



V. LOIGOM

ELEKTRI- aparaadid

LABORATOORSETE TÖÖDE JUHENDID

I

TALLINN 1966

A
28416

TALLINNA POLÜTEHNILINE INSTITUUT
Elektriamite kateeder

V. Loigom

ELEKTRIAPARAADID

Laboratoorse te tööde juhendid

I osa

Tallinn
1966

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Кафедра электропривода

В. Лойгом

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Руководства к лабораторным работам

Часть I

S I S U K O R D

I o s a

	Lk.
Saateks	3
Elektriaparaatide uurimisel kasutatavad mõõtmismeetodid ja mõõteriistad	4
1-1. Sissejuhatus	4
1-2. Magnetilised mõõtmised	4
1-3. Aja mõõtmine	9
1-4. Takistuse mõõtmine	14
1-5. Ajaliselt muutuvate protsesside registreerimine	17
1-6. Magnetoelektriline ostsillograaf	18
1-7. Elektronostsillograafid	28

II o s a

Laboratoorsete tööde juhendid	33
Töö nr. 1. Alalis- ja vahelduvvoolu kaare uurimine	33
" " 2. Kontakttakistuse uurimine	37
" " 3. Jõudude määramine vooluga lattide vahel	39
" " 4. Alalisvoolu elektromagneti tõmbejõu uurimine	41
" " 5. Poolide kaju ja voolu liigi mõju nende kuumenemisele	42
" " 6. Automaatikarelee katsetamine	45
" " 7. Kaitsereleede katsetamine	47
" " 8. Kontaktorite katsetamine	50
Kasutatud ja soovitatav kirjandus	52

Vastutav toimetaja J. Tomson

Trükkimisele antud 1.XII 66. Paber 60x84, 1/16
 Trükipg. 3,25.Tingpg.2,92. Tiraaz 300
 TPI rotaprint, 1966. Tell.nr.438
 Hind 10 kop. 2

Tartu Riikliku Ülikooli
 Raamatukogu
 69430

Saateks

Elektriaparaate käsitlevad distsipliinid esinevad terve rea Elektrotehnikateaduskonna erialade programmides. Nii kuuluvad elektriaparaatide kursust elektrimasinate ja aparaatide ning põllumajanduse elektrifitseerimise eriala üliõpilased, automaatjuhtimisseadmete elektriaparaatide kursust aga elektriagamite ja tööstusseadmete automatiseerimise eriala üliõpilased. Neile on käesolev kogumik mõeldudki.

Kogumikku on võetud elektriaparaatide teooriat selgitavaid, samuti konkreetsete aparaatide omadusi käsitlevaid töid.

Esitatud tööd moodustavad osa nimeetatud erialade laboratoorsete tööde tsüklist. Tööde arvu ja mahu määrab vastava tsükli juhendaja oma äranägemisel.

Peale laboratoorsete tööde juhendite on kogumikus üldmetoodiline osa, mille abil üliõpilane saab tunda õppida elektriaparaatide katsetamisel kasutatavaid seadmeid ja võtteid.

I o s a

ELEKTRIAPARAATIDE UURIMISEL KASUTATAVAD MÕÕTMISMEETODID JA MÕÕTERIISTAD

1-1. Sissejuhatus

Katseteks vajalikku skeemi koostades on otstarbekas enne välja joonestada iga üksiku katselülituse põhimõtteskeem. Seejuures tuleb skeemile märkida kõik registreeritavad suurused ja abisuurused, mis on ülesandes ette antud. On see tehtud, tuleb koostada katseskeem.

Kui ülesandes on nõutud ühe ja sama seadme katsetamist mitmes lülituses, on soovitatav need lülitused koondada ühte skeemi, nähes ette üleminekuvõimalused.

Ettevalmistustöö tulemusena saadakse katseskeem, kuhu on märgitud kõigi skeemielementide parameetrid.

Alljärgnev materjal on ette nähtud üliõpilaste abistamiseks mõõtmisviiside ja mõõteriistade valikul. Ühtlasi on siin kirjeldatud ka automaatikaaparatuuri uurimisel rakendatavaid spetsiifilisi uurimisevahendeid ja skeeme.

1-2. Magnetilised mõõtmised

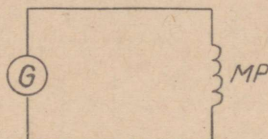
Põhiliselt kasutatakse magnetvoo mõõtmiseks meetodeid, mis põhinevad magnetvoo muutumise ajal mõõtekontuuris indutseeritava elektromotoorjõu muutuse määramisel. Allpool vaadeldakse levinumaid meetodeid nii alalise kui ka vahelduva magnetvoo mõõtmiseks.

1. Magnetvoo mõõtmine ballistilise galvanomeetriga

Et mõõta magnetvoogu, valmistatakse mõõtepool MP, mis haarab uuritava kontuuri, ning ühendatakse see galvanomeetriga G (joon. 1). Mõõtmise põhineb nähtusel, et mõõtepoolis indutseeritakse elektromotoorjõud, kui magnetvoogu uuritavas kontuuris muutub.

Magnetvoo muutus avaldub valemiga

$$\Delta \Phi = \frac{r \cdot C_b}{w} \cdot \alpha_m,$$



kus $\Delta \Phi$ - magnetvoo muutumine,
 r - mõõteahela takistus,
 C_b - galvanomeetri ballastiline konstant,
 w - mõõtepooli keerdude arv,
 α_m - galvanomeetri hälve.

Joonis 1.

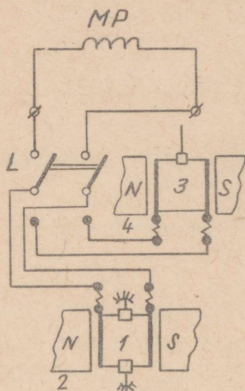
Magnetvoogu muudetakse tavaliselt nii, et mõõtmisprotsessi algul või lõpul oleks voogu uuritavas ahelas võrdne nulliga. Seda võib teha näiteks mõõtepooli eemaldamisega või uuritavasse välja viimisega (kasutatakse tihti püsिमagnetite uurimisel) või voo suuruse ja suuna muutmise (elektromagnetitel võib seda teha ergutusahela sisse- või väljalülitamise teel).

Galvanomeetri hälve on magnetvooga proportsionaalne vaid siis, kui magnetvoo väljakujunemise aeg on tunduvalt väiksem galvanomeetri omavõnkesageduse perioodist.

2. Magnetvoo mõõtmine veebermeetriga

Veebermeeter (fluksmeeter) on eritüübiline magnet-elektriline pöördpoolgalvanomeeter, mille pöörlevatele osadele mõjuv vastumoment on praktiliselt null. Veebermeetri skeem ja töötamis põhimõte on toodud joonisel 2.

Veebermeetri klemmidele ühendatakse mõõtepool MP. Mõõtepooliga aheldatud magnetvoo muutmisel kaldub veebermeetri pöördepool 1, mis asetseb püsimagnetite 2 poolt tekita- tud magnetväljas, oma alg- asendist ühele või teisele poole kõrvale.



Joonis 2.

Pöördpooli kõrvalekalle on tingitud asjaolust, et su- letud kontuuri aheldusvoog püüab säilida konstantsena (elektromagnetilise inertsi printsiip). Veebermeetris kom- penseerub mõõtepooli aheldus- voo muutumine veebermeetri pöördpooli aheldusvoo vastu- pidise muutumisega, mis saa- vutatakse pöördpooli pöördu- misega püsimagneti õhupilus teatava nurga võrra, s.t.

$$w \Delta \Phi = w_w S B \Delta \alpha.$$

Tähised: w - mõõtepooli keerdude arv,
 $\Delta \Phi$ - mõõtepooliga aheldatud voo muutus,
 w_w - veebermeetri pöördpooli keerdude arv,
 S - veebermeetri pöördpooli poolt piiratud pindala,
 B - induksioon veebermeetri õhupilus.

Veebermeetri pöördenurga muutus

$$\Delta \alpha = \frac{w}{w_w \cdot S \cdot B} \Delta \Phi = \frac{1}{C_w} \Delta \Phi \cdot w,$$

kus C_w - veebermeetri konstant.

Höõrdumise, pöördpooli ühendusjuhtmete teatava elastse deformatsiooni ja energiakadude tõttu ühendusjuhtmetes on tegelik pöördenurk veidi väiksem. Veebermeetri M 19 täpsus on $\pm 2,5\%$, kui välisahela takistus ei ületa 8Ω .

Osuti algasend skaalal enne mõõtmist valitakse vabalt (harilikult skaala keskosas). Algasendit muudetakse veebermeetrise ehitatud teise magnetoelektrilise mehhanismi, nn. korrektori 3 ja 4 abil. Selleks ühendatakse veebermeetri pool vastava ümberlüüti L abil korrektori pooliga 3. Korrektori pooli pöörämisel pöördub ka veebermeetri pool vastava nurga võrra.

Veebermeeter on vähem tundlik kui ballistiline galvanomeeter, kuid voo aeglase muutumise korral annab täpsemad tulemused.

Magnetvoo mõõtmiseks võib kasutada liikuvat või liikumatut mõõtepooli, mis ühendatakse veebermeetri klemmidega. Keerdude arv poolis valitakse vastavalt mõõdetava voo maksimaalsele oodatavale väärtusele, mille võib määrata valemi abil

$$\Phi_{max} = B_{koll} \cdot S_s,$$

kus B_{koll} - küllastusinduktsioon uuritavas magnetahelas, T,
 S_s - uuritava magnetahela südamiku ristlõige m^2 .

Kuna veebermeetri M19 maksimaalne hälve on 10 mWb, siis vajalik keerdude arv mõõtepoolis

$$w \approx \frac{10^{-2}}{\Phi_{max}}.$$

Releede uurimisel on harilikult $w = 5 \dots 20$.

Liikuva mõõtepooli kasutamisel mõõdetakse voogu mõõtepooli võimalikult kiire viimisega uuritava magnetahela õhupilusse või sealt eemaldamisega. Pooli mõõdud valitakse nii, et pool oleks aheldatud kogu mõõdetava vooga.

Liikumatu pooli kasutamisel mähitakse see uuritavale magnetahelale ja voogu muudetakse magnetahela ergutusmähise sisse- või väljalülitamisega. Liikuva ankruga magnetahelate (releede, elektromagnetite jms.) voo mõõtmisel, olenevalt ankrude asendist, võib aga hoida voolu magnetahela ergutusmähises konstantsena ja muuta ankrude asendit astmeliselt.

Liikumatu pooli kasutatakse juhtumitel, kui liikuva pooli kasutamine on raskendatud või võimatu või kui mõõde-

tava ahela jääkmagnetismi tõttu tekkival veal ei ole olulist tähtsust. On võimalik ka mitmesuguste kombineeritud mõõtmismeetodite kasutamine (näit. jääkmagnetismi mõõtmine liikuva pooliga ja edasine voo muutuste mõõtmine liikumatu pooliga).

Veebermeetri osuti asend enne mõõtmist valitakse vastavalt oodatava hälbe suunale ja suurusele. Kui hälbe suund ei ole ette teada, asetatakse osuti enne mõõtmist skaala keskele.

Kõigi mõõtmiste korral on soovitav mõõta mõlemasuunalised hälbed (näit. liikumatu pooli kasutamisel nihästi ergutusmähise sisse- kui ka väljalülitamisel) ja arvutada nende aritmeetiline keskmine.

Pärast kasutamist tuleb veebermeeter arreteerida.

3. Magnetvoo mõõtmine vahelduvvoolu magnetahelais

Vahelduvvoolu magnetahelais ei saa kasutada magneto-elektrilise süsteemiga mõõteriistu, kuna magnetvoog muutub ajaliselt ning perioodiliste protsesside puhul tema keskvärtus võrdub nulliga.

Vahelduvvoolu magnetahelate puhul kasutatakse magnetvoo leidmiseks teatud ristlõikes valemite:

$$E = 4,44 f w \Phi_m .$$

Siin Φ_m - magnetvoo amplituudväärtus vaadeldavas ristlõikes, Wb,

f - sagedus Hz,

w - mõõtepooli keerdude arv,

E - poolis indutseeritud elektromotoorjõu efektiivväärtus V.

Magnetvoog uuritavas ahelas

$$\Phi_m = \frac{E}{4,44 f w}$$

Toodud valem kehtib ainult siinuseliselt muutuva magnetvoo puhul.

