

TALLINNA POLÜTEHNILINE INSTITUUT
Elektrotehnika aluste kateeder

ELEKTROTEHNIKA TEOREETILISED ALUSED
Laboratoorse tööde juhend

Tallinn - 1983

Heaks kiidetud TPI nõukogus 17. märtsil 1981,
protokoll nr. 9

Таллинский политехнический институт
Кафедра основ электротехники
Теоретические основы электротехники
Лабораторные работы
Составители Х. Янес, А. Кильк, Л. Валдур, Т. Веске
На эстонском языке

Koostajad H. Jänes, A. Kilk, L. Valdur, T. Veske

Kordustrükk

Vastutav toimetaja E. Külm

Trükkida antud 22. VI 1982

Formaat 60x84/16

Trükipg. 7,25

Tingtrükipg. 6,74

Tiraaaz 800

TPI rotaprint, Tallinn, Koskla 2/9

Tell. 343

T a s u t a

ISBN 9789949483051 (pdf)














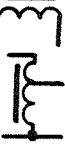






























S i s u k o r d

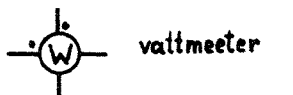
I.	Üldmetoodilised juhendid	5
	1-1. Skeemidel kasutatavaid tingmärke	5
	1-2. Mõõteriistade kasutamisest	7
	1-3. Lülituse koostamisest	15
II.	Laboratoorsete tööde ülesanded	16
	Töö nr. 1. Alalisvoolu-hargahel	16
	Töö nr. 2. Alalisvoolu-aktiivkaksklemm	20
	Töö nr. 3. Vahelduvvoolu-jadaahel	23
	Töö nr. 4. Vahelduvvoolu-hargahel	26
	Töö nr. 5. Resonantsahel	29
	Töö nr. 6. Vastastikune induktiivsus	31
	Töö nr. 7. Lineaarne transformaator	35
	Töö nr. 8. Kolmefaasiline mittesümmeetriline ahel tähtühenduses	39
	Töö nr. 9. Kolmefaasiline mittesümmeetriline ahel kolmnurkühenduses	41
	Töö nr. 10. Pinge ja voolu päri- ja vastujärgnevus- komponendid	44
	Töö nr. 11. Pinge ja voolu nulljärgnevuskompo- nendid	47
	Töö nr. 12. Vahelduvvoolu-neliklemm	50
	Töö nr. 13. Madal- ja kõrgepääsfiltrid	52
	Töö nr. 14. Harmooniliste analüsaator	57
	Töö nr. 15. Lineaarne ahel mittesinuseliste pin- gete ja voolude puhul	62
	Töö nr. 16. Lineaarse jadaahela lülitamine alalis- pinge puhul	66
	Töö nr. 17. Homogeenne liin	70
	Töö nr. 18. Mittelineaarne alalisvooluahel	73
	Töö nr. 19. Magnetahel	76
	Töö nr. 20. Magnetahel permanentmagnetiga	81
	Töö nr. 21. Ferromagnetilise südamikuga pooli ja kondensaatori jadaühendus	84
	Töö nr. 22. Ferromagnetilise südamikuga pooli ja kondensaatori rööpühendus	89

Töö nr. 23.	Sageduse kolmekordistamine küllastatud ühefaasiliste transformatorite abil	94
Töö nr. 24.	Ferromagnetiline sageduskahekordisti	97
Töö nr. 25.	Magnetvõimendi	100
Töö nr. 26.	Iseergutuv generaator	103
Töö nr. 27.	Elektrostaatiliste induksioonitegurite ja osamahtuvuste määramine . . .	107
Töö nr. 28.	Kahejuhtmelise liini elektivälja modelleerimine elektrolüütilises vannis	111
Töö nr. 29.	Elektromagnetilised nähtused ferromagnetilisest materjalist magnetahela uurdesse paigutatud massivjuhtmetes .	114
III.	Kirjandus	116

I. ÜLDMETOODILISED JUHENDID

1-1 Skeemidel kasutatavaid tingimärke

	juhe ahela põhiühendustes		mittelineaarne takisti
	juhe ahela abiühendustes		kondensaator
	juhtmete ristumine elektrilise ühendusega		reguleeritav kondensaator
	juhtmete elektriline ühendus (sõlm)		induktiivpool
	seadme klemm		ferromagnetilise südamikuga induk- tiivpool
	mehaaniline sidestus		ferromagnetilise süda- mikuga trafo, pingetrafo
	seadmete, seadiste eraldusjoon		reguleeritav autotrafo
	pistik; kontaktjuhe		ferromagnetilise süda- mikuga kolme faasilise trafo Y/Δ lülituses
	alalispinge polaarsus		pingeallikas
	siinuspinge (töösissagedus)		voolu allikas
	siinuspinge (helisagedus)		seade, seadis (üldtähtis)
	siinuspinge (kõrgsagedus)		generaator
	pingeallikas		muundur
	voolu allikas		reguleeritav faasinihuti
	seade, seadis (üldtähtis)		kaksklemm; takisti
	generaator		reguleeritav takisti
	muundur		reguleeritav takisti (potentsiomeeter)
	reguleeritav faasinihuti		mähis ferromagneti- lisel südamikul
	kaksklemm; takisti		ventiil
	reguleeritav takisti		ampermeeter
	reguleeritav takisti (potentsiomeeter)		voltmeeter
			magneetelektriline voltmeeter
			sagedusmõõtur



vattmeeter



oommeeter



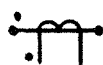
galvanomeeter



ostsilloskoop



faasijärjestusnäituri
kontaktjuhtmetega



voolutrafo



ühepooluseline
lülititi (kontakt)

1-2. Mõõteriistade kasutamisest

Elektrotehnika teoreetiliste aluste laboratoorsete tööde juures kasutatakse magnetelektrilise (skaalal toodud süsteemi märk \square), elektromagnetilise (\otimes) ja elektrodünaamilise (\oplus) mõõtemehhanismiga mõõteriistu.

Magnetelektrilisi mõõteriistu kasutatakse alalisvoolu ja -pinge, perioodilise vahelduvvoolu ja -pinge keskväärtnuse ning koos muundus- või võimendusseadmetega ka vahelduvpinge ja -voolu mõõtmiseks. Magnetelektrilised mõõteriistad võimaldavad määrata nii alalispinge ja -voolu suurust kui ka suunda. Üks mõõteriista klemmidest on tähistatud märgiga "-" (miinus) või märgiga "+" (pluss). Teine klemm on siis kas "+" või "-", mida sageli juurde ei märgita. Kui alalisvoolu mõõtmisel ampermeetri osuti kaldub nullasendist paremale, siis voolu suund on ampermeetri sees "+-klemmilt "-klemmile. Kui ampermeetri osuti kaldub vasakule, siis on voolu suund selles harus "-klemmilt "+klemmile. Viimasel juhul, kui skaalal on nullasend vasakus ääres, tuleb näidu saamiseks juhtmed klemmidel vahetada. Kui mõõtmisel ampermeetriga määratud tegelik voolu suund ühtib voolu positiivse (arvutusliku) suunaga, märgitakse osuti hälve (vool) positiivse suurusega ("+"-märki tavaliselt ei kirjutata). Vasutpidisel juhul märgitakse hälve (vool) negatiivse suurusega.

Alalispinge U_{ab} mõõtmisel tuleb voltmeetri "+-klemm ühendada lülituse punktiga a ja "-klemm punktiga b. Kui voltmeetri osuti kaldub nullasendist paremale, on pinge $U_{ab} > 0$ ja mõõtetulemuste tabelisse märgitakse osuti hälve (pinge) positiivsena. Kui osuti kaldub vasakule, on $U_{ab} < 0$. Kui skaalal on nullasend vasakpoolses ääres, tuleb viimasel juhul näidu saamiseks pinge $U_{ab} < 0$ mõõtmisel voltmeetri "-klemm ühendada punktiga a ja "+-klemm punktiga b ning mõõtetulemuste tabelisse kirjutada osuti hälve negatiivsena. Sel juhul mõõdetakse $U_{ba} = -U_{ab}$.

Elektromagnetilised mõõteriistad näitavad mõõdetava voolu või pinge efektiivväärtust. Neid mõõteriistu kasutatakse tavaliselt vahelduvvoolu ja -pinge mõõtmiseks 50-Hz sagedusel ning ka alalispinge ja -voolu mõõtmiseks. Erinevalt magnetotelektreerilistest riistadest ei võimalda nad määrata pinget ja voolu suunda.

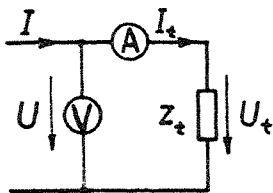
Amper- ja voltmeetrid on valmistatud ühe või mitme mõõtepiirkonnaga. Ampermeetri mõõtepiirkonna määrab nimivool I_n , voltmeetri mõõtepiirkonna - nimipinge U_n , millele vastab osuti nimihälve α_n . Nimipinge ja -vool on märgitud mõõteriista klemmi või ümberlüüti juurde.

Elektromagnetiliste voltmeetrise aktiivtakistus r_v on tavaliselt märgitud skaalale, reaktiivtakistus on väga väike võrreldes aktiivtakistusega. Magnetotelektreerilise voltmeetri takistus r_v on arvutatav nimipingel U_n mähist läbiva voolu I_v abil seosega $r_v = \frac{U_n}{I_v}$. I_v suurus on toodud mõõteriista skaalal.

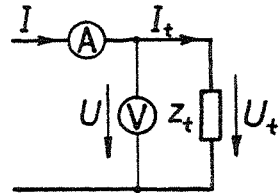
Elektromagnetiliste ampermeetrise aktiivtakistus r_A ja induktiivsus L_A on tavaliselt märgitud skaalale. Magnetotelektreeriliste ampermeetrise takistus on arvutatav nimivoolu I_n juures ampermeetri klemmipinge U_A abil seosega $r_A = \frac{U_A}{I_n}$. Klemmipinge U_A suurus on toodud mõõteriista skaalal.

Volt- ja ampermeetriga mõõtmisel tuleb arvestada, et neil on nullist erinev sisejuhtivus ja -takistus, mistõttu nende lülitamisel ahelasse selle režiim muutub ja mõõtmisel tekivad vead. Seetõttu tuleb mõõteriistad lülitada ahelasse nii, et mõõtevead oleksid minimaalsed.

Näiteks kaksklemmi Z_t voolu I_t ja pinget U_t mõõtmine on võimalik joonistel 1 ja 2 toodud skeemide kohaselt. Jooni



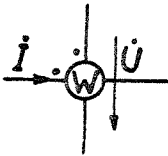
Joonis 1



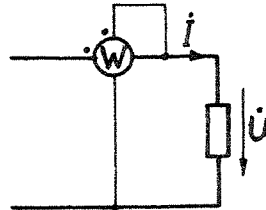
Joonis 2

sel 1 toodud skeemi tuleb kasutada siis, kui kaksklemmi näivtakistus on tunduvalt suurem ampermeetri sisetakistusest, s.o. $Z_t \gg |r_A + j\omega L_A|$. Sel juhul võib kaksklemmi pinget U_t lugeda praktiliselt võrdseks voltmeetri näiduga U . Joonisel 2 toodud skeemi tuleb kasutada siis, kui ampermeetri sisetakistus on samas suurusjärgus kaksklemmi näivtakistusega ja voltmeetri sisetakistus on tunduvalt suurem kui kaksklemmi näivtakistus, s.o. $r_V \gg Z_t$. Sel juhul võib kaksklemmi voolu I_t lugeda praktiliselt võrdseks ampermeetri vooluga I .

Elektrodünaamilistest mõõteriistadest kasutatakse laboratoorsete tööde tegemisel põhiliselt vattmeetri. Vattmeetril on kaks mõõtemähist: voolumähis (vooluharu), millest juhitakse läbi uuritava ahela mingi haru vool, ja pingemähis (pingeharu), millele rakendatakse uuritava ahela mingi pinget.



Joonis 3



Joonis 4

Voolu- ja pingemähise "algused" on tähistatud skeemil (joon. 3) märgiga ".". Joonisel toodud siinuspinge ja -voolu tähistuse ja suundade juures on vattmeetri näit $UI \cos(\psi_U - \psi_I) = UI \cos(\psi_U - \psi_I)$, kus U on pingemähise pinget efektiivväärtus, I on voolumähise voolu efektiivväärtus ning ψ_U ja ψ_I pinget ning voolu algfaasid, s.o. $U = U_e e^{j\psi_U}$ ja $I = I_e e^{j\psi_I}$.

Rõhutagem, et vattmeetri näit on arvutatav viimase seose abil juhul, kui pinget arvutuslik suund on märgitud klemmilt märkimata klemmi suunas ja voolu arvutuslik suund on selline, et ta siseneks märgitud klemmi (võib kasutada mõlemate, nii pinget kui ka voolu vastupidiseid arvutuslikke suundi).

Vattmeetri näidu avaldisest selgub, et teda on võimalik kasutada kaks клемmi tarvitava aktiivvõimsuse mõõtmiseks ja koos voltmeetri ning ampermeetriga mingi pinge ja voolu vahelise nurga koosinuse määramiseks.

Kui vattmeetri voolumähis läbib kaks клемmi vool I ja pingemähisel on kaks клемmi voolusuunaline pinge U (joon. 4), siis on vattmeetri näit eespool toodu alusel võrdne tarvitava aktiivvõimsusega

$$UI \cos(\psi_u - \psi_i) = UI \cos \varphi.$$

Positiivne tulemus näitab elektromagnetilise energia muundumist mõõdetavas kaks клемmis mõneks teiseks energialiigiks, mis väljub ahelast. Negatiivne tulemus näitab elektromagnetilise energia genereerimist mõõdetavas kaks клемmis. Negatiivse näidu lugemiseks skaalal tuleks muuta vattmeetri pingemähise pinge suunda. Selleks otstarbeks on vattmeetril pingemähise ümberlülititi, mille juurde on märgitud "+" ja "-" (võimsuse märk) või nooled energia liikumise suuna näitamiseks.

Vattmeetri abil mingi pinge $\dot{U}_{ab} = U_{ab} e^{j\psi_{ab}}$ ja voolu $\dot{I}_{cd} = I_{cd} e^{j\psi_{cd}}$ vahelise nurga koosinuse määramiseks on vaja mõõta pinget U_{ab} voltmeetriga ja voolu I_{cd} ampermeetriga, juhtida voolumähisest "algusest" "lõpu" suunas läbi vool I_{cd} ning rakendada pingemähisele pinge \dot{U}_{ab} , kusjuures skeemi punkt a tuleb ühendada pingemähise "algusega" ja b "lõpuga". Kuna vattmeetri näit on

$$P = U_{ab} \cdot I_{cd} \cdot \cos(\psi_{ab} - \psi_{cd}), \text{ siis } \cos(\psi_{ab} - \psi_{cd}) = \frac{P}{U_{ab} I_{cd}}.$$

Seejuures, ehkki saab määrata $\cos(\psi_{ab} - \psi_{cd})$ märgi, jääb leidmata $\psi_{ab} - \psi_{cd}$ märk, mis vajaduse korral tuleb määrata eraldi.

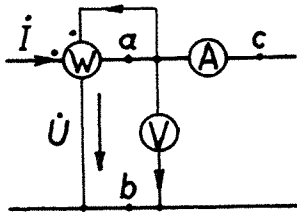
Pingemähise "algus" on märgitud mõõteriistal tähega U(E) või märgiga "**". Voolumähise "algus" on märgitud tähega I(J) või märgiga "**".

Pingemähisele rakendatav pinge ei tohi ületada mähise nimipinget U_n , mille suurus (suurused) on märgitud mähise "lõpu" клемmi (klemmide) juurde või pingemähise takistust

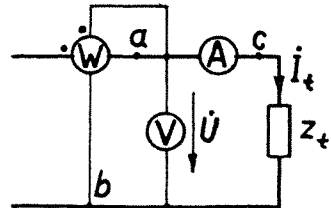
muutva ümberlülitati juurde. Voolumähist läbiv vool ei tohi ületada mähise nimivoolu I_n , mille suurus on märgitud mähise "lõpu" klemmi (klemmide) juurde.

Vattmeetri voolumähisega tuleb alati järjestikku ühendada ampermeeter ja pingemähisega rööbiti voltmeeter, et oleks võimalik kontrollida, kas mähiste vool ja pinge ei ületa lubatavaid nimisuurusi. See on vajalik, sest näiteks $\cos(\hat{U}\hat{I}) \ll 1$ juures võib mitmekordsete voolumähiste nimivoolu ja pingemähise nimipinge puhul vattmeeter läbi põleda, ilma et osuti häälve oleks märkimisväärne (vattmeetri näit on $UI\cos(\hat{U}\hat{I})$).

Pingemähise aktiivtakistus r_{wu} on märgitud skaalale või on arvatav nimipingel U_n pingemähist läbiva voolu I_{wu} abil seosega $r_{wu} = \frac{U_n}{I_{wu}}$. Voolu I_{wu} suurus on toodud skaalal. Reaktiivtakistus on mähisel tühine võrreldes aktiivtakistusega. Vooluharu aktiivtakistus r_{w1} ja induktiivsus L_{w1} on toodud mõõteriista skaalal.



Joonis 5



Joonis 6

Joonisel 5 toodud skeemil mõõdab vattmeeter punktidest a ja b paremal oleva ahela (joonisel ei ole ahel näidatud) aktiivvõimsust. Kui osuti kaldub nullasendist paremale ja ümberlülitati on tähisega "+" asendis või pingemähise ümberlülitati on ühes paremale osutava noolega asendis, siis $\cos(\hat{U}\hat{I}) > 0$ ($-90^\circ < \hat{U}\hat{I} < 90^\circ$) ning ahel punktide a ja b vahel on aktiivvõimsuse tarbija. Sel juhul kirjutatakse vattmeetri näit mõõtetulemuste tabelisse positiivse suurusena. Kui vattmeetri osuti kaldub nullasendist vasakule ($\cos(\hat{U}\hat{I}) < 0$), siis tuleb ümberlülitati lülitada asendisse "-" (miinus) või pingemähise ümberlülitati vasakule osutava noolega asendisse, et

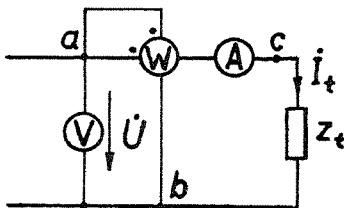
saada osuti kõrvalekallet paremale. Viimasel juhul kirjutatakse vattmeetri näit mõõtetulemuste tabelisse negatiivse sùrusena.

Kuna vattmeetri pinge- ja voolumõhistel on nullist erinev sisejuhtivus ja -takistus, muudab vattmeetri lùlitamine ahelasse viimase režiimi ning tekivad mõõtevead. Lihtsamatel juhtudel on võimalik neid mõõtevigu arvesse võtta. Vaatleme näitena joonistel 6 ja 7 toodud skeeme.

Joonisel 6 toodud skeemil on vattmeetri pingemõhis rööpühenduses tarbija haru ja voltmeetri haruga ning vattmeetri voolumõhist läbib nende harude summaarvool. Seetõttu mõõdab vattmeeter sõlmi a ja b ühendava kolme haru summaarset aktiivvõimsust P_{ab} . Et leida tarbija Z_t aktiivvõimsus P_{cb} , tuleb vattmeetri poolt mõõdetavast võimsusest P_{ab} lahutada vattmeetri pingemõhises, voltmeetris ja ampermeetris tarbitav aktiivvõimsus. Seega:

$$P_{cb} = P_{ab} - \frac{U^2}{r_{WU}} - \frac{U^2}{r_V} - I_t^2 r_A.$$

Joonisel 7 toodud skeemil läbib vattmeetri voolumõhist tarbija haru vool, seega mõõdab vattmeeter punktidest a ja b paremal oleva tarbija haru aktiivvõimsust P_{ab} . Et leida



Joonis 7

tarbija Z_t aktiivvõimsus P_{cb} , tuleb vattmeetri poolt mõõdetavast võimsusest P_{ab} lahutada vattmeetri voolumõhises ja ampermeetris tarbitav aktiivvõimsus

$$P_{cb} = P_{ab} - I_t^2 r_{WI} - I_t^2 r_A.$$

Selleks et ühe ja sama mõõteriistaga oleks võimalik mõõta mitmesuguseid pingeid (voltmeeter), voole (ampermeeter) ja mitmesuguste pingete ja voolude juures võimsusi (vattmeeter), valmistatakse mitme mõõtepiirkonnaga mõõteriistu või näebakse ette võimalus mõõtepiirkondade muutmiseks lisaseadmete abil. Seetõttu ei ole alati võimalik otse mõõteriista skaa-

lalt mõõdetavat suurust lugeda, vaid mõõteriista näitu skaalajaotistes, mis on võrdeline mõõdetava suurusega. M  detava suuruse leidmiseks tuleb m arata mõõteriista skaala  ne jaotise v artus ehk mõõteriista konstant, millega näitu korrutades saame mõõdetava tulemuse.

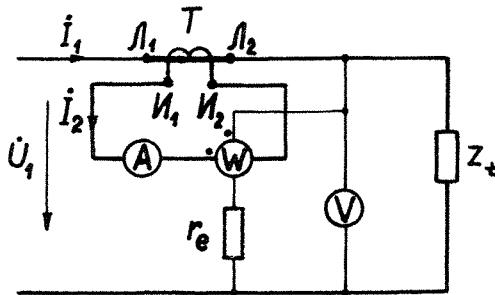
Amper- ja voltmeetritel m aratakse mõõteriista konstant valemitega

$$C_A = \frac{I_n}{\alpha_n} \left[\frac{A}{\text{jaotis}} \right], \quad C_V = \frac{U_n}{\alpha_n} \left[\frac{V}{\text{jaotis}} \right],$$

kus α_n - nimih bele vastav skaalajaotiste arv,

I_n ja U_n - ampermeetri nimivool ja voltmeetri nimipinge, mis on märgitud m  teriistadel.

Vahelduvvoolu mõõtmisel laiendatakse ampermeetri mõõtepiirkonda voolutransformaatori abil. Voolutransformaatori T (joon. 8) primaarmähise (klemmid Λ_1 ja Λ_2) keerdude arv ja nimivool I_{n1} on astmeliselt muudetavad ($I_{n1} = 0,5; 1; 2$ (või 2,5); 5; 10; 20; 50 A), mille juures sekundaarmähise (klemmid N_1 ja N_2) nimivool $I_{n2} = 5$ A. Voolutransformaatori  lekandegur $k_I = \frac{I_{n1}}{I_{n2}}$.



Joonis 8

Kui ampermeeter on ühendatud voolutransformaatori sekundaarhelasse (joon. 8), siis ampermeetri konstant

$$C'_A = \frac{I_n}{\alpha_n} \cdot k_I \left[\frac{A}{\text{jaotis}} \right].$$

Vattmeetri konstant m aratakse valemiga

$$C_W = \frac{I_n U_n \cos \varphi_n}{\alpha_n} \left[\frac{W}{\text{jaotis}} \right],$$

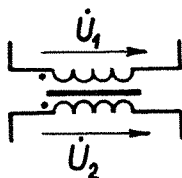
kus I_n - vattmeetri voolumähise nimivool,
 U_n - vattmeetri pingemähise nimipinge,
 α_n - nimihälbele vastav skaalajaotiste arv,
 $\cos \varphi_n$ - nimivõimsustegur (märgitakse vattmeetri skaalale,
 kui $\cos \varphi_n < 1$).

Kui ahela pinge U_1 (joon. 8) on suurem kui vattmeetri pingemähise nimipinge U_n , siis tuleb vattmeetri pingemähisega järjestikku ühendada spetsiaalne eeltakisti r_e . Kui ahela vool I_1 on suurem või tunduvalt väiksem kui vattmeetri voolumähise nimivool I_n , siis tuleb vattmeetri voolumähise ühendada ahelaga voolutransformaatori abil. Et vattmeetri pingemähisele langeb $\frac{r_{wu}}{r_{wu} + r_e}$ osa pingest U_1 ja voolumähist läbib $\frac{I_{n2}}{I_{n1}}$ osa ahela voolust I_1 , siis avaldub vattmeetri konstant C'_w ($\cos \varphi_n = 1$ puhul):

$$C'_w = \frac{I_n U_n}{\alpha_n} \cdot k_1 \cdot \frac{r_{wu} + r_e}{r_{wu}} \left[\frac{W}{\text{jaotus}} \right].$$

Voolutransformaatori kasutamisel tuleb meeles pidada, et vool I_1 on praktiliselt faasis vooluga I_2 .

Elektrotehnika teoreetiliste aluste mõnede laboratoorse te tööde juures kasutatakse pingetransformaatoreid (joon. 9).



Joonis 9

Kui pingetransformaatori primaarmähisele on rakendatud pinge \dot{U}_1 , siis sekundaarmähise klemmidel kujunev pinge $\dot{U}_2 = \dot{U}_1 \cdot \frac{1}{k_u}$, kus k_u on pingetransformaatori ülekandetegur $k_u = \frac{U_{n1}}{U_{n2}}$ ja U_{n1} ning U_{n2} on primaar- ja sekundaarmähise nimipinged. Seega on pingetransformaatori abil võimalik sekundaarmähise pinget muuta etteantud arvu kordselt ja kasutada trafot näiteks voltmeetri ja vattmeetri pingepiirkondade muutmiseks. Pingetransformaatorite mähiste samanimelised klemmid tähistatakse skeemidel punktiga ("."). Transformaatoritel on mähiste samanimelised klemmid tähistatud tähtedega "A" ja "a". Mähiste nimipinged on märgitud mähiste klemmide juurde.

