPVOLTMEETRI MÕÕTEPIIRKONDA. Andmed koondame tabelisse 1.

Tabel 1

Jrk. nr.	U_{sis}	$U_{väl}$	K

Arvutame valemi (1) abil võimendusteguri ja joonestame millimeetripaberile graafiku $K = f(U_{sis})$.

Sageduskarakteristiku määrame konstantsel sisendpinge väärtusel (näiteks 1 V). Mõõdame väljundpinge suuruse järgmistel sisendsignaali sagedustel: 30, 50, 70, 100, 200, 300, 500, 700, 1000, 2000, 3000, 5000, 7000, 10000, 15000, 20000 Hz. Seejuures jälgime hoolega, et sisendpinge väärtus oleks konstantne. Andmed kanname tabelisse 2.

Tabel 2

Jrk. nr.	f	U_{sis}	$U_{väl}$	K

Arvutame võimendusteguri. Sageduskarakteristiku esitame kujul $K = f(\lg f)$ või $\lg K = f(\lg f)$.

Lisaküsimusi

1. Kuidas toimub signaali võimendamine trioodis?
2. Mis teha, kui on vaja signaali rohkem võimendada, kui ühelambiline võimendi võimaldab?
3. Miks on kasulik sageduskarakteristiku graafik esitada logaritmilises teljestikus?
4. Miks on moonutusteta võimenduse saamiseks vajalik konstantne võimendustegur?

Kirjandus -

1. Руководство к лабораторным занятиям по физике, ч.П. Под ред. О.С.Карповой. Саратов, 1966, стр. 67-77.
2. Н.М.Ливенцев. Курс физики для медвузов. М., "Высшая школа", 1966, стр. 251-258.

ELEKTRONOSTSILLOSKOOBIGA TUTVUMINE

Tööülesanne

Tutvumine elektronostsilloskoobi ehituse ja mõnede kasutamisevõimalustega.

Töövahendid

Elektronostsilloskoop C1-1, voltmeeter, trafo, autotrafo, helisagedusgeneraator, juhtmed.

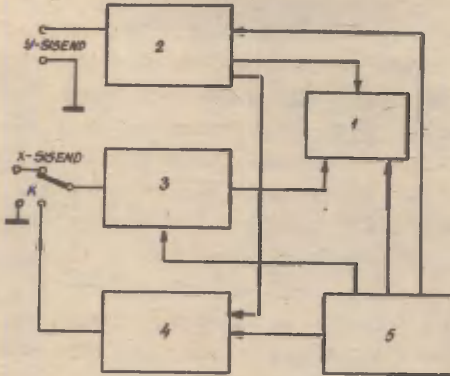
Sissejuhatus

Elektronostsilloskoop on riist kiirete elektriliste protsesside jälgimiseks (vajaduse korral ka fotografeerimiseks). Ostsilloskoobi abil võib jälgida mingit protsessi iseloomustavate kõverate kuju, mõõta protsessi või selle osade kestust, protsessi amplituudi, sagedust jne.

Elektronostsilloskoobi töö analüüsimisel jagatakse see funktsionaalseteks sõlmedeks ehk plokkideks. Ostsilloskoobi põhiplokkideks on elektronkiiretoru (1), sisendsignaalide võimendid (2) ja (3), kallutuspingegeneraator (4) ja toiteplokk (5) (joon. 1). Nooltega on tähistatud plokkide vastastikused seosed.

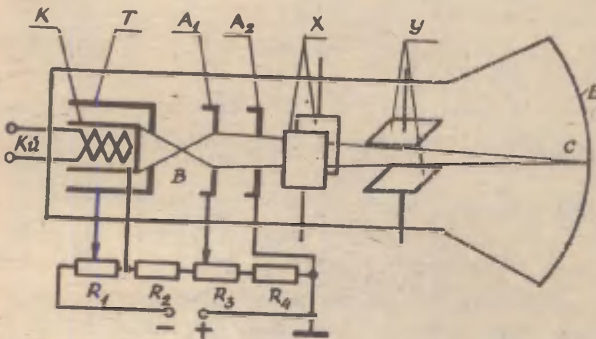
Elektronkiiretorud võivad olla kahte tüüpi: elektrostaatilisest või magnetilisest. Esimest tüüpi torudes toimub kiire kallutamine elektrivälja, teistes - magnetvälja mõjul. Töös vaatleme elektrostaatilisest kallutusega toru, sest

ostsilloskoopides kasutatakse peaaegu eranditult selliseid.



Joon. 1.

Elektronkiiretoru ehitus on järgmine (joon. 2).



Joon. 2.

Elektronide allikaks on kaudse küttega silindriline katood K, mida kuumutatakse kütteniidiga Kü. Katoodi ümbritseb avaga varustatud tüüriiv elektrood T, millele antakse katoodi suhtes väike negatiivne pinge. Muutes tüüriiva elektroodi T negatiivset pinget, muudame väljuvate elektronide arvu, millest omakorda sõltub toru fluorestseerival ekraanil tekkiva elektronkiire jälje heledus.