Magnetvoo määramiseks mähitakse uuritava ristlõike ümber mõõtepool. Et vältida vigade tekkimist, valitakse pooli mõõtmised sellised, et puuduks võimalus haarata ebasoovitavaid voogusid. Magnetahel ergutatakse ning mõõdetakse indutseeritud elektromotoorjõu väärtust katsepooli klemmidel. Teades voolu sagedust, mõõtepooli keerdude arvu ja indutseeritud elektromotoorjõudu, leitakse magnetvoog ülaltoodud valemi järgi. Elektromotoorjõu mõõtmiseks kasutatava voltmeetri omatarve peab olema väga väike. Sobivamad on lampvoltmeetrid, sest nende sisetakistus on suur.

Kui magnetvoog on mittesiinuseline, tuleb elektromotoorjõu mõõtmisel kasutada muid meetodeid: leida elektromotoorjõu kujutegur

$$\zeta_K = \frac{E_{\text{eff}}}{E_{\text{resk}}}$$

ning kasutada voo leidmiseks järgmist seost:

$$\Phi_m = \frac{E}{\zeta_K \cdot f W}$$

Samuti võib kasutada mittesiinuselise magnetvoo mõõtmiseks elektronostsillograafi. Ostsillograaf tuleb enne kalibreerida pinge mõõtmiseks. Mõõteskeem on samasugune kui voo mõõtmisel lampvoltmeetriga.

Sellise mõõtmisviisi eeliseks on asjaolu, et on võimalik mõõta perioodiliselt muutuva magnetvoo hetkväärtusi.

1-3. Aja mõõtmine

Elektriaparaatide omaduste uurimisel tekib tihti vajadus määrata aparaadi ajalisi karakteristikuid. Mõõdetavaid ajavahemikke võiks tinglikult jagada pikkadeks (nende mõõtmiseks kasutatakse kellamehhanisme, stopperit jne.) ning lühikesteks. Lühikeste ajavahemike mõõtmiseks kasutatakse mitmesuguseid seadmeid. Allpool kirjeldatakse neist vibraatorsekundomeetrit, mahtvuslikku millisekundomeetrit ning aja mõõtmist ostsillograafiga. Aja mõõtmiseks on vaja selliseid

mõteteseadmeid, mida saaks käivitada ning peatada sõltuvalt protsessi kulgemisest. Otstarbekaks on osutunud elektrilise käivitamise ning peatamise viisid.

1. Aja mõõtmine vibraatorsekundomeetriga

Sekundomeetri põhielemendiks on polariseeritud vibraator, mille võnkesagedus võrdub vibraatori mähist läbiva voolu sagedusega (50 Hz). Vibraatori keel on seotud ankrutüüpi kellamehhanismiga. Ankruratas on ühendatud vahetult sekundomeetri osutiga (1 täispööre = 1 s) ja üle hammasülekande väiksema osutiga täissekundite lugemiseks (täispööre = 10 s).

Sekundomeetri osuti liigub seega 0,01-sekundiliste astmetega, mistõttu ajavahemike mõõtmisel pikkusega alla 0,1 s võib esineda tunduv mõõtmisviga.

Sekundomeetrit võib käivitada või peatada mitmel viisil:

1) sekundomeetriga järjestikku ühendatud kontakti või kontaktide abil;

2) sekundomeetriga paralleelselt lülitatud kontaktide abil.

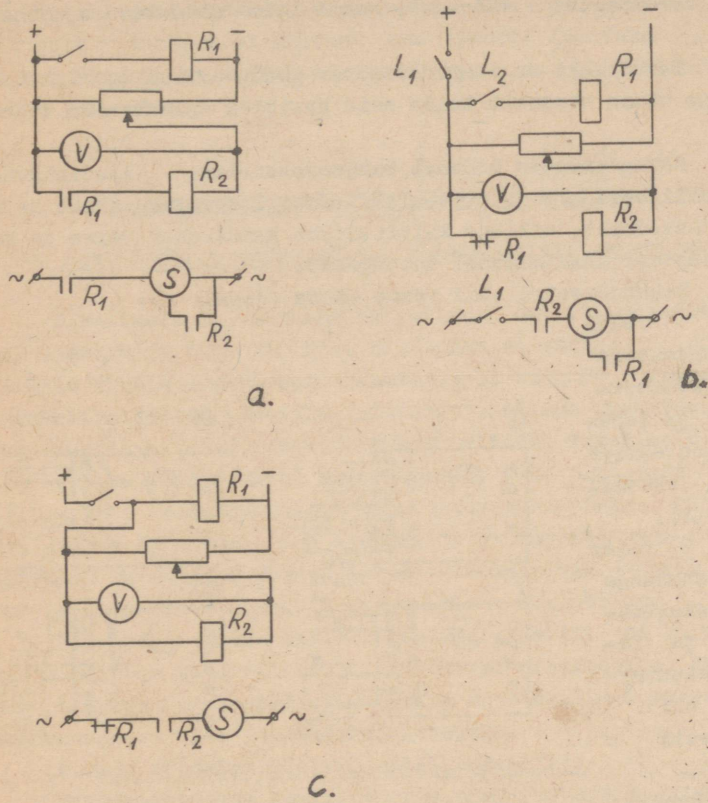
Vastavalt sellele on aja mõõtmiseks võimalik koostada mitmesuguseid mõõteskeeme, mõningad näited on toodud joonisel 3.

Sekundomeetri osutid tagastatakse algasendisse sekundomeetri küljel asuva nupu abil.

2. Aja mõõtmine mahtuvusliku sekundomeetriga

Sekundomeetri põhielemendiks on kondensaator. Mõõdetava ajavahemiku yältel laaditakse kondensaator konstantse vooluga. Sellisel juhul kasvab kondensaatori pinge järgmise seaduspärasuse kohaselt:

$$U = \frac{i \cdot t}{C} = k \cdot t,$$



Joonis 3. Aja mõõtmise skeeme vibraatorsekundomeetriga:

a. - rele rakendusaja mõõtmine, b ja c. - rele tagastusaja mõõtmine, R_1 - vaharele, R_2 - katsetatav rele, S - vibraatorsekundomeeter.

kus U - pinge kondensaatoril laadimise lõpul,

i - laadimisvool,

C - kondensaatori mahtuvus,

k - võrdetegur,

t - mõõdetav ajavahemik.

Mõttes kondensaatori klemmidel tekkinud pinget laadimise lõpul suure sisendtakistusega lampvoltmeetriga ning teades võrdeteguri k väärtust, saame leida mõõdetava ajavahemiku.

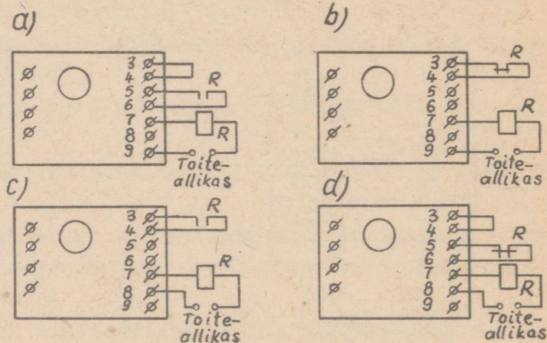
Tavaliselt on lampvoltmeeter gradueeritud ajaiühikutes ja me võime otseselt leida meid huvitava ajavahemiku väärtuse.

Sekundomeeter koosneb kondensaatorist, laadimisvoolu stabiliseerijast ja toitealalditest, lampvoltmeest ja käivitusseadmest, millega käivitatakse katsetatav rele ja kondensaatori laadimisahel üheaegselt.

Sekundomeetri abil võime mõõta (joonis 4):

1) rele rakendusae-
ga sulgekontaktide ja lahutuskontaktide abil (skeemid a ja b).

2) rele tagastusaega sulgekontaktide ja lahutuskontaktide abil (skeemid c ja d).



Joonis 4.

on tähte R kasutatud katsetatava seadme (rele või kontaktori) tähistamiseks.

Mõõtmiseks koostatakse vastav skeem, reguleeritakse välja kondensaatori laadimisvool ja mõõteriista nullpunkt ning valitakse sobiv mõõtepiirkond.

Mõõteriista väljareguleerimise ja temaga mõõtmise tehnika on üksikasjaliselt toodud instruksioonis.

Kui osuti hälve ulatub üle skaala või jääb nullasendi lähedale, valitakse uus mõõtepiirkond ja korratakse mõõtmist.

Laadimisvoolu ja lampvoltmeetri nullpunkti kontrollitagu iga mõõtmise eel.

Sekundomeeter mõõdab kõigi ajavahemike summat, alates momendist, millal käivituskontaktid sulgusid, kuni momendini, millal peatuskontaktid avanesid. Juhul kui sekundomeetrit peatav kontakt ei muutnud oma asendit (näiteks rele ei rakendunud vms.), sekundomeeter ei peatu ja mõõteriist annab täishälbe.

3. Ajavahemike mõõtmine ostsillograafiga

a. Aja mõõtmine magnetoelektriliste ostsillograafidega

Tavaliselt on magnetoelektrilistel ostsillograafidel nn. ajamärkija (vt. lk. 21), mis annab ekraanile ja filmilindile kindla sagedusega siinuseliselt muutuva signaali. Ajamärkija töötab pidevalt, mistõttu uuritava protsessi algus ning lõpp tuleb fikseerida muul viisil. Tavaliselt ei ole selleks vaja erilisi abivahendeid, vaid protsessi ostsillogrammi vaadeldes saame tema alguse ning lõpu määrata küllaldase täpsusega. Kui ajamärkija puudub või teda pole võimalik rakendada, võime selleks kasutada vibraatorit, toites teda teadaoleva sagedusega vahelduvvooluvõrgust.

Vibraatori võime tööle rakendada pidevalt või käivitada ja peatada teda sõltuvalt uuritavast protsessist. Käivitus- ning peatusskeemid võivad olla analoogilised vibratsioonsekundomeetrite juures käsitletutega.

b. Aja mõõtmine elektronostsillograafiga

Siirdeprotsesse registreerida ning vastavaid ajavahemikke mõõta saame järelhelendusega ostsillograafi abil (näit. ЭНО), kui kasutada ostsillograafi ehitatud impulssideallikat, mis moduleerib kiire heledust. Lüliti "Калибровка длительности" abil moduleerimisseadme sisselülitamisel asendub pidev joon ekraanil täppjoonega; selle paremaks jälgimiseks tuleb kiire heledus seada nupuga "Яркость" suhteliselt väikeseks. Heledusimpulsside sagedust, seega ka nende vahelise vahemiku vältust saab valida pöördlülitil "Калибровка длительности" abil.

Ajatelje gradueerimiseks lülitatakse sisse moduleerimis-
seade ja laotussagedust reguleeritakse sujuvalt nii, et laotustsükkel sisaldaks täisarvu vahemikke (s.o. täpid kiire igal järgneval läbijooksul satuksid samadesse kohtadesse ekraanil). Täppide arvu loendamine ja laotusamplituudi mõõtmine ekraanilt millimeetrites annabki ajatelje mastaabi.

1-4. Takistuse mõõtmine

Aktiivtakistuse avaldis:

$$Z = k_p \cdot S \frac{l}{s} = \frac{k_p \cdot l}{p \cdot s} ,$$

kus S - eritakistus mm^2/m ,

p - erijuhtivus Sm/mm^2 , MS/m ,

l - juhi pikkus m ,

s - juhi ristlõige mm^2 ,

k_p - pinna- ja lähisefekti arvestav tegur (alalisvoolul $k_p = 1$; mittemagnetilisest materjalist juhtmetel saadusega 50 Hz enamasti $k_p \approx 1$).

Aktiivtakistuse sõltuvus temperatuurist:

$$Z_{\vartheta} = r_0 [1 + \alpha(\vartheta - \vartheta_0)] ,$$

kus r_0 - takistus temperatuuril,

ϑ - temperatuur $^{\circ}\text{C}$,

α - takistuse temperatuuritegur $1/\text{deg}$.

Vaskjuhtide puhul on kasutatav valem

$$r_{\vartheta} = r_0 \frac{235 + \vartheta}{235 + \vartheta_0} ,$$

alumiiniumjuhtide puhul aga valem

$$r_{\vartheta} = r_0 \frac{240 + \vartheta}{240 + \vartheta_0} .$$

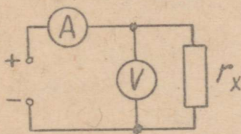
Allpool peatume lähemalt nn. voltpermeetri meetodil ning väikeste takistuste (alates $4 \mu\Omega$ - $1000 \text{ m}\Omega$) mõõtmisel mikro-ohmmeetriga.