1-3. Lülituse koostamisest

Lülituse koostamisel tuleb asetada skeemis näidatud mõõteriistad ja reguleeritavad objektid nii, et mõõteriistade skaalad oleksid hästi nähtavad ja reguleerimisorganid käepärast. Ahela toitepinget reguleeriv seade ja mõõtev voltmeeter asetsegu kõrvuti, et oleks hõlbus pinget reguleerides voltmeetri näitu jälgida. Lülituselemendid asetsegu võimaluse korral töölaual üksteise suhtes samas asendis nagu laboratoorse töö skeemil. See lihtsustab juhtmete ühendamist ja hiljem lülituse kontrollimist.

Kui kõik seadmed ja mõõteriistad on otstarbekohaselt töölauale asetatud, alustatakse juhtmete ühendamist. Esimeses järjekorras ühendatakse juhtmetega voluuharud (skeemidel joonestatud jämedama joonega), vältides juhtmete tarbetuid jadaühendusi. Teises järjekorras ühendatakse voltmeetrid, vattmeetri pingeharud, sagedusmõõturid jne. (skeemidel joonestatud peenema joonega) lülituse vajalike punktidega, kusjuures jälgitagu, et ühe klemmi alla ei viidaks üle 2 - 3 juhtmeotsta. Enne lülituse pingestamist kontrollida, kas mõõteriistade osutid on nullasendis. Vajaduse korral teha korrektori abil järeelreguleerimist.

Et vähendada mõõteriistade ülekoormust lülituse pingestamisel (pinge- ja volutõuked), tuleb võimaluse puhul eelnevalt ahela toitepinge reguleerida minimaalseks ja reostaatide takistus maksimaalseks. Mõõteriistade nimisuurused valida ümberlüliti abil maksimaalsed.

Selleks et suhteline mõõtmisviga oleks võimalikult väike, tuleb enne lugemite fikseerimist valida mõõteriistadele sellised mõõtepiirkonnad, et osutite hääbed oleksid võimalikult suuremad.

Lülitus peab vastama ohutustehnika nõuetele.

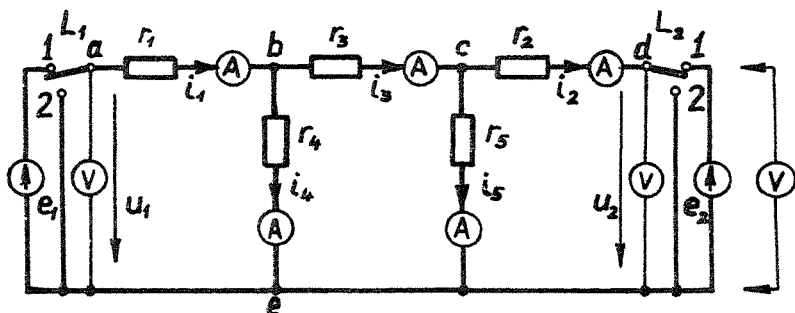
II. LABORATOORSETE TÖÖDE
ÜLESANDED

Töö nr. 1

ALALISVOOLU-HARGAHEL

Töö eesmärgiks on tunda õppida kahe energiaallikaga alalisvoolu-hargahelas kehtivaid seaduspärasusi.

1. Koostada ahel vastavalt joonisele 1-1 (vt. metoodilisi juhendeid p. 1).



Joonis 1-1

2. Mõõta ahela (joon. 1-1) voolud ja pinged lülitite L_1 ja L_2 järgmiste asendite puhul:

- L_1 asendis 1, L_2 asendis 2;
- L_1 asendis 2, L_2 asendis 1;
- L_1 asendis 1, L_2 asendis 1.

Mõõtmiste ajal hoida sisselülitatud pingesallikate pinged (U_1 lüliti L_1 asendis 1 ja U_2 lüliti L_2 asendis 1) juhendaja poolt etteantud väärtustel joonisel 1-3 näidatud reostaadi r abil.

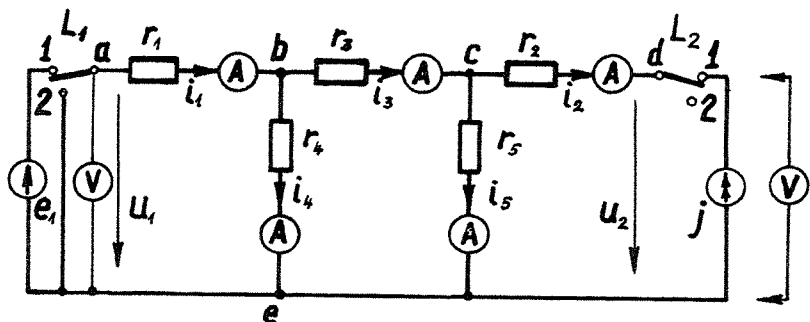
Mõõtetulemused vormistada tabeli 1-1 kujul (vt. metoodilisi juhendeid p. 2 ja 3).

3. Ahela (joon. 1-1) lülitite p. 2, c kohase asendi puhul reguleerida pinge U_1 väärtus selliseks, et ahela punktide b ja c potentsiaalid võrdsustuksid. Veenduda, et nende (või mistahes sama potentsiaaliga) punktide omavahelisel ühendamisel lisajuhtmega ahela režiim ei muutu.

4. Koostada ahel vastavalt joonisele 1-2 (vt. meetodilisi juhendeid p. 1).

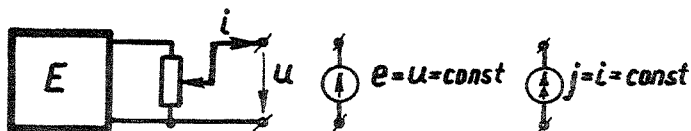
5. Mõõta ahela (joon. 1-2) voolud ja pinged lülitite L_1 ja L_2 järgmiste asendite puhul:

- d) L_1 asendis 1, L_2 asendis 2;
- e) L_1 asendis 2, L_2 asendis 1;
- f) L_1 asendis 1, L_2 asendis 1.



Joonis 1-2

Mõõtmiste ajal hoida sisselülitatud pingeallika pinge (U_1 lüliti L_1 asendis 1) ja vooluallika vool (i_2 lüliti L_2 asendis 1) etteantud väärtustel joonisel 1-3 näidatud reostaadi r abil.



Joonis 1-3

Mõõtetulemused vormistada tabeli 1-1 kujul (vt. metoodilisi juhendeid p. 2 ja 3).

6. Mõõta takistussillaga kõikide ahela harude takistite ja ampermeetrite summaarsed takistused r_1, r_2, r_3, r_4 ja r_5 . Pidada silmas, et enne mõõtmisi takistussillaga tuleb ahela energiaallikad välja lülitada.

7. P. 2 mõõtetulemuste alusel joonestada potentsiaal-diagrammid kontuurile a, b, c, d, e, a lülitite asendite a), b) ja c) puhul. (Ühe punkti potentsiaal võtta nulliks.) Kuidas rahuldavad p. 2 mõõtetulemused superpositsiooni ja vastastikuse printsiipe?

8. P. 5 mõõtetulemuste alusel joonestada potentsiaal-diagrammid kontuurile a, b, c, d, e, a lülitite asendite d), e) ja f) puhul. Kuidas rahuldavad p. 5 mõõtetulemused superpositsiooni printsiipi?

9. Võtta aluseks punktis 6 määratud takistused ja punktis 2 mõõdetud U_1 ja U_2 väärtused, arvutada joonise 1-1 põhjal lülitite asendi c) puhul ahela voolud superpositsioonimeetodiga. Esitada arvutuskeemid ja võrrelda arvutustulemusi punktis 2 mõõdetutega.

10. Võttes aluseks punktis 6 määratud takistused ja punktis 5 mõõdetud U_1 ja i_2 väärtused, arvutada joonise 1-2 põhjal lülitite asendi f) puhul ahela voolud superpositsioonimeetodiga. Esitada arvutuskeemid ja võrrelda arvutustulemusi punktis 5 mõõdetutega.

11. Anda töö tulemustele kriitiline hinnang.

Metoodilisi juhendeid

1. Joonistel 1-1 ja 1-2 näidatud pingeaallikad E_1 ja E_2 ning vooluallikas j koosnevad energiaallikast E (akupatarei, alaldi jne.) ning kolme klemmiga reostaadist r (joon. 1-3). Kui reostaadi r abil hoida etteantud väärtusel pinget U , siis töötab joonisel 1-3 toodud ahel sõltumatu pingeaallikana (E_1 ja E_2 joonistel 1-1 ja 1-2). Kui reostaadi r abil hoida etteantud väärtusel voolu i , siis töötab joonisel 1-3 toodud ahel sõltumatu vooluallikana (j joonisel 1-2). On loomulik, et joonisel 1-3 toodud skeemi abil

võib pinge- ja voolvõllikat modelleerida ainult teatud pii-
rides.

Tabel 1-1

Mõõdetav suurus			Joon.1-1			Joon.1-2		
			a	b	c	d	e	f
U ₁	α	jaot.						
	C	V/jaot						
	αC	V						
U ₂	α	jaot.						
	C	V/jaot						
	αC	V						
U _{ab}	α	jaot						
	C	V/jaot						
	αC	V						
I ₁	α	jaot						
	C	A/jaot						
	αC	A						
U _{bc}	α	jaot						
	C	V/jaot						
	αC	V						
I ₃	α	jaot.						
	C	A/jaot.						
	αC	A						
U _{ca}	α	jaot						
	C	V/jaot						
	αC	V						
I ₂	α	jaot						
	C	A/jaot						
	αC	A						
U _{be}	α	jaot.						
	C	V/jaot.						
	αC	V						
I ₄	α	jaot						
	C	A/jaot						
	αC	A						
U _{ce}	α	jaot						
	C	V/jaot						
	αC	V						
I ₅	α	jaot						
	C	A/jaot						
	αC	A						

2. Mõõtetulemuste tabelisse kanda voolud algebraliste suurustena, s.o. positiivse või negatiivse märgiga vastavalt skeemil näidatud leppelistele voolu positiivsetele suundadele.

3. Mõõtetulemuste tabelisse kanda pinged algebraliste suurustena, s.o. positiivse või negatiivse märgiga. Märgi määramisel on aluseks kas skeemil näidatud pinge leppeline positiivne suund või pinge tähises u_{xy} esinev indeksite järjekord.

Kirjandus.

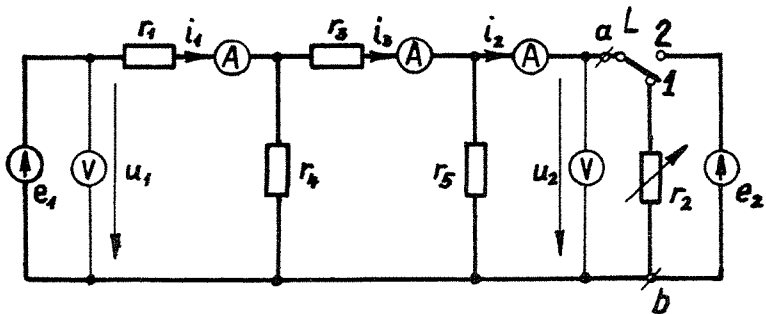
- [1], lk. 13-43;
- [2], lk. 6-43;
- [3], lk. 18-54;
- [8], lk. 100-125.

T ö ö nr. 2

ALALISVOOLU-AKTIIVKAKSKLEMM

Töö eesmärgiks on tundma õppida alalisvoolu-hargahelas kehtivaid seaduspärasusi tema ühe haru takistuse muutmisel.

1. Koostada ahel vastavalt joonisele 2-1 (vt. meetodilisi juhendeid tööle nr. 1, p. 1).



Joonis 2-1

2. Lüliti L (joon. 2-1) asendis 1 muuta r_2 väärtust 0-st ∞ -ni (ca 10 punkti). Mõõtmiste ajal hoida u_1 etteantud väärtusel. Mõõta u_1, u_2, i_1, i_2, i_3 . Katsetulemused esitada tabeli 2-1 kujul (vt. meetodilisi juhendeid tööle nr. 1, p. 2 ja 3).

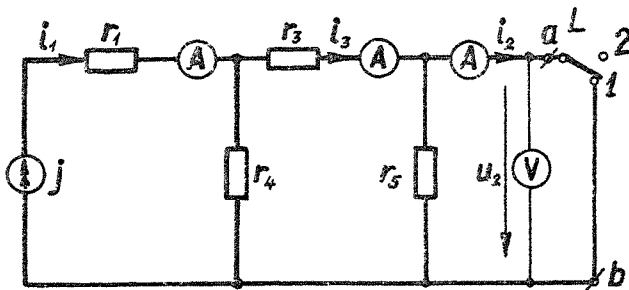
Tabel 2-1

u_1	α	Jaot.																		
	C	V/Jaot.																		
	αC	V																		
u_2	α	Jaot.																		
	C	V/Jaot.																		
	αC	V																		
i_1	α	Jaot.																		
	C	A/Jaot.																		
	αC	A																		
i_2	α	Jaot.																		
	C	A/Jaot.																		
	αC	A																		
i_3	α	Jaot.																		
	C	A/Jaot.																		
	αC	A																		
r_2		Ω	0																	∞

3. Lüliti L (joon. 2-1) asendis 2 reguleerida pingevali e_2 pingele u_2 mingile punktis 2 esinevale väärtusele. u_1 väärtus seejuures hoida sama nagu punktis 2. Mõlemad reguleerimised teha üheaegselt. Mõõta vastavad i_1, i_2 ja i_3 . Kuidas rahuldavad p. 2 ja 3 mõõtetulemused kompensatsiooniprintsiipi?

4. Koostada ahel vastavalt joonisele 2-2 (vt. meetodilisi juhendeid tööle nr. 1, p. 1).

5. Lüliti L (joon. 2-2) asendites 1 ja 2 mõõta pinget U_2 ning voolu i_1 ja i_2 . Mõõtmiste ajal hoida voolu i_1 juhendaja poolt etteantud väärtusel.



Joonis 2-2

6. Mõõta takistussillaga kõikide ahela harude takistite ja ampermeetrите summaarsed takistused r_1 , r_3 , r_4 ja r_5 . Siinjuures pidage silmas, et enne mõõtmisi takistussillaga tuleb ahela energiaallikad välja lülitada.

7. P. 2 mõõtetulemuste alusel arvutada tabelisse 2-1 r_2 väärtused. Joonestada graafikud $i_1(i_2)$, $i_3(i_2)$, $U_2(i_2)$. Graafikute alusel määrata kahe lineaarvõrrandi $U_2 = a + bi_2$ ja $i_1 = c + di_2$ kordajad a, b, c, d ning graafik $p_2 = U_2 i_2 = f(r_2)$, millelt määrata maksimaalne takisti r_2 võimsus p_{2max} ja sellele vastav takistus r_2' .

8. Asendada joonisele 2-1 vastav ahel klemmide a ja b suhtes (takisti r_2 suhtes) ekvivalentse generaatoriga. Ekvivalentse generaatori parameetrid r_g ja \mathcal{E}_g arvutada p. 2 tühijoosu ($r_2 = \infty$) ja lühise ($r_2 = 0$) katsetest. Joonestada ekvivalentse generaatori askeem.

9. Võttes aluseks punktis 6 mõõdetud takistused ja punktis 2 mõõdetud U_2 väärtuse, asendada ahel joonisel 2-1 klemmide a ja b suhtes ekvivalentse generaatoriga. Arvutada ekvivalentse generaatori r_g ja \mathcal{E}_g ning võrrelda saadud tulemusi punktis 8 määratutega.

10. Kasutades punktis 9 leitud ekvivalentse generaatori parameetreid ja asesseskeemi, leida seos $U_2(i_2)$, P_{2max} ja sellele vastav takistus r_2' . Võrrelda saadud tulemusi punktis 7 leitudega.

11. P. 5 mõõtetulemuste alusel asendada vooluallikaga ahel (joon. 2-2) klemmide a ja b suhtes ekvivalentse generaatoriga. Määrata r_g ja E_g ning joonestada asesseskeem.

12. Võttes aluseks punktis 6 mõõdetud takistused ja punktis 5 mõõdetud i_1 , asendada joonisel 2-2 esitatud ahel klemmide a ja b suhtes ekvivalentse generaatoriga. Võrrelda arvatud r_g ja E_g väärtusi punktis 5 leitudetega.

13. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang.

Kirjandus

- [1], lk. 13-48, 58-66;
- [2], lk. 6-43;
- [3], lk. 18-54;
- [8], lk. 100-125.

T ö ö nr. 3

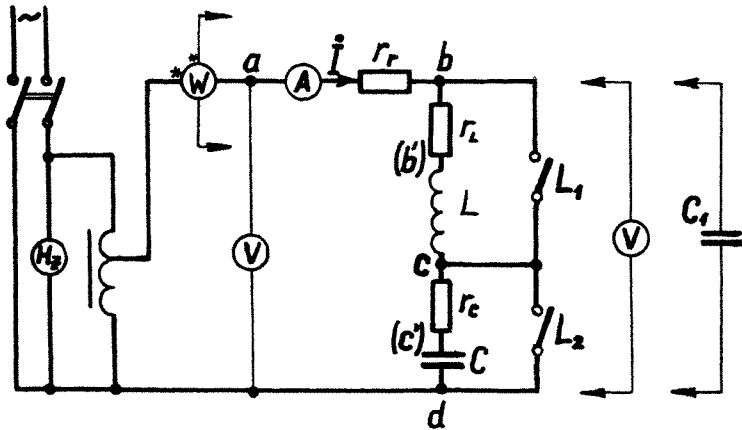
VAHELDUVVOOLU-JADAAHEL

Töö eesmärgiks on tundma õppida aktiiv-, induktiiv- ja mahtuvustakistust sisaldavas jadaahelas kehtivaid seaduspärasusi, võimsuse mõõtmist ja vektordiagrammide ning topograafiliste diagrammide (potentsiaalidiagrammide) koostamist kompleksasandil.

1. Koostada ahel vastavalt joonisele 3-1.

2. Mõõta sagedust f ning toitepinge konstantse efektiivväärtuse U_{ad} puhul pingeid U_{ad} , U_{ab} , U_{bc} ja U_{cd} , voolu I ning aktiivvõimsusi P_{ad} , P_{ab} , P_{bc} ja P_{cd} (vt. meetoodilisi juhendeid p. 2) lülitite L_1 ja L_2 järgmiste asendite puhul:

- a) L_1 avatud, L_2 suletud;
- b) L_1 suletud, L_2 avatud;
- c) L_1 ja L_2 avatud.



Joonis 3-1

Lülitite asendi c) puhul määrata täiendavalt ahela reaktiivtakistuse iseloom (mahtvuslik või induktiivne) väikese mahtvusega kondensaatori C_1 lülitamisega klemmidele bd.

3. Mõõta takistussillaga takistus r_r . Pidada silmas, et enne mõõtmist takistussillaga tuleb ahela toitepinge välja lülitada.

4. Punktis 2, a mõõdetud aktiivvõimsuste P_{ad} , P_{ab} , P_{bc} , sageduse f ning voolu I ja pinget U_{ad} alusel arvutada r_r , r_l ja L .

Joonestada punkti 2, a mõõtetulemuste vektordiagramm, mis sisaldaks voolu I ja pingeid U_{ad} , U_{ab} , U_{bc} ning pingeid induktiivpooli aktiiv- ja induktiivtakistusel $U_{b(b)}$ ja $U_{(b)c}$ (vt. meetodilisi juhendeid p. 3).

5. Punktis 4 joonestatud pingete vektordiagrammi, sageduse f ja punktis 3 mõõdetud r_r alusel arvutada r_l ja L . Võrrelda tulemusi punktis 4 arvatutega.

6. Punktis 2, b mõõdetud aktiivvõimsuste P_{ad} , P_{ab} , P_{cd} ja voolu I ja pinget U_{ad} alusel arvutada r_r , r_c ja C .

Joonestada p. 2, b mõõtetulemuste vektordiagramm, mis sisaldaks voolu I ja pingeid U_{ad} , U_{ab} , U_{cd} ning pingeid kondensaatori aktiiv- ja mahtvustakistusel $U_{c(c)}$ ja $U_{(c)d}$.

7. Punktis 6 joonestatud pingete vektordiagrammi, sageduse f ja punktis 3 mõõdetud r_r alusel arvutada r_c ja C . Võrrelda tulemusi punktis 6 arvutatutega.

8. Punktis 2,c mõõdetud aktiivvõimsuste $P_{ad}, P_{ab}, P_{bc}, P_{cd}$ ja voolu I ja pingete U_{bc}, U_{cd} alusel arvutada r_r, r_L, L, r_c ja C . Võrrelda tulemusi punktides 4, 5, 6 ja 7 arvutatutega.

Joonestada p. 2,c mõõtetulemuste vektordiagramm, mis sisaldaks voolu I ja pingeid $U_{ad}, U_{ab}, U_{bc}, U_{cd}$, pingeid induktiivpooli aktiiv- ja induktiivtakistustel $U_{b(b')}$ ja $U_{(b')c}$ ning kondensaatori aktiiv- ja mahtuvustakistusel $U_{c(c')}$ ja $U_{(c')d}$.

9. Punktis 8 joonestatud vektordiagrammi alusel joonestada ahela topograafiline diagramm (potentsiaalidiagramm) komplekstasandil lülitite L_1 ja L_2 avatud asendite puhul. Joonestamisel lugeda punkti d potentsiaal nulliks.

10. Joonestada siinuskõveraina punkti 8 vektordiagrammis olevad suurused $i, u_{ad}, u_{ab}, u_{bc}, u_{cd}$ ühtsesse graafikusse. Siinuskõverad peavad iseloomustama antud hetkväärtuste ajalist muutumist.

11. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang.

Metoodilisi juhendeid

1. Vattmeetriga mõõtmisel arvestatagu, et tema näit sõltub kolmest tegurist: $P_w = IU \cos(\psi_u - \psi_i)$. Järelikult ei saa vattmeetri näidu järgi otsustada tema mähise koormatuse üle. Võib näiteks juhtuda, et vattmeetri väikese näidu puhul on $\cos(\psi_u - \psi_i)$ väike, kuid samal ajal U ja I võivad ületada vattmeetri lubatud nimiväärtusi (mähised võivad rikneda). Seepärast tuleb vattmeetri voolumähisega järjestikku ühendatud ampermeetriga kontrollida, et voolumähise vool I ei ületaks lubatud nimiväärtust. Pingemähisega rööbiti ühendatud voltmeetriga kontrollitagu, et pingemähise pinge U ei ületaks lubatud nimiväärtust.

2. Võimsuse P_{xy} mõõtmisel ühendada vattmeetri pingemähise märgitud klemm esimesele indeksile vastava klemmiga x ja märkimata klemm teisele indeksile vastava klemmiga y .

3. Joonisel 3-1 ja tekstis on osa ahela punkte märgitud sulgudes, sest nad pole kättesaadavad reaalsel ahelal, vaid ainult aseskeemil.

Kirjandus

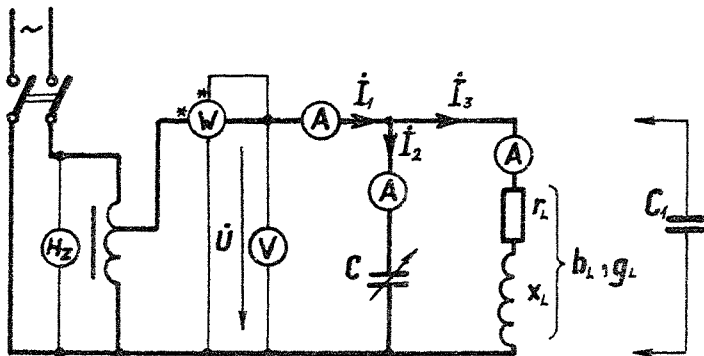
- [1], lk. 114-147;
- [2], lk. 105-134;
- [3], lk. 55-93;
- [6], lk. 155-194;
- [9], lk. 5-75.

Töö nr. 4

VAHELDUVVOOLU-HARGAHEL

Töö eesmärgiks on tundma õppida aktiiv-, induktiiv- ja mahtuvustakistusi sisaldavas hargahelas kehtivaid seaduspärasusi, faasinihke määramist vattmeetriga ja vektor- ning topograafiliste diagrammide (potentsiaalidiagrammide) koostamist kompleksstasandil.