Elektroodid A_1 ja A_2 moodustavad anoodide süsteemi ja neile antakse kõrge positiivne pinge katoodi suhtes. Elektrovälja toimel, mis tekib ühelt poolt katoodile ja tüüriivale elektroodile ning teiselt poolt esimesele anoodile A_1 rakendatud pinge tõttu, koonduvad katoodi pinnalt eraldunud elektronid punktis B esimese anoodi lähedal. Pärast punkti B elektronkiirte kimp laieneb, sest väljatugevus esimese silindrikujulise anoodi sees on lähedane nullile. Esimese ja teise anoodi A_2 vahel kõverdab elektrivälja ühesti elektronide trajektoore, lähendades neid toru teljele ja elektronkiirte kimp fokuseerub ekraanil punktis C. Ekraan E on valmistatud fluorestseeruvast materjalist, mis elektronidega pommitamisel hakkab vastavas kohas helenduma (nn. katoodluminesentsi nähtus).

Elektroodide süsteeme, mis mõjutavad elektronkiirte kimbu trajektoori, nimetatakse elektronoptilisteks läätsedeks.

Kogu kirjeldatud süsteemi, mis koosneb katoodist, tüüriivast elektroodist ja anoodidest, nimetatakse elektronkahuriks.

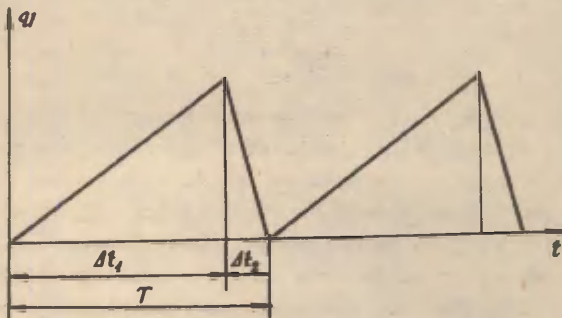
Takistid R_1 , R_2 , R_3 ja R_4 moodustavad pingejagaja, millelt antakse elektrodidele vastavad pinged. R_1 abil muudetakse täpi heledust, R_3 abil aga fokuseeritakse kiirt.

Elektronkiirte tee ja seega ka fokuseerimispunkti asukoha muutmiseks on torus kaks paari omavahel risti asetatud kallutusplaate: vertikaal- ehk X-plaadid ja horisontaal- ehk Y-plaadid. Kallutusplaatide paarid kujutavad en-

dast tegelikult tasaparalleelseid kondensaatoreid. Pinge muutmine plaatide vahel põhjustabki elektronkiirte kimbu tee ja seega ka helenduva täpi asukohta muutmise. Täpi kõrvalekalde suurus ekraanil on võrdeline plaatidele rakendatud pingega. Järelikult on punkti asukoht ekraanil igal ajamomendil ristkoordinaadistikus üheselt määratud. Tänu omavahel ristiasetatud kallutusplaatide paaridele saame ekraanil nähtava kujutise selle funktsiooni graafikust, mis seob kaht muutuvat elektrilist signaali, mis on rakendatud kallutavale süsteemile.

Kristatakse kaht elektronostsilloskoobi töörežiimi. Ühe režiimi korral antakse kummalegi kallutusplaatide paarile väline signaal. Teisel juhul uuritakse ainult üht signaali. Sel juhul antakse teisele kallutusplaatide paarile pinge ostsilloskoobi sees asuvast kallutuspinge generaatorist. See pinge muutub teatud kindla seaduspärasusega. Kuna kõige sagedamini huvitab meid uuritava signaali ajaline kulg, siis reguleeritakse kallutuspinge generaatorist väljuv pinge selliseks, et ta sõltuvus ajast oleks lineaarne.

Kallutuspinge ehk hammaspinge generaator on ehitatud nii, et temast saadav pinge oleks saehambakujuline (joon.3).

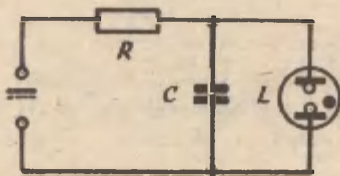


Joon. 3.

Sellise kujuga pinge antakse X-plaatidele lüliti K asendi muutmise (joon. 1). Hammaspinge mõjul liigub täpp ekraanil alguses aeglaselt ja ühtlaselt vasakult paremale, siis tuleb kiiresti algasendisse tagasi. Joonisel 3 vastavad sellele ajavahemikud Δt_1 ja Δt_2 , kusjuures $\Delta t_2 \ll \Delta t_1$. Kuna täpi liikumine on silma jaoks küllalt kiire, ei näe me mitte täpi asendeid, vaid joont ehk kiirt. Tavaliselt me kiire tagasitulekut ei näe, kuna selleks ajaks see kustutatakse (kuidas?).