1. Takistuste mõõtmine voltmeetri ja ampermeetri abil

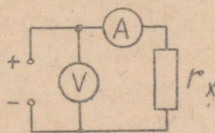
Mõõtmiseks kasutatakse tavaliselt kaht skeemi. Skeemi abil, mis on kujutatud joonisel 5, mõõdetakse väikesi takistusi suurusjärgus alla 1Ω . Takistus arvutatakse valemiga

$$r_x = \frac{U}{I - \frac{U}{r_v}}$$

kus U - voltmeetri näit,
 I - ampermeetri näit,
 r_v - voltmeetri sisetakistus.



Joonis 5.



Joonis 6.

Skeemi abil, mis on kujutatud joonisel 6, mõõdetakse keskmisi ja suuri takistusi.

Takistus arvutatakse valemiga

$$r_x = \frac{U - I_a r_a}{I},$$

kus r_a - ampermeetri sisetakistus.

2. Takistuse mõõtmine mikro-oommeetriga

Mikro-oommeeter M 246 on kantav, viie mõõtepiirkonnaga ($100 \mu\Omega$, $1000 \mu\Omega$, $10 \text{ m}\Omega$, $100 \text{ m}\Omega$, $1000 \text{ m}\Omega$) mõõteriist, mille põhimõtteskeem on toodud joonisel 7.

Mõõteriistas on kasutatud magnetoelektrilist ülitundliku logomeetersüsteemi.

Logomeetri kasutamine võimaldab vähendada näidu sõltuvust mõõdetavat takistust läbivast voolust ning seega vältida igakordset voolu reguleerimist mõõtmise eel ja ajal.

Mõõdetav takistus lülitatakse järjestikku etaloontakistiga r_0 ning lisatakistiga r_2 . Lisatakisti piirab voolu ahelas.

Logomeetri suur pool on ühendatud paralleelselt mõõdetava takistusega. Pooli pöördemoment on võrdeline teda läbiva vooluga, kuna pool pöörduv magnetväljas, mille induktsioon on konstantne igas raami asendis.

Pooli vool on võrdeline pingelanguga mõõdetava takistuse klemmidel ja pingelang (eeldusel, et vool ahelas mõõtmise ajal ei muutu) omakorda mõõdetava takistusega.

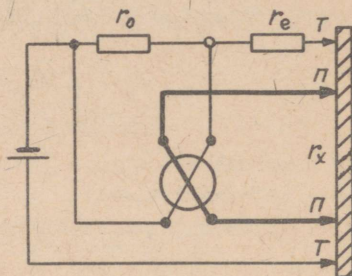
Etaloontakistiga on ühendatud paralleelselt logomeetri väike pool. Väike pool pöörduv magnetväljas, mille induktsioon kasvab võrdeliselt pooli pöördenurgaga.

Väike pool tekitab vastumomenti. Voolu suund väikeses poolis on valitud nii, et voolu ja magnetvälja vastastikusel toimel raam püüab pöörduda nullasendisse.

Seega on süsteemi pöördenurk määratud kahe (suurt ja väikest pooli läbiva) voolu suhtega ning sõltub otseselt mõõdetava takistuse väärtusest.

Mõõdetav takistus ühendatakse mõõteriistaga neljas punktis; kontaktid, mille abil moodustatakse vooluahel, on eraldatud logomeetri suure pooli kontaktidest. See on vajalik kontaktide üleminekutakistusest tekkivate vigade vältimiseks.

Mõõtmiseks valitakse mõõteriista tööpinge ja mõõtejuhtmed ning ühendatakse need klemmidega, seejärel lülitatakse



Joonis 7.

mõõteriist toitevõrku. Mõõtepiirkonna lüliti asetatakse mõõteriista kõige suuremale mõõtepiirkonnale. Lülitatakse sisse toitelüliti. Skaalal peab tekkima valgustäpp (osuti projektsioon).

Mõõtepiistikud asetatakse mõõdetavale takistusele nii, et kontaktid tähisega Π oleksid suunatud mõõdetava takistuse keskele ja satuksid kokku punktidega, mille vahel soovitakse mõõta takistust. Kui takisti pind on mustunud või oksüdeerunud, on soovitatav mitu korda vajutada pistikutele, et saada paremat kontakti.

Mõõteahel on soovitatav sisse lülitada ainult ajaks, mis kuulub lugemi tegemiseks. 100 $\mu\Omega$ mõõtepiirkonnal ei tohi mõõteahelat hoida pingestatult üle 15 s. Mõõtmist võib korrata 60 s möödumisel eelmisest mõõtmisest arvates.

Kui mõõdetava takistuse väärtus ületab valitud mõõtepiirkonna 40 korda, tekib mõõtmisel riista tugev väljalöök paremale ning kaitseseadis lülitab mõõteriista välja.

Järgneval mõõtmisel osuti projektsioon ei ilmu nähtavale. Sel juhul on vaja valida uus mõõtepiirkond.

Pinge ja voolu pistikuid on keelatud ühendada omavahel juhul, kui vooluahel on avatud. See vastaks lõpmatult suure takistuse mõõtmisele ning mõõteriist läheks rikki.

Mõõtmise lõpul lülitatakse riist välja, pistikud võetakse lahti ja mõõteriist asetatakse kasti.

1-5. Ajaliselt muutuivate protsesside registreerimine

Tihti on laboratooriumis vaja jälgida ning registreerida ajaliselt muutuvaid protsesse. Olenevalt protsessi kulgemise kiirusest kasutatakse selleks mitmesuguseid mõõteriistu ja seadmeid.

Aeglaselt muutuivate protsesside registreerimiseks võib kasutada harilikke mõõteriistu ning protsessi käiku võib registreerida operaator mingi kindla ajavahemiku järel. Samuti võib kasutada isekirjutavaid mõõteriistu.

Kiiretoimelisi isekirjutavaid mõõteriistu kasutatakse juhul, kui operaator pole enam võimeline lugemeid tegema protsessi kiire muutumise tõttu.

Veelgi kiiremate protsesside registreerimiseks kasutatakse ostsillograafe. Ostsillograafide abil võib jälgida protsesse kestusega mõnest tuhandikust sekundist mõne minutini.

Võrreldes eespool vaadeldud mõõteriistadega, on ostsillograafidel rida eeliseid:

1) nende abil saab jälgida kiiretoimelisemaid protsesse;

2) ostsillograafi abil võib mõõta ka protsesside hetkväärtuste suurusi;

3) üheaegselt jälgitavate protsesside arv on suur (elektronostsillograafidel kuni 2, magnetoelektrilisel 8 piires).

1-6. Magnetoelektriline ostsillograaf (MHO-2 ja H102)

1. Sissejuhatus, töötamis põhimõte

Magnetoelektriline ostsillograaf on ette nähtud kaheksa eri protsessi üheaegseks jälgimiseks ja registreerimiseks. Protsesse jälgitakse ja registreeritakse vibraatorite abil.

Vibraator (joon. 8) koosneb püsomagnetist 5, mille õhupilusse on asetatud peenest metall-lindist silmus 1. Silmus toetub prismadele 2. Silmuse keskele on kleebitud peegel 3. Silmus on pingutatud vedru 4 abil. Kogu vibraator on paigutatud kaitsekesta, kuhu valatakse õli.

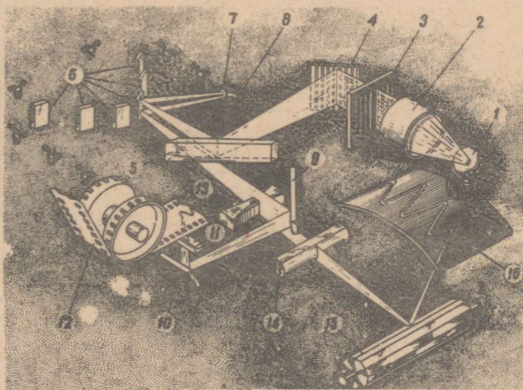
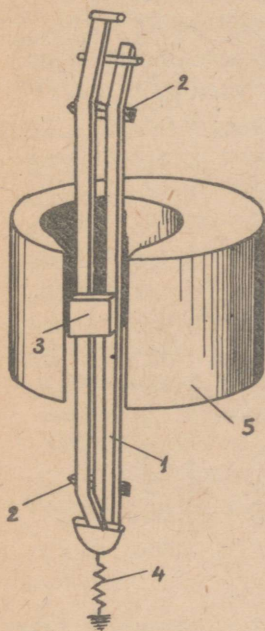
Kui silmust ei läbi vool, ühtib silmuse tasapind magnetvälja joonte suunaga.

Voolu läbimisel silmusest nihkuvad viimase õlad eri suundades ning peegel pöörduv teatava nurga võrra.

Vibraatorid on konstrueeritud selliselt, et silmuse pöördenurk on proportsionaalne teda läbiva vooluga.

Ostsillograafi töötamis põhimõtte selgitamiseks on toodud joonisel 9 ostsillograafi optiline skeem.

Valguskiired lambilt 1 läbivad kondensori 2 ja diafragma 3. Diafragma jagab valguse kaheks kitsaks kiirtekimbuks. Iga kiirtekimp satub ühele pöördpeegleist 4. Need on asetatud selliselt, et valgus, läbides peegelprisma 5, peegeldub peeglit 6 vastava vibraatori läätsel 7 ja sealt vibraatori peeglile 8. Valgus, mis peegeldub tagasi vibraatori peeglit, läbib uuesti läätsel 7 ning peegeldub peeglit 6 sfäärilisele läätsel 13 ning peeglile 9. Siin jaguneb valguskiir kaheks. Esimene osa, mis langeb peeglile 9, läheb peegli 10 ja läätsel 11 abil registreerivasse seadmesse 12.



Joonis 8.

Joonis 9.

Teine osa läbib sfäärilise läätse 13, silindrilise läätse 14, peegeldub peegeltrumplit 15 ja satub ekraanile 16.

Registreerivat seadet 12 ning peegeltrumplit 15 saab käivitada elektriajami abil. Konstantse kiirusega pöörlemisel tekib ekraanile 16 ja filmilindile protsessi kujutis.

2. Ostsillograafide tehnilised andmed

a. Vibraatorid. Ostsillograafil on komplekt vibraatorid, mille andmed on toodud tabelis 1.

T a b e l 1

Vibraatori tüüp	Tundlikkus mm/mA		Maksim. takistus Ω	Maksim. lubatav voolu amplituud mA	Maksim. lubatav kalle ekraanil (ühte külge) mm	Omavõnkesagedus Hz
	filmil	ekraanil				
I	0,2	0,8	3,5	100	100	5000
II	0,04	0,16	3,0	150	25	10000
IV	1,0	4,0	6,0	25	100	3000
V	2,5	10,0	6,0	10	100	3000
VII	0,015	0,06	1,5	250	12	2000
VIII	13,0	52,0	14,0	2	100	1300
IX	62,0	250	50	0,4	100	400,0
X	250	1000	50	0,1	100	200
H135-0,6	10 ... 18	40 ... 70	9	2	100	
H135-0,9	5 ... 8	20 ... 32	9	15	100	
H135-1,5	2,5 ... 5	10 ... 20	9	16	100	
H135-2	0,5 ... 0,7	2 ... 3	4	50	100	
H135-3	0,2 ... 0,4	0,4 ... 1,6	4	70	100	

Vibraatorite töösagedusriba on toodud järgnevas tabelis:

Töösagedusriba Hz	Vibraatorite tüübid
kuni 600	H135-0,6; MOB2-V
kuni 900	H135-0,9; MOB2-IV
kuni 1500	H135-1,5; MOB2-I
kuni 2000	H135-2; MOB2 (I ja II vahe- pealne)
kuni 3000	H135-3; MOB2-II
kuni 6000	H135-6; MOB2-VII

Üldiselt võib töösagedusribaks võtta magnetoelektrilistel vibraatoritel kuni 60% nende omavõnkesagedusest õhus.