1. Koostada ahel vastavalt joonisele 4-1.



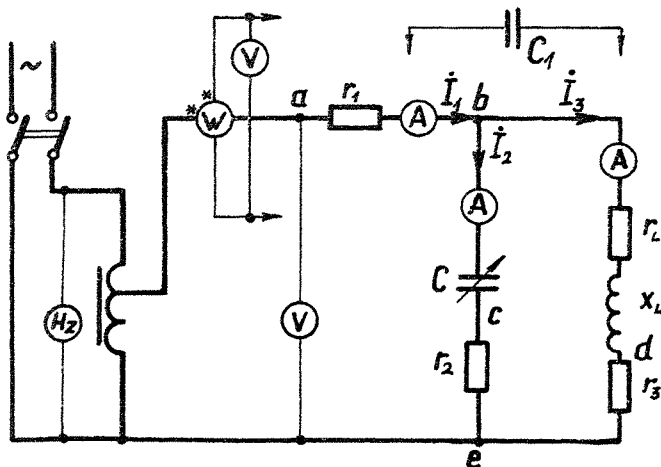
Joonis 4-1

2. Mõõta sagedust f ning, hoides konstantsena toitepinge efektiivväärtuse \bar{U} , ahela aktiivvõimsust P ja voolu I_1 , I_2 ning I_3 järgmistel juhtudel:

- a) ahel on induktiivse iseloomuga ($b_L > b_C$);
- b) ahel on mahtuvusliku iseloomuga ($b_C > b_L$);
- c) ahelas on resonants ($b_L = b_C$).

Juhtudel a) ja b) määrata ahela iseloom väikese mahtuvusega lisakondensaatori C_1 ühendamisega kondensaatori C klemmidele. Resonants ahelas (juhtum c)) määrata voolu I_1 miinimumi järgi.

3. Koostada ahel vastavalt joonisele 4-2.



Joonis 4-2

4. Konstantse toitepinge U_{ae} puhul mõõta ahelas (joon. 4-2) järgmised pinged ja määrata vattmeetri näidud: U_{ae} , P_{ae} , U_{ab} , P_{ab} , U_{bc} , P_{bc} , U_{bd} , P_{bd} , U_{ce} , P_{ce} , U_{de} , P_{de} ja U_{cd} . Mõõta samuti ahela voolud I_1 , I_2 ja I_3 . Määrata ahela reaktiivtakistuse iseloom väikese mahtuvusega lisakondensaatori C_1 lülitamisega klemmidele bc .

5. P. 2 mõttetulemuste alusel joonestada kõigile kolmele juhule (a, b ja c) vektordiagrammid, mis sisaldaksid pinget \dot{U} ja voole \dot{I}_1 , \dot{I}_2 ning \dot{I}_3 . Vektordiagrammide joonestamisel eeldada, et kondensaator on kaovaba.

6. P. 2 mõttetulemuste ja p. 5 vektordiagrammide alusel arvutada kõigile kolmele juhule (a, b ja c) rööpaseskeemi parameetrid g_1 , b_1 , b_c ning g ja b . Rööpaseskeemi parameetrite g ja b alusel arvutada vastavad jadaaseskeemi parameetrid r ja X .

7. P. 4 mõttetulemuste I_1 , I_2 , I_3 , U_{ae} , U_{ab} , U_{bc} , U_{bd} , U_{ce} ja U_{de} alusel joonestada esiteks voolude vektordiagramm ja viimase alusel täielik vektordiagramm, mis sisaldaks \dot{I}_1 , \dot{I}_2 , \dot{I}_3 , \dot{U}_{ae} , \dot{U}_{ab} , \dot{U}_{bc} , \dot{U}_{bd} , \dot{U}_{ce} ja \dot{U}_{de} . Mõõta vektordiagrammilt voolu \dot{I}_1 ja kõigi pingete vahelised nurgad.

8. P. 7 vektordiagrammi alusel joonestada ahela (joon. 4-2) topograafiline diagramm (potentsiaalidiagramm), millel märkida punktide a, b, c ja d komplekspotentsiaalid (punkti e potentsiaal lugeda nullika).

Määrata topograafiliselt diagrammilt pinge U_{cd} . Võrrelda viimast punktis 4 mõõdetuga.

9. Punktis 4 mõõdetud pingete ja vattmeetri näitude alusel arvutada voolu \dot{I}_1 ja kõigi pingete vahelised nurgad (vt. metoodilisi juhendeid). Võrrelda arvutatud nurki punktis 7 mõõdetutega.

10. Punkti 4 mõttetulemuste alusel arvutada ahela (joon. 4-2) aseskeemi parameetrid g , b ja y .

11. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang.

Metoodilisi juhendeid

Selleks et vattmeetri abil määrata nurka mingi pinge $\dot{U}_{ab} = U_{ab} \cdot e^{j\psi_{u_{ab}}}$ ja voolu $\dot{I}_k = I_k \cdot e^{j\psi_{i_k}}$ vahel, ühendatakse vattmeetri pingemähis pingele \dot{U}_{ab} (pingemähise märgitud klemm punktiga a) ja voolumähisest juhatakse läbi vool \dot{I}_k (nii et vool siseneks voolumähise märgitud klemmi). Et vattmeetri näit on $P_w = U_{ab} I_k \cos(\psi_{u_{ab}} - \psi_{i_k})$, võib teadaolevate P_w , U_{ab} ja I_k alusel leida $|\psi_{u_{ab}} - \psi_{i_k}|$. Seejuures

jääb aga määramatuks $(\psi_{u_{ab}} - \psi_{i_k})$ märk (kas "+" või "-"), sest $\cos(\psi_{u_{ab}} - \psi_{i_k}) = \cos[-(\psi_{u_{ab}} - \psi_{i_k})]$. $(\psi_{u_{ab}} - \psi_{i_k})$ märk määratakse mingite lisakaalutluste või katsete alusel.

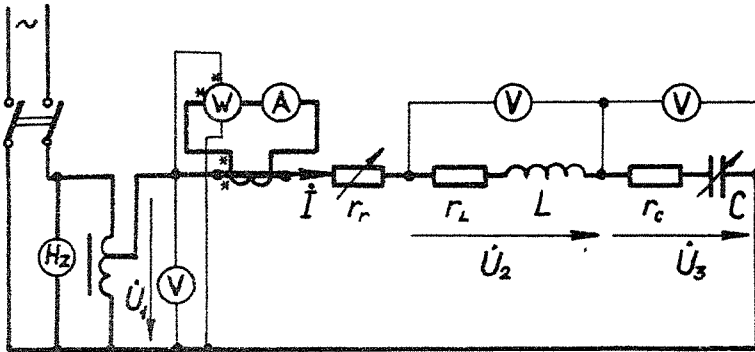
Kirjandus

- [1], lk. 114-147;
- [2], lk. 105-134;
- [3], lk. 55-93;
- [6], lk. 155-199;
- [9], lk. 5-82.

Töö nr. 5

RESONANTSAHEL

Töö eesmärgiks on tutvuda resonantsinähtustega r , L , C -jadaahelas. Resonantsinähtusi uuritakse käesolevas töös olenevalt kondensaatorpatarel mahtuvusest C ahela konstantse toitepinge efektiivväärtuse ja konstantse sageduse juures.



Joonis 5-1

1. Koostada ahel vastavalt joonisele 5-1. Laiades piriides muutuvat voolu mõõdetakse voolutransformaatoriga. Kondensaatoril ja induktiivpooli pingete mõõtmiseks kasutada väikeses kadudega voltmeetreid.

2. Mõõta konstantse toitepinge efektiivvaartuse U_1 ja sageduse f juures aktiivvõimsust P , induktiivpooli klemmpinget U_2 , kondensaatori klemmpinget U_3 ja voolu I sõltuvalt kondensaatorpatarei mahtuvusest C . Mõõtmistel fikseerida võimalikult täpselt P , U_2 , U_3 ja I maksimaalsed väärtused ja neile vastavad kondensaatorpatarei mahtuvused.

Mõõtmised teha reostaadi r_r kahe takistuse väärtuse juures.

3. Luges kondensaatori kaotakistuse r_c nulliks, arvutada mõõtmistulemustest kondensaatorpatarei mahtuvuse kasutatud väärtused (kondensaatorpatareile märgitud mahtuvuste väärtused on ligikaudsed ja nende kasutamine arvutustel, graafikute koostamisel jne. põhjustaks suuri vigu). Mõõdetud üldpinge U_1 , voolu I ja võimsuse P alusel arvutada $\varphi = \psi_4 - \psi_I$ iga kondensaatorpatarei kasutatud mahtuvuse juures.

4. Koostada graafikud $P = f_1(C)$, $\varphi = f_2(C)$, $U_2 = f_3(C)$, $U_3 = f_4(C)$ ja $I = f_5(C)$ reostaadi takistuse mõlemale väärtusele.

5. Luges kondensaatori kaotakistuse r_c nulliks, arvutada pooli induktiivsus L ja aktiivtakistus r_L ning reostaadi aktiivtakistus r_r resonantsolukorra mõõtetulemustest. Arvutused teha reostaadi takistuse mõlema väärtuse juures.

6. Selgitada teoreetiliselt alljärgnevad küsimused (vt. meetodilisi juhendeid).

a. Kas voolu maksimum ja induktiivpooli pinge maksimum esinevad samal mahtuvuse väärtusel?

b. Kumb maksimaalsetest väärtustest on suurem, kas pooli või kondensaatori pinge oma?

c. Millisel juhul on mõlemal pingemaksimumil võrdne väärtus?

d. Millisel juhul lõikab kondensaatori pingekõver pooli pingekõverat viimase maksimumväärtusel?

e. Millal esinevad voolu ning pooli ja kondensaatori pingemaksimumid sama mahtuvuse väärtuse juures?

7. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang. Võrrelda punkti 6 teoreetilisi tulemusi katseandmetega.

Metoodilisi juhendeid

Punkti 6 teoreetiliste küsimuste lahendamiseks võtame aluseks ahela joonisel 5-1 (jätame arvestamata kondensaatori kaotakistuse r_c). Seega lähtume avaldistest

$$I = \frac{U_1}{\sqrt{(r_r + r_L + r_c)^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}} ;$$

$$U_2 = I \sqrt{r_L^2 + (\omega L)^2} ; U_3 = I \sqrt{r_c^2 + (\frac{1}{\omega C})^2} .$$

Lugedes toodud avaldistes sõltumatuks muutujaks mahtuvuse C , määrame võrranditest $\frac{dI}{dC} = 0$; $\frac{dU_2}{dC} = 0$ ja $\frac{dU_3}{dC} = 0$ mahtuvuse väärtused, millele vastavad voolu maksimum, pooli pinge maksimum ja kondensaatori pinge maksimum. Asendades leitud mahtuvuse väärtused eespool toodud I , U_2 ja U_3 avaldistesse ning kõrvutades vastavaid avaldiseid, võime leida vastused punkti 6 küsimustele.

Kirjandus

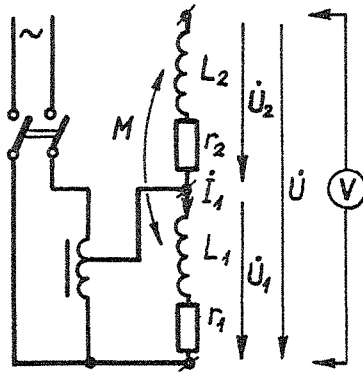
- [1], lk. 147-154;
- [2], lk. 135-143;
- [3], lk. 93-110;
- [6], lk. 241-263;
- [9], lk. 92-109.

T ö ö nr. 6

VASTASTIKUNE INDUKTIIVSUS

Töö eesmärgiks on tundma õppida induktiivselt sidestatud poolide jada- ja rööpühendust.

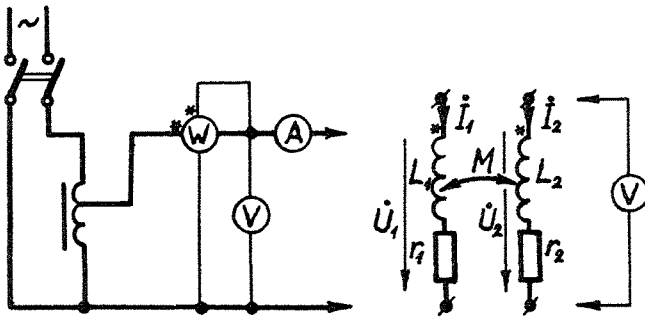
1. Koostada ahel vastavalt joonisele 6-1 induktiivpoolide r_1 , L_1 ja r_2 , L_2 märgitud (samanimeliste) klemmide määramiseks.



Joonis 6-1

Mõõta pingeid U_1 ja U_2 , mille alusel määrata poolide märgitud klemmid nii, et vastastikune induktiivsus M oleks positiivne ($M > 0$) (vt. meetodilisi juhendeid p. 1).

2. Koostada ahel vastavalt joonisele 6-2 poolide parameetrite ja vastastikuse induktiivsuse määramiseks.

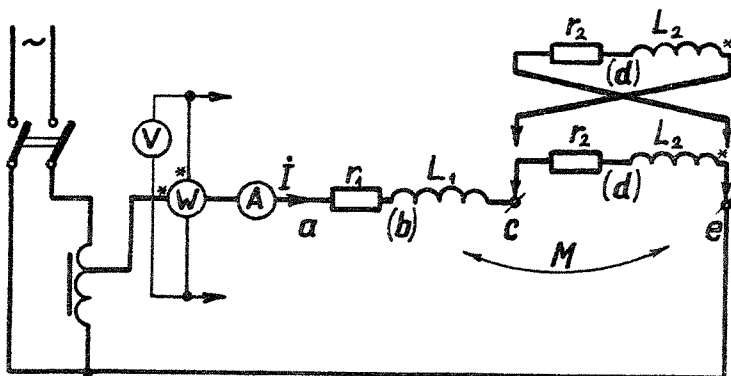


Joonis 6-2

3, a. Toites esimest pooli, mõõta toitepinget U_1 , voolu I_1 , võimsust P_1 ja indutseeritud pinget U_2 . b. Toites teist pooli, mõõta toitepinget U_2 , voolu I_2 , võimsust P_2 ja indutseeritud pinget U_1 .

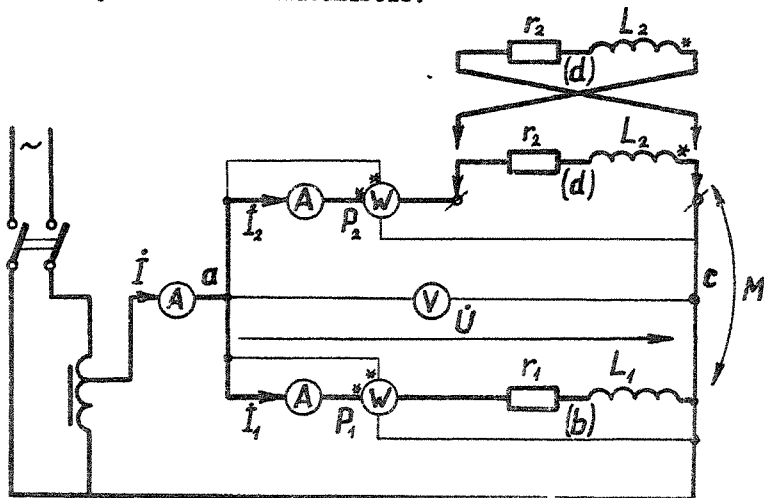
4. Koostada ahel vastavalt joonisele 6-3 poolide jadaühenduse parameetrite määramiseks.

5. Mõõta joonisel 6-3 toodud ahela voolu I , pingeid U_{ac} , U_{ce} , U_{ae} ning võimsusi P_{ac} , P_{ce} ja P_{ae} . Mõõta nii poolide päri- kui ka vastujadaühenduse puhul.



Joonis 6-3

6. Koostada ahel vastavalt joonisele 6-4 poolide rööpühenduse parameetrite määramiseks.



Joonis 6-4

7. Mõõta joonisel 6-4 toodud ahela voole \dot{I} , \dot{I}_1 , \dot{I}_2 , võimsusi P_1 ja P_2 ning pinget U . Mõõta nii poolide päri- kui ka vasturööpühenduse puhul.

8. P. 3 mõõtetulemustest arvutada induktiivpoolide parameetrid r_1 , r_2 , L_1 , L_2 ja vastastikune induktiivsus M . Leitud tulemuste alusel arvutada päri- ja vastujadaühenduse ekvivalentsed parameetrid r_p , L_p ja r_v , L_v ning päri- ja vasturööpühenduse ekvivalentsed parameetrid r'_p , L'_p ja r'_v , L'_v . Võrdluseks arvutada ka L'_p ja L'_v poolide aktiivtakistusi arvestamata.

9. Punkti 5 mõõtetulemustest arvutada päri- ja vastujadaühenduse ekvivalentsed parameetrid r_p , L_p ning r_v , L_v . Võrrelda tulemusi punktis 8 arvatutega.

10. Arvutada punkti 5 mõõtetulemustest voolu \dot{I} ja pingete \dot{U}_{ac} , \dot{U}_{ce} ning \dot{U}_{ae} vahelised nurgad ning joonestada vektordiagrammid, mis sisaldaksid voolu \dot{I} ja pingeid \dot{U}_{ac} , \dot{U}_{ce} , \dot{U}_{ae} , $\dot{I}r_1$, $\dot{I}j\omega L_1$, $\dot{I}r_2$, $\dot{I}j\omega L_2$, $\dot{I}j\omega M$. Vektordiagrammid joonestada nii päri- kui ka vastujadaühendusele.

11. Punkti 10 vektordiagrammide alusel joonestada joonisel 6-3 toodud ahela topograafilised diagrammid (potentsiaalidiagrammid), millel näidata punktide a, (b), c, (d) ja e komplekspotentsiaalid (punkti e potentsiaal lugeda nulliks). Diagrammid joonestada nii päri- kui ka vastujadaühendusele (vt. meetodilisi juhendeid p. 2).

12. P. 7 mõõtetulemustest arvutada päri- ja vasturööpühenduse ekvivalentsed parameetrid r'_p , L'_p ning r'_v , L'_v . Võrrelda tulemusi punktis 8 arvatutega.

13. Arvutada p. 7 mõõtetulemustest pinget \dot{U} ja voolude \dot{I} , \dot{I}_1 ning \dot{I}_2 vahelised nurgad ja joonestada vektordiagrammid, mis sisaldaksid voolu \dot{I} , \dot{I}_1 , \dot{I}_2 ja pingeid \dot{U} , $\dot{I}_1 r_1$, $\dot{I}_1 j\omega L_1$, $\dot{I}_2 r_2$, $\dot{I}_2 j\omega L_2$, $\dot{I}_1 j\omega M$, $\dot{I}_2 j\omega M$. Vektordiagrammid joonestada nii päri- kui ka vasturööpühendusele.

14. Punkti 13 vektordiagrammide alusel joonestada joonisel 6-4 toodud ahela topograafilised diagrammid (potentsiaalidiagrammid), millel näidata punktide a, (b), c ja (d) komplekspotentsiaalid (punkti c potentsiaal lugeda nulliks). Diagrammid joonestada nii päri- kui ka vasturööpühendusele (vt. meetodilisi juhendeid p. 2).

Topograafiliste diagrammide (või p. 13 vektordiagrammi-
de) abil selgitada, miks punktis 7 mõõdetud P_1 ei ühti
 $I_1^2 r_1$ -ga ja P_2 $I_2^2 r_2$ -ga.

15. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang.

Metoodilisi juhendeid

1. Joonisel 6-1 näidatud ahelale $\dot{U}_1 = \dot{I}_1 (r_1 + j\omega L_1)$,
 $\dot{U}_2 = \pm \dot{I}_1 j\omega M$ ja $\dot{U} = \dot{I}_1 (r_1 + j\omega L_1 \pm j\omega M)$. Kui poolidel on kok-
ku ühendatud märgitud klemmid (või märkimata klemmid), tuleb
avaldistes võtta märk "-" ja seega positiivse M puhul
($2L_1 > M > 0$) on $U < U_1$. Kui aga poolidel on kokku ühendatud
märgitud ja märkimata klemmid, tuleb avaldistes võtta märk
"+" ja positiivse M puhul on $U > U_1$.

2. Joonistel 6-3 ja 6-4 ning tekstis on osa ahela punkte
märgitud sulgudes, sest nad pole kättesaadavad reaalsel ahe-
lal, vaid ainult aseskeemil.

Kirjandus

- [1], lk. 154-159;
- [2], lk. 146-152;
- [3], lk. 110-120;
- [6], lk. 221-225;
- [9], lk. 83-88.

T ö ö nr. 7

LINEAARNE TRANSFORMAATOR

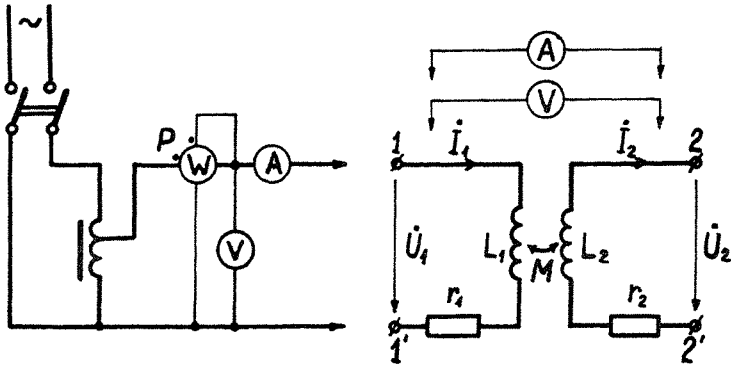
Töö eesmärgiks on tundma õppida lineaarset (õhksüdamiku-
ga) transformaatorit tühijooksul, lühisel ja koormusel.

1. Koostada ahel vastavalt joonisele 7-1 transformaatori
parameetrite määramiseks.

2. Mõõta ahelas jooniselt 7-1:

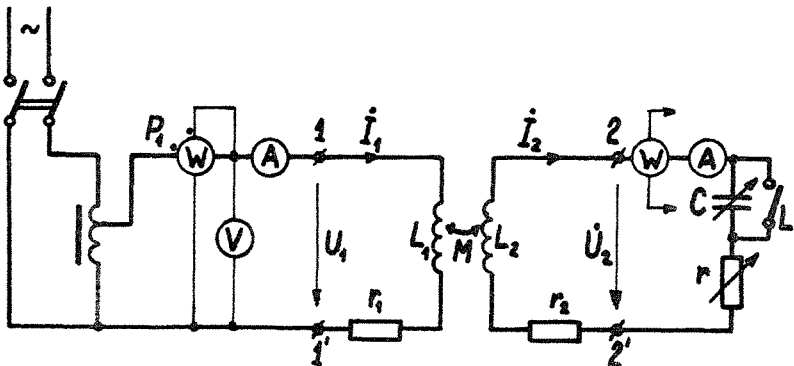
a) toite puhul klemmidelt 1-1' ja esiteks avatud ning
seejärel lühistatud klemmide 2-2' puhul pingeid U_1 ja U_2 ,
voole I_1 ja I_2 ning toitevõimsust P ;

b) toite puhul klemmidelt 2-2' ja avatud ning lühistatud klemmide 1-1' puhul pingeid U_1 ja U_2 , voole I_1 ja I_2 ning toitevõimsust P .



Joonis 7-1

3. Koostada ahel vastavalt joonisele 7-2 transformaatori katsetamiseks koormusel.



Joonis 7-2

4. Konstantse toitepinge efektiivväärtuse U_1 , etteantud koormustakistuse r (mõõta takistusillaga) ja lüliti L suletud asendi puhul mõõta pinged U_1 ja U_2 , voolud I_1 ja I_2 , aktiivvõimsus P_1 ja sekundaarpoole vattmeetri näidud P_{11}' ja P_{22}' (vt. metoodilisi juhendeid p. 1).

5. P. 2 mõõtetulemuste alusel arvutada laboratooriumis transformaatore kui neliklemmi parameeter $Z_{2\ell}$, mille alusel määrata C ja r väärtused, mis tagaksid konstantse toitepinge U_1 puhul koormuse r maksimaalse võimsuse (sobitunud koormusega olukord; vt. metoodilisi juhendeid p. 2). Lüliti L avatud asendi puhul reguleerida kondensaatorpatarei mahtuvus C ja koormustakistus r vastavaks arvutatutele. Mõõta pinged U_1 ja U_2 , voolud I_1 ja I_2 , võimsus P_1 ning sekundaarpoole vattmeetri võimsus $P_{22}' = P_2$. Veenduda, et C ja r muutmisel võimsus P_2 väheneb.

6. P. 2 mõõtetulemustest arvutada transformaatore kui neliklemmi kõik tühijooksu-lühise sisendtakistused Z_{10} , $Z_{1\ell}$, Z_{20} , $Z_{2\ell}$ (arvutati punktis 5) ning aseskeemi (joon. 7-1) parameetrid r_1 , L_1 , r_2 , L_2 ja M .

7. P. 2 mõõtetulemustest arvutada transformaatore kui neliklemmi "A" parameetrid. Kas transformaatore on pööratav ja sümmeetriline?

8. P. 4 mõõtetulemustest arvutada \dot{U}_1 ja \dot{I}_1 , \dot{U}_2 ja \dot{I}_2 , \dot{U}_1 ja \dot{I}_2 ning \dot{U}_2 ja \dot{I}_1 vahelised nurgad ja pinged $I_1 r_1$ ning $I_2 r_2$ (r_1 ja r_2 väärtused võtta punktist 6). Joonestada transformaatore vektordiagramm koormusel, mis sisaldagu pingeid \dot{U}_1 , $\dot{I}_1 r_1$, $\dot{I}_1 j\omega L_1$, $\dot{I}_2 j\omega M$, \dot{U}_2 , $\dot{I}_2 r_2$, $\dot{I}_2 j\omega L_2$, $\dot{I}_1 j\omega M$ ning voole \dot{I}_1 ja \dot{I}_2 .