Kui samaaegselt Y-plaatidele anda uuritav signaal, saamegi ekraanil kõvera, mis iseloomustab uuritava signaali pinge muutumist ajas.

Hammaspinge saamiseks vajalik põhimõteline elektriline skeem (joon. 4) koosneb takistist R, kondensaatorist C ja gaastäitega lambist L.



Joon. 4.

Skeemi pingestamisel hakkab kondensaator C laaduma üle takisti R. Teooriast on teada, et pinge kondensaatoril muutub eksponentsiaalse seaduse järgi. Kui pinge kondensaatoril on jõudnud huumlambi süttimispingeni, tekib lambis L laviinitaoline lahendus ja kondensaator tühjeneb kiiresti. Skeemi parameetrite sobiva valikuga on võimalik saavutada olukorda, kus teatavas sagedusvahemikus eksponentsiaalkõvera lõigud on väga lähedased sirglõikudele (joon. 3). Samuti on parameetrite suuruse varieerimisega

võimalik saada erineva sagedusega hammaspinget.

Liikumatu kujutise tekkimiseks ekraanil on tarvilik, et hammaspinge periood oleks uuritava pinge perioodiga täpselt võrdne või selle täisarvkordne. Mõlemad perioodid muutuvad aga juhuslike põhjuste tõttu ja kujutis ekraanil liigub kogu aeg. Sellest vabanemiseks kasutatakse sünkroniseerimist. Sünkronisatsiooni tulemusena muudetakse hammaspinge sagedust vastavalt sisendpinge (või hammaspinge enda) sageduse muutumisele. Sünkroniseerida võib kas uuritava signaali sagedusega, võrgupinge sagedusega või mingi välise pingeallika sagedusega. Ostsilloskoobi esipaneelil on selleks vastav nupp.

Sisendsignaali võimendid on selleks, et vajaduse korral signaali enne kallutusplaatidele juhtimist võimendada.

Toiteplokk on vajalik elektrontoru ja kõikide lampide kütmiseks ja pingestamiseks. Ta koosneb tavalisest alaldist lampide toiteks ja kõrgepingealaldist toru pingestamiseks.

Vaatleme lühidalt ostsilloskoopi iseloomustavaid parameetreid.

1. O s t s i l l o s k o o b i t u n d l i k k u s e k s nimetatakse helenduva täpi kõrvalekallet ekraanil millimeetrites vastavatele klemmidele rakendatud 1-voldise pinge mõjul. Kui tundlikkuse γ määramiseks rakendatakse kallutusplaatidele sinusoidaalne pinge, siis arvutatakse see valemist

$$\gamma = \frac{L}{2 \sqrt{2} U}, \quad (1)$$

kus L on helenduva joone pikkus ekraanil,
 U - pinge efektiivväärtus.

2. Või mendite võimendustegur näitab, mitu korda saab uuritavat signaali võimendada enne kallutusplaatidele andmist. On tavaliselt antud nii Y- kui X-sisendi jaoks.

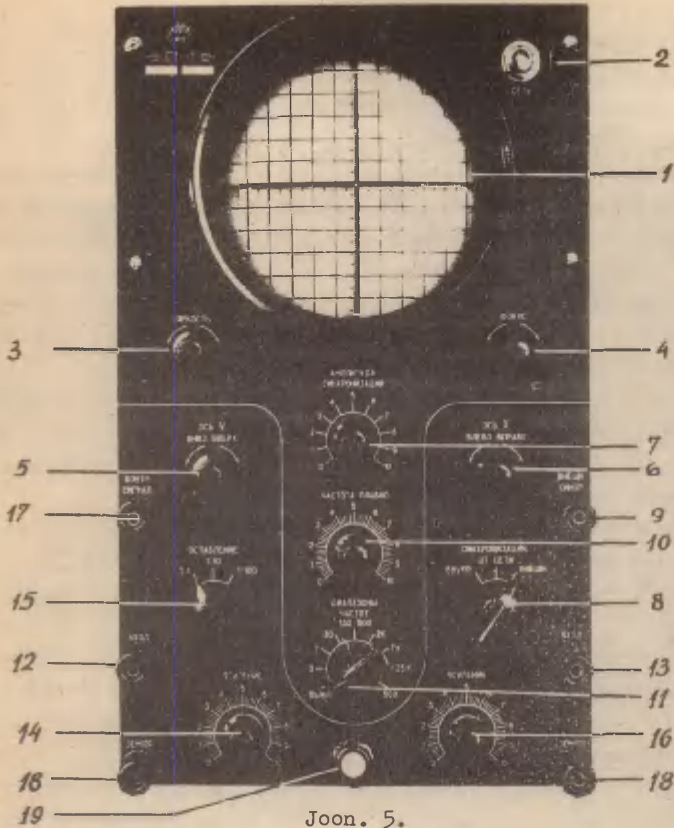
3. Läbilaskeriba on sagedusvahemik, mille ulatuses antud tüüpi ostsilloskoobiga saab signaale uurida. Tavaliselt on see parameeter antud Y-sisendi jaoks.