Ühe vibraatori kohale (pesa nr. 1) võib asetada ajamärkija, mis annab ilma välistoiteta kõvera sagedusega 500 Hz.

b. Ostsillogrammid jäädvustatakse 35-mm filmilindile. Filmi tundlikkus 45 - 90 ГООТ ühikut. Kassetti mahub 5 m filmi. On olemas filmitagavara näitaja.

c. Filmilindi liikumise kiirust saab reguleerida 12 kiirusastmega käigukasti abil 1 ... 3000 mm/s.

d. Ostsillograafil on kaadri pikkuse piiraja, mis lülitab automaatselt välja filmi veomehhanismi valitud filmi pikkuse läbijooksmisel. Kaadri pikkuse võib valida 0,1...5 m piires.

e. Ostsillograafil on automaatne lüliti uuritava protsessi sisse- ja väljalülitamiseks. Lüliti kontaktide abil saab uuritava protsessi sisse lülitada siis, kui filmi veomehhanism töötab. Lüliti abil saab valida protsessi alguse ostsillogrammil.

f. On olemas seade võtte tegemiseks automaatselt või distantsjuhtimise abil.

3. Töö ostsillograafiga

a. Vibraatori valik

Vibraatorid valitakse tabelite 1 ja 2 abil. Et tihti on uuritavad pinged ja voolud suuremad vibraatorile lubatavaist, tuleb kasutada eeltakisteid ja šunte.

Eeltakistuste suurused määratakse järgmise valemi abil:

$$r_e = \frac{U - I_e \cdot r_v}{I_e}$$

kus U - maksimaalne oodatava pinge amplituudväärtus katse käigus,

I_e - vibraatorile lubatava maksimaalse voolu amplituudväärtus,

r_v - vibraatori takistus.

Šunteerimiseks kasutatakse joonisel 10 toodud skeemi.

Takistus r_e on mõeldud vibraatori induktiivsuse mõju vähendamiseks ja ta valitakse mitte väiksem kui $5r_v$.

Šunteeriva takistuse suurus

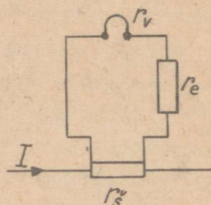
$$r_s = \frac{I_e (r_v - r_e)}{I - I_e}$$

kus I - maksimaalne katse ajal oodatava voolu amplituudväärtus,

I_e - vibraatorile lubatava voolu amplituudväärtus,

r_v - vibraatori takistus,

r_e - eeltakistuse väärtus.



Joonis 10.

Et vältida vibraatorite rikkiminekut, on soovitatav lubatav vool valida veidi väiksem, kui on antud vibraatorite passides.

Näide: Olgu meil vaja uurida alalisvoolu tõmbelektromagneti lülitamisel tekkivat siirdeprotsessi $I = f(t)$. Tõmbepooli andmed $U_n = 220$ V, $r = 1000 \Omega$.

Maksimaalne oodatav vool katse ajal

$$I = \frac{U_n}{r} = \frac{220}{1000} = 0,22 \text{ A.}$$

Valime vibraatori X (tabel 1), mille takistus $r_v = 50 \Omega$ ning maksimaalselt lubatav voolu amplituud $I_e = 10^{-4}$ A. Rikkiminekuhu vähendamiseks valime $I_e = 8 \cdot 10^{-5}$ A.

Eeltakistuse r_e väärtuseks valime

$$r_e \geq 5r_v = 250 \Omega.$$

Šunteeriva takistuse suurus

$$R_s = \frac{I_c(r_v + r_e)}{I - I_c} = \frac{3 \cdot 10^{-5} (50 + 250)}{0,22 - 3 \cdot 10^{-5}} = 9,09 \Omega.$$

Iga vibraatori võib ostsillograafil asetada mistahes pesa.

Pärast vibraatorite asetamist pesa tuleb kõik vibraatorid lülitite abil välja lülitada.

b. Filmi liikumiskiiruse valik

Filmi kiirus oleneb mõõdetavast protsessist endast, samuti ka taotletavast mõõtetäpsusest. Väikeste ajavahemikkude täpseks fikseerimiseks on vaja suurt kiirust. Üldiselt on soovitatav lähtuda reeglist: väikseim ajaühik, mida soovitakse eraldada ostsillogrammil, peaks olema vähemalt 2 mm pikkune.

Kiirust lülitatakse ümber ainult siis, kui mootor seisab.

c. Diafragma ja lambi küttepinge muutmine

Diafragma muutmiselega saab reguleerida ostsillogrammi joone laiust. Diafragmat reguleeritakse eraldi vibraatoritele 1, 2, 3 ja 4 ning 5, 6, 7 ja 8. Diafragma tuleb valida selliselt, et joon oleks normaalselt valgustatud lambile lubatava toitepinge puhul.

Lambi pinge muutmiselega saame ekraanil ja ka filmil tumedama või heledama kujutise. Mida suurem on võtte kiirus, seda suurem peab olema lambi heledus. Maksimaalse kiiruse juures on soovitatav lambi pinget hoida võtte ajal 7 - 8 V piirides, minimaalse kiiruse puhul aga 2 - 3 V piirides.

d. Filmi asetamine kassetti ja ostsillograafi

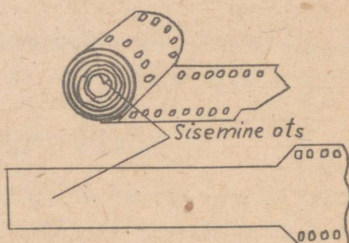
Kassett mahutab 5 meetrit filmi. Filmi lõpus tuleb 10 - 15 cm pikkuselt filmiribalt eemaldada perforatsioon (joon. 11), et hiljem oleks võimalik filmi välja võtta veomehhanismi hammaste vahelt.

Film keritakse rulli, emulsioonikiht väljaspool, ning asetatakse kassetti. Filmilindi ots, mis on kassetist välja jäetud, lõigatakse ära vastavalt joonisele 12.

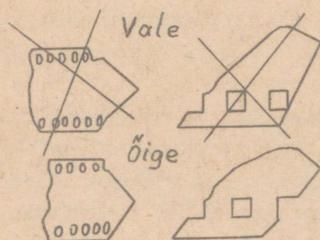
Kassetist väljaulatuv filmilindi ots asetatakse filmikanalisse ning surutakse kassett pesa. Filmitagavara näitajale asetatakse peale lindi pikkus. Vastuvõtukassett avatakse ning ostsillograaf käivitatakse minimaalsel kiirusel ning kaadripikkusel ca 10 cm. Kui film hakkas õigesti jooksuma, on kuulda iseloomulikku sahinat (filmi hõõrdumine).

Pärast proovikäivitamist kontrollitakse, kas film on liikunud vastuvõtukassetti, sel teel, et tõstetakse vastuvõtukassetti ettevaatlikult ülespoole. Kui film on vastuvõtukassetis, ei ole tema väljatõstmine võimalik. Pärast kontrollimist vajutatakse kassett tagasi normaalasendisse. Seega

on ostsillograaf võtteks valmis.



Joonis 11.



Joonis 12.

e. Mõtteahelate ettevalmistamine katseks

Et katsetulemusi hiljem analüüsida, on vaja vibraatorid gradueerida, s.o. määrata sõltuvus ekraanil (filmilindil) tekkiva kujutise mõõtmete ja protsessi iseloomustavate parameetrite (vool, pinge jne.) vahel.

Vibraatorite gradueerimine käib tavaliselt järgmiselt:

1) valitakse uuritava protsessi nulljoone asukoht ekraanil,

2) gradueeritakse vibraatorid,

3) järeldustatakse nulljoone asukohad ja gradueerivate signaalide kujutised filmile.

Nulljoone asukoht valitakse selliselt, et kogu uuritava protsessi kujutis mahuks filmilindile. Selleks on vaja teada signaali muutumise suunda ja oodatavat kiire hälbe maksimumvärtust. Maksimumhälbe võib määrata proovimise teel, lülitades oodatava maksimaalse signaali väärtuse vibraatori klemmidele. Seda võtet võib kasutada, kui ollakse veendunud, et vibraatorile antav signaal teda ei riku (eeltakistused või šundid peavad olema määratud õigesti). Ka võib maksimumhälbe mõningase täpsusega ette arvutada, teades mõtteahelas tekkida võivat maksimaalset signaali, eeltakistuse või šundi suurust, vibraatori tundlikkust.

Näide: Vaatleme eelmises näites valitud vibraatori maksimumhälbe määramist.

Vibraatorit läbib vool maksimaalse signaali puhul

$I_1 = 0,08$ A. Vibraatori tundlikkus (tabel 1) on 1000 mm/mA; maksimumhälve $h = 1000 \cdot 8 \cdot 10^{-2} = 80$ mm.

Tähelepanu tuleb pöörata nende protsesside nulljoone määramisele, mis katsetuse käigus võivad muuta oma märki. Siin tuleb jälgida, et maksimaalne oodatav signaal ei väljuks ekraanilt mõlemalt poolt nulljoont.

Kui on tegemist rohkem kui ühe protsessiga, valitakse nulljoonte asendid selliselt, et hilisem dešifreerimisprotsess oleks kerge. Tavaliselt püütakse teineteisest sõltuvate protsesside nulljooned ühendada, kuid signaalide maksimumvärtused valitakse selliselt, et signaalid kogu protsessi ulatuses teineteisega ei kattuks. Juhul kui see on

raskendatud, tuleb nulljooned nihutada erinevatele kõrgus-tele.

Nulljoont nihutatakse iga vibraatori juures oleva nupu abil.

Vibraatorit võib gradueerida kahel viisil:

1. Mõõtnud ekraanilt või juba ilmutatud filmilindilt hälbe suuruse ning teades vibraatori tundlikkust (tabel 1), samuti eeltakistite ja šuntide takistuste väärtusi, võib leida voolu või pinget väärtuse katsetatavas ahelas.

2. Olles mõõtnud uuritava suuruse väärtuse ahelas ning teades mõõdetud väärtusele vastavat kiire hälvet ekraanil või filmil, saame leida mõõtesüsteemi tundlikkuse (V/mm, A/mm jne.). Seda suurust võib kasutada edasisel andmete dešifreerimisel.

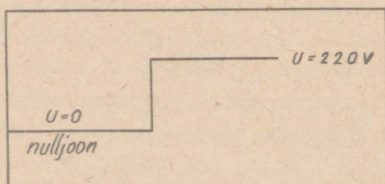
Siinjuures tuleb silmas pidada, et hälbe mõõtmise täpsus filmilindilt on ca $\pm 0,2 \dots 0,5$ mm. Et gradueerida täpsusega 1%, peaks hälbe filmilindil olema vähemalt 20 mm.

Seega on soovitatav vibraatorit gradueerida maksimaalsete ahelas tekkivate voolude või pingete piirkonnas.

Gradueerimiseks reguleeritakse uuritavas ahelas välja gradueeriv suurus ning võetakse filmilindile nulljoon ja signaal gradueeriva suurusega. Seda tehakse ühe pildistamisega: algul võetakse üles nulljoon (vibraator on välja lülitatud), siis lülitatakse vibraator sisse ning filmilindile ja ekraanile projekteerub gradueeriv suurus.

Katse protokollil joonestatakse ekraanil tekkivad kujutised (joon. 13) ning kirjutatakse juurde gradu-eeriva suuruse väärtused.

Kui tegemist on mitme üheaegselt registreeritava protsessiga, tehakse tavaliselt 2 võtet, kusjuures esimesel võttel registreeritakse nulljoonte asukohad, teisel aga iga protsessi gradueerivad suurused.



Joonis 13.

Gradueerimisprotokolli näide mitme üheaegselt registreeritava protsessi kohta on toodud joonisel 14.

$I_2 = 0$	
	$I_1 = 5A$
	$U_1 = 100V$
$I_1 = U_1 = U_2 = 0$	$U_2 = 200V$
	$I_2 = 100A$

I võte

II võte

Joonis 14.

Filmilõigu

pikkuseks valitakse gradueerimisel tavaliselt 5 - 10 cm, filmi liikumise kiiruseks 10 mm/s.

f. Ostsillografeerimine

Kui eeltööd on tehtud, võib hakata ostsillografeerima. Nagu eespool märgitud, võib ostsillograafi juhtida käsitsi või automaatselt, samuti saab uuritava objekti sisse lülitada mitmesugustel ajamomentidel. Vaatleme neid võimalusi lähemalt.

Perioodiliste protsesside uurimisel on otstarbekas lülitada ostsillograaf sisse käsitsi. Selleks on nupplüliti, mille abil lülitatakse sisse filmi veomehhanism. Kaadri pikkus valitakse tavaliselt selline, et ostsillogrammile jääks protsessist vähemalt 10 poolperioodi. Samuti võib kasutada distantsjuhtimist. Selleks on ostsillograafil vastavad klemmid.