9. Kasutades punktis 7 määratud transformaatore kui neliklemmi "A" parameetreid, arvutada teadaolevate \dot{U}_1 (\dot{U}_1 valida sama mis punktis 8 vektordiagrammil) ja r (mõõdeti punktis 4) alusel \dot{U}_2 ja \dot{I}_2 . Võrrelda arvutatud suurusi punkti 8 vektordiagrammi suurusetega.

10. Asendada transformaatore klemmide 2-2' suhtes ekvivalentse generaatoriga (leida \dot{E}_g ja Z_g). Asendamisel võtta \dot{U}_1 sama, mis punktis 5. Ekvivalentse generaator parameetrite ja punktis 5 arvutatud r ja C alusel arvutada koormuse maksi-

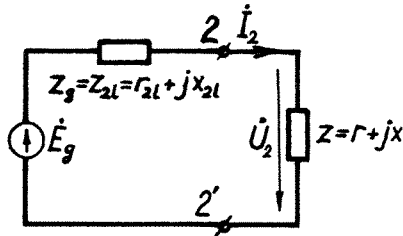
maalne aktiivvõimsus. Võrrelda tulemust punktis 5 mõõdetuga.

11. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang.

Metoodilisi juhendeid

1. Sekundaarpoole vattmeetri näidu P_{xy} määramiseks ühendatakse tema pingemähise märgitud klemm X -ga ja märkimata Y-ga.

2. Asendame transformatori konstantse toitepinge efektiivväärtuse U_1 puhul ekvivalentse generaatoriga (joon. 7-3), millel $\dot{E}_g = \dot{U}_2 |_{\dot{I}_2=0}$ ja $Z_g = Z_{2l} = r_{2l} + jx_{2l}$.



Joonis 7-3

Koormustakistuse aktiivvõimsus avaldub järgmiselt:

$$P_2 = I_2^2 r = \frac{E_g^2 r}{(r + r_{2l})^2 + (x + x_{2l})^2} . \text{ Kui lugeda } E_g, r_{2l} \text{ ja } x_{2l}$$

konstantseks, saavutab P_2 maksimumi, kui $x = -x_{2l}$ ja $r = r_{2l}$.

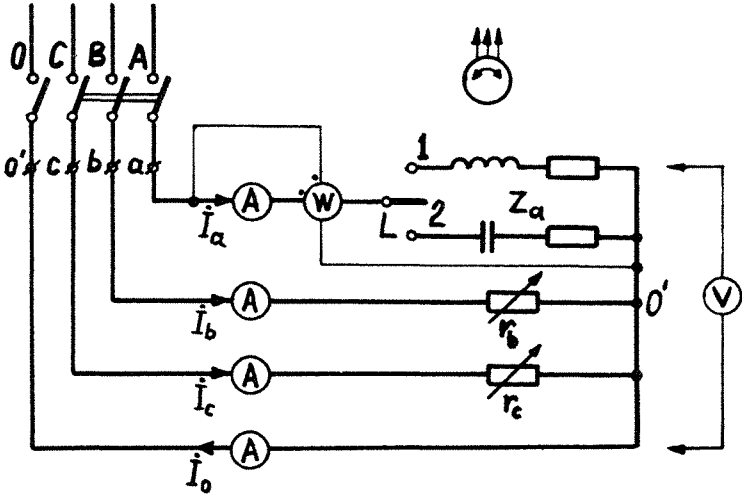
Kirjandus

- [1], lk. 164-167;
- [2], lk. 149-152;
- [3], lk. 120-125;
- [6], lk. 225-229;
- [9], lk. 88-91.

KOLMEFAASILINE MITTESÜMMEETRILINE AHEL TÄHTÜHENDUSES

Töö eesmärgiks on tutvuda kolmefaasilise mittesümmeetrilise tähtühenduses ahelaga kolme- ja neljajuhtmelise toite puhul ning tema kasutamise võimalusega faasijärjestusnäituri- na.

1. Koostada ahel vastavalt joonisele 8-1 kolmefaasilise tähtühenduses mittesümmeetrilise tarbijaga, mille ühes faasis on aktiiv- ja reaktiivtakistus (lülititi L asendis 1 - induktiivtakistus, asendis 2 - mahtvustakistus) ning ülejäänud kahe faasis võrdsed aktiivtakistused.



Joonis 8-1

Faasijärjestusnäituri abil määrata faasijärjestus toitekilbi klemmidel. Klemmid tähistada tähtedega A, B ja C (faasijärjestus ABC). Kui ühendada tarbija a-kleem A-ga, b-kleem B-ga ja c-kleem C-ga, kujuneb ka ahela toitepingete faasijär-

jestuseks abc , mis on võrdne eelmisega ($\dot{U}_{a0}, \dot{U}_{b0}, \dot{U}_{c0}$).

2. Mõõta ahela liinipingeid U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} , faasipingeid $U_{a0}, U_{b0}, U_{c0}, U_{a0'}, U_{b0'}, U_{c0'}$, nullpunktidevahelist pinget $U_{00'}$, liinivoolu (faasivoolu) I_a, I_b, I_c , nulljuhtme voolu I_0 ja reaktiivtakistust sisaldava faasi aktiivvõimsust P . Mõõta toite puhul nii kolmejuhtmelisest kui ka neljajuhtmelisest süsteemist ning lülitati L asendis 1 ja 2 (kokku neli erinevat mõõteseeriat).

3. Ühendades tarbija a-klemmi A-ga, b-klemmi C-ga ja c-klemmi B-ga, muuta ahela toitepingete faasijärjestus vastupidiseks, s.t. acb (U_{a0}, U_{c0}, U_{b0}). Korrata kõiki eelmise punkti mõõtmisi vastupidise faasijärjestuse juures.

4. Mõõtetulemustest arvutada tarbija faaside takistused Z_a, r_b ja r_c .

5. P. 2 mõõtetulemuste alusel joonestada voolude vektordiagrammid ja pingete topograafilised diagrammid (potentsiaalidiagrammid) kõigile mõõteseriatele. Voolude vektordiagrammil näidata voolud $\dot{I}_a, \dot{I}_b, \dot{I}_c$ ja \dot{I}_0 ning pingete topograafilisel diagrammil pinged $\dot{U}_{ab}, \dot{U}_{bc}, \dot{U}_{ca}, \dot{U}_{a0}, \dot{U}_{b0}, \dot{U}_{c0}, \dot{U}_{a0'}, \dot{U}_{b0'}, \dot{U}_{c0'}$ ja $\dot{U}_{00'}$. Diagrammid joonestada nii, et voolude vektordiagrammile vastav pingete topograafiline diagramm oleks esitatud samal komplekatasandil.

6. Joonestada eelmises punktis nõutud vektordiagrammid ja potentsiaalidiagrammid p. 3 mõõtetulemustele.

7. Arvutada analüütiliselt ahela voolud $\dot{I}_a, \dot{I}_b, \dot{I}_c$ kolmejuhtmelise toite puhul nii faasijärjestusele abc kui ka acb ja nii reaktiivtakistust sisaldava haru induktiivse kui ka mahtvusliku iseloomu juhtudel (kokku neli juhtu). Arvutuse aluseks võtta punktis 4 arvatud Z_a, r_b ja r_c ning punktides 5 ja 6 topograafilisele diagrammile kantud $\dot{U}_{a0}, \dot{U}_{b0}$ ja \dot{U}_{c0} . Arvatud vooluvektorid kanda p. 5 ja 6 katseandmete vektordiagrammidele. Võrrelda arvatud ja mõõdetud voole.

8. Anda juhend sümmeetrilise kolmefaasilise pingete süsteemi faasijärjestuse määramiseks tähtühenduses ahela abil, mille ühes faasis on induktiivne või mahtvuslik takistus ning kahes ülejäänud faasis võrdsed aktiivtakistused.

9. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang.

Kirjandus

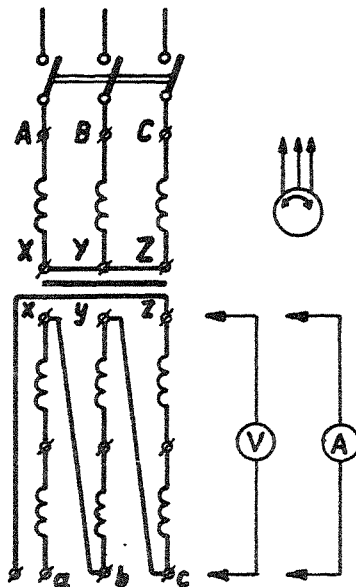
- [1], lk. 198-202;
- [2], lk. 180-188;
- [3], lk. 149-150;
- [6], lk. 269-272;
- [9], lk. 171-174.

T ö ö nr. 9

KOLMEFAASILINE MITTESÜMMEETRILINE AHEL KOLMNURKÜHENDUSES

Töö eesmärgiks on tutvuda kolmefaasilise mittesümmeetrilise ahelaga kolmnurkühenduses, kolmefaasilise transformaatoriga ja võimsuse mõõtmisega kolmefaasilises ahelas.

1. Tutvuda kasutatava kolmefaasilise transformaatori ehitusega - tema mähiste paigutuse, tähistuse ja skeemiga.



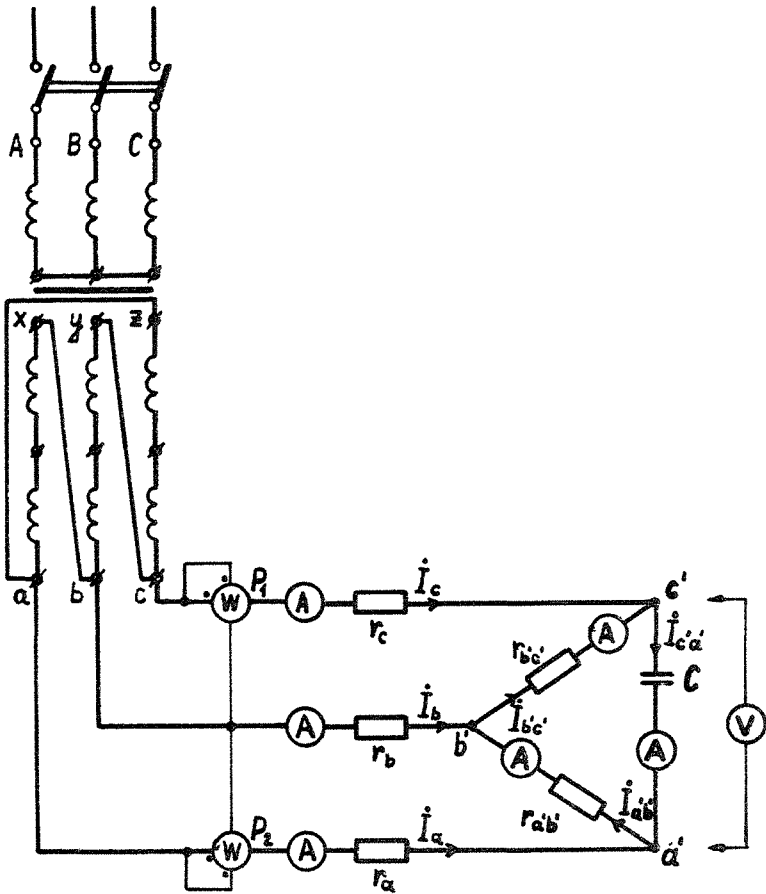
Joonis 9-1

2. Koostada lülitus vastavalt joonisele 9-1. Kontrollida faasijärjestusnäituri abil, kas toitepingete faasijärjestus ühtib transformaatori klemmide ABC järjestusega. Mittevastavuse korral teha lülituses muudatus.

Mõõta trafo sekundaarmähiste faasipingeid ning kahe ja kolme faasimähise summaarseid pingeid. Kui kolme faasimähise summaarne pinge, s.o. lahtise kolmnurga klemmipinge, on null, ühendada klemmid Z ja A ampermeetriga. Mõõta tekkitavat voolu.

3. Koostada lülitus mittesümmeetrilise kolmnurkühenduses tarbija toitmiseks kolme faasilist liini asendavate

reostaatide kaudu vastavalt joonisele 9-2.



Joonis 9-2

4. Mõõta pingeid "liini" alguses U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} , "liini" lõpus $U_{a'b'}, U_{b'c'}, U_{c'a'}$ ja pingelange "liinis" $U_{\alpha\alpha'}, U_{bb'}, U_{cc'}$, liinivoole I_a, I_b, I_c , tarbija faasivoole $I_{a'b'}, I_{b'c'}, I_{c'a'}$ ning võimsusi P_1 ja P_2 .

5. Mõõtetulemuste alusel joonestada samal kompleksstasandil ahela voolude vektordiagramm ja pingete topograafiline diagramm (potentsiaalidiagramm). Diagrammidel näidata voolud $I_a, I_b, I_c, I_{a'b'}, I_{b'c'}, I_{c'a'}$ ja pinged $U_{ab}, U_{bc}, U_{ca}, U_{a'b'}, U_{b'c'}, U_{c'a'}, U_{\alpha\alpha'}, U_{bb'}, U_{cc'}$. Diagrammide konstrueerimist alustada tarbija faasipingete ($U_{a'b'}, U_{b'c'}, U_{c'a'}$) koefnurga joonestamisega kolme külje järgi. Kondensaator C lugeda kaovabaks.

6. P. 5 diagrammidelt määrata vattmeetrite pinged ja voolud ning pingete ja voolude vahelised nurgad, mille alusel arvutada vattmeetrite näidud. Võrrelda arvutatud näite p. 4 mõõtetulemustega P_1 ja P_2 .

7. P. 4 mõõtetulemustest arvutada $r_a, r_b, r_c, r_{a'b'}, r_{b'c'}$ ja $\frac{1}{\omega C}$.

8. Võrrelda punktis 4 määratud vattmeetrite tulemuste summat $P_1 + P_2$ summaga $\sum I^2 r$.

9. Arvutada analüütiliselt ahela voolud. Arvutuse aluseks võtta p. 5 pingete topograafiliselt diagrammilt pinged U_{ab}, U_{bc}, U_{ca} ja punktis 8 arvutatud takistused. Võrrelda arvutatud voole punktis 4 mõõdetutega.

10. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang.

Kirjandus

- [1], lk. 192-193; 198-200;
- [2], lk. 180-183;
- [3], lk. 146, 149-151;
- [6], lk. 269-272;
- [9], lk. 171-174.

PINGE JA VOOLU PÄRI- JA VASTUJÄRGNEVUSKOMPONENDID

Töö eesmärgiks on tutvuda sümmeetrilise kolme faasilise nulljuhtmeta ahela voolude ja liinipingete päri- ja vastujärgnevuskomponentidega ja nende määramisega.

1. Arvutada joonisel 10-1 näidatud pinge päri- ja vastujärgnevuskomponentide filtrile haru summaarne aktiivtakistus $r_1 + r_{L1}$ ja kondensaatori mahtuvus C induktiivpooli teadaoleva reaktiivtakistuse X_{L1} alusel.

Arvutada joonisel 10-1 näidatud voolukomponentide filtrile induktiivpooliga haru summaarne aktiivtakistus $r_3 + r_{L2}$ ja filtri teise haru aktiivtakistus r_2 induktiivpooli teadaoleva reaktiivtakistuse X_{L2} alusel.

2. Koostada tähtühenduses tarbijat ja filtreid sisaldav lülitus vastavalt joonisele 10-1 liinipingete ja liinivoolude süsteemi päri- ja vastujärgnevuskomponentide mõõtmiseks.

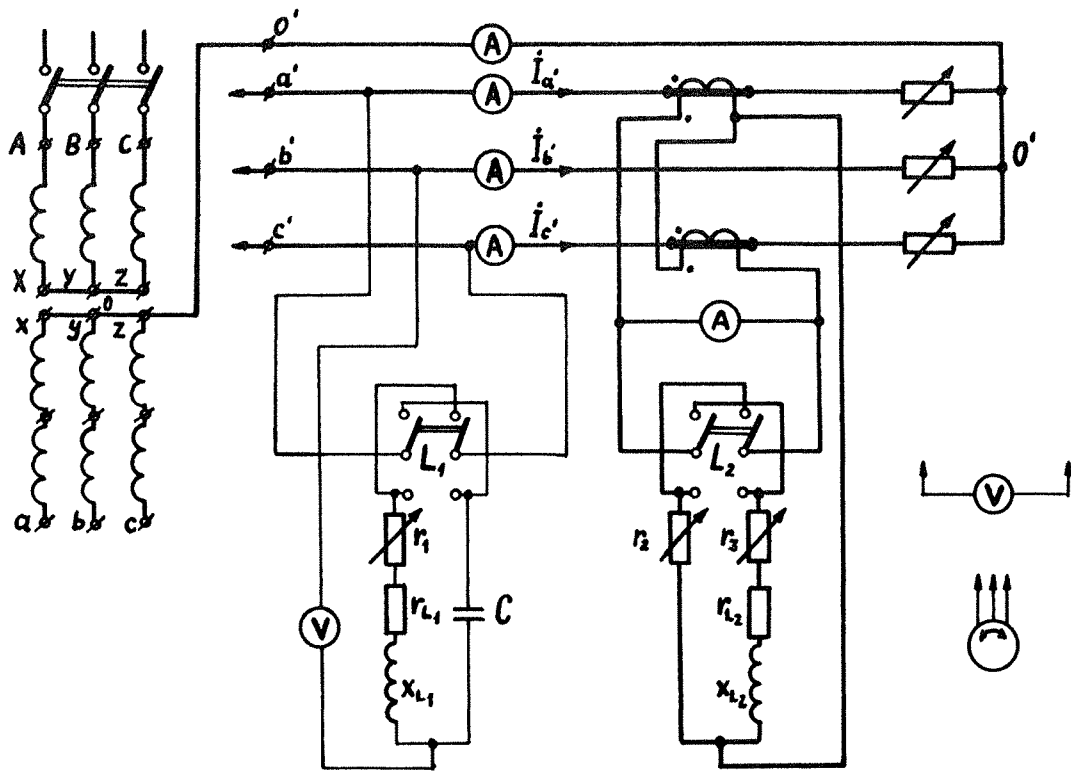
Toitetrafo ühendada toitevõrku nii, et toitevõrgu faasijärjestus ühtiks trafo klemmide tähistega ABC.

Reguleerida filtrite parameetrid võrdseks punktis 1 arvatutega.

3. Pingestanud ahela neljajuhtmelist sümmeetrilise pingete süsteemiga, reguleerida tarbija takistusi nii, et tarbija muutuks sümmeetriliseks.

Kontrollida filtrite korrasolekut pärijärgnevusega sümmeetriliste pinge- ja voolusüsteemide korral (faasijärjestus a'b'c'). Selleks peavad pingefiltri voltmeeter ja voolufiltri ampermeeter lülitite L_1 ja L_2 ühes asendis näitama nulli ja teises asendis andma näidu. Kontrollida filtreid ka vastujärgnevusega sümmeetriliste süsteemide korral (faasijärjestus a'c'b'). Nüüd peavad filtrite mõõteriistad andma näidu või näitama nulli lülitite vastupidistes asendites, võrreldes eelmise juhtumiga. Vajaduse korral teostada filtrite järelreguleerimist.

4. Pingestades sümmeetrilist tarbijat kolmejuhtmelist sümmeetrilise pärijärgnevusega pingetesüsteemiga (faasijär-



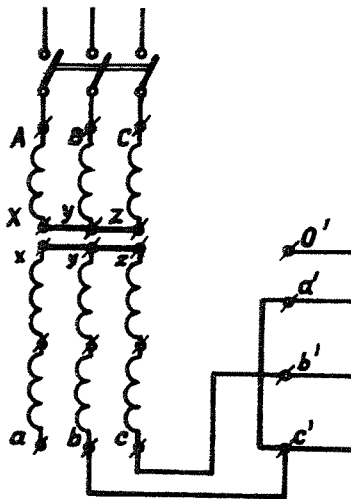
Joonis 10-1

jestus a'b'c'), mõõta tarbija liinipingeid $U_{a'b'}$, $U_{b'c'}$, $U_{c'a'}$, liinivoolu $I_{a'}$, $I_{b'}$, $I_{c'}$ ning pingete ja voolude päri- ja vastujärgnevuskomponentidega võrdelisi suurusi filtrite abil. Faasijärjestust kontrollida faasijärjestusnäituri-ga.

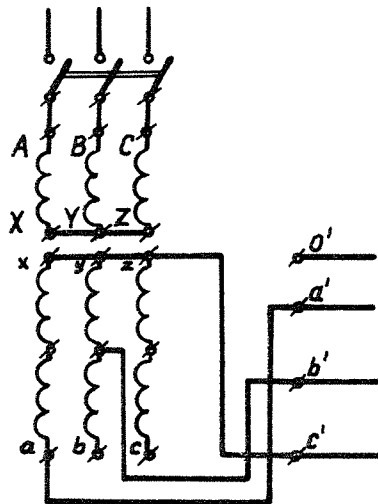
Korrata kõik mõõtmised sümmeetrilise vastujärgnevusega toitepingete süsteemi korral (faasijärjestus a'c'b').

5. Ühendada sümmeetriline tähtühendusega ahel toitetra-foga vastavalt joonisele 10-2. Mõõta tarbija liinipingeid ja -voolu ning liinipingete ja -voolude päri- ja vastujärgnevus-komponente.

6. Ühendada sümmeetriline tähtühendusega ahel toitetra-foga vastavalt joonisele 10-3. Teha samad mõõtmised mis punktis 5.



Joonis 10-2



Joonis 10-3

7. Arvutada p. 3 mõõtetulemuste alusel filtrite võrdelisuse tegurid mõõdetavate sümmeetriliste komponentide ja filtrite mõõteriistade poolt näidatud suuruste vahel.

Arvutada samad võrdelisuse tegurid analüütiliselt, võttes aluseks punktis 1 arvutatud filtrite parameetrid. Arvutustes mitte arvestada voltmeetri juhtivust ja ampermeetri takistust. Võrrelda tulemusi omavahel.

8. P. 5 mõõtetulemuste alusel koostada samal kompleksstaandil voolude ja liinipingete vektordiagrammid ($\vec{I}_{\alpha'}$, $\vec{I}_{\beta'}$, $\vec{I}_{\gamma'}$, $\vec{U}_{\alpha'\beta'}$, $\vec{U}_{\beta'\gamma'}$, $\vec{U}_{\gamma'\alpha'}$). Diagrammidelt määrata graafiliselt liinipingete ja -voolude päri- ja vastujärgnevuskomponendid. Võrrelda graafiliselt leitud tulemusi filtrite abil mõõdetutega.

9. Korrata punktis 8 nimetatu p. 6 mõõtetulemustele.

10. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang. Kas sümmeetrilise ahela (tarbija) puhul on voolu- ja pingesüsteemide sama järgnevusega sümmeetrilised komponendid võrdelised?

Kirjandus

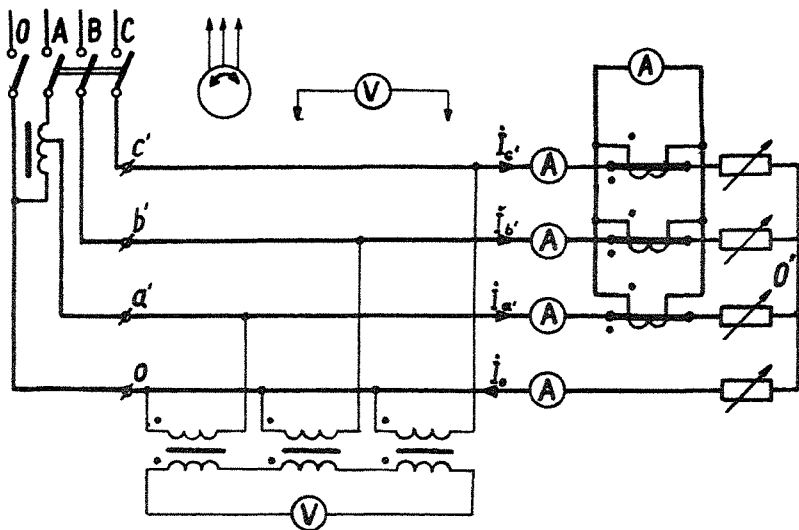
- [1], lk. 208-217;
- [2], lk. 191-194;
- [3], lk. 151-154;
- [6], lk. 275-281;
- [9], lk. 182-191.

T ö ö nr. 11

PINGE JA VOOLU NULLJÄRGNEVUSKOMPONENDID

Töö eesmärgiks on tutvuda kolmefaasilise nulljuhtmega ahela faasivoolude ja -pingete nulljärgnevuskomponentidega ja nende määratlemisega.

1. Koostada lülitus tähtühenduses ahela faasipingete ja -voolude nulljärgnevuskomponentide mõõtmiseks vastavalt joonisele 11-1. Mittesümmeetrilise toitepingete süsteemi tekitamiseks on lülituses autotrafo.