4. Minimaalne (või maksimaalne) kallutuse aeg iseloomustab kallutuspinge generaatorit.

Töö käik

Elektronostsilloskoobi C1-1 detailid on monteeritud metallkastis asuvale šassiile ja juhtimisseadmed on välja toodud esiplaadile. Esiplaadil on järgmised lülitid ja regulaatorid (joon. 5).

1. Elektronkiiretoru ekraan.
2. Võrgulüliti.
Elektronkiir lülitatakse sisse 2 - 3 min. pärast apa-raadi sisselülitamist. See aeg on vajalik toiteseadme lampide kuumenemiseks.
3. Helenduva täpi (kujutise) heleduse regulaator (muudab pinget tüürival elektroodil).
4. Kiire teravustaja.
5. Kiire nihutaja Y-teljel.
6. Kiire nihutaja X-teljel.
7. Sünkroniseeriva pinge amplituudi regulaator kõikide sünkronisatsiooniliikide jaoks.
8. Sünkroniseerivate pingeallikate ümberlülit.
9. Klemm välise sünkronisatsiooni ühendamiseks.
10. Kallutuspinge sageduse pidev reguleeriija.
11. Kallutuspinge generaatori sageduse astmeline lüliti 2 Hz kuni 50 kHz. Kui lülitid on näiteks asendis 7,



Joon. 5.

siis kallutuspinge pidev reguleerija katab vahemiku 7 Hz kuni 30 Hz. Asendis "ВЫКЛ." on kallutuspinge generaator välja lülitatud ja X-teljele antav signaal antakse võimendi kaudu X-kallutusplaatidele.

12. Y-telje klemmid } uuritava pinge ühendamiseks.
 13. X-telje klemmid }
 14. Y-telje võimendi võimenduse regulaator.
 15. Y-telje võimendi sisendsignaali astmeline nõrgendi.

16. X-telje võimendi võimenduse regulaator.
17. Kontrollsignaali klemm (2,5 V, 50 Hz).
18. Maandusklemmid.
19. Signaallamp.

Ostsilloskoobi tagaseinal on klemmlaud, mille klemmid on otseühenduses kallutusplaatidega. Normaalses tööolukorras on kallutusplaadid ühendatud võimendi väljunditega. Samal klemmlaual asuvad klemmid kiire heleduse moduleerimiseks (vajaduse korral). Normaalses tööolukorras on modulaator välja lülitatud, heledust tüüriv elektrood ühendatud heleduse regulaatoriga.

Enne ostsilloskoobi võrku lülitamist tuleb tutvuda elektronkiiretoru ehitusega, ostsilloskoobi kirjeldusega ja lülitite ning regulaatorite ülesannetega. Alles pärast seda võib ostsilloskoobiga tutvuda tööolukorras.

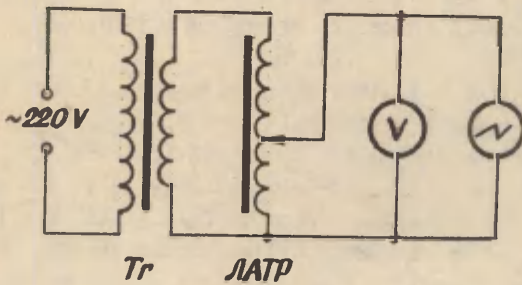
Toru ekraani riknemise vältimiseks ei tohi helenduvat täppi hoida pikemat aega ühel ja samal kohal. Samal põhjusel tuleb töötada täpiga, mille heledus on võimalikult väike.

1. Võrgupinge kuju jälgimiseks ühendame klemmi "Контрольный сигнал" Y-sisendi ülemise klemmiga. Sagedusdiaparafoonide astmelise lüliti 11 (joon. 5) paneme asendisse 30. Sünkroniseerivate pingeaallikate ümberlülititi 8 asendisse "Внутр." või "синхронизация от сети", nupu "Ослабление" asendisse 1:1. Nupu "Усиление У" abil reguleerime kõvera amplituudi parajaks, nuppude "Частота плавно" ja "Амплитуда синхронизации" abil saame ekraanile paigalseisva kujutise. Muutes kallutuspingegeneraatori sagedust astmelise lüliti 11 abil, püüame ekraanile saada ühe, kaks, kolm jne. siinusfunktsiooni täisperioodi.