Kasutades neid klemme, võib koostada ka automaatse juhtimise skeeme, mille puhul ostsillograaf lülitatakse sisse ning peatatakse sõltuvalt vajadusest. Siirdeprotsesse uurides võib aga juhtida, et ostsillograafi filmi veomehhanism raken-dub hilinenult ning me ei saa ostsillogrammile kogu protsessi.

Selliste kiiretoimeliste protsesside puhul on otstarbekas sisse lülitada enne filmi veomehhanism ning alles seejärel uuritav protsess. Seda saab teha, kasutades ostsillograafisse ehitatud kontakte, mida saab reguleerida hilisemale lülitumisele või lahutumisele.

Kasutades käsitsi- või distantsjuhtimist, tuleb mees pidada, et film liigub edasi ainult nii kaua, kuni operaator vajutab käivitusnupule. Kui on vaja, et ostsillograaf töötaks

operaatori tahtest sõltumata, tuleb kasutada käivituskontaktide blokeerimislülitusi.

Ostsillograafi võib välja lülitada käsitsi, automaatjuhtimisskeemide abil või nn. kaadripiirajat kasutades, mis automaatselt peatab ostsillograafi, kui valitud filmilindi hulk on ära tarvitatud.

Ostsillografeerimiseks:

- 1) lülitatakse sisse veomootor,
- 2) lülitatakse sisse lamp ning reguleeritakse tema heledust,
- 3) lülitatakse sisse vajalikud vibraatorid,
- 4) käivitatakse filmi veomehhanism.

Ostsillograafiga töötamisel tuleb meeles pidada järgmist:

1) vibraatori võib sisse lülitada ainult siis, kui olakse täielikult veendunud, et teda läbiv vool ei ületa lubatavat;

2) kiirusi võib ümber lülitada ainult siis, kui mootor seisab,

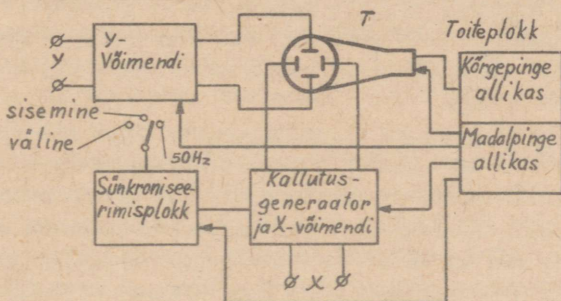
3) lambi pinge ei tohi ületada 6 volti. Filmi maksimaalsete liikumiskiiruste korral võib ainult võtte ajaks anda lambile pinge 7 - 8 V,

4) kiiretoimeliste protsesside puhul ei ole võimalik ekraanilt näha protsessi kulgemist.

1-7. Elektronostsillograafid

Elektronostsillograaf on kõige kiiretoimelisem siirdeprotsessi jäädvustamise vahend. Ta on kohaldatud eelkõige perioodiliste protsesside vaatlemiseks, mille puhul ekraanil tekib seisev kujutis. Ühekordsete protsesside registreerimiseks on vaja fotoaparaati, mille abil saab pildistada ekraanil hetkeks vilksatavat ja silmaga tavaliselt nähtamatut kujutist. Ülikiirete impulssprotsesside jälgimiseks on selline meetodika asendamatu; suhteliselt aeglaste protsesside jaoks on otstarbekam kasutada järehelendusega või magnetoelektrilist ostsillograafi.

Järelhelendusostsillograaf erineb tavalisest elektronostsiloskoobist peamiselt selle poolest, et tal on ekraan, mis säilitab elektronkiire toimet tekkinud helenduse teatava aja vältel (hämaraas ruumis on kujutis vaadeldav 10 - 20 sekundit, täielikus pimeduses kauemgi). See muudab siirdeprotsesside jälgimise äärmiselt hõlpsaks. Kujutise säilimisaeg on küllaldaselt pikk selleks, et käsitsi kopeerida lihtsamaid kõveraid ekraanilt kalkale. Tihti on aga tarvis teada ainult siirdeprotsessi kõvera mõningaid iseloomulikke suurusi (suuruste tippväärtusi, protsessi vältust, võnkuvust jne.), mida saab registreerida otse ekraanilt, kui kasutada sellel leiduvaid skaalasid.



Joonis 15.

Elektronostsillograafi blokskeem on toodud joonisel 15. Ta koosneb elektronkiirtetorust T, mille ülesandeks on uuritava elektrilise signaali muutmine nähtavaks. Peale ülalnimetatatu on skeemis veel rida abiblokke.

Vertikaalvõimendi (Y-võimendi) abil võimendatakse uuritav signaal elektronkiiretoru jaoks vajaliku väärtuseni.

Laetusgeneraatori ülesandeks on saehammaspinge formeerimine, mis omakorda on määratud kujutise laotamiseks elektronkiire perioodilise või ühekordse kallutamisega horisontaalsuunas. Horisontaal- ehk X-võimendit kasutatakse laduspinge võimendamiseks, samuti eriotstarbeliste mõõtmete puhul signaali võimendamiseks horisontaalsihis.

Sünkroniseerimisbloki ülesandeks on perioodiliste protsesside uurimise puhul saehammaspinge faasi määramine uuritava signaali suhtes ning ladesgeneraatori käivitamine uuritava impulsi saabumisel, kui ostsillograaf töötab ühekorde ehk nn. ootelaotuse režiimis.

Levinumates ostsillograafides on saehammaspinget võimalik sünkroniseerida mitmel viisil:

- 1) uuritava signaaliga,
- 2) toitevõrguga,
- 3) välise sünkroniseerimispingega.

Kõrgepingelise toiteallika abil kiirendatakse elektrone kiires. Madalpingelise toitebloki abil antakse toide abiseadmetele ja elektronkiiretoru anoodidele.

Ostsillograafi asukoha valikul tuleb jälgida, et ekraanile ei langeks otsesest valgust, kuna tugevasti valgustatud ekraan nõuab ebanormaalselt suurt kiire heledust, mis vähendab ekraani tööiga.

Enne ostsillograafi sisselülitamist tuleb kiire heleduse regulaator viia minimaalsele heledusele vastavasse asendisse, et vältida elektronkiiretoru katoodi ülekoormust. Pärast ostsillograafi sisselülitamist ning eelsoojenemise aja määramist (see aeg on antud tavaliselt iga ostsillograafi instruksioonis ning kõigub 1 - 15 min. piires) võib kiire heledust reguleerida vajalikesse piiridesse. Kiire (või punkti, juhul kui ostsillograafile pole antud signaali) heledus valitakse selliselt, et ta oleks minimaalne, kuid siiski veel ilma pingutuseta nähtav. Liiga hele punkt võib ekraani rikuda. Edasi järgneb signaali fokuseerimine vastava regulaatori abil. Fokuseerimisega valitakse kiire või punkti minimaalne mõõt.

Nüüd võib sisse lülitada uuritava signaali, kusjuures enne kontrollitagu, et sisendeile lülitatavad signaalid ei ületaks antud ostsillograafile lubatavaid väärtusi. Vajaduse korral tuleb kasutada pingejagajaid või šunte.

Järgnevalt reguleeritakse välja signaali kujutise mõõtmed. Kujutise laust ekraanil võib reguleerida X- ehk horisontaalplaatidele antava potentsiaali muutmise teel. (Tehakse nupu "Горизонтальное усиление" abil.)

Kujutise laius loetakse optimaalseks, kui ostsillograam haarab kogu ekraani kasuliku pinna.

Kujutise kõrgust võib reguleerida, kas Y-võimendile antava signaali väärtuse muutmise või Y-võimendi võimenduse muutmise. Kujutise kõrgus valitakse nii, et ta moodustaks 60 - 70% ostsillograafi ekraani kõrgusest.

Laotusrežiimi valikul tuleb silmas pidada, et pidev laotusrežiim on sobiv perioodiliste protsesside uurimiseks, ootelaotusrežiimis püsib kiir vasakpoolses lähteasendis, kuni sisendisse antav signaal ületab teatava lävisuuruse. Siis hakkab kiir liikuma paremale kiirusega, mis vastab valitud laotusdiapasoonile.

Ootelaotusrežiimi on mugav kasutada siis, kui suhteliselt kiire protsessi algushetk pole täpselt ette teada, sest selles režiimis käivitab signaal ise ostsillograafi.

Laotussagedust saab muuta tavaliselt astmeliselt ning valitud diapasooni ulatuses sujuvalt, milleks ostsillograafil on nupud "Диапазон развертки" ja "Регулировка развертки - ПЛАВНО".

Kiire liikumise ulatust horisontaalsuunas saab muuta vastava regulaatori ("Амплитуда разверток") abil.

Laotussagedust võib sünkroniseerida kas uuritava signaaliga, välise signaaliga või võrgusagedusega. Selleks on olemas ümberlülitid, mille abil valitakse sünkroniseerimise liik.

Kui laotussagedust sünkroniseeritakse välise signaaliga, siis ühendatakse pingeallikas ostsillograafi vastavatele klemmidele ("Вход синхронизации"). Sünkroniseeriva pinge väärtus on antud ostsillograafi passis.

Kui uuritav kujutis liigub ekraanil, järelhäälestatakse sujuva regulaatoriga "Амплитуда синхронизации".

Ostsillograafi saab kõige lihtsamalt graduateerida, kui signaali väärtust ekraanil võrreldakse vastava suuruse mingi mõõteriista abil mõõdetud väärtusega. Nende suhe annabki signaali mastaabi.

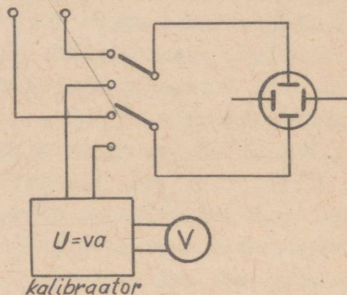
Siinjuures tuleb silmas pidada seda, et mõõteriistad mõõdavad tavaliselt kesk- või efektiivväärtusi, ostsillograafilt aga näeme signaali amplituudväärtust.

Ajavahemike mõõtmist ning ostsillograafi gradueerimist on käsitletud lk. 13.

Pingete mõõtmiseks on olemas mitu võimalust. Üheks lihtsamaks neist tuleb lugeda ostsillograafi Y-võimendi eelnevat gradueerimist etaloonpingega, kusjuures pärast gradueerimist ei tohi võimendi võimendustegurit muuta.

Suurema täpsuse annab mõõtmisviis, kus uuritud signaali võrreldakse kalibreeritud pingega (joon. 16).

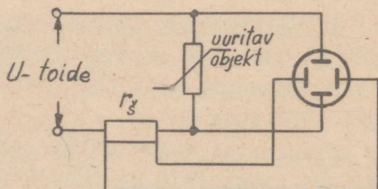
Siin reguleeritakse algul uuritava signaali kõrgus ning hiljem, sisen-disse kalibreeriva signaali andmisel püütakse tema muutmise saavutada sama kõrgus.



Joonis 16.

Voolude mõõtmine ei erine sisuliselt pinge mõõtmisest. Mõningase erinevuse tekitab asjaolu, et ostsillograafidel on tavaliselt suur sisetakistus ning seetõttu ei ole nende otsene järjestikku ühendamine mõõteahelasse võimalik. Tavaliselt kasutatakse mõõtmisel šunte, kusjuures vahelduvvooluahelais tuleb jälgida, et šuntide induktiivsus ei mõju-taks mõõtmistulemusi.

Voltamperkarakteris-tikute määramine. Ostsil-lograafi abil saab jälgida mitmesuguste mitteli-neaarsete takistite volt-amperkarakteristikuid. Sel-leks antakse takisti pin-gega proportsionaalne signaal ostsillograafi Y-plaatidele, kiirt kal-



Joonis 17.

lutatakse vooluga proportsionaalse signaali abil, mis ühendatakse X-plaatidele (joon. 17).

Kalibreerides vastavad võimendid pingele ja voolu järgi, on võimalik hiljem kvantitatiivselt saadud karakteristikut analüüsida.