Joonis 11-1

2. Mõõta mittedümmeetrilise ahela liinipingeid $U_{a'b'}$, $U_{b'c'}$, $U_{c'a'}$, toitesüsteemi faasipingeid $U_{a'o}$, $U_{b'o}$, $U_{c'o}$, tarbija faasipingeid $U_{a'o'}$, $U_{b'o'}$, $U_{c'o'}$, nullpunktidevahelist pinget $U_{o'o}$, faaside ja nulljuhtme voole $I_{a'}$, $I_{b'}$, $I_{c'}$, I_o ning filtrite poolt mõõdetavaid kolme faasipinge ja kolme faasivoolu summat.

3. Teha samad mõõtmised mis punktis 2 sümmeetrilise ahela puhul. Ahela sümmeetriliseks muutmiseks pingestada ta eelnevalt sümmeetrilise päri- või vastujärgnevussüsteemiga ning reguleerida takistusi nii, et faasivoolude efektiivväärtused muutuksid võrdseks.

4. Filtrite abil mõõdetud tulemustest arvutada toitesüsteemi faasipingete ja faasivoolude nulljärgnevuskomponendid mitesümmeetrilisele ja sümmeetrilisele ahelale. Nulljärgnevuskomponentide alusel arvutada sümmeetrilise ahela nulljärgnevustakistus.

5. P. 2 ja 3 mõõtmistulemuste alusel joonestada voolude vektordiagrammid ja pingete topograafilised diagrammid nii mitesümmeetrilisele kui ka sümmeetrilisele ahelale. Diagrammidel näidata kõik mõõdetud liinpinged, faasipinged, nullpunktidevaheline pinge ja faasivoolud.

6. P. 5 diagrammidelt määrata graafiliselt toitesüsteemi faasipingete ja faasivoolude nulljärgnevuskomponendid nii mitesümmeetrilisele kui ka sümmeetrilisele ahelale. Võrrelda tulemusi punktis 4 leitudega.

7. Arvutada mõõtetulemustest sümmeetrilise ahela parameetrid r_a' , r_b' , r_c' , r_0 ning ahela nulljärgnevustakistus parameetrite kaudu. Võrrelda nulljärgnevustakistust punktis 4 leitudga.

8. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang.

Kirjandus

- [1], lk. 208-217;
- [2], lk. 191-194;
- [3], lk. 151-154;
- [6], lk. 275-281;
- [9], lk. 182-191.

VAHELDUVVOOLU-NELIKLEMM

Töö eesmärgiks on tutvuda passiivse neliklemmi omaduste ja põhiseostega vahelduvvoolu juures tühijooksul, lühisel ja koormusel.

1. Koostada lülitus vastavalt joonisele 12-1, a Π -kuju-tise skeemiga neliklemmi katsetamiseks. Neliklemm koostada kas vastavalt joonisele 12-1, b või joonisele 12-1, c.

2. Mõõta neliklemmi voole I_1 , I_2 , pingeid U_1 , U_2 ning toitevõimsust P tühijooksu ja lühise režiimidel toite puhul klemmidelt 1-1' ning toite puhul klemmidelt 2-2'.

3. Teha neliklemmi koormuskatse, koormates neliklemmi 2-2' poolelt reguleeritava aktiivtakistiga viimase mitmesugu te väärtuste juures. Koormusvoolu I_2 faasi määramiseks toite pinge U_1 suhtes fikseerida vattmeetri mõõtetulemus $P_{12} = U_1 I_2 \cos(\psi_{u_1} - \psi_{i_2})$, kui tema voolumähis läbib koormusvool ning pingemähis on pingestatud neliklemmi toitepinge ga.

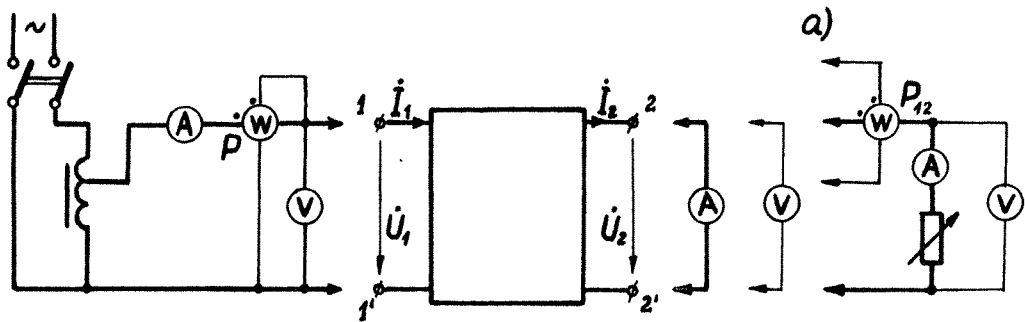
4. Arvutada mõõtetulemustest sisendtakistused tühijook-sul ja lühisel Z_{10} , Z_{1e} , Z_{20} , Z_{2e} . Kontrollida tulemusi seose $\frac{Z_{10}}{Z_{1e}} = \frac{Z_{20}}{Z_{2e}}$ abil.

5. Arvutada neliklemmi parameetrid A, B, C ja D tühijook su ja lühise mõõtetulemustest. Pööratavuse tingimuse ($AD-BC = 1$) alusel kontrollida leitud parameetrite õigsust.

6. Arvutada ühele koormustakistuse väärtusele vastavad toitevoolu ja toitepinge väärtused koormusvoolu ja koormus-pinge kaudu, rakendades neliklemmi võrrandeid ja eelmises punktis arvutatud parameetreid. Võrrelda arvutatud ja mõõde-tud tulemusi.

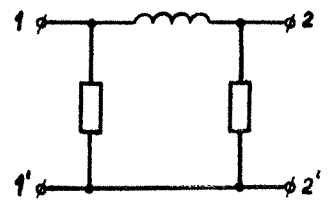
7. Lähtudes p. 2 mõõtetulemustest, konstrueerida neli-klemmi primaar- ja sekundaarvoolude I_1 ja I_2 ringdiagrammid aktiivkoormuse puhul. Samadele joonistele, kuhu on kantud ringdiagrammid, kanda punktis 3 mõõdetud voolud.

Nende voolude faasid toitepinge suhtes, s.o. vastavad nurgad joonisel, olgu määratud vattmeetrite mõõtetulemustest

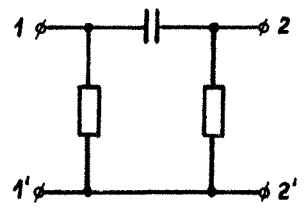


51

b)



c)



Joonis 12-1

8. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang. Kuidas rahuldavad mõõtetulemused vastastikkuse printsiipi? Kas kasutatud nelikleem on lineaarne ja sümmeetriline?

Kirjandus

- [1], lk. 146-147, 186-188;
- [2], lk. 157-173;
- [3], lk. 72-76;
- [4], lk. 9-26;
- [6], lk. 388-395, 410-416;
- [9], lk. 110-118, 151-152.

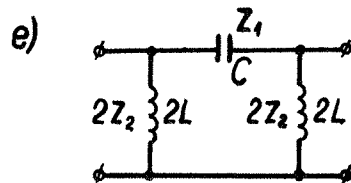
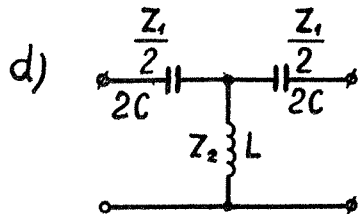
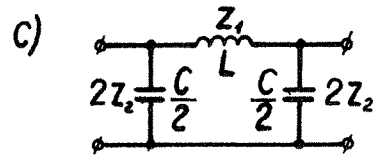
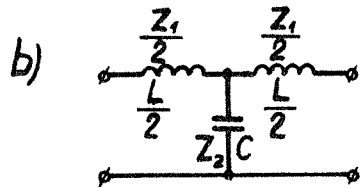
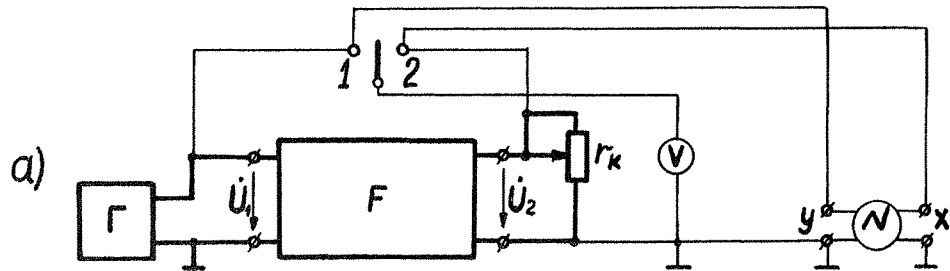
T ö ö nr. 13

MADAL- JA KÕRGPÄÄSFILTRID

Töö eesmärgiks on uurida k -tüüpi madal- ja kõrgpääsfiltrite sagedusomadusi sobitatud ja püsikoormusel. Filtrid koostatakse induktiivpoolidest ja kondensaatoritest sümmeetriliste T - ja Π -kujuliste skeemidega lülitustest.

Sumbumisteguri ja faasiteguri sagedussõltuvuste $\alpha(\frac{\omega}{\omega_0})$ ja $\beta(\frac{\omega}{\omega_0})$ määramisel peab filtri koormuseks olema tema kordustakistus Z_c , mis sõltub sagedusest. Käesolevas töös aga, nagu tavaliselt praktikas, on filter koormatud konstantse aktiivtakistusega $Z_k = r_k$, mille suurus võetakse võrdseks suurusega $k = \sqrt{Z_1 Z_2} = \sqrt{\frac{L}{C}}$. Siin Z_1 ja Z_2 on filtri piki- ja ristitakistused ning L ja C piki- ja risti-induktiivsus ja -mahtvus (vt. joon. 13-1, b kuni e). Seetõttu erinevad

katseliselt määratavad $\ln \frac{U_1}{U_2} = F(\frac{\omega}{\omega_0})$ ja $\psi_1 - \psi_2 = F(\frac{\omega}{\omega_0})$ karakteristikutest $\alpha(\frac{\omega}{\omega_0})$ ja $\beta(\frac{\omega}{\omega_0})$. Siin U_1 ja U_2 - filtri sisend- ja väljundpinge; $\psi_1 - \psi_2$ - samade pingete algfaaside vahe ($\dot{U}_1 = U_1 e^{i\psi_1}$; $\dot{U}_2 = U_2 e^{i\psi_2}$); $\omega_0 = 2\pi f_0$, kus f_0 - piirsagedus, mis madalpääsfiltril on võrdne $f_0 = f_2 = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}}$ ja kõrgpääsfiltril $f_0 = f_1 = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC}}$. Mõnedel sagedustel filtri avapiirkonnas reguleeritakse koormustakistus r_k võrdseks



Joonis 13-1

Z_c -ga ja määratakse nendel sagedustel sumbumistegur α ja faasitegur β .

Katsetamisel toidetakse filtrit F helisagedusgeneraatorist Γ , mille siinuselise väljundpinge sagedust ja amplituudi on võimalik reguleerida. Pingeid U_1 ja U_2 mõõdetakse lampvoltmeetriga V ja faasinihe $\psi_1 - \psi_2$ määratakse elektronostilloskoobiga (vt. meetodilisi juhendeid).

1. Koostada lülitus vastavalt joonisele 13-1, a madalpääsfiltri F katsetamiseks. Madalpääsfilter F koostada kas vastavalt joonisele 13-1, b või 13-1c.

2. Hoides toitepinge U_1 etteantud väärtusel, määrata katseliselt $U_2 = F_3(\omega)$ ja $\psi_1 - \psi_2 = F_4(\omega)$ (vt. meetodilisi juhendeid). Katsetamisel olgu koormustakistuse väärtus $r_k = k = \sqrt{\frac{L}{C}}$ ja helisagedusgeneraatori sagedus piirides $\frac{\omega}{\omega_0} = 0,5-2,0$.

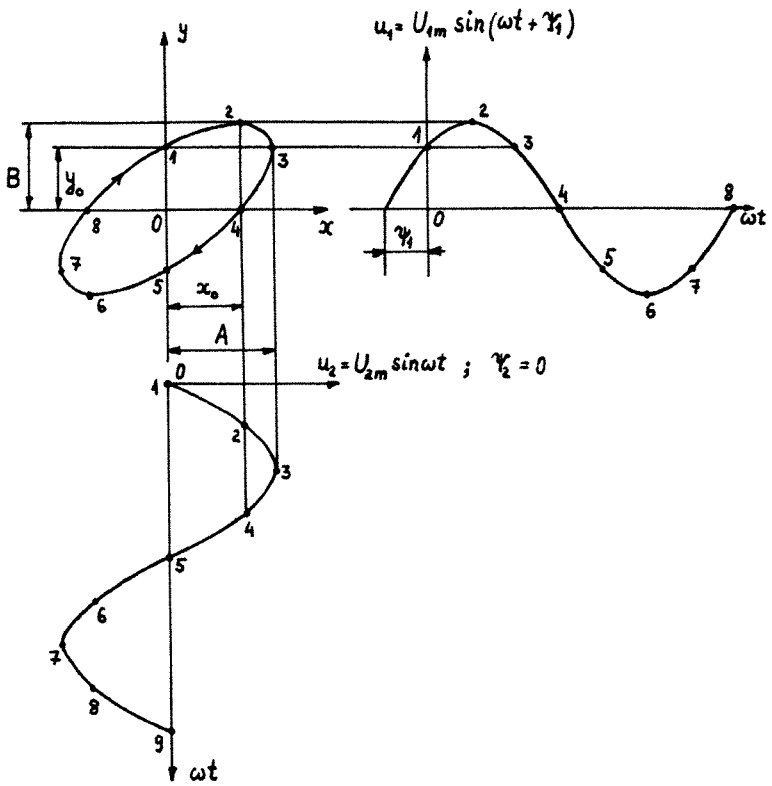
3. Arvutada teadaolevate L ja C väärtuste alusel madalpääsfiltri avapiirkonna mõnele (3-4) sagedusele vastavad kordustakistuse $Z_c = r_c$ väärtused. Määrata katseliselt nendel sagedustel U_2 ja $\psi_1 - \psi_2$. Seejuures eelnevalt reguleerida koormustakistus r_k võrdseks vastava sageduse kordustakistusega ja pinge U_1 hoida samal väärtusel mis punktis 2.

4. Asendada lülituses joonisel 13-1, a madalpääsfilter kõrgpääsfiltriga. Kõrgpääsfilter F koostada kas vastavalt joonisele 13-1, d või 13-1, e.

5. Hoides toitepinge U_1 etteantud väärtusel, määrata katseliselt $U_2 = F_5(\omega)$ ja $\psi_1 - \psi_2 = F_6(\omega)$ kõrgpääsfiltrile. Katsetamisel olgu koormustakistuse väärtus $r_k = k = \sqrt{\frac{L}{C}}$ ja toitesagedus piirides $\frac{\omega}{\omega_0} = 0,5-2,0$.

6. Arvutada teadaolevate L ja C väärtuste alusel kõrgpääsfiltri avapiirkonna mõnele (3-4) sagedusele vastavad kordustakistuse $Z_c = r_c$ väärtused. Määrata katseliselt nendel sagedustel U_2 ja $\psi_1 - \psi_2$. Seejuures eelnevalt reguleerida koormustakistus r_k võrdseks vastava sageduse kordustakistusega ja pinge U_1 hoida samal väärtusel mis punktis 5.

7. Madalpääsfiltri teadaolevate L ja C väärtuste alusel arvutada teoreetiliselt $\alpha(\frac{\omega}{\omega_0})$ ja $\beta(\frac{\omega}{\omega_0})$. Joonestada vastavad kõverad. P. 2 mõõtetulemuste alusel arvutada $\ln \frac{U_1}{U_2} = F_1(\frac{\omega}{\omega_0})$



Joonis 13-2

ja $\psi_1 - \psi_2 = F_2\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$. Joonestada vastavad kõverad samadele graafikutele, millele on joonestatud teoreetilised kõverad $\alpha\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$ ja $\beta\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$. Selgitada kõverate $\alpha\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$, $\beta\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$, $\ln \frac{U_1}{U_2} = F_1\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$ ja $\psi_1 - \psi_2 = F_2\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$ erinevuse põhjused.

8. P. 3 mõõtetulemuste alusel arvutada mõnele kasutatud (3 - 4) sagedusele vastavad α ja β väärtused. Kanda arvatud suurused p. 7 graafikutele. Võrrelda käesolevas punktis katsetulemuste alusel leitud α ja β väärtusi punktis 7 teoreetiliselt arvatutega.

9. Teha kõrgpääsfiltrile samad arvutused ja koostada samad graafikud, mida nõuti punktides 7 ja 8.

10. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang.

Metoodilisi juhendeid

Faaside vahe $\psi_1 - \psi_2 = F_2\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)$ määramiseks kasutatakse elekt-ronostsilloskoopi. Ostsillooskoobi vertikaalhälvitusplaatidele (klemmid y - joon. 13-1, a) rakendatakse pinge $u_1 = U_{1m} \sin(\omega t + \psi_1)$ ja horisontaalhälvitusplaatidele (klemmid x) pinge $u_2 = U_{2m} \sin(\omega t + \psi_2)$. Lugeses pinge U_2 algfaasi nulliks, saame $\psi_1 - \psi_2 = \psi_1$. Jooniselt 13-2 selgub, et vaadeldaval juhul joonistab elektronkiir ostsillooskoobi ekraanil ellipsi, kusjuures joonisel on samade numbritega tähistatud vastavad punktid kõveratel $u_1(t)$, $u_2(t)$ ja ellipsil. Joonis vastab olukorrale, kus $0 < \psi_1 < 90^\circ$.

Ellipsi kuju ja tema telgede asend sõltuvad pingete u_1 ja u_2 vahelisest faasinihkest ψ_1 . Kui $0 < |\psi_1| < 90^\circ$, asub ellipsi suurtelg I ja III kvadrantis; kui aga $90^\circ < |\psi_1| < 180^\circ$, siis asub suurtelg II ja IV kvadrantis. Kui $\psi_1 = 0$ või $\psi_1 = 180^\circ$, muutub ellips sirgeks, mis ühtib ellipsi suurteljega. Kui $|\psi_1| = 90^\circ$ ja $U_{1m} = U_{2m}$, saame ringjoone. Kui aga $|\psi_1| = 90^\circ$ ja $U_{1m} \neq U_{2m}$, saame ellipsi, mille suurtelg sõltuvalt U_{1m} ja U_{2m} suhtest ühtib kas y- või x-teljega.

Jooniselt selgub, et

$$\begin{aligned} u_1(t) \Big|_{\omega t=0} &= U_{1m} \sin \psi_1 = B \sin \psi_1 = y_0 \\ \text{ja} \quad u_2(t) \Big|_{\omega t=\pi-\psi_1} &= U_{2m} \sin(\pi-\psi_1) = U_{2m} \sin \psi_1 = A \sin \psi_1 = x_0. \end{aligned}$$

Seega kui ellipsi suurtelg asub I ja III kvadrantis

$$|\psi_1| = \arcsin \frac{x_0}{A} = \arcsin \frac{y_0}{B}.$$

Kui ellipsi suurtelg asub II ja IV kvadrantis, siis arvestades eespool öeldut

$$|\psi_1| = \pi - \arcsin \frac{x_0}{A} = \pi - \arcsin \frac{y_0}{B}.$$

ψ_1 märk määratakse mingitel lisakaalutlustel (näiteks filtri skeemi alusel). Seega taandub $\psi_1 = \psi_1 - \psi_2$ määramine otsilloskoobi ekraanil lõikude x_0 , y_0 , A ja B mõõtmisele.

Kirjandus

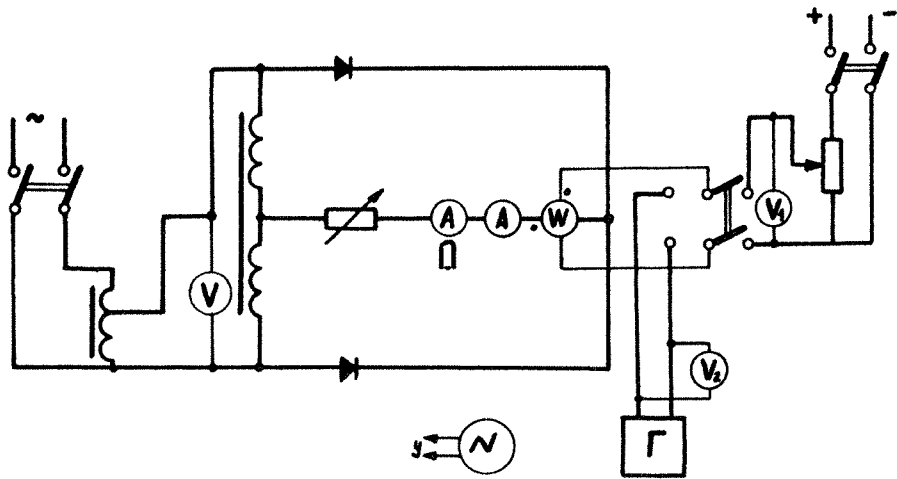
- [1], lk. 275 - 283;
- [2], lk. 446-453;
- [4], lk. 34-41;
- [6], lk. 422-428, 430-433;
- [9], lk. 121-126.

T ö ö nr. 14

HARMOONILISTE ANALÜSAATOR

Töö eesmärgiks on tutvuda elektrodünaamilise vattmeetri kasutamisevõimalustega harmooniliste analüsaatorina (vt. meetoodilisi juhendeid).

1. Koostada lülitus reostaadiga koormatud täisperiodaalaldi koormusvoolu ehk -pinge harmooniliste analüüsiks vastavalt joonisele 14-1. Vattmeetri voolumähist toita koormusvooluga. Vattmeetri pingemähisele võimaldada toide alalispingeallikast või reguleeritava sagedusega siinuspingegeneraatorist.



Joonis 14-1

2. Pingestanud vattmeetri pingeharu alalispingega, fikseerida voolu alaliskomponendi määramiseks voltmeetri V_1 , ampermeetrite ja vattmeetri näidud.

Pingestada vattmeetri pingeharu siinuspingegeneraatori abil vooluharmoniliste määramiseks kuni 7. harmooniliseni (kaasa arvatud). Reguleerida generaatori sagedust alates 25 Hz ülespoole ning fikseerida vattmeetri näitude vastavad maksimumid osuti väikeste tuikesageduste juures. Üheaegselt vattmeetri näitude fikseerimisega fikseerida voltmeetri V_2 ja ampermeetrite näidud.

Joonestada otsilloskoobi ekraanilt koormusvoolu (-pinge) kõver läbipaistvale paberile.

3. Koostada lülitus reostaadiga koormatud poolperioodalaldi koormusvoolu ehk -pinge harmooniliste analüüsamiseks vastavalt joonisele 14-2.

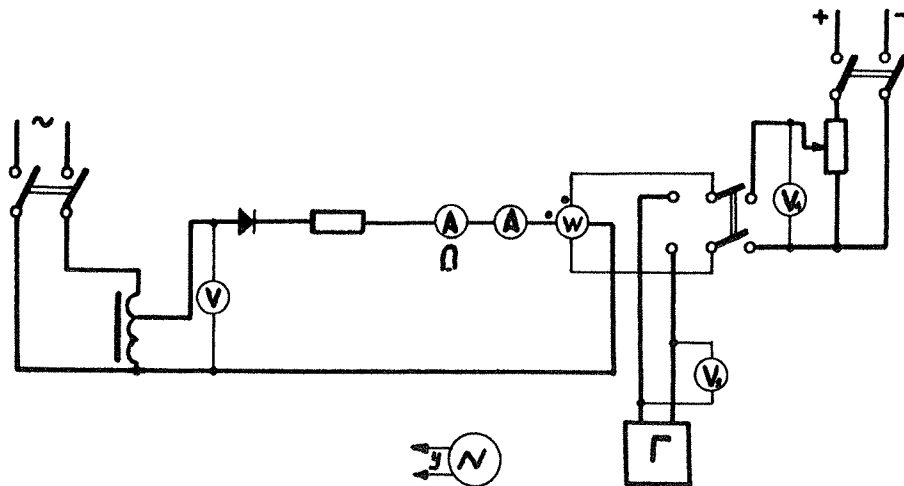
4. Korrata kõik punktis 2 kirjeldatu poolperioodalaldile.

5. Arvutada vattmeetri ja tema pingeharu voltmeetri näitude alusel täis- ja poolperioodalaldi koormusvoolu alaliskomponent ja harmooniliste efektiivväärtused. Võrrelda arvutatud alaliskomponente punktides 2 ja 4 fikseeritud magnet-elektrilise, s.t. keskvaartust mõõtva ampermeetri näitudega.

6. Lugeses alaldatud voole siinuse poolperioodide järgi muutuvateks, arvutada magnetelektrilise ampermeetri mõõtetulemustest täis- ja poolperioodalaldi koormusvoolude maksimumväärtused. Maksimaalväärtuste järgi arvutada täis- ja poolperioodalaldi koormusvoolude alaliskomponendid ning harmooniliste amplituudid ja efektiivväärtused kas õpikutes toodud valemite abil (vastava kujuga kõveratele on antud seosed kõvera maksimumväärtuse ja alaliskomponendi ning harmooniliste amplituudide vahel) või otsese integreerimisega. Võrrelda punktide 6 ja 5 arvutustulemusi.