2. Tundlikkuse määramiseks koostame vooluringi vastavalt joonisele 6.

Trafoga Tr alandame võrgupinge 10 - 12 V-ni ja reguleerime seda autotrafo ЛАТР abil. Sisendisse antava pinge

suuruse mõõdame voltmeetriga V. Kallutuspingegeneraator tuleb mõõtmiste ajaks välja lülitada. Tundlikkuse määrame nii Y- kui X-telje jaoks võimenduse regulaatorite kõikide asendite 1 - 10 puhul. Selleks anname sisendisse väikese pinge (mis arvutuste hõlbustamiseks võib katse ajaks jääda konstantseks) ja mõõdame igale võimendi nupu asendile vastava helenduva joone pikkuse millimeetrites. Tundlikkuse arvutame valemi (1) abil.



Joon. 6.

Andmed koondame tabelisse.

Y-võimendi nupu asend	U_y	l_y	γ_y

Analoogilise tabeli koostame X-telje jaoks. Saadud

andmete põhjal joonestame millimeetripaberile graafikud, kus X-teljel on võimendi nupu asendid, Y-teljel tundlikkused δ_Y ja δ_X .

3. Lissajous' kujundite jälgimiseks anname pinge Y-sisendisse vastavalt joonisele 6, X-sisendisse aga helisagedusgeneraatorist. Ekraanil saame jälgida kujundeid, mis tekivad kahe ristisuunalise erineva sagedusega siinuselise võnkumise liitumise tulemusena. Y-sisendisse antava pinge sagedus on 50 Hz, helisagedusgeneraatorist anname X-sisendisse pinge sagedusega 50, 75, 100, 150 ja 200 Hz. Lülitati 11 olgu asendis "ВЫКЛ.". Visandame saadud kujundid protokollis.

Lissajous' kujundite abil määratakse praktikas tihti uuritava signaali sagedust.

4. Kallutuspingegeneraatori kaliibrimine. Tuleb leida nuppude 11 ja 10 kindlatele asenditele vastavad kallutuspingegeneraatori sagedused hertsides. Kallutuspingegeneraatori sagedus on võrdne helisagedusgeneraatori sagedusega siis, kui ostsilloskoobi ekraanil on sinusoidi üks täisperiod.

Lülitame kontrollitud helisagedusgeneraatori Y-sisendisse. Asetame lülitati "Диапазон частот" mingisse kindlasse asendisse. Nupu "Частота плавно" kõigi asendite jaoks püüame helisagedusgeneraatorist tuleva signaali sageduse muutmise teel saada ekraanil ühe sinusoidi. Vastavad sagedused registreerime. Katse ajal peab nupp 8 olema asendis "Внешн.". Andmed koondame tabelisse.

Kallutuspingegeneraatori sageduse astmelise lülitati asend n_1	Kallutuspinge pideva regulaatori asend n_2	Helisagedusgeneraatori sagedus f

Joonestame graafikud, kandes horisontaalteljele kallutuspinge pideva regulaatori nupu asendid, vertikaalteljele helisagedusgeneraatori vastavad sagedused, märkides juurde ka kallutuspingegeneraatori sageduse astmelise lüliti asendi.

Lisaküsimusi

1. Miks ostsilloskoop on praktiliselt mitteinertsiaalne riist?
2. Mis on kallutuspingegeneraatori ülesandeks?
3. Kuidas saab Lissajous' kujundite abil uuritava signaali sagedust määrata?
4. Missugune on kiire trajektoori ekraanil, kui pinge antakse ainult ühele plaatidepaarile?
5. Kuidas saab ostsilloskoobi abil mõõta pinget, sagedust?
6. Miks valemis (1) on nimetajas kordaja $2\sqrt{2}$?
7. Mis vahe on ostsilloskoobil ja televiisoril?

Kirjandus

1. J.Lang, G.Mets, A.Pae. Füüsika praktikum. Tln., ERK, 1960, lk. 256-263.
2. J.A.Štrauf. Füüsika. II. Elekter ja magnetism. Tln., "Valgus", 1965, lk. 363-364.

GAASLAHENDUSLOENDI UURIMINE

Tööülesanne

Gaaslahendusloendi ehituse ja tööpõhimõttega tutvumine, karakteristiku määramine, fooni määramine, kiirguse neeldumise uurimine keskkonnas ja kiirguse intensiivsuse sõltuvuse uurimine kaugusest kiirguseallikast.

Töövahendid

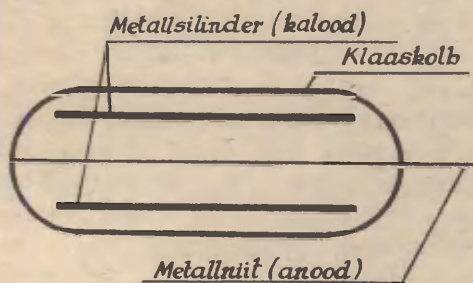
Kõrgepingeallikas VIII-I, radiomeeter Б-3 koos Geiger-Mülleri loendi CTC-6-ga, kiirgusallikas, stoppkell, plaadid neeldumise uurimiseks, kruvik.