II osa

LABORATORSETE TÖÖDE JUHENDID

T ö ö nr. 1

ALALIS- JA VAHELDUVVOOLU KAARE UURIMINE

Töö ülesanne

A. Ettevalmistav osa

1. Tutvuda katseseadmega.
2. Koostada katse läbiviimiseks üksikasjaline lülitusskeem, valides vajalikud lülituselemendid ja mõõteriistad.
3. Arvutada Ayrtoni võrrandi abil kaare voltamperkarakteristik kahel etteantud kaarepikkusel.
4. Leida teoreetilised sõltuvused $r_{KV} = f(r_s)$ ja $I_{KV} = f(\check{s})$ kahel etteantud kaarepikkusel.

B. Katseline osa

I. Alalisvoolu kaare uurimine

1. Määrata kaare voltamperkarakteristikud $U_K = f(I)$ kahel etteantud kaarepikkusel. Määrata vool I_L ahelas juhul, kui elektroodid on lühistatud.
2. Šunteerides kaart aktiivtakistusega r_s^v , määrata kaare kustumisvoolu I_{KV} sõltuvus šunteeriva takistuse väärtusest $I_{KV} = f(\check{s})$, samuti lühisvoolu sõltuvus šunteeriva takistuse suuruselt $I_L = f(r_s^v)$ kahel etteantud kaarepikkusel ning seitsmel etteantud šunteeriva takistuse väärtusel.
3. Leida šunteeriva takistuse suurus, mis on vajalik ilma šunteeriva takistuseta stabiilselt põleva kaare kustutamiseks ning tema sõltuvus ahela ühel etteantud kaarepikkusel.

II. Vahelduvvoolu kaare uurimine

4. Võtta üles vahelduvvoolu kaare pinge ja voolu kujutised ostsiloskoobi abil kolmel etteantud kaarepikkusel.
5. Võtta üles kaare dünaamiline voltamperkarakteristik kahele etteantud kaarepikkusel.

C. Tulemuste töötlemine

1. Konstrueerida karakteristikud kõigi p. B 1-5 loetletud juhtumite kohta.
2. P. B 1 andmete abil konstrueerida kaare voltamperkarakteristikud ning kriitilised ahela väliskarakteristikud nende juhtumite kohta. Leida ahela kriitiline takistus ja kaare võimsuse sõltuvus voolust $P = f(I)$.
3. Võrrelda p. A 3 leitud teoreetilisi karakteristikuid katseteliste, analüüsida lahkuminekute põhjusi.
4. Võrrelda p. A 4 teoreetiliselt leitud karakteristikuid $r_{kv} = f(I)$ ja $I_c = f(r)$ katsetulemustega.

Metoodilisi juhtnõure

1. Katsete läbiviimiseks on laboratooriumis olemas seade, mille abil saab reguleerida elektrootseid vahekaugust. Kaar tekib kahe süsielektroodi vahel. Pimestuste vältimiseks on seade kaetud metallkattega. Katte seinas on auguke, mille kaudu kaare kujutis projekteerub jaotustega ekraanile. Projektsiooni pikkus ekraanil on võrdne kaare tegeliku pikkusega. Elektrootsed paigutatakse vertikaalselt ning kahe elektrootse kokkupuutepunkt asetatakse augukese kohale.

2. Kaare pinge mõõtmisel tuleb arvestada seda, et kaare kustumisel langeb kogu toiteallika pinge kaare vahemikule ning voltmeetrile. Voltmeetri riknemise vältimiseks tuleb ette näha kaitse.

3. Ayrtoni võrrand:

$$U_k = \alpha + \beta I_k + \frac{C + d I_k}{I_k}$$

kus U_k - kaare pinge,

l_k - kaare pikkus cm,

I_k - kaare vool A.

Süsielektroodide puhul on konstandid järgmised:

$$\alpha = 50; \quad \beta = 15,8; \quad \gamma = 9,0; \quad d = 32.$$

4. Sõltuvuste $r_{kr} = f(r_s)$ ja $I_c = f(r_s)$ leidmiseks ahela diferentsiaalvõrrand $U_{võrk} = I_0 r + L \frac{dI_0}{dt} + U_k$. Võrrandist järeldub, et šunteeritud kaare kustumise tingimuseks on resulteeriva voltamperkarakteristiku $U_k = f(I_0) = f(I_k + I_s)$ asumine ülalpool ahela väliskarakteristikut.

Siin I_0 - ahela koguvool,

I_k - kaare vool,

I_s - vool läbi šunteeriva takisti.

Võrrandist

$$I_0 = I_k + I_s = I_k + \frac{U_k}{r_s}$$

järeldub, et resulteeriva karakteristiku konstrueerimiseks peame liitma teatud kaare pingele vastavad voolud I_k ja I_s .

Graafiline lahenduskäik

a. Ayrtoni valemi järgi arvutatud voltamperkarakteristiku (kõver c-d) juurde konstrueeritakse sõltuvus $U = f(I_s)$ (sirge o-f).

b. Mistahes kaare pingele U_k vastab vool $I_k + I_s$. Nii saame erinevate r_k väärtuste jaoks rea punkte, mille abil ehitatakse resultatiivvoltamperkarakteristik (kõver m-n).

c. Punktist, mis vastab võrgu pingele, tõmbame puutuja resulteerivale voltamperkarakteristikule. Abstsisssteljega lõikub ta otsitava voolu I_c väärtuse kohal.

d. Kriitiline takistus

$$r_{kr} = \frac{U_k}{I_c}$$

Korrates seda operatsiooni mitmel r_s väärtusel, leiame otsitavad suurused.

5. Voltamperkarakteristiku määramist alustatakse maksimaalsest voolust ning voolu vähendatakse sujuvalt ja aeglaselt.

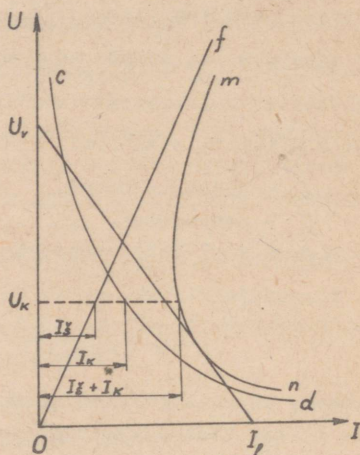
6. Lühisvool I_{ℓ} leitakse järgmiselt:

Muudetakse kaare voolu sujuvalt kuni kaare kustumiseni, kaare kustumise hetkel katkestatakse takistuse reguleerimine, lühistatakse elektroodid ning mõõdetakse lühisvool.

7. Kriitilise ja lühisvoolu sõltuvuse uurimisel šunteerivast takistusest toimitakse alljärgnevalt: määratakse šunteeriva takistuse suurus, lülitatakse stabiilselt põlevale kaarele šunt ning hakatakse ahela voolu sujuvalt vähendama, kuni kaar kustub. Sellele vastab kriitiline vool I_{Kr} . Edasi lülitatakse šunt välja, lühistatakse elektroodid ning mõõdetakse lühisvool I_{ℓ} .

8. Punktis B 3 esinevate nõuete täitmisel on operatsioonid järgmised: lühistatud elektroodide ja väljalülitatud šunteeriva takistusega ahelas reguleeritakse vajalik vool, lahutatakse elektroodid, korrigeeritakse voolu, lülitatakse maksimaalse suurusega šunteeriv takistus kaarele. Kui kaar ei kustu, lülitatakse šunt välja, vähendatakse tema takistust ning lülitatakse ta uuesti kaarele. Seda tehakse seni, kuni kaar kustub.

9. Vahelduvvoolu kaare voltamperkarakteristik võetakse üles ostsillograafi abil, kusjuures enne tuleb ostsillograaf kalibreerida.



Joonis 18.

10. Katsete ajal peab kaar põlema stabiilselt. Selle tagamiseks tuleb:

- a) ahela takistusi ning induktiivsusi sujuvalt muuta,
- b) soojendada elektroode enne väikesel kaarepikkusel (ca 1 mm) vooluga kuni 5 A.

T ö ö nr. 2

KONTAKTTAKISTUSE UURIMINE

Töö ülesanne

A. Ettevalmistav osa

1. Tutvuda katseseadmega, koostada lülitusskeem, kasutades töö juurde paigutatud mõõteriistu ja seadmeid.

2. Puhastada katsetatavad kontaktid peene liivapaberiga. Kinnitada kontaktid katseseadmesse.

B. Katseline osa

1. Määrata kontakttakistuse sõltuvus kontaktile rakendatud jõust $r_k = f(f)$ jõu suurendamisel ja vähendamisel.

Katsetada järgmisi kontaktpaare:

Jrk. nr.	Kontaktpaari materjal	Kontaktpaari konstruktsioon
1	teras	teravik - teravik
2	teras	teravik - tasapind
3	teras	sfäär - sfäär
4	alumiinium	teravik - teravik
5	alumiinium	teravik - tasapind
6	vask	teravik - teravik
7	vask	teravik - tasapind

C. Tulemuste töötlemine

1. Konstrueerida graafikud $r_k = f(f)$ kõigi p. B 1 loetletud juhtumite kohta.

2. Jälgida hüstereesinähtuse esinemist, anda nähtuse seletus.

3. Leida valemid, mille järgi muutub kontakttakistus, võrrelda neid kirjanduses esitatutega.

Metoodilisi juhtnööre

1. Kontakti pingelangu mõõtmiseks kasutame tundlikku millivoltmeetri. Millivoltmeetri mõõtepiirkonna laiendamiseks on eeltakistusena sobiv kasutada täppistakistuste magasinini.

Kontaktide pinge saab leida, teades millivoltmeetri pinget täishälbel ja voolu, mis läbib millivoltmeetri täishälbel. Selleks reguleeritakse eeltakistuse suurus, kuni millivoltmeeter annab täishälbe. Pingelang on avaldatav valemiga:

$$U = U_t + U_v = I(r_t + \frac{U_v}{I}),$$

kus I - millivoltmeetri läbiv vool täishälbel,

U_v - millivoltmeetri näit täishälbel,

r_t - eeltakistuse väärtus.

Millivoltmeetri iseloomustavad suurused on tavaliselt riista skaala peale trükitud.

2. Tuleb meeles pidada seda, et kontakti avanemisel langeb voltmeetrile kogu toitepinge. Millivoltmeetri rikkimineku vältimiseks tuleb kasutada lülitit, mis šunteerib mõõteriista mõõtmiste vaheajaks.

3. Katsetamisel anda kontaktile eelsurve, pingestada ahel ja reguleerida vool ahelas. Voolu suuruse võib valida sõltuvalt kontaktide tüübist 0,5 - 3 A.

Kogu katse kestel hoida voolu väärtus konstantsena.

4. Kontaktsurvet muudetakse vihtide juurdepanemise või äravõtmisega. Peetagu silmas, et kontaktsurve muutmise (näiteks suurendamise) ajal ühes suunas ei ole lubatav kontaktsurve vähingi muutus teises suunas (antud juhul vähendamine). Selle nõude täitmiseks tuleb vältida kaalukau-

sile pandud pommide äravõtmist kontaktsurve suurendamisel, samuti kaalukaussile surumist vihtide vahetamise ajal.

Kontaktsurve määramisel tuleb arvestada seda, et survemehhanismi õlgade suhe on 10:1.

6. Kontaktsurvet tuleb muuta 0,5 - 6 kgf-ni ning 6 - 0,2 kgf-ni.

T ö ö nr. 3

JÕUDUDE MÄÄRAMINE VOOLUGA LATTIDE VAHEL

Töö ülesanne

A. Ettevalmistav osa

1. Tutvuda katseseadmega ja tema töötamis põhimõttega.
2. Määrata lattide töötavate osade pikkused ja ristlõike mõõtmed.
3. Koostada katsete läbiviimiseks üksikasjalik lülitusskeem, valides vajalikud lülituselemendid ja mõõteriistad.

B. Katseline osa

Mõõta lati vaba otsa siirde sõltuvus voolu suuruselt kuue erineva lattide vahekauguse puhul.

C. Tulemuste töötlemine

1. Katseandmete põhjal leida lattidele mõjuva jõu sõltuvus latti läbivast voolust $f = f(I)$ lattide eri vahekauguste puhul ning joonestada vastavad karakteristikud.
2. Leida lattidele mõjuva jõu sõltuvus lattide vahekaugusest $f = f(a)$ kuue erineva voolu väärtuse puhul ning joonestada vastavad karakteristikud.
3. Arvutada elektrodünaamiliste jõudude sõltuvus latte läbivast voolust $f = f(I)$ kolme erineva lattide vahekauguse puhul ning joonestada karakteristikud võrdlemiseks p C 1 saadud karakteristikutega ühele lehele.
4. Võrrelda katse- ja arvutustulemusi, analüüsida kriitiliselt töötulemusi.