7. Punktides 5 või 6 leitud koormusvoolude alaliskomponentide ja harmooniliste efektiivväärtuste alusel arvutada täis- ja poolperioodalaldi koormusvoolude efektiivväärtused. Võrrelda arvutatud efektiivväärtusi elektromagnetilise ampermeetri mõõtetulemustega.

8. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang.



Joonis 14-2

Metoodilisi juhendeid

Vaatame olukorda, kus elektrodünaamilise vattmeetri pingemähisele on rakendatud siinuspinge $u = \sqrt{2} U \sin(\omega t + \psi_u)$ ja voolumähisest juhitakse läbi mittesiinuseline vool, mille Fourier' rida oleks $i = I_0 + \sum_{k=1}^n \sqrt{2} I_k \sin(k\omega t + \psi_{i_k})$. Vattmeetri liikuvale süsteemile mõjuva elektromagnetilise pöördmomendi hetkväärtus on võrdeline korrutisega

$$\begin{aligned} u i &= \sqrt{2} U I_0 \sin(\omega t + \psi_u) + \\ &+ \sum_{k=1}^n 2 U I_k \sin(\omega t + \psi_u) \sin(k\omega t + \psi_{i_k}) = \\ &= \sqrt{2} U I_0 \sin(\omega t + \psi_u) + \sum_{k=1}^n U I_k \cos[(\omega^2 - k\omega)t + \\ &+ \psi_u - \psi_{i_k}] - \sum_{k=1}^n U I_k \cos[(\omega^2 - k\omega)t + \psi_u + \psi_{i_k}]. \end{aligned}$$

Vattmeetri liikuva süsteemi inertsi tõttu on ta võimeline reageerima ainult väikese sagedusega muutuvatele liikmetele. Sageduste ω' ja $k\omega$ küllalt väikese erinevuse korral oleks seega vattmeetri näit $U I_k \cos[(\omega^2 - k\omega)t + \psi_u - \psi_{i_k}]$, s.o. tekib vattmeetri osuti tuiklemine sagedusega $\omega^2 - k\omega$, kusjuures vattmeetri maksimaalne näit on $P_{\max} = U I_k$.

Analoogiliselt saab näidata, et kui vattmeetri pingemähis pingestada alalispingega U_0 , siis oleks vattmeetri näit $U_0 I_0$.

Kirjandus

- [1], lk. 255-272;
- [2], lk. 225 - 238;
- [3], lk. 154-164;
- [6], lk. 282-296;
- [9], lk. 196-212.

LINEARNE AHEL MITTESIINUSELISTE PINGETE JA VOOLUDE PUHUL

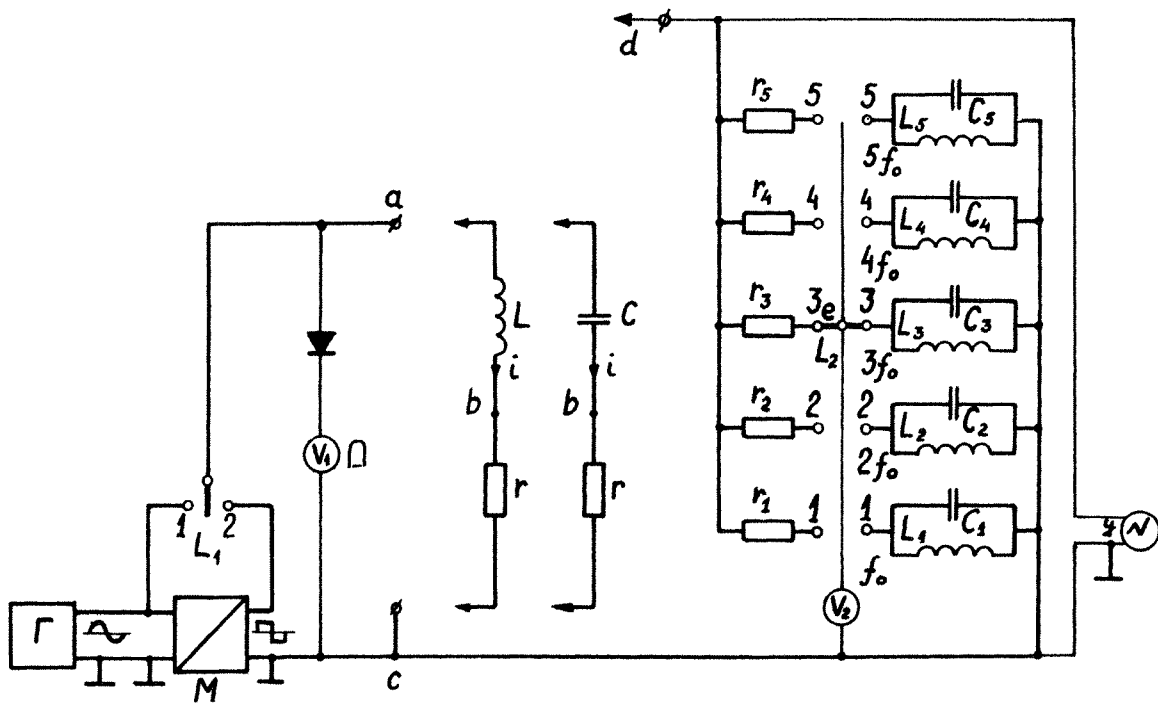
Töö eesmärgiks on tundma õppida lineaarset induktiiv- ja mahtuvustakistust sisaldavat jadaahelat mittesiinuselisel toitepingel. Mittesiinuselise toitepinge saamiseks kasutatakse helisagedusgeneraatorit Γ , mille siinuseline väljundpinge antakse muunduri M sisendile. Katsetatava ahela klemmidele ac on võimalik anda kas siinuspinget (lülitati L asendis 1) või muunduri väljundilt nelinurkpinget \square (lülitati L_1 asendis 2) (joon. 15-1). Reguleerides helisagedusgeneraatori sagedust, saame muuta ahela klemmidel ac nii siinuspinge kui ka nelinurkpinge sagedust. Seejuures on siinuspinge ja nelinurkpinge sagedused võrdsed. Nelinurkpinge ja siinuspinge suurus on võimalik reguleerida helisagedusgeneraatori väljundpingeregulaatoriga. Ahela klemmipinget mõõdetakse diodiga varustatud magnetelektrilise voltmeetriga V_1 (tema näit on võrdne pinge U_{ac} positiivse poolperioodi poole keskvaartusega). Ahela pingete U_{ac} ja U_{bc} harmoonilised määratakse resonantsahelate L_k, C_k ($L_1, C_1 \dots L_5, C_5$) abil, millega on järjestikku ühendatud takistid r_k ($r_1 \dots r_5$). Resonantsahelate pinget U_{bc} mõõdetakse lampvoltmeetriga V_2 (vt. meetodilisi juhendeid).

1. Koostada lülitus vastavalt joonisele 15-1 r, L ja r, C jadaahelate katsetamiseks mittesiinuselisel toitepingel.

2. Kontrollida resonantsahelaid L_k, C_k siinuselisel toitepingel. Selleks rakendada klemmidele ac siinuspinge (lülitati L_1 asendis 1) ja ühendada klemm d klemmiga a .

Resonantsahela L_1, C_1 kontrolliks lülitada lülitati L_2 asendisse 1 ja reguleerida helisagedusgeneraatori sagedust. Veenduda, et voltmeeter V_2 annab maksimaalse hälbe ainult ühel sagedusel f_0 (rööpahela L_1, C_1 resonantsagedus). Veenduda, et resonantsagedusel voltmeetrile V_1 ja V_2 abil määratavad siinuspinge efektiivväärtused on suuruselt lähedased.

Kontrollida analoogiliselt ahelat L_2, C_2 sagedusel $2f_0$,



Joonis 15-1

ahelat L_3, C_3 sagedusel $3f_0$, ahelat L_4, C_4 sagedusel $4f_0$ ja ahelat L_5, C_5 sagedusel $5f_0$.

Tulemused fikseerida tabeli kujul.

3. Määrata uuritavale ahelale rakendatava mittesiinuselise pinge U_{ac} (lüliti L_1 asendis 2) harmooniliste amplituudid (efektiivväärtused) kuni viienda harmooniliseni (kaasa arvatud). Mittesiinuselise pinge sagedus olgu f_0 . Selleks ühendada klemm d punktiga a ja reguleerida helisagedusgeneraatori sagedus võrdseks f_0 -ga. Kõigi p. 3 mõõtmiste puhul hoida helisagedusgeneraatori väljundpingeregulaatori abil voltmeetri V_1 näit etteantud väärtusel.

Pinge U_{ac} 1. harmoonilise määramiseks lülitada L_2 asendisse 1 ja reguleerida sagedust väikestes piirides f_0 ümbruses. Fikseerida V_2 maksimaalne näit ja V_1 näit. Joonestada ostsilloskoobi ekraanilt pinge U_{ac} kõver läbipaistvale paberile.

Pinge U_{ac} 2. harmoonilise määramiseks lülitada L_2 asendisse 2 ja, reguleerides sagedust väikestes piirides f_0 ümbruses, fikseerida samuti V_2 maksimaalne näit ning V_1 näit. Analooiliselt teha mõõtmised ka 3., 4. ja 5. harmoonilise määramiseks.

4. Ühendada klemmidega ac ahel r, L . Ahela pinge U_{bc} (on võrdeline ahela vooluga i) harmooniliste amplituudide (efektiivväärtuste) määramiseks mittesiinuselisel toitepingel (lüliti L_1 asendis 2) ühendada klemm d punktiga b ja reguleerida helisagedusgeneraatori sagedus võrdseks f_0 -ga. Kõigi p. 4 mõõtmiste puhul hoida helisagedusgeneraatori väljundpingeregulaatori abil V_1 näit samal etteantud väärtusel mis punktis 3. Pinge U_{bc} harmoonilised määrata analooiliselt pinge U_{ac} harmooniliste määramisega punktis 3. Joonestada ostsilloskoobi ekraanilt pinge U_{bc} kõver läbipaistvale paberile.

5. Asendada lülituses jooniselt 15-1 r, L -ahel ahelaga r, C ja teha samad mõõtmised mis punktis 4. Katsetamisel hoida helisagedusgeneraatori väljundpingeregulaatoriga V_1 näit samal väärtusel kui punktides 3 ja 4.

6. P. 3 mõõtetulemuste alusel arvutada ahelale rakendatud nelinurkpinge harmooniliste amplituudid (efektiivväärtused).

Arvutada harmooniliste amplituudid (efektiivväärtused) ka õpikutes toodud valemite abil, lugedes pinge U_{ac} kuju ideaalseks nelinurkaks. Nelinurkpinge maksimaalväärtus määrata p. 3 voltmeetri V_1 näidu alusel.

Võrrelda kahel meetodil saadud harmooniliste amplituude omavahel.

7. P. 4 mõõtetulemuste alusel arvutada r, L -ahela pinge U_{bc} ja voolu i harmooniliste amplituudid (efektiivväärtused).

8. Arvutada r, L -ahela voolu i ja pinge U_{bc} harmoonilised nelinurkpinge U_{ac} teadaolevate harmooniliste (arvutati punktis 6) ja ahela parameetrite r ja L alusel. Võrrelda punktide 7 ja 8 tulemusi.

9. P. 5 mõõtetulemuste alusel arvutada r, C -ahela pinge U_{bc} ja voolu i harmooniliste amplituudid (efektiivväärtused).

10. Arvutada r, C -ahela voolu i ja pinge U_{bc} harmoonilised nelinurkpinge U_{ac} teadaolevate harmooniliste ja ahela parameetrite r ja C alusel. Võrrelda punktide 9 ja 10 tulemusi.

11. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang.

Metoodilisi juhendeid

Rööpahelaga L_k, C_k on järjestikku ühendatud takisti r_k , mille takistus on tunduvalt suurem uuritava ahela (r, L ja r, C) elementide näivtakistusest vaadeldavatel sagedustel. Seetõttu ahela r_k, L_k, C_k ühendamine uuritava ahelaga praktiliselt viimase režiimi ei mõjuta. Rööpahela L_k, C_k näivtakistus resonantssagedusel $kf_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_k C_k}}$ on võrdlemisi suur (tunduvalt suurem kui r_k). Seetõttu kui klemmidele dc rakendada siinuspinge sagedusega kf_0 , on pinge klemmidel ec praktiliselt võrdne U_{dc} -ga (pingelang takistil r_k on väike). Suvalise sagedusega siinuspinge rakendamisel klemmidele dc on ahela L_k, C_k takistus väike ja pinge klemmidel ec lähedane nullile (pinge U_{dc} langeb praktiliselt takistile r_k).

Kui klemmidele dc rakendada mittesiinuselise perioodiline pingeline (näiteks nelinurkpinge) sagedusega f_0 , on ahel L_k, C_k resonantsis mittesiinuselise pingeline k -nda harmoonilisega (sagedus kf_0). Seetõttu on pingeline rööpaahela klemmidel ec lähedane mittesiinuselise pingeline k -ndale harmoonilisega, mille saame määrata voolmeetriga V_2 .

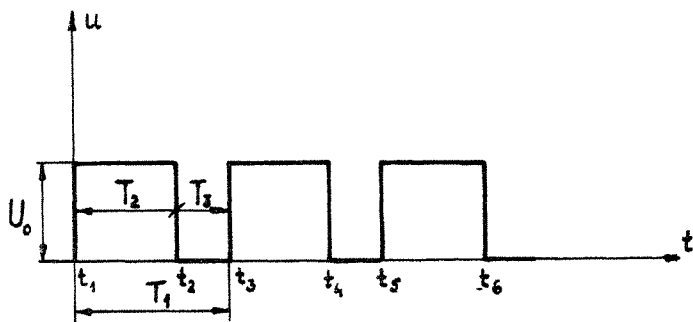
Kirjandus

- [1], lk. 255-272;
- [2], lk. 225-238;
- [3], lk. 154-164;
- [6], lk. 282-296;
- [9], lk. 196-212.

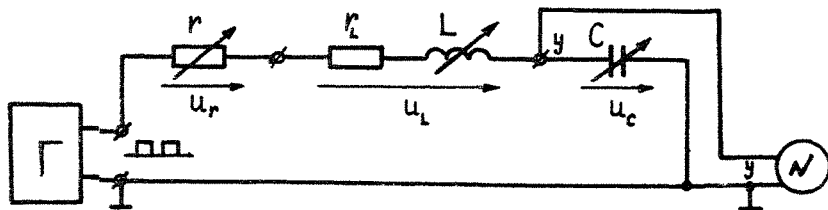
T O 8 nr. 16

LINEAARSE JADAHAELA LÜLITAMINE ALALISPINGE PUHUL

Töö eesmärgiks on tutvuda siirdeprotsessidega lineaarse jadaahela lülitamisel alalispingele ja pingeline lühistamisel. Ahela voole ja pingeline ühekordsel sisselülitamisel ja väljalülitamisel võib registreerida elektronostsiloskoobi ja fotoseadme abil. Perioodiliselt sisse ja välja lülitades ning sünkroniseerides ostsiloskoobi laotussageduse katsetatava ahela lülitamise sagedusega, saame ostsiloskoobi ekraanile seisevkujutise. Seega on ostsiloskoobi ekraanilt võimalik visuaalselt jälgida nii ahela sisse- kui ka väljalülitamisele vastavat siirdeprotsessi. Antud töös toidetakse ahelat nn. nelinurkpingegeneraatorist (Γ joon. 16-2), mille väljundpingeline kõver on toodud joonisel 16-1. Ajavahemikeks $t_1-t_2, t_3-t_4, t_5-t_6$ jne. lülitatakse ahel alalispingele U_0 ning tekib lülitamisele vastav siirdeprotsess. Ajavahemikeks t_2-t_3, t_4-t_5 jne. lühistatakse ahel läbi nelinurkpingegeneraatori ja toimub väljalülitamisele (pingeline lühistamisele) vastav siirdeprotsess. Generaatori sagedus $f = \frac{1}{T_1}$ on



Joonis 16-1



Joonis 16-2

reguleeritav. Katsetamisel reguleeritakse lülitamise ja lühistamise kestused ligilähedaselt võrdseks, s.o. $T_2 \approx T_3$.

1. Koostada lülitus vastavalt joonisele 16-2 siirdeprotsesside jälgimiseks jadaahelas ostsilloskoobi abil.

2. Jälgida ostsilloskoobiga nelinurkpinge-generaatori pinget ning reguleerida ostsilloskoopi nii, et kiire vertikaalulatus kataks umbes kolmandiku ekraani kõrgusest ja horisontaalulatus sisaldaks 1,5 - 2 pinge täisperioodi T_1 . Töö edasises käigus ostsilloskoopi mitte reguleerida.

3. Jälgida r, C -ahela lülitamis- ja lühistamisprotsessi ostsilloskoobi ekraanil. Selleks lühistada ahela element r_L, L (r_L on induktiivpooli aktiivtakistus). Joonestada ostsilloskoobi ekraanilt pingete $u_c(t)$ ja $u_r(t)$ kõverad, millele kanda 2 - 3 täpselt loetud punkti ajakonstandi määramiseks.

Märkus. Kuna nelinurkpinge-generaatori ja ostsilloskoobi üks klemm on maandatud (ühendatud kerega), peavad nad katse käigus jääma kokkuühendatuks. Seetõttu peab ka sellel elemendil, mille pinget ostsilloskoobiga jälgitakse, üks klemm jääma maandatuks. Bespool nimetatud põhjustel tuleb katse käigus jadaahela elementide järjestust muuta nii (jadaahela režiim ei muutu elementide järjestuse muutmisel), et see element, mille pinget jälgitakse, oleks ühendatud klemmidega y ja \perp (maa).

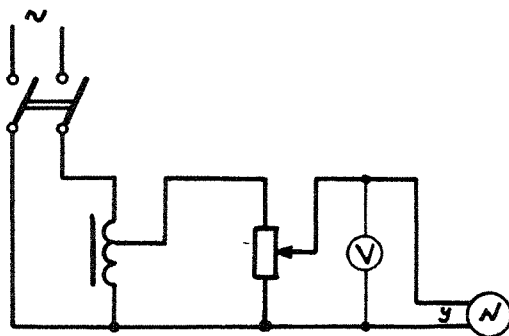
4. Jälgida r, r_L, L -ahela lülitamis- ja lühistamisprotsessi ostsilloskoobi ekraanil. Selleks lühistada ahela kondensaator C . Joonestada ostsilloskoobi ekraanilt $u_L(t)$ ja $u_r(t)$ kõverad, millele kanda 2 - 3 täpselt loetud punkti (vt. märkus p. 3).

5. Jälgida r, r_L, L, C -võnkeahela lülitamis- ja lühistamisprotsessi. Ostsilloskoobi ekraanilt joonestada kõikide pingete kõverad, millele kanda 2 - 3 täpselt loetud punkti sumbuva omavõnkumise perioodi T ja võnkumise dekrementi Δ määramiseks (vt. märkus punktis 3). Teadaolevate parameetrite r, r_L, L ja C alusel kontrollida eelnevalt võnketingimust.

6. Jälgida r, r_L, L, C aperioidilise ahela lülitamis- ja lühistamisprotsessi. Ostsilloskoobi ekraanilt joo-

nestada kõikide pingete kõverad (vt. märkus punktis 3). Teadaolevate parameetrite r , r_L , L ja C alusel kontrollida eelnevalt aperioidilisuse tingimust.

7. Koostada lülitus vastavalt joonisele 16-3 ostsilloskoobi tundlikkuse määramiseks tema vertikaaltelje võimendusregulaatori etteantud asendi juures. Selleks reguleerida ja mõõta pinget ning fikseerida ostsilloskoobi kiire kõrvalekalandumist.



Joonis 16-3

8. P. 7 mõõtetulemuste alusel joonestada ostsilloskoobi kiire kõrvalekalde ja mõõdetava pinge vaheline seos. Tulemustest määrata ostsilloskoobi kiire kõrvalekalde ühe jaotuse keskmine väärtus.

9. Teades ostsilloskoobi kiire kõrvalekalde ühe jaotuse väärtust ja nelinurkpinge-generaatori sagedust, varustada kõik joonestatud ostsillogrammid pinge-aja mõõtkavaga.

10. Arvutada p. 3 mõõtetulemuste (ostsillogrammide) alusel kasutatud ahela ajakonstant τ , ning ajakonstandi ja teadaoleva takistuse r alusel mahtuvus C . Võrrelda arvutatud mahtuvuse väärtust tegelikuga.

11. Arvutada p. 4 ostsillogrammide alusel kasutatud ahela ajakonstant τ , ning ajakonstandi ja teadaoleva aktiivtakistuse $r+r_L$ alusel induktiivsus L . Võrrelda arvutatud induktiivsuse väärtust tegelikuga.

12. Arvutada punktis 5 kasutatud ahela ostsillogrammide alusel sumbuva võnkumise periood T , nurksagedus ω ja võnkumise dekrement Δ . Arvutada samad suurused ning lisaks mittesumbuva võnkumise nurksagedus ω_0 , teadaolevate r, r_L, L ja C alusel. Võrrelda tulemusi.

13. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang.

Kirjandus

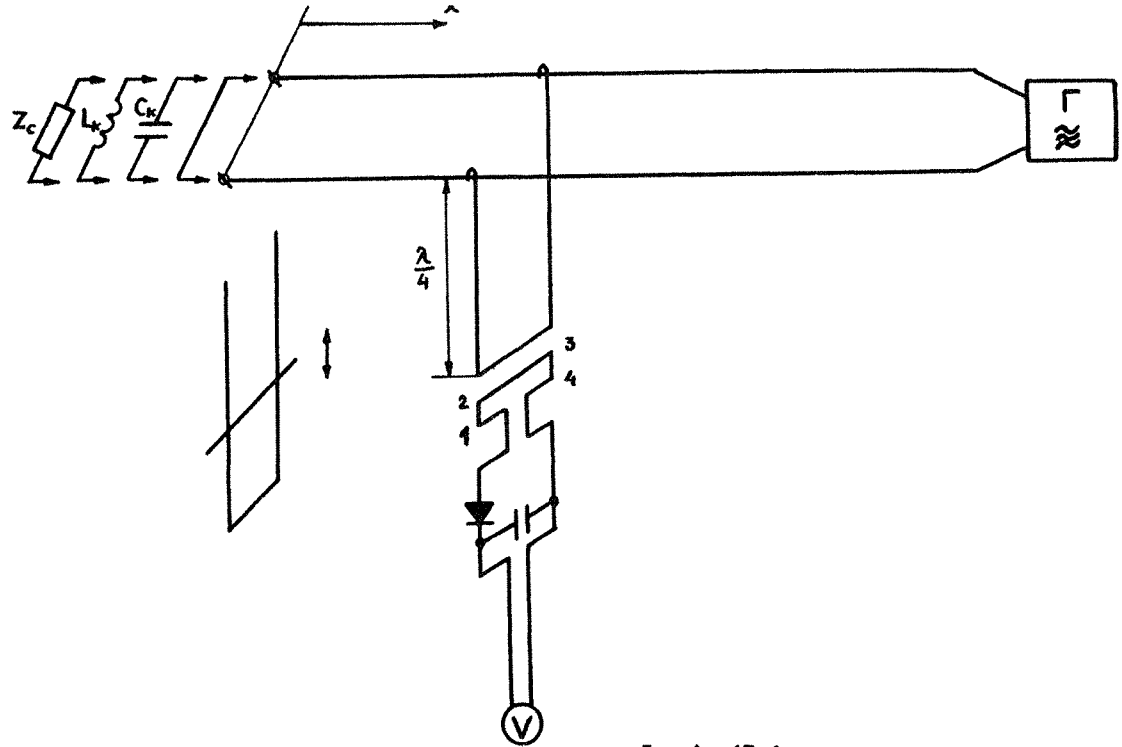
- [1], lk. 290–307;
- [2], lk. 324–339;
- [3], lk. 171–174, 177–180;
- [6], lk. 308–329;
- [9], lk. 245–251, 252–258, 259–271.

T ö ö nr. 17

HOMOGEENNE LIIN

Töö eesmärgiks on tutvuda pingeaotusega homogeenses liinis tühijooksul, lühisel ja koormusel.

Pingeaotust homogeenses liinis jälgitakse resonantsvoltmeetri abil. Resonantsvoltmeeter koosneb lühistatud veerandlaineliinist ning temaga induktiivselt sidestatud diodvoltmeestrist. Resonantsvoltmeetri tööõhimoote on järgmine: lühistatud liini lõpus (antud juhul on liini pikkus $1/4$ lainepikkusest) on vool võrdeline liini sisendile rakendatava pingega. Vool liini lõpus tekitab magnetvälja, mis aheldub voltmeetri vooluringi osaga 1234 (joon. 17-1) ja indutseerib viimases emj., mille väärtus on samuti võrdeline liini sisendpingega. Indutseeritud emj. rakendatakse diodi kaudu magnetelektrilisele osutiriistale (viimasega on rööbiti ühendatud silumiskondensaator), mille näit on võrdeline liini sisendpingega. Selline voltmeetri sisendtakistus oleks kadude puudumisel lõpmata suur (kadudeta veerandlainepikkusega lühisliini sisendtakistus on lõpmata suur) ega koormaks uuritavat liini.