Teoreetiline osa

Aatomituumade radioaktiivsel lagunemisel tekivad (α -, β - ja γ -kiirte) kiirgust registreeritakse selle kiirguse poolt tekitatava ionisatsiooni põhjal. α - ja β -kiired koosnevad elektriliselt laetud osakestest, mis mõeldes küllalt ligidalt aine, antud juhul gaasi neutraalsetest aatomitest (või molekulidest) mõjustavad oma elektriväljaga nende elektrone niivõrd, et võib toimuda elektronide vabanemine - aatomite ioniseerumine. Ioonid ja elektronid aga muudavad gaasi elektrit juhtivaks. Mõõtes mingite pingestatud elektroodide vahel gaasis tekkiva ionisatsioonivoolu suurust, on võimalik määrata ionisatsiooni tekitava kiirguse intensiivsust.

γ -kiired, mis on laenguta, otseselt ionisatsiooni ei tekita, kuid γ -kvantide neeldumisel aines (fotoefekt, Comptoni efekt) tekivad suure energiaga sekundaarelektronid, mis põhjustavad ionisatsiooni analoogiliselt β -osakestele. Nii on ka γ -kiirgust võimalik avastada ionisatsiooni põhjal.

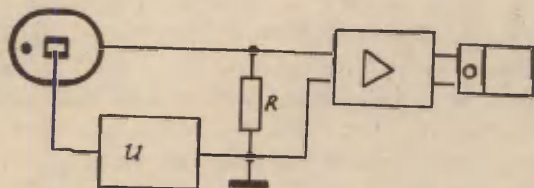
Arvukate ionisatsiooniefektil põhinevate radioaktiivse kiirguse registreerimise vahendite (näiteks ionisatsiooni-kamber, Wilsoni kamber) seas on tänapäeval üheks levinumaks gaaslahendusloendi (nimetatakse sageli ka Geiger-Mülleri loendiks). Gaaslahendusloendi on hõrendatud gaasiga täidetud metallsilinder, mille teljel asetseb silindrist isoleeritud metallniit (joon. 1). Kogu süsteem on hermeetiliselt suletud, näiteks asetatud kinnijoodetud klaastorru, mille seina läbivad vaid pingestamiseks vajalikud traadid. Radioaktiivse kiirguse avastamiseks tuleb loendi pingestada, kusjuures anoodiks (positiivseks elektroodiks) on metallniit ja katoodiks (negatiivseks elektroodiks) metallsilinder. Sõltuvalt loendi ehitusest, täitegaasi omadustest ja rõhust tuleb kasutada pingeid 200 kuni 2000 V.



Joon. 1.

Loendi tööprintsip lihtsustatud kujul on järgmine. Et gaas, mis ei sisalda ioone, ei juhi elektrit, siis pingestatud loendit vool ei läbi. Kui loendisse tungib mingi laetud osake, mis tekitab seal ionisatsiooni, siis algab gaaslahendus: loendit läbib elektrivool. Tekkinud ioonid ja elektronid kiirenevad elektrodidevahelises elektriväljas, mille tugevus on suurim niidikujuulise anoodi vahetus läheduses. Anoodile suunduvad elektronid omandavad siin kahe pörke vahel aatomitega nii suure energia, et on suutelised neid aatomeid omakorda ioniseerima ja vabastama uusi elektrone (tõukeionisatsioon). Nii toimub ioonide arvu laviintaoline suurenemine. Küllalt suure pinge korral levib lahendus piki anoodi kogu loendi pikkuses, mille tulemusena vabanev elektrilaeng on hoopis suurem (miljoneid kordi) kui laeng, mille vahetult tekitab seda protsessi esile kutsunud osake. Vastavalt sellele tekib ka loendi ahelas palju tugevam vool. Gaaslahendus ei ole aga püsiv, vaid kustub tavalistes (isekustuvates) loendites sisemiste põhjuste tõttu, kestes vaid ca 10^{-4} s. Seetõttu iga osake, mis tekitab loendis ionisatsiooni, põhjustab ühe vooluimpulsi. Neid vooluimpulsse registreerides on võimalik määrata loendisse sattuvate ioniseerivate osakeste arvu.

Vooluimpulsside registreerimiseks lülitatakse loendiga järjestikku takisti R (joon. 2), millel vooluimpulss muudetakse vastavalt Ohmi seadusele pingepulsiks. Vajaduse korral võimendatakse seda elektronlampvõimendis ning registreeritakse vastavas arvestis. Aparaat radioaktiivse kiirguse registreerimiseks loendi abil (radiomeeter) peab seega sisaldama kiirgustundliku elemendi (gaaslahendusloendi), elektronseadme saadud impulsside võimendamiseks, arvesti nende registreerimiseks ja pingeballika loendi pingestamiseks (joon. 2).