Metoodilisi juhtnõore

1. Punktis B 1 nõutavaid mõõtmisi on sobiv teha järgmises järjekorras: a) lattide vahekaugus reguleeritakse minimaalsele nõutavale suurusle, b) muutes voolu ahelas astmeliselt $0 \rightarrow I_{max}$, mõõdetakse iga voolu väärtuse juures lati deformatsiooni (siiret). Siis suurendatakse lattide vahekaugust, muudetakse voolu, mõõdetakse siiret jne.

Voolu muutmisel on soovitatav muutumiste diapasoos jagada vähemalt kümneks osaks.

2. Mõõta tuleb võimalikult kiiresti, et vältida skeemi elementide ja katseseadme liigset kuumenemist.

3. Siirde mõõtmiseks on soovitatav kasutada indikaatorkella.

4. Indikaatorkella abil siiret mõõtes näeme, et näit ei ole püsiv, vaid võngub. Täpsuse garanteerimiseks lugemi tegemisel oleks soovitatav määrata mõlemapoolsed hälbed ning võtta nendest keskmine.

Lugemite tegemisel ei tohi unustada, et indikaatorkellal tavaliselt on mingi algnäit, mis on tingitud lattide paigutusest. Seega saab siiret leida järgmise valemi abil:

$$\Delta = \frac{\Delta_{min} + \Delta_{max}}{2} - \Delta_{alg}'$$

kus Δ - lati siire,

Δ_{min} - indikaatorkella minimaalne hälve,

Δ_{max} - " maksimaalne hälve,

Δ_{alg} - " alghälve (juhul, kui vool ahelas $I = 0$).

5. Voolu võib suurendada, kuni tekib silmanähtav lattide vibratsioon. Edasisel voolu suurendamisel on rahuldava lugemi saamine väga raske.

6. Kuna indikaatorkell mõõdab lati siiret, meid huvitab aga lattidevaheline jõud, tuleb teha ümberarvutus, milleks kasutada tugevusõpetusest tuntud arvutusmetoodikat.

7. Lattidevahelise jõu teoreetiliseks arvutamiseks tuleb kasutada õpikutes ja käsiraamatutes antud valemeid. Siin tuleb silmas pidada seda, et valemid ei ole tavaliselt SI süsteemis.

ALALISVOOLU ELEKTROMAGNETI TÖMBEJÕU UURIMINE

Töö ülesanneA. Ettevalmistav osa

1. Tutvuda katsetatavate magnetahelatega ning konstrueerida magnetahelate andmete põhjal nende staatilised karakteristikud $\Phi = f(F)$ ja $\Phi = f(\delta)$ ning tõmbekarakteristikud $f = f(\delta)$ p. B 1 ja 2 loetletud juhtumitel.

2. Koostada üksikasjalik lülitusskeem, valides vajalikud lülituselemendid ja mõõteriistad.

B. Katseline osa

1. Määrata magnetahelate staatilised karakteristikud $\Phi = f(F)$ kuuel etteantud õhupilu väärtusel ja karakteristikud $\Phi = f(\delta)$ kolmel etteantud magnetomotoorjõu F väärtusel.

2. Määrata magnetahelate tõmbekarakteristikud $f = f(\delta)$ kolmel etteantud magnetomotoorjõu F väärtusel.

C. Tulemuste töötlemine

1. Konstrueerida katseandmete põhjal magnetahelate staatilised karakteristikud $\Phi = f(F)$ ja $\Phi = f(\delta)$ kõigil p. B 1 loetletud juhtumitel ning magnetahelate tõmbekarakteristikud kõigil p. B 2 loetletud juhtumitel.

2. Kasutades p. C 1 konstrueeritud staatilisi karakteristikuid $\Phi = f(\delta)$, leida tõmbekarakteristikud $f = f(\delta)$ p. B 1 etteantud kolmel magnetomotoorjõu väärtusel.

3. Võrrelda kolmel eri viisil leitud tõmbekarakteristikuid $f = f(\delta)$ omavahel. Võrrelda katse- ning arvutustulemusi staatiliste karakteristikute juures. Anda lahkuminekute kriitiline analüüs.

Metoodilisi juhtnõore

1. Magnetahelate staatiliste karakteristikute arvutamisel valitagu arvutusmetoodika selline, et ta kindlustaks maksimaalse täpsuse. Kui ahel ei ole küllastatud, võib magnetilise pingelangu rauas jätta arvestamata ning eeldada, et kogu magnetomotoorjõud läheb õhupilu voo ja puistevoo tekitamiseks.

Õhupilu küllaltki väikeste väärtuste puhul ei ole puistevoo vaha arvestada.

2. Magnetvoogu mõõdamel milliveebermeetriga, millega töötamise juhendid on toodud lk. 5.

3. Magnetvoo mõõtmiseks õhupilus on õhupilu vahetusse lähedusse monteeritud mõõtepoolid.

4. Tõmbekarakteristikute määramisel kasutatakse elektrodünamomeetrit.

T ö ö nr. 5

POOLIDE KUJU JA VOOLU LIIGI MÕJU NENDE KUUMENEMISELE

Töö ülesanne

A. Ettevalmistav osa

1. Tutvuda katseseadmega ja isekirjutava potentsiomeetri kasutamisega.

2. Koostada katse läbiviimiseks üksikasjaline lülitusskeem, valides vajalikud lülituselemendid ja mõõteriistad.

B. Katseline osa

1. Määrata poolide takistused külmas olekus.

2. Lülitada poolid võrdsele voolule ning mõõta nende ületemperatuuride olenevus ajast $\tau = f(t)$.

3. Määrata poolide takistused kuumas olekus väljakujuenenud temperatuuri juures.

C. Tulemuste töötlemine

1. Konstrueerida graafikud $\bar{z} = f(t)$ kõigi p. B 2 loetletud juhtude kohta.

2. a. Leida poolide välispinna ületemperatuur ligikaudse meetodiga, kasutades p. C 1 konstrueeritud graafikuid.

b. Leida poolide keskmine ületemperatuur takistusmeetodil. Võrrelda tulemusi omavahel.

3. Määrata alalisvoolupoolide soojenemise ajakonstandid soojenemiskõvera $\bar{z} = f(t)$ järgi ning võrrelda tulemusi omavahel.

4. Võrrelda alalisvoolu- ja vahelduvvoolupoolide soojenemiskõveraid omavahel ja selgitada voolu liigi ja südamiku ehituse mõju poolide kuumenemisele.

Võrrelda omavahel alalisvoolupoolide soojenemiskõveraid ning selgitada poolide kuju mõju nende soojenemisele.

5. Leida soojusülekandeegur k ja konstrueerida sõltuvus $k = f\left(\frac{L}{D}\right)$. Siin L - pooli pikkus ja D - pooli diameeter.

6. Anda kriitiline hinnang tööle.

Metoodilisi juhtnõure

1. Isekirjutava potentsiomeetri kasutamisel tuleb meeles pidada seda, et termopaaride külgeühendamine ja ümberühendamine võib toimuda ainult väljalülitatud seadmel.

Potentsiomeetriga tutvumiseks tuleb kasutada potentsiomeetri passi ja ekspluatatsiooni eeskirju.

Potentsiomeetri lindi kiiruseks on sobiv valida 480 mm tunnis.

2. Poolide takistused võib määrata nii külmas kui ka kuumas olekus voltampermeetri meetodil.

3. Poolidesse on sisse ehitatud termopaarid, mille abil on võimalik teha mõõtmisi. Termopaaride gradueerimiseks võib kasutada kaudset meetodit, kusjuures meetodi lähtepunktiks on asjaolu, et poolide temperatuur katse alguses on võrdne ruumi temperatuuriga, kus poolid asuvad (eeldusel, et poolide asukoht ruumis ei ole pikemat aega muutunud ning poolidega pole tehtud katseid eelneva 6 tunni jooksul).

4. Kõikide katsetatavate poolide sise- ja välisläbimõõdud on võrdsed.

Poolid erinevad üksteisest ainult pikkuselt. Vahelduvoolupoolide pikkused on võrdsed, erinevad on pooli südamikud, mis on ühel poolil lehtterasest, teisel aga massiivsest terasest.

Termopaarid 5,6 ja 7 kuuluvad alalisvoolu poolidele ja nende abil saab määrata poolide välispinna temperatuure. Termopaar nr. 1 mõõdab lehtterasest südamikuga vahelduvvoolupooli sisepinna temperatuuri ja termopaar nr. 2 sama pooli välispinna temperatuuri.

Termopaar nr. 3 mõõdab massiivse südamikuga vahelduvvoolupooli sisepinna temperatuuri ja termopaar nr. 4 sama pooli välispinna temperatuuri.

5. Katse skeem tuleb valida kaheosaline:

- 1) alalisvoolupoolide toiteskeem,
- 2) vahelduvvoolupoolide toiteskeem.

Skeemi koostamisel peetagu silmas vajadust reguleerida iga pooli voolu sõltumatult teiste poolide voolust.

6. Väljakujunenud ületemperatuuri leidmiseks ligikaudse meetodiga kasutame järgmist meetodikat.

Soojenemiskõver $\tau = f(t)$ on tavaliselt eksponentsiaalne ning avaldub valemiga $\tau = \tau_v (1 - e^{-\frac{t}{T}})$.

Eksponentsiaalse funktsiooni tuletis aja järgi $\frac{d\tau}{dt} = \frac{\tau_v - \tau}{T}$ on sirge. Väljakujunenud olukorras $\frac{d\tau}{dt} = 0$. Seega võime soojenemiskõverat graafiliselt diferentseerides leida sirge, mis iseloomustab sõltuvust $\frac{d\tau}{dt} = f(\tau)$; kohal kus $\frac{d\tau}{dt} = 0$ (sirge lõikepunkt ordinaatteljega), asubki ületemperatuuri väljakujunenud väärtus.

7. Soojusülekande teguri leidmiseks võib kasutada valemit

$$k = \frac{P_{\text{kuum}}}{S_{\text{külg}} \cdot \tau_v} \left[\frac{W}{m^2 \text{ deg}} \right],$$

kus k - soojusülekande tegur,

P_{kuum} - pooli võimsus kuumas olekus w,

$S_{\text{külg}}$ - pooli külgpindala m^2 ,

τ_v - väljakujunenud ületemperatuur.

8. Ületemperatuuri võib määrata takistusmeetodil valemiga

$$\tau = \frac{r_{\text{kuum}} - r_{\text{külm}}}{r_{\text{külm}}} (235 + \vartheta_0),$$

kus r_{kuum} - pooli takistus kuumas olekus,
 $r_{\text{külm}}$ - pooli takistus külmas olekus,
 ϑ_0 - keskkonna temperatuur.

T ö ö nr. 6

AUTOMAATIKARELEE KATSETAMINE

Töö ülesanne

A. Ettevalmistav osa

1. Tutvuda relee konstruktsiooniga, tema iseloomulike parameetritega ja kasutusotstarbega.
2. Koostada katsete läbiviimiseks üksikasjalik lülitusskeem, valides vajalikud lülituselemendid ja mõõteriistad.

B. Katseline osa

1. Määrata mähiste parameetrid (takistus, keerdude arv), magnetahela ja liikuvate osade mõõtmed.
2. Määrata magnetahela staatilised karakteristikud $\psi = f(i)$ vähemalt nelja erineva õhupilu laiuse (või ankrupöördenurga) puhul.
3. Määrata ankrule mõjuva jõu või momendi olenevus õhupilu laiusest või ankrupöördenurgast mitmesuguste mähisele rakendatud pingete korral $F = f(\delta)$ või $M = f(\delta)$.
4. Määrata rakendus- ja tagastusaja olenevus tagastusvedru algpingutusest nimipingel.
5. Määrata rakendus- ja tagastusaja olenevus pingest vedru etteantud pingutuse korral.
6. Määrata tagastumistegur tagastusvedru minimaalse ja maksimaalse pingutuse puhul.

C. Tulemuste töötlemine

1. Konstrueerida karakteristikud kõigi p. B 2 - 5 loetletud juhtumite kohta.

2. Võrrelda katsetulemusi kataloogide andmetega ja anda lahkuminekute kriitiline analüüs.

Metoodilisi juhtnööre

1. Relee parameetrite ja põhimõetmete kindlakstegemisel on soovitatav kasutada relee sildiaandmeid ja katalooge.

Lühismähise takistus arvutada mähise mõõtmete järgi; arvutuslik temperatuur $+20^{\circ}\text{C}$.