Joonis 17-1

1. Määrata pinge jaotus piki liini tühjooksu ja lühise korral. Pinget mõõta alates liini lõpust iga 5 cm tagant kahe kuni kolme poollaine ulatuses liini alguse poole. Pinge maksimum- ja miinimumkohad liinis fikseerida võimalikult täpselt.

2. Ühendada liini lõppu kondensaator C_k . Pingejaotuse selgitamiseks piki liini mõõta liini pinget nagu punktis 1.

Ühendada liini lõppu kondensaatori asemel reguleeritava pikkusega lühisliin ning muuta tema pikkus selliseks, et pingemiinimumide asukohad satuksid samadesse kohtadesse kui liini lõppu ühendatud kondensaatori korral. Mõõta lühisliini pikkus.

3. Ühendada liini lõppu induktiivpool L_k . Pingejaotuse selgitamiseks piki liini mõõta liini pinget nagu punktis 1.

Ühendada liini lõppu induktiivpooli asemel reguleeritava pikkusega lühisliin ning muuta tema pikkus selliseks, et pingemiinimumide asukohad satuksid samadesse kohtadesse kui liini lõppu ühendatud induktiivpooli korral. Mõõta lühisliini pikkus.

4. Ühendada liini lõppu koormustakisti, mille takistus oleks võrdne liini lainetakistusega Z_c . Pingejaotus piki liini määrata nagu punktis 1.

5. Määrata liini juhtmete läbimõõt ja vahekaugus ning arvutada liini mõõtetest (juhtme materjal vask) liini pikkuse ühiku parameetrid L ja C ning lainetakistus Z_c , lugedes liini kaovabaks, s.o. $r = 0$ ja $g = 0$.

6. Arvutada punkti 1 katsetulemustest liini toitva generaatori sagedus (lainete faasikiirus lugeda võrdseks valguse kiirusega tühjuses).

7. Arvutada liini lõppu ühendatud kondensaatori mahtuvus C_k punktis 2 määratud pingegaotuse ja lühisliini pikkuse järgi (lühisliin lugeda kaovabaks ja tema parameetrid L , C ning Z_c võrdseks katsetatava liini vastavate parameetritega).

8. Arvutada liini lõppu ühendatud induktiivpooli induktiivsus L_k punktis 3 määratud pingegaotuse ja lühisliini pikkuse järgi (lühisliin lugeda kaovabaks ja tema parameetrid L , C ning Z_c võrdseks katsetatava liini vastavate parameetritega).

9. Esitada kõik mõõdetud pingegaotused graafikutena $u(x')$.

10. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang. Kas oleme õigesti vaadatud antud liini kaovabana?

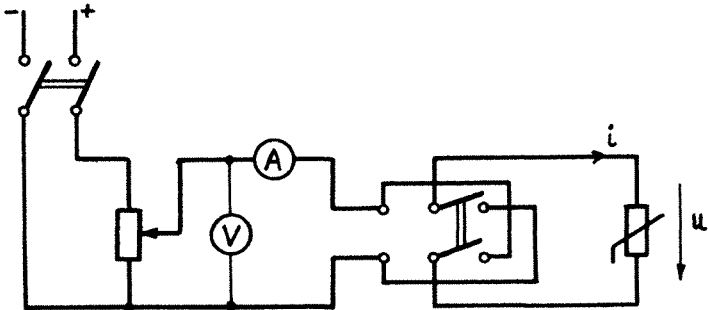
Kirjandus

- [1], lk. 222-248;
- [2], lk. 88-89; 416-437, 549-550;
- [4], lk. 48-77;
- [6], lk. 470-488;
- [7], lk. 242-316;
- [9], lk. 313-333;
- [10], lk. 70, 141.

T o ö n r. 18

MITTELINEAARNE ALALISVOOLUAHEL

Töö eesmärgiks on tunda õppida mittelineaarseid takistite sisalduvat alalisvooluahelas kehtivaid seaduspärasusi.



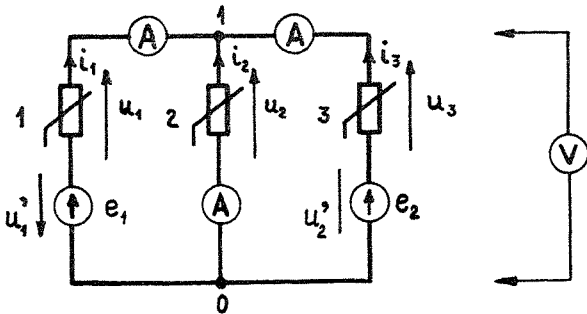
Joonis 18-1

1. Koostanud lülituse vastavalt joonisele 18-1, määrata kõigi kasutatavate mittelineaarseid takistite volt-amperekarakteristikud $u(i)$ reguleeritava pingega ja voolu mõõtmisega. Ka-

rakteristikute määramisel mitte ületada lubatud maksimaalseid pingete või voolude väärtusi.

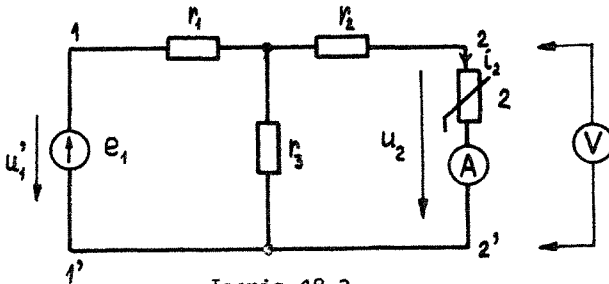
2. Koostada lülitus vastavalt joonisele 18-2 mittelineaarsete takisteid ja pingeallikaid sisaldava hargahela katsetamiseks (vt. meetodilisi juhendeid). Etteantud pingete u_1' ja u_2' puhul mõõta ahela voolud i_1, i_2, i_3 ja pinged u_1, u_2, u_3 ja u_{10} .

3. Koostada lülitus vastavalt joonisele 18-3 üht mittelinearset takistit sisaldava ahela katsetamiseks (vt. meetodilisi juhendeid). Etteantud pinge u_1' puhul mõõta ahela pinged u_1 ja u_2 ning vool i_2 . Mõõta takistussillaga takistite r_1, r_2 ja r_3 takistused. Siinjuures pidada silmas, et enne mõõtmisi takistussillaga tuleb pingeallikas e_1 välja lülitada.



Joonis 18-2

4. P. 1 mõõtetulemuste alusel joonestada kõigi kasutatud mittelinearsete elementide volt-amperkarakteristikud.



Joonis 18-3

5. Teadaolevate pingete U_1' ja U_2' (vt. p. 2) ja mitte-lineaarsete takistite volt-amperekarakteristikute alusel määrata grafoanalüütiliselt joonisel 18-2 toodud ahela pinged U_1, U_2, U_3 ja voolud i_1, i_2 ning i_3 . Võrrelda grafoanalüütiliselt saadud tulemusi punktis 2 mõõdetutega.

6. Teadaoleva pinge U_1' ja takistuste r_1, r_2 ja r_3 (vt. p. 3) alusel asendada joonisel 18-3 antud ahela lineaarne osa klemmide 2-2' suhtes ekvivalentse generaatoriga. Ekvivalentse generaatori parameetrite ja mittelineaarse takisti pingevoolu karakteristiku alusel määrata grafoanalüütiliselt joonisel 18-3 toodud ahela pinge U_2 ja vool i_2 . Võrrelda tulemusi punktis 3 mõõdetutega.

7. Määrata punktis 3 kasutatud mittelineaarse takisti koormusrežiimile (punktis 3 mõõdetud U_2 ja i_2) diferentsiaal-takistusest ja pingevallikast koosnev lineaarne jadaaaseskeem.

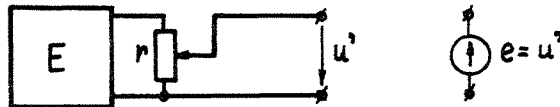
Joonestada jadaaaseskeem, millele märkida pingevallika emj. suund ja suurus ning diferentsiaaltakistus.

Kasutades punktis 6 leitud ekvivalentset generaatorit ja käesoleva punkti lineaarset jadaaaseskeemi, arvutada U_2 ja i_2 . Võrrelda tulemusi punktis 3 mõõdetutega.

8. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang.

Metoodilisi juhendeid

Joonistel 18-2 ja 18-3 näidatud mõlemad pingevallikad e_1 ja e_2 koosnevad energiaallikast E (akupatarei, alaldi jne.) ning kolme klemmiga reostaadist r (joon. 18-4).



Joonis 18-4

Kirjandus

- [1], lk. 74-91;
- [2], lk. 44-59;
- [4], lk. 120-129;
- [7], lk. 52-68;
- [8], lk. 126-153.

MAGNETAHEL

Töö eesmärgiks on uurida magnetvoogude jaotust õhupiluga kolmesambalises ferromagnetilisest materjalist magnetahelas alalisvooluga magneetimisel.

Kõigi magnetahelale paigutatud magneetimis- ja mõõtemähiste kerimissuunad on märgitud joonistel.

1. Koostada lülitus vastavalt joonisele 19-1 ferromagnetilise südamikü materjali almagneetimiskõvera määramiseks. Magneetimine toimub alalisvooluga, magnetahela jääkmagnetismi kustutamine ehk lahtimagneetimine vahelduvvooluga.

2. Suurendades astmeliselt magneetimisvoolu mähistes 1 - 1' ja 5 - 5' (ühe, kahe, kolme jne. takisti sisselülitamisega), määrata ferromagnetilisest materjalist südamiku almagneetimiskõver (magnetvoog funktsioonina magneetimisvoolust).

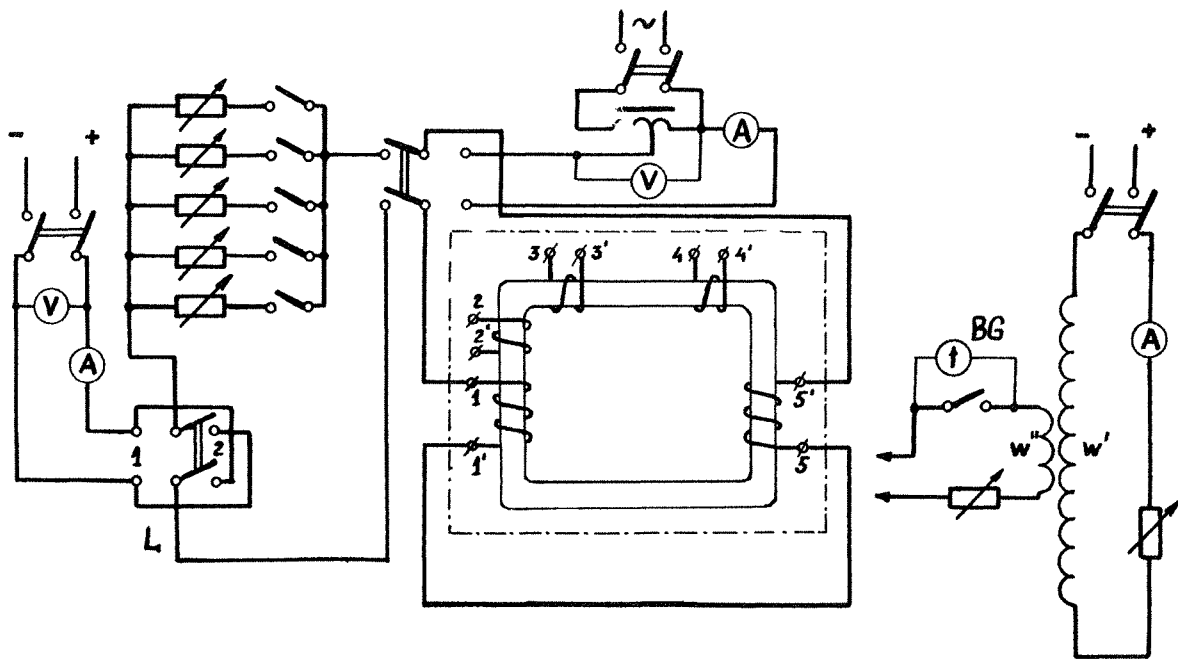
Mõõtemähisena kasutada mähiseid 3 - 3' või 4 - 4'. Eelnevalt määrata proovimise teel galvanomeetri eeltakistuse suurus sobivate galvanomeetri hälvete saamiseks. Vahetult mõõtmiste eel magneetida ahel lahti sujuvalt suurimalt väärtuselt nullini vähendatava vahelduvvooluga.

Märkus. Ballistilist galvanomeetrit sünteeriv lülitilgi normaalselt suletud ning see avatakse ainult lugemi või vaatluse tegemise ajaks.

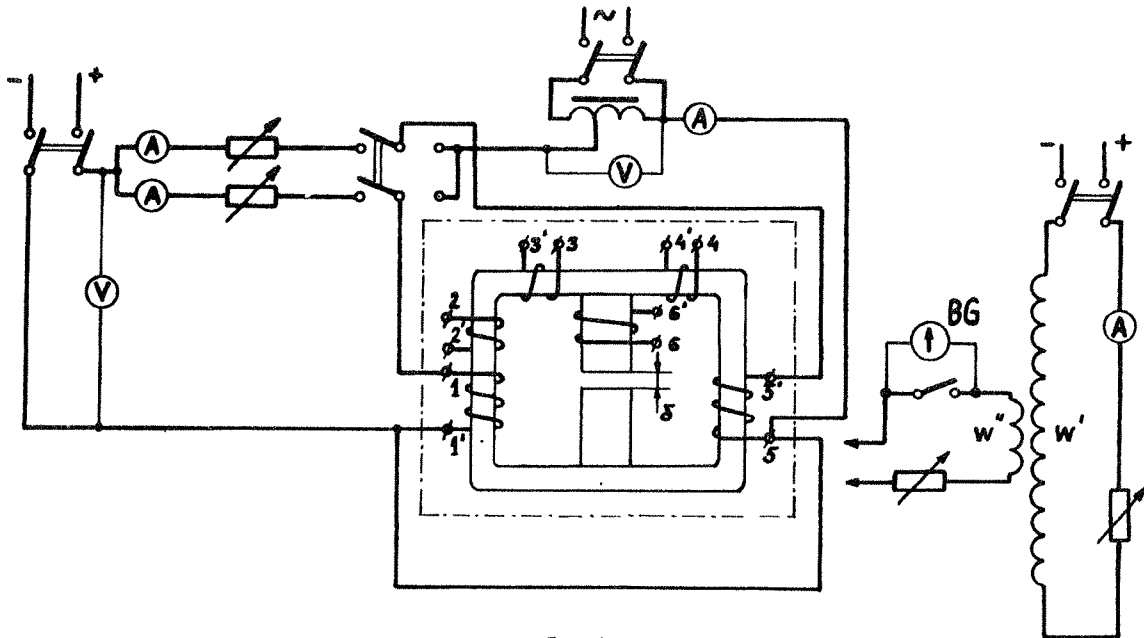
3. Koostada lülitus vastavalt joonisele 19-2 magnetvoogude jaotuse määramiseks kolme haruga magnetahelas. Keskmisel magnetahela sambal on õhupilu ja mõõtemähis. Ülejäänud sammastel on magneetimis- ja mõõtemähised.

4. Reguleerida magneetimismähiste 1 - 1' ja 5 - 5' harude takistused nii, et sisselülitamisel tekiks etteantavad magneetimisvoolud. Peale südamiku lahtimagneetimist vahelduvvooluga ja galvanomeetri ühendamist ühe mõõtemähisega lülitada sisse magneetimisvoolud ja lugeda galvanomeetri hälve. Katset korrata samade magneetimisvoolude puhul galvanomeetri ühendamisel järjekorras kõikide mõõtemähistega. Enne iga mõõtmist määrata proovimise teel galvanomeetri eeltakistuse suurus sobivate galvanomeetri hälvete saamiseks ja kustutada jääkmagnetism.

27



Joonis 19-1



Joonis 19-2

5. Ballistilise galvanomeetri ühe jaotuse väärtus määrata iga galvanomeetri eeltakistuse kasutatud suuruse juures. Selleks reguleerida pika pooli vool sellise suuruseni, et tema väljalülitamisel ballistilise galvanomeetri hälve kujuneks ühe galvanomeetri kasutatud eeltakistuse juures võrreldavaks hälvetega eelnevatel mõõtmistel. Lugada paaril korral pika pooli voolu väljalülitamisel ballistilise galvanomeetri hälvet iga kasutatud eeltakistuse väärtuse juures.

Arvutada ballistilise galvanomeetri ühe jaotuse väärtus pika pooli ja temaga sidestatud pooli andmete alusel igale kasutatud eeltakistuse suurusele (vt. meetodilisi juhendeid).

6. P. 2 mõõtetulemustest ja südamiku mõõtetest arvutada ja joonestada ferromagnetilise südamiku materjali almagneetimiskõver $B=f(H)$, mis on lähedane põhimagneetimiskõverale.

7. Katsel kasutatud magnetomotoorjõudude $W_1 i_1$ ja $W_2 i_2$, magnetahela mõõtmete ning punktis 6 saadud materjali almagneetimiskõvera alusel leida grafoanalüütiliselt magnetahela magnetvood. Arvutada magnetvoogude väärtused katsetulemuste põhjal ja kanda eksperimentaalsed tulemused arvutatud graafikutele.

Märkus. Kõik magnetomotoorjõud, magnetilised pinged ja magnetvood olgu katse- ja arvutustulemustes antud algebraliste suurustena. Positiivsed suunad näidata tööaruandes skeemil noolekestena.

8. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang. Võrrelda teoreetilist ja katselist magnetvoogude jaotust.

Meetodilisi juhendeid

Selleks et punktide 2 ja 4 galvanomeetri näitude alusel arvutada vastavad magnetvood, tuleb galvanomeetri näite (hälbeid) korrutada teguriga k_{ϕ} , mis väljendab magnetvoo väärtust ühe jaotise kohta $\frac{Wb}{\text{jaotis}}$. Vaatame galvanomeetri ühendusskeemi joonisel 19-3. Galvanomeetri näit on võrdeline suurusega $\frac{\Delta \Psi}{r}$, kus $\Delta \Psi$ on galvanomeetri ahela aheldusvoo (aheldusvoog, mis aheldub pooliga W'' või mõõtemähisega W_m) muutus ja r galvanomeetri ahela summaarne takistus (galva-

nomeetri, mähiste W'' ja W_m ning eeltakisti r_2 summaarne takistus). Teguri k_ϕ leidmiseks sulgema lülitit L_1 , mille tõttu pikka pooli läbib vool i . Pika pooli keskosas tekib magnetväli tugevusega $H = \frac{iW'}{\ell}$ ja magnetiline induktsioon

$B = \mu_0 H$. Seega galvanomeetri ahela aheldusvoo oleks

$$B \cdot W'' \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\mu_0 i W' W'' \pi d^2}{4\ell}. \text{ Siin } \ell \text{ on pika pooli mähise}$$

pikkus ja d on tema keerdude keskmine diameeter. Kui lülitit L_1 avada, kaob magnetväli ja vastav aheldusvoo muutus oleks

$$\Delta \Psi = \frac{\mu_0 i W' W'' \pi d^2}{4\ell}. \text{ Galvanomeeter annab hälbe } \alpha, \text{ mis}$$

$$\text{on võrdeline avaldisega } \frac{\Delta \Psi}{r} = \frac{\mu_0 i W' W'' \pi d^2}{4\ell r}$$

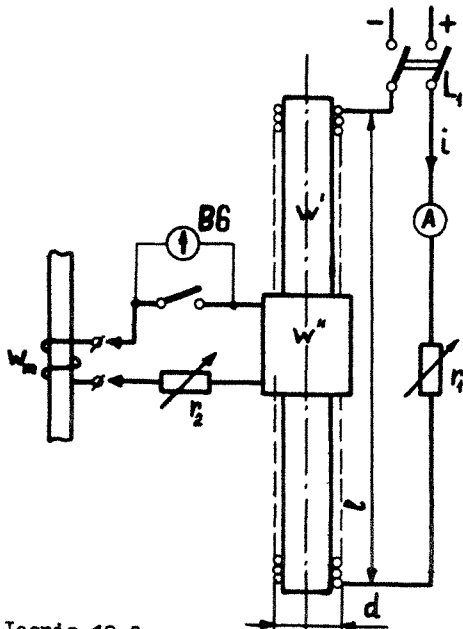
$$\text{ehk konstantse } r \text{ puhul lihtsalt avaldisega } \Delta \Psi = \frac{\mu_0 i W' W'' \pi d^2}{4\ell}.$$

Aheldusvoo väärtus galvanomeetri ühe jaotise kohta on seega

$$k_{\Psi} = \frac{\Delta \Psi}{\alpha} = \frac{\mu_0 i W' W'' \pi d^2}{4\ell \alpha}. \text{ Et meid huvitab aga ühe jaotise}$$

$$\text{väärtus magnetvoole } k_\phi, \text{ tuleks } k_{\Psi} \text{ jagada selle mähise keer-}$$

$$\text{dude arvuga } W_m, \text{ millega galvanomeeter punktide 2 ja 4}$$



Joonis 19-3

mõõtmistel parajasti on ühendatud (mähised 2 - 2', 3 - 3', 4 - 4' või 6 - 6'). Seega siis

$$k_{\phi} = \frac{\mu_0 i w' w'' \pi d^2}{4 l \alpha w_m} \left[\frac{Wb}{\text{jaotus}} \right].$$

Arutluskäigust selgub, et eeltakisti r_2 muutmisel tuleb k_{ϕ} uuesti määrata.

Kirjandus

- [1], lk. 91-101;
- [2], lk. 60-77;
- [4], lk. 129-139;
- [7], lk. 72-77;
- [8], lk. 211-218.

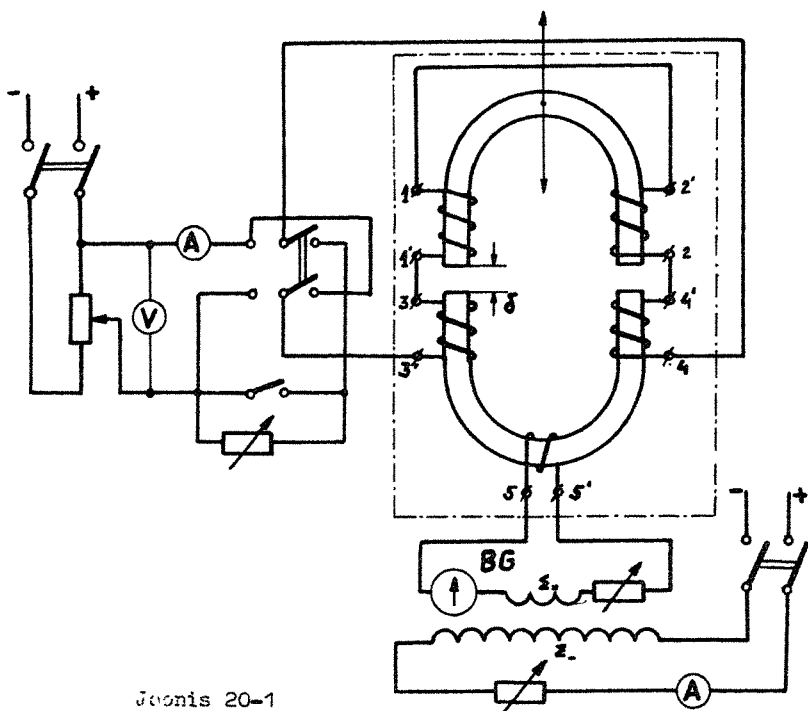
T ö ö nr. 20

MAGNETAHEL PERMANENTMAGNETIGA

Töö eesmärgiks on tutvuda permanentmagnetiga magnetahela seaduspärasustega ja selgitada ahelas kehtivaid seoseid magneetimisergutuse ning õhupilu muutumise korral.

1. Koostada lülitus vastavalt joonisele 20-1 permanentmagnetiga magnetahela uurimiseks. Katseobjektiks on kaks ühesugust permanentmagnetit. Magneetimine toimub alalisvooluga. Magnetvood määratakse ballistilise galvanomeetriga.

2. Õhupilu puududes magnetite vahel viia läbi suure küllastuse juures sümmeetrilise hüstereesisilmuse otspunktide ja jääkinduktsiooni määramiseks vajalikud ballistilised mõõtmised kahe magneetimisvoolu juures. Et mõõtmised vastaksid sümmeetrilisele hüstereesisilmusele, tuleb mõlema magneetimisvoolu juures enne mõõtmisi läbi viia magnetiline ettevalmistus. Üks magneetimisvool olgu 0,75 teisest. Kui pärast magnetilist ettevalmistust voolu väljalülitamisel ja teisesuunalise voolu sisselülitamisel galvanomeetri hälvetel α_1 ja α_2 vahe on mõlema voolu juures praktiliselt sama, siis on küllastus antud voolude puhul saavutatud. (Galvanomeetri hälvete vahe $\alpha_2 - \alpha_1$ on võrdeline kahekordse jääkinduktsiooniga ja kül-



Joonis 20-1

lastuse tunnuseks on jääkinduksiooni sõltumatus hüstereesisilmuse otspunktilede vastavatest magneetimisvooludest.)