Joon. 2.

Kuigi ionisatsioon tekitab iga loendisse sattuv laetud osake, on nende registreerimine võimalik ainult küllalt suure elektrodidevahelise pinge olemasolul, sest väikese pinge korral on tekkivad vooluimpulsid liiga väikesed registreeriva süsteemi käivitamiseks. Algul registreeritakse vaid see osa loendis ionisatsiooni põhjustavatest osakestest, mis tekitavad teistest suurema algionisatsiooni ja seega ka suurema vooluimpulsi. Pinge suurendamisel ajaühikus registreeritavate impulsside arv (loenduskiirus) esialgu kasvab, sest registreeritakse üha rohkem väiksemat algionisatsiooni tekitavaid osakesi. Sellest pinge väärtusest alates, mil iga ionisatsiooni põhjustav osake tekitab küllalt suure vooluimpulsi, registreeritakse nad kõik. Et ajaühikus loendile langevate osakeste arv ei muutu, siis ei muutu pinge tõstmisel ka loenduskiirus. Tõsi

küll, radioaktiivse lagunemise statistilise iseloomu tõttu (võrdseis ajavahemikes ei lagune tegelikult võrdne arv aatomeid) kõigub ajaühikus lagunevate aatomite arv, seega ka loendile langevate osakeste arv mingi keskväertuse ümber. Need kõikumised on suhteliselt seda väiksemad, mida rohkem aatomeid vaadeldavais võrdseis ajavahemikes laguneb. Selle tõttu kõiguvad ka võrdseis ajavahemikes loendatud impulsside arvud mingi keskmise ümber, kusjuures suhtelised hälbed on seda väiksemad, mida rohkem impulsse võrreldavais ajavahemikes registreeriti.

Loenduskiirus hakkab aga kiiresti kasvama, kui pinget suurendada niivõrd, et loendis tekiv lahendus iga kord ei kustu. Siis võib registreeriv aparaat ühe osakese poolt tekitatud lahendust arvestada mitu korda. Pinge edasisel suurendamisel tekib loendis pidev lahendus, mis rikub loendi. Seetõttu tuleb hoiduda loendile liiga kõrgete pingete andmisest.

Pingepiirkonda, kus loenduskiirus peaaegu ei olene pingest, nimetatakse loendi platooks. Platoo ulatus võib kõikuda mõnekümnest kuni mõnesaja voldini, olles heal loendil vähemalt sada volti.

Loenduskiiruse olenevust pingest nimetatakse loendi karakteristikuks. Selle määramine ongi käesoleva töö esimeseks tööülesandeks. Teades loendi karakteristikut, saame valida talle optimaalse tööpinge (tavaliselt platoo keskel), kus loenduskiirus on pingest kõige vähem. Igasugustel praktilistel töödel loendiga on seetõttu tarvis teada tema karakteristikut.

Töö käik

1. Paigutame loenditoru hoidjasse, jälgides polaarsust.
2. Ühendame loendusmehhanismi III-I6 toitejuhtme abil vooluvõrku 220 V.

3. Vajutame nupule "СТОП" klaviatuuril. Esipaneelil peavad süttima kuus elektronlampi-dekatroni, mis näitab, et loendusmehhanism on pingestatud. Tööks vajaliku režiimi saavutamiseks peab riist soojenema 15 min.


Selle aja jooksul tutvume lugemite võtmisega. Igas dekatronis "hõõgub" üks kümnest elektroodist. Dekatroni ümbritsevad numbrid (1, 2, ... 9, 0), võimaldavad kindlaks teha, millise järjekorranumbriga elektrood hõõgub.

Paremtal esimene dekatron loendab üksikimpulsse, teine kümnete kaupa, kolmas sadade kaupa jne. Olgu näiteks vasemalt 3. dekatroni näit 3, 4. dekatroni näit 0, 5. dekatroni näit 5, 6. dekatroni näit 2. Lugemi saame järgmiselt:

$$\begin{array}{r} 3 \times 1000 \\ 0 \times 100 \\ + 5 \times 10 \\ 2 \times 1 \\ \hline \end{array}$$

3052 impulssi.

4. Kontrollime loendusmehhanismi korrasolekut. Viime pärast 15 min. möödumist lugemi nullile, vajutades nupule "СБРОС". Keerame töörežiimi valiku nupu asendisse "∞". Vajutame nupule "50 Hz" käivitades samaaegselt stoppkella. Loendusmehhanism peab nüüd lugema võrguvoolu sagedust. Ühe minuti möödudes vajutame nupule "СТОП" ja seiskame stoppkella. Teeme lugemi ja veendume, kas loendusmehhanism töötab õigesti. Selleks jagame saadud impulsside arvu ajaga. Tulemuseks peaksime saama 50 Hz (katsevea piirides ca 47 - 53).