Relee mähise takistus määrata voltampermeetri meetodil.

2. Magnetvoogu on sobiv mõõta liikumatu pooli abil, mis mähitakse releele ikkele õhupilu läheduses. Et vältida õhupilu muutumist ankrule mõjuvate jõudude tõttu, tuleb voo mõõtmisel ankur jäigalt kinnitada.

3. Õhupilu mõõtmiseks on sobiv kasutada õhupilu reguleerimiskruvi. Õhupilu laius südamiku teljel:

$$\delta = \frac{a_1}{a_2} \cdot nh + \delta_{\min}.$$

Ankru pöördnurk saadakse valemist $\text{tg } \alpha = \frac{\delta_1}{a_1} = \frac{nh}{a_2} + \frac{\delta_{\min}}{a_1}$,

kus a_1 - südamiku telje kaugus ankru pöördteljest,

a_2 - õhupilu reguleerimiskruvi telje kaugus ankru pöördteljest,

n - reguleerimiskruvi pöörete arv, arvates asendist minimaalse õhupilu korral,

h - reguleerimiskruvi keerme samm ja

δ_{\min} - minimaalne õhupilu (ankru kleepumist takistava vasklehe) paksus.

4. Ankrule mõjuvat jõudu mõõdetakse dünamomeetri abil; mõõdetakse jõudu, mis on vajalik tõmbunud ankru tagastamiseks. Jõu lugem tehakse hetkel, mil ankur vabaneb; õhupilu suurust fikseeritakse mittemagnetilisest materjalist kalibrite abil.

Vabanemishetk tehakse kindlaks õhupilusse asetatud paberriba abil, mille külge on kinnitatud raskus.

5. Jõu mõõtmisel tuleb ankrude tagastusvedru maksimaalselt lödvendada; vastasel korral võib tekkida suur mõõtmisviga.

6. Ankrule mõjuv jõud on soovitatav kindlaks teha samade õhupilu väärtuste puhul, millede juures mõõdetakse voogu. Jõudu võib mõõta ka ainult relee nimivoolu juures. Jõu määramiseks võib kasutada karakteristikuid $\Psi = f(i)$ eeldusel, et jõud on võrdeline voo ruuduga.

7. Pöörduva ankrude korral tuleb mõõdetud jõu järgi arvutada ankrule mõjuv pöördemoment.

8. Tagastusvedru vastumomendi M_{VO} määramiseks võib lähtuda valemist $M_{VO} = a_3 h n c$,

kus a_3 - vedru telje kaugus ankrude pöördeteljest m ,

n - vedru reguleerimismutri pöörete arv, arvates maksimaalselt lödvendatud asendist,

h - keerme samm m ,

c - vedru jäikus N/m (määratakse katseliselt 2 - 3 mõõtmise abil).

9. Relee tagastusteguriks nimetatakse relee tagastusvoolu (või -pinge) suhet rakendusvoolusse (või -pingesse):

$$k_{tag} = \frac{I_{tag}}{I_{rak}} = \frac{U_{tag}}{U_{rak}}$$

10. Et vähendada jääkmagnetismist tingitud vigu, on soovitatav hoiduda relee polaarsuse muutmisest katse kestel.

11. Rakendus- ja tagastusaja mõõtmiseks on soovitatav kasutada kahe sekundomeetriga skeemi.

T ö ö nr. 7

KAITSERELEEDE KATSETAMINE

Töö ülesanne

A. Ettevalmistav osa

1. Tutvuda relee konstruktsiooniga, nende iseloomulike parameetrite ning karakteristikute ja relee kasutusotstarbega.

2. Koostada katsete läbiviimiseks üksikasjalik lülitusskeem, valides vajalikud lülituselemendid ja mõõteriistad.

B. Katseline osa

I. Elektromagnetilise rele katsetamine

1. Määrata rele mähise parameetrid.
2. Määrata rakendusvoolu veaköver sõltuvalt rakendusnimivoolust $\Delta = f(I_{\text{rakn}})$ või rakendusnimipingest $\Delta = f(U_{\text{rakn}})$
3. Määrata rele tagastustegur sõltuvalt rakendusnimivoolust (rakendusnimipingest) $k_{\text{tag}} = f(I_{\text{rakn}})$, $k_{\text{tag}} = f(U_{\text{rakn}})$.
4. Määrata rele omatarve sõltuvalt releed läbivast voolust (pooli klemmidele rakendatud pingest) $S = f(I)$ või $S = f(U)$.
5. Määrata rele rakendamisaja sõltuvus releed läbivast voolust (rele klemmpingest) kahe nimirakendusvoolu (pinge) väärtuse juures $t_{\text{rak}} = f(I_{\text{rakn}})$ või $t_{\text{rak}} = f(U_{\text{rakn}})$.

II. Induktsioonrele katsetamine

1. Määrata rele mähiste parameetrid.
2. Määrata rele rakendusaja sõltuvus voolust ühe rakendusnimivoolu väärtuse puhul minimaalse ning maksimaalse viite korral $t_{\text{rak}} = f(I)$.
3. Kontrollida rele löikevoolu skaalat.
4. Määrata rele omatarve sõltuvalt releed läbivast voolust $S = f(I)$ kahe rakendusnimivoolu väärtuse puhul.

C. Tulemuste töötlemine

1. Konstrueerida katseandmete põhjal karakteristikud kõigi p. B loetletud juhtude kohta.
2. Võrrelda katsetulemuste põhjal saadud karakteristikuid releede nimikarakteristikutega.
3. Teha kriitiline kokkuvõtte kogu laboratoorse töö tulemustest.

Metoodilisi juhtnööre

1. Rakendusvoolu veakõvera saame leida valemi

$$\Delta = \frac{I_{rak} - I_{rakn}}{I_{rakn}} \quad \text{või} \quad \Delta = \frac{U_{rak} - U_{rakn}}{U_{rakn}}$$

abil. Veakõvera või tagastusteguri määramiseks mõõta tegelikud rakendus- ja tagastusvoolud kõigi relee skaalale kantud nimirakendusvoolude puhul. Voolu sujuvaks suurendamiseks või vähendamiseks kasutada autotrafot ja ballasttakistust. Rakendamisindikaatorina kasutada signaallampi. Mõõtmisi on sobivam teha mähiste järjestikühenduse korral.

2. Elektromagnetilise relee omatarbe määramiseks mõõta relee näivtakistus voltampermeetri meetodil mähiste järjestikühenduse korral. Teha kindlaks, kas näivtakistus sõltub ankrude asendist ja releed läbivast voolust.

3. Induktsioonrelee näivtakistus määrata voltampermeetri meetodil minimaalse nimirakendusvoolu korral niihästi rakendunud kui ka rakendamata olukorras. Teiste nimirakendusvoolude korral võib oletada, et relee takistus on pöördvõrdeline nimirakendusvooluga, sest rakendusvoolu reguleerimine toimub mähise keerdude arvu muutmise abil.

4. Elektromagnetilise relee rakendamisaja mõõtmine on oluline voolude puhul $(1 - 3)I_{rakn}$; rakendusaja suure hajuvuse tõttu tuleb iga voolu puhul teha vähemalt 5 ajalugemist ja määrata keskmine täpsusega 0,01 s. Induktsioonrelee rakendamisaja mõõtmisel võib piirduda 2 lugemiga iga voolu korral.

5. Enne rakendamisaja mõõtmist tuleb mõõdetavas ahelas vool reguleerida.

6. Induktsioonrelee "lõikeks" nimetatakse elektromagnetilise mehhanismi rakendumist ilma viiteta (saavutatakse elektromagnetilise mehhanismi õhupilu vähendamisega reguleerimiskruvi abil).

7. Kui releede katsetamisel vool ahelas ületab autotrafole lubatu, tuleb kasutada vahetrafot. Vastasel korral võib autotrafo mähis üle kuumeneda.

8. Releesid katsetatagu normaalses (vertikaalses) asendis. Vastasel korral võib tekkida väga suur mõõtmisviga.

9. Elektromagnetilise relee katsetamisel on otstarbekas aegu mõõta millisekundomeetri abil.

T ö ö nr. 8

KONTAKTORITE KATSETAMINE

Töö ülesanne

A. Ettevalmistav osa

1. Tutvuda kontaktorite konstruktsiooniga ja nimiaandmetega.
2. Koostada katsete läbiviimiseks üksikasjaline lülitusskeem, valides vajalikud lülituselemendid ja mõõteriistad.

B. Katseline osa

1. Määrata sisselülituspoolide parameetrid (takistus, keerdude arv), magnetahela ja liikuvate osade mõõtmed.
2. Määrata vedrude poolt tekitatud kontaktori vastujõude karakteristik sõltuvalt õhupilu suurusest $f_v = f(\delta)$.
3. Määrata elektromagnetiliste mehhanismide tõmbekarakteristikud sõltuvalt õhupilu suurusest kahel pooli toitepingel: $U = U_n$ ja $U = 0,8U_n$.
4. Määrata kontaktorite rakendusaja ja tagastusaja sõltuvus tõmbepoolidele rakendatavast pingest $t_{rak} = f(U)$ ja $t_{tag} = f(U)$.
5. Määrata kontaktorite tagastustegurid.
6. Vahelduvvoolukontaktorit toita alalisvooluvõrgust pingega 220 V, kasutades selleks lisa- ja säästakisteid.
7. Uurida kontaktori rakendusaja muutumist hoiðepooli üleminekul vahelduvvoolutoitelt alalisvoolutoitele, leida mõlema juhu jaoks karakteristikud $t_{rak} = f(U)$.

C. Tulemuste töötlemine

1. Arvutada p. B 1 leitud suuruste abil kontaktori teoreetiline tõmbekarakteristik. Võrrelda seda katsel saaduga. Anda lahkuminekute analüüs.

2. Analüüsida p. B 2 ja B 3 saadud tulemuste põhjal kontaktori omadusi. Leida kontaktidele mõjuv jõud.

3. Võrrelda alalis- ja vahelduvvoolukontaktorit omavahel, selgitada säästlülituse efekt.

4. Konstrueerida karakteristikud kõigi p. B 2, 3, 4, 6 loetletud juhtumite kohta.

5. Võrrelda katsetulemusi kataloogide andmetega ja anda lahkuminekute analüüs.

6. Anda hinnang kontaktoritele.

Metoodilisi juhtnöõre

1. Kontaktorite konstruktsiooniga tutvumisel pöörata erilist tähelepanu kontaktidele ja kustutuskambrile. Aruandes anda kontaktisõlme põhimõtteline joonis.

2. Lisa- ja säästtakistite arvutamisel tuleb lähtuda järgmistest tingimustest:

a) käivitusvool alalisvoolutoitel ei tohi ületada käivitusvoolu vahelduvvoolutoitel;

b) hoidevool alalisvoolutoitel ei tohi ületada hoidevoolu vahelduvvoolutoitel;

c) pinge langemisel 20% võrra alalisvoolutoitel ei tohi kontaktor tagastuda (ka mitte vibratsioonide olemasolul kontaktori kinnituskohdades).

Käivitus- ja hoidevool vahelduvvoolutoitel määrata eksperimentaalselt.

KASUTATUD JA SOOVITATAV KIRJANDUS

1. А.Я. Буйлов. Основы электроаппаратостроения, Госэнергоиздат, 1966.
2. М.А. Бабиков. Электрические аппараты, ч. I, Госэнергоиздат, 1951.
3. В.В. Усов. Металловедение электрических контактов, Госэнергоиздат, 1963.
4. Г.Б. Холявский. Расчет электродинамических усилий в электрических аппаратах, Госэнергоиздат, 1962.
5. А.В. Гордон и А.Г. Сливинская. Электромагниты постоянного тока, Госэнергоиздат, 1960.
6. Б.К. Буль. Основы теории и расчета магнитных цепей, "Энергия", 1964.
7. О.Б. Брон. Электрическая дуга в аппаратах управления, Госэнергоиздат, 1954.
8. И.С. Таев. Электрическая дуга в аппаратах низкого напряжения, "Энергия", 1965.

Heaks kiidetud kateedri koosolekul 28.V 66.

Hind 10 kop.

A-28416

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00411465 0