Märkus. Antud töö kõikide mõõtmiste eel määrata proovimisega ballistilise galvanomeetri eeltakistuse suurus sobivate galvanomeetri hälvete saamiseks. Magnetiline ettevalmistus teha magneetimisvoolu suuna mitmekordse ümberlülitamisega.

3. Võtta üles andmed sümmeetrilise hüstereesisilmuse lah-timagneetimiskõvera määramiseks sümmeetrilise hüstereesisilmuse otspunktile vastava (punktis 2 kasutatud suurem vool) väljalülitamisega ja mitmesuguse väärtusega vastassuunalise voolu sisselülitamisega. Vastassuunalise voolu sisselülitamisel lugeda ballistilise galvanomeetri hälbed. Enne igakordset hüstereesisilmuse otspunktile vastava magneetimisvoolu väljalülitamist viia selle magneetimisvooluga läbi magnetiline ettevalmistus.

4. Teha mõõtmised nn. tagastusjoonte otspunktide määramiseks p. 3 hüstereesisilmuse lahtimagneetimiskõvera mõnele punktile. Selleks lülitada välja hüstereesisilmuse 2. kvadrandi mõnedele punktidele vastavad magneetimisvoolud ahelast ning lugeda samaaegselt ballistilise galvanomeetri hääbed.

5. Määrata induksiooni muutus ΔB , mis tekib magnetitevahelise õhupilu sissetoomisega. Selleks muuta õhupilu pikkus vastava vedrumehhanismi ja piiraja abil (pärast ahela magnetilist ettevalmistamist p. 2 suurema vooluga ja magneetimisvoolu väljalülitamist positiivselt väärtuselt) kiiresti kuni etteantava väärtuseni ning lugeda samaaegselt ballistilist galvanomeetrit.

6. Teha mõõtmised permanentmagneti induksiooni ja tagastusjoone otspunktide määramiseks õhupilu uuesti nulliks muutmise teel. Selleks reguleerida õhupilu pikkus kiiresti nulliks ja lugeda samaaegselt ballistilist galvanomeetrit.

7. Ballistilise galvanomeetri ühe jaotuse väärtus määrata ja arvutada iga galvanomeetri eeltakistuse kasutatud suuruse juures nagu töös nr. 19.

8. Magnetahela andmetest ja p.2 mõõtetulemustest arvutada jääkinduksioon ning p. 3 mõõtetulemuste ja ahela andmete alusel lahtimagneetimiskõvera teised punktid ja koertsitiivjõud. Tulemused esitada graafiliselt.

9. Arvutada ja kujutada graafiliselt hüstereesisilmuse 2. kvadrandiga ühises teljestikus kõik ülejäänud katseliselt määratud magnetahela magnetilised olukorrad. Võrrelda punktis 4 ja punktis 6 määratud tagastusjooni.

10. Magnetahela mõõtmete ja punktis 8 leitud lahtimagneetimiskõvera andmete alusel määrata grafoanalüütiliselt magnetilise induksiooni väärtus magnetahelas, kui õhupilu pikkus on võrdne p. 5 õhupilu pikkusega.

11. Anda töö tulemuste analüüs. Võrrelda punktis 10 grafoanalüütiliselt leitud induksiooni väärtust katselisega.

Kirjandus

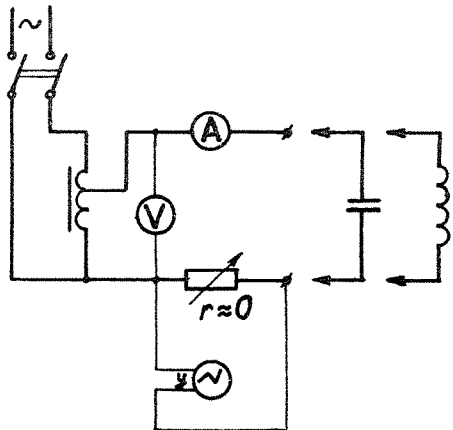
- [1], lk. 101-105;
- [2], lk. 77-83;
- [4], lk. 139-140;
- [7], lk. 77-80;
- [8], lk. 218-221.

T ö ö nr. 21

FERROMAGNETILISE SÜDAMIKUGA POOLI JA KONDENSAATORI JADA- ÜHENDUS

Töö eesmärgiks on tutvuda ferromagnetilise südamikuga pooli ja lineaarset kondensaatorit sisaldavas jadaahelas toimuvate nähtustega ahela pingele või voolu pideval muutmisel.

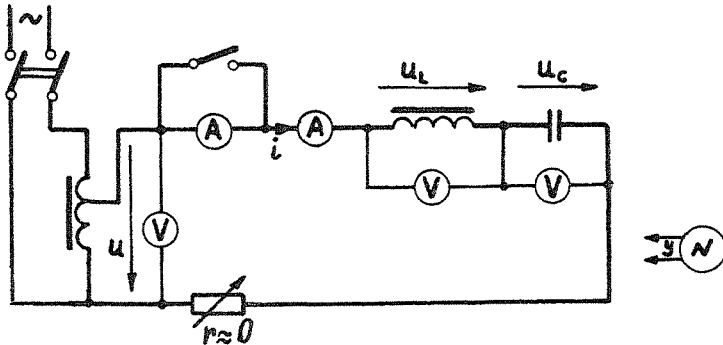
1. Koostada lülitus ferromagnetilise südamikuga pooli ja kondensaatori pingele-voolu karakteristikute määramiseks vastavalt joonisele 21-1.



Joonis 21-1

Voolukõvera kuju selgitamiseks lülitada ahelasse väikese takistusega reostaat, mille pinget jälgida ostsilloskoobiga.

Reguleerida pinget ja lugeda voltmeetrit ning ampermeetrit. Suurima toitepinge puhul joonestada pooli ja kondensaatori voolukõverad ostsilloskoobi ekraanilt.



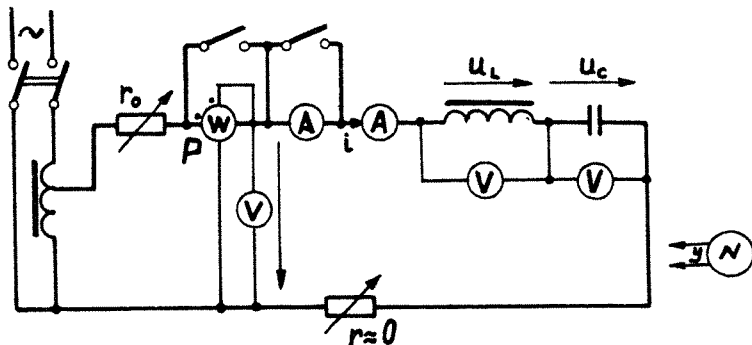
Joonis 21-2

2. Koostada lülitus vastavalt joonisele 21-2 pooli ja kondensaatori jadaühenduse katsetamiseks toitepinge pideva reguleerimisega. Et laiades piirides muutuvat voolu tuleb mõõta ahelat katkestamata, on järjestikku kaks ampermeetrit, millest väiksempiirkonnaga ampermeeter on lülitiga šunteeritav. Lülitit tohib olla avatud ainult juhul, kui mõõdetav vool on väiksem šunteeritava ampermeetri nimivoolust.

Mõõta voolu I , pooli ja kondensaatori pingeid U_L ja U_C , toitepinget U ja sagedust f kahel juhul: toitepinge monotoonsel suurendamisel nullist kuni maksimaalseni ja toitepinge monotoonsel vähendamisel maksimaalsest nullini. Enne mõõtmisele asumist selgitada ampermeetri šunteeritud olekus ja voltmeetrite maksimaalsete mõõtepiirkondade puhul, missuguse toitepinge juures tekib voolu hüpe pinge monotoonsel tõstmisel.

Joonestada ostsilloskoobi ekraanilt kõverad i , U_L ja U_C pinge monotoonse tõstmise juhul enne ja pärast voolu hüpset.

3. Koostada lülitus vastavalt joonisele 21-3 pooli ja kondensaatori jadaühenduse katsetamiseks voolu pideva reguleerimisega. Selleks ühendada järjestikku ahelaga reostaat r_0 , mille takistus valida katseliselt selline, et pinge pideval muutmisel autotrafoga puuduksid voolus hüpped.



Joonis 21-3

Mõõta voolu I , pooli ja kondensaatori pingeid U_L ja U_C , toitepinget U ja sagedust f voolu I monotoonsel suurendamisel nullist kuni maksimaalseni ja vähendamisel maksimaalsest kuni nullini. Katsepunktide hulgas olgu ka resonantsipunkt. Resonantsipunktis mõõta peale I , U_L , U_C ja U ka ahela aktiivvõimsus P .

Joonestada ostsilloskoobi ekraanilt kõverad i , u_L , u_C ja u voolu ühe suure ja ühe väikese väärtuse juures.

4. Joonestada p. 1 mõõtetulemuste alusel pooli ja kondensaatori karakteristikud $U_L(I)$ ja $U_C(I)$.

5. Joonestada punktide 2 ja 3 mõõtetulemuste alusel karakteristikud $U(I)$, $U_L(I)$ ja $U_C(I)$.

Kanda samale graafikule punktis 4 joonestatud karakteristikud $U_L(I)$ ja $U_C(I)$. Konstrueerida viimase kahe karakteristiku alusel $U(I)$.

Võrrelda punktide 2 ja 3 ning 4 alusel saadud jadaühen-

duse pingevoolu karakteristikuid $U(I)$. Selgitada erinevatel viisidel saadud karakteristikute erinevuse põhjused.

6. P. 3 resonantsiolukorra mõõtetulemustest arvutada pingega U aktiivkomponent $U_r = U_{r1}$, pooli pinge kolmas harmooniline U_{L3} ja pooli pinge esimese harmoonilise reaktiivkomponent U_{Lx1} . Võrrelda U_{Lx1} mõõdetud kondensaatori pingega U_c (vt. metoodilisi juhendeid).

7. P. 2 mõõtetulemuste alusel joonestada karakteristik $U_L(U)$. Selgitada joonisel 21-2 näidatud ahela kasutamise võimalus pingestabilisaatorina.

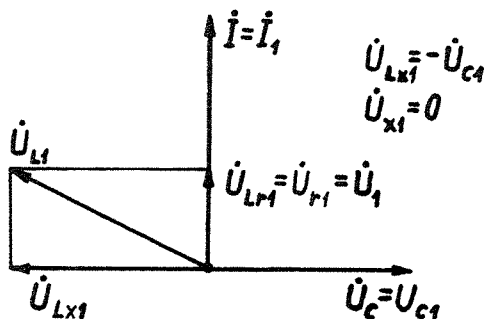
8. Lugesdes kõik ahela pinged ja voolud siinussuurusteks, s.t. asendades kõik ahela pinged ja voolud ekvivalentsete sinusoididega, joonestada p. 2 mõõtetulemuste alusel vektordiagrammid sellisel toitepinge väärtusel, mille juures pingetõstmisel toimus voolus hüpe. Vektordiagrammid joonestada režiimidele enne ja pärast hüpet ning nad sisaldagu vektoreid $\dot{U}, \dot{U}_L, \dot{U}_C$ ja \dot{I} .

9. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang. Selgitada pooli mähise aktiivtakistuse, rauaskadude ning ahela voolu ja pingete harmooniliste mõju katsetulemustele.

Metoodilisi juhendeid

P. 3 mõõtmistel võib ahela voolu i (efektiivväärtus I) lugeda siinusvooluks (sisaldab ainult 1. harmoonilist $I = I_1$). Lineaarse kondensaatori pingega $u_c(u_c)$ on seega siinuspinge ja sisaldab ainult 1. harmoonilist ($U_c = U_{c1}$). Analüüsi lihtsustamiseks eeldame, et pooli pingega $u_L(u_L)$ sisaldab 1. harmoonilist (U_{L1}) ja 3. harmoonilist (U_{L3}). Seega sisalduvad ahela pinges $u(U)$ ka ainult 1. ja 3. harmooniline (U_1 ja U_3). Vektordiagramm 1. harmoonilisele resonantsiolukorras (ahel on resonantsis 1. harmoonilisele) on esitatud joonisel 21-4. Vektordiagrammil on U_{Lr1} ja U_{Lx1} pooli pingega U_L 1. harmoonilise U_{L1} aktiiv- ja reaktiivkomponendid ja U_{r1} ning U_{x1} on pingega U 1. harmoonilise U_1 aktiiv- ja reaktiivkomponendid.

Kuna pinged U_L ja U sisaldavad peale 1. ka 3. harmoonilist, mis on omavahel võrdsed ($U_{L3} = U_3$), saame kirjutada resonantsiolukorraale:



Joonis 21-4

$$U^2 = U_1^2 + U_3^2 = U_{r1}^2 + U_{L3}^2 ; \quad U_1 = U_{r1} = U_{Lr1} ;$$

$$U_L^2 = U_{L1}^2 + U_{L3}^2 = U_{Lr1}^2 + U_{Lx1}^2 + U_{L3}^2 = U_{r1}^2 + U_{Lx1}^2 + U_{L3}^2 .$$

Keskmine võimsus, mida mõõdab vattmeeter:

$$P = U_1 I_1 \cos(\gamma_{U_1} - \gamma_{I_1}) = I_1 U_{r1} = I U_{r1} .$$

Et punktis 3 on mõõdetud resonantsiolukorras I, U, U_L, U_c ja P , seame toodud seoste abil arvutada nõutavad suurused.

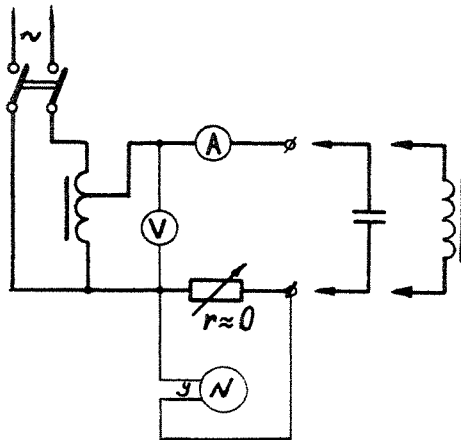
Kirjandus

- [1], lk. 396-400;
- [2], lk. 309-317;
- [4], lk. 168-173;
- [7], lk. 98-105;
- [9], lk. 392-399.

FERROMAGNETILISE SÜDAMIKUGA POOLI JA KONDENSAATORI RÖÖP-
ÜHENDUS

Töö eesmärgiks on tutvuda ferromagnetilise südamikuga pooli ja lineaarset kondensaatorit sisaldavas rööpahelas toimuvate nähtustega ahela pinge või ahela voolu pideval muutmisel.

1. Koostada lülitus ferromagnetilise südamikuga pooli ja kondensaatori pinge-voolu karakteristikute määramiseks vastavalt joonisele 22-1.

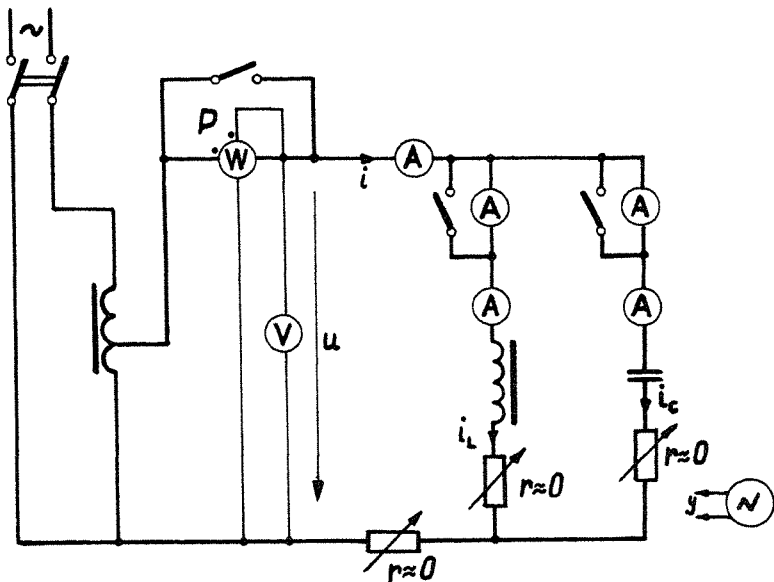


Joonis 22-1

Voolukõvera kuju selgitamiseks lülitada ahelasse väikese takistusega reostaat, mille pinget jälgida ostsilloskoobiga.

Reguleerida pinget ja lugeda voltmeetrit ning ampermeetrit. Suurima toitepinge puhul joonestada pooli ja kondensaatori voolukõverad ostsilloskoobi ekraanilt.

2. Koostada lülitus vastavalt joonisele 22-2 pooli ja kondensaatori rööpühenduse katsetamiseks toitepinge pideva reguleerimisega. Et laiades piirides muutuvat kondensaatori ja pooli voolu mõõta ahelat katkestamata, on kahes harus jär-



Joonis 22-2

jestikku kaks ampermeetrit, millest väiksema piirkonnaga ampermeetrid on šunteeritavad lülititega. Šunteerimislülitid tohib olla avatud ainult juhul, kui vool on väiksem ampermeetri nimivoolust.

Mõõta pinget U , pooli ja kondensaatori voole I_L ja I_C , ahela koguvoolu I ja sagedust f pingemonotoonsel suurenemisel nullist kuni maksimaalseni ja vähendamisel maksimaalsest nullini. Katsepunktide hulgas olgu ka resonantsipunkt. Resonantsipunkti mõõta peale U , I_L , I_C ja I ka ahela aktiivvõimsus P .

Joonestada ostsilloskoobi ekraanilt kõverad U , i_L , i_C ja i ahela maksimaalse voolu I juures ja resonantsipunktis.

3. Koostada lülitus vastavalt joonisele 22-3 pooli ja kondensaatori rööpühenduse katsetamiseks voolu pideva reguleerimisega. Voolu pidevaks reguleerimiseks toita ahelat reguleeritava vooluallika (joonisel 22-3) kriipsjoonega piiratud osa) kaudu. Kasutatud vooluallikas sisaldab L , C -ahelat, mis on resonantsis toitesagedusega. Niisiis on vooluallika sisetakistus (sisendtakistus uuritava ahela klemmidelt) tunduvalt suurem (teoreetiliselt kadude puudumisel lõpnata suur) koormuse (uuritava ahela) takistusest ja seega on ahela vool I praktiliselt määratud vooluallika vooluga. Ahela voolu I võib reguleerida, muutes autotrafoga pinget U' . Takisti r on lülitatud vooluallikasse elementides L ja C voolu piiramiseks.

Mõõta pinget U , pooli ja kondensaatori voole I_L ja I_C , ahela koguvoolu I ja sagedust f voolu I monotoonsel suuren-damisel nullist kuni maksimaalseni ja vähendamisel maksimaal-sest nullini. Enne mõõtmisele asumist selgitada ampermeetri-te šunteeritud olekus ja voltmeetri maksimaalsel mõõtepiir-konnal, millisel voolu I väärtusel tekib pinges ja pooli ning kondensaatori voolus hüpe voolu I monotoonsel suuren-damisel.

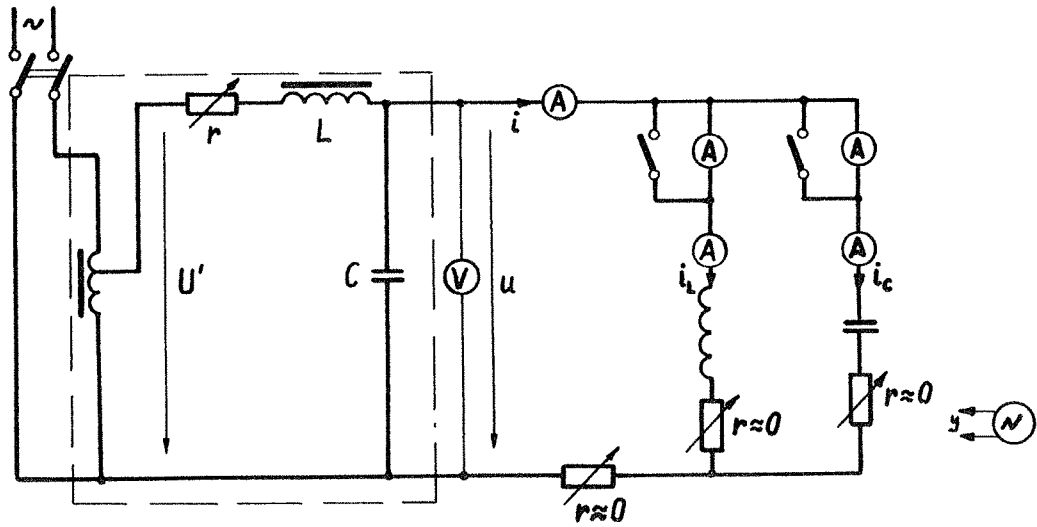
Joonestada ostsilloskoobi ekraanilt voolu monotoonse tõst-mise juhule enne ja pärast pinget hüpset kõverad U , i_L , i_C ja i .

4. Joonestada p. 1 mõõtetulemuste alusel pooli ja kon-densaatori karakteristikud $I_L(U)$ ja $I_C(U)$.

5. Joonestada punktide 2 ja 3 mõõtetulemuste alusel ka-rakteristikud $I(U)$, $I_L(U)$ ja $I_C(U)$.

Kanda samale graafikule punktis 4 joonestatud karakteris-tikud $I_L(U)$ ja $I_C(U)$. Konstrueerida viimase kahe karakteris-tiku alusel $I(U)$.

Võrrelda punktide 2 ja 3 ning 4 alusel saadud rööpühen-duse pingevoolu karakteristikuid $I(U)$. Selgitada erinevatel viisidel saadud karakteristikute erinevuse põhjused.



Joonis 22-3

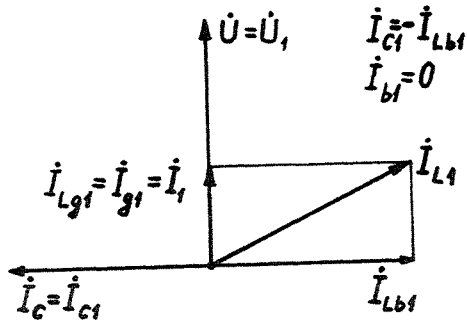
6. P. 2 resonantsiolukorra mõõtetulemustest arvutada voolu \dot{I} aktiivkomponent $\dot{I}_g = \dot{I}_{g1}$, pooli voolu kolmas harmooniline \dot{I}_{L3} ja pooli voolu esimese harmoonilise reaktiivkomponent \dot{I}_{Lb1} . Võrrelda \dot{I}_{Lb1} mõõdetud kondensaatori vooluga \dot{I}_c (vt. metoodilisi juhendeid).

7. Asendades kõik ahela pinged ja voolud ekvivalentsete sinusoididega, joonestada p. 3 mõõtetulemuste alusel vektordiagrammid sellisel toitevoolu väärtusel, mille juures voolu suurendamisel toimus pinges hüpe. Vektordiagrammid joonestada režiimidele enne ja pärast hüpset ning nad sisaldagu vektoreid \dot{U} , \dot{I} , \dot{I}_L ja \dot{I}_C .

8. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang. Selgitada pooli mähise aktiivtakistuse, rauaskadude ning ahela voolude ja pinge harmooniliste mõju katsetulemustele.

Metoodilisi juhendeid

P. 2 mõõtmistel võib toitepinge U (efektiivväärtus U) lugeda siinuspingeks (sisaldab ainult 1. harmoonilist $U = U_1$). Lineaarse kondensaatori vool $i_c(I_c)$ on seega siinusvool ja sisaldab ainult 1. harmoonilist ($I_c = I_{c1}$). Analüüsi lihtsustamiseks eeldame, et pooli vool $i_L(I_L)$ sisaldab 1. (I_{L1}) ja 3. harmoonilist (I_{L3}). Seega sisalduvad ahela voolus $i(I)$ ka ainult 1. ja 3. harmooniline (I_1 ja I_3). Vektordiagramm 1. harmoonilisele resonantsiolukorras (ahel on resonantsis 1. harmoonilisega) on esitatud joonisel 22-4. Vektordiagrammil \dot{I}_{Lg1} ja



Joonis 22-4

I_{Lb1} on pooli voolu I_L 1. harmoonilise I_{L1} aktiiv- ja reaktiivkomponendid ja I_{g1} ning I_{b1} on voolu I 1. harmoonilise I_1 aktiiv- ja reaktiivkomponendid.

Kuna voolud I_L ja I sisaldavad ka 3. harmoonilist, mis on omavahel võrdsed ($I_{L3}=I_3$), saame kirjutada resonantsiolukorrale:

$$I^2 = I_1^2 + I_3^2 = I_{g1}^2 + I_{L3}^2 ; \quad I_{Lg1} = I_{g1} = I_1 ;$$

$$I_L^2 = I_{L1}^2 + I_{L3}^2 = I_{Lg1}^2 + I_{Lb1}^2 + I_{L3}^2 = I_{g1}^2 + I_{Lb1}^2 + I_{L3}^2 .$$

Keskmine võimsus, mida mõõdab vattmeeter:

$$P = U_1 I_1 \cos(\psi_{u1} - \psi_{i1}) = U_1 I_{g1} = U I_{g1} .$$

Kuna punktis 2 on mõõdetud resonantsiolukorras U , I_L , I_C , I ja P saame toodud seoste abil arvutada nõutavad suurused.

Kirjandus