5. Loendi karakteristiku määramiseks asetame preparaadi loendist ca 20 cm kaugusele ja pingestame viimase. Töörežiimi valiku nupu pöörame asendisse .

Loendile antakse pinge alalispingeallikalt YMN-I, millele on külge monteeritud spetsiaalne pesa loendi juhtme jaoks. Pinge reguleerimiseks kasutame kahte nuppu: astme-

list regulaatorit 20-150-300-400-500-600 V ja sujuvat regulaatorit 20 - 600 V. Enne kui lülitada astmeline regulaator suuremale pingele väärtusele, viime sujuva regulaatori äärmisesse vasakpoolsesse asendisse. Pingele suuruse loeme voltmeetrilt pingevaliku esipaneelil.

Katset alustame pingest 300 V. Vajutades nupule "пуск" käivitame loendusmehhanismi, samalaadset käivitame ka stopperi. 3 - 4 min. möödudes vajutame nupule "стоп" ja seisame stopperi. Võtame lugemi. Viime loendusmehhanismi algseisu ja suurendame pinget 10 V võrra. Selliselt kordame katset, kuni lugemid hakkavad järsult suurenema. Katsetulemused kanname tabelisse.

Pinge	Impulsside arv	Aeg	Impulsside arv minutis
300			
310			
320			
330			
...			
...			

Joonestame millimeetripaberile loendi karakteristiku, kandes X-teljele pingele väärtused, Y-teljele impulsside arvu minutis. Karakteristiku järgi määrame platoo ulatuse voltides ja loendile sobiva tööpinge.

6. Määrame fooni, s.o. impulsside arvu minutis, mis on tingitud kosmilisest kiirgusest ja juhuslikest fluktuatsioonidest. Selleks eemaldame preparaadi vähemalt 1,5-2 m kaugusele, pingestame loendi tööpingele ja loendame 3 - 4 min. jooksul saadud impulsside arvu, millest määrame fooni

$$\left(\frac{\text{imp.}}{\text{min.}} \right).$$

7. Kiirguse neeldumise uurimiseks toome preparaadi 5 - 7 cm kaugusele loendist. Määrame kiirguse. Seejärel kinnitame alusele alumiiniumplaadikese ja asetame selle preparaadi ja loendi vahele. Määrame plaati läbinud kiirguse. Lisame teise plaadikese ja möödame jälle läbinud kiirguse jne. Plaatide paksused möödame kruvikuga. Tulemused kanname tabelisse.

Neelava kihi paksus	Aeg	Impulsside arv	Loenduskiirus	Kiirguse intensiivsus (loenduskiirus - foon)

Saadud tulemuste järgi joonestame graafiku, kandes horisontaalteljele neelava kihi paksuse, vertikaalteljele kiirguse intensiivsuse.

8) Määrame ka kiirguse intensiivsuse sõltuvuse preparaadi kaugusest loendustorust. Selleks nihutame preparaati 5 cm kaupa loendustorust järjest kaugemale ja möödame kiirguse. Andmed kanname eelmise tabeliga analoogilisse tabelisse. Joonestame graafiku kiirguse intensiivsuse sõltuvuse kohta kaugusest.

Lisaküsimusi

1. Mis on radioaktiivsus?
2. Mida nimetatakse isotoobiks?
3. Mida nimetatakse poolestusperioodiks?
4. Mida kujutavad endast α -, β - ja γ -kiired?

5. Mida nimetatakse radioaktiivse aine aktiivsuseks? Selle ühik.

6. Röntgeni- ja γ -kiirguse doos SI-süsteemis ja selle mõõtühik.

7. Kiirguse intensiivsus ja selle ühik.

8. Kus rakendatakse radioaktiivseid isotoope tänapäeval?

9. Mida kujutavad endast kosmilised kiired?

10. Millised on radioaktiivse kiirguse registreerimise meetodid?

Kirjandus

1. J. Lang jt. Füüsika üldkursus. II. Tln., ERK, 1961, lk. 389-398, 400-403, 407-410.

РУКОВОДСТВО К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ НЕФИЗИКОВ

II

На эстонском языке
Составитель Х. Окс

Тартуский государственный университет
ЭССР, г. Тарту, ул. Оликооли, 18

Корректор L. Uba
Вестуват toimetaja J. Salm

=====

Paljundamisele antud 17.01.74. Trüki-
poognaid 6,75. Tingtrükipoognaid 6,27.
Arvestuspognaid 6,68. Trükiarv 1000.
Roteatoripaber 50x42. 1/4. Tell.nr.88
TRÜ rotaprint, ENSV, Tartu, Pälsoni tn.14

Инд 23 коп.

23 kop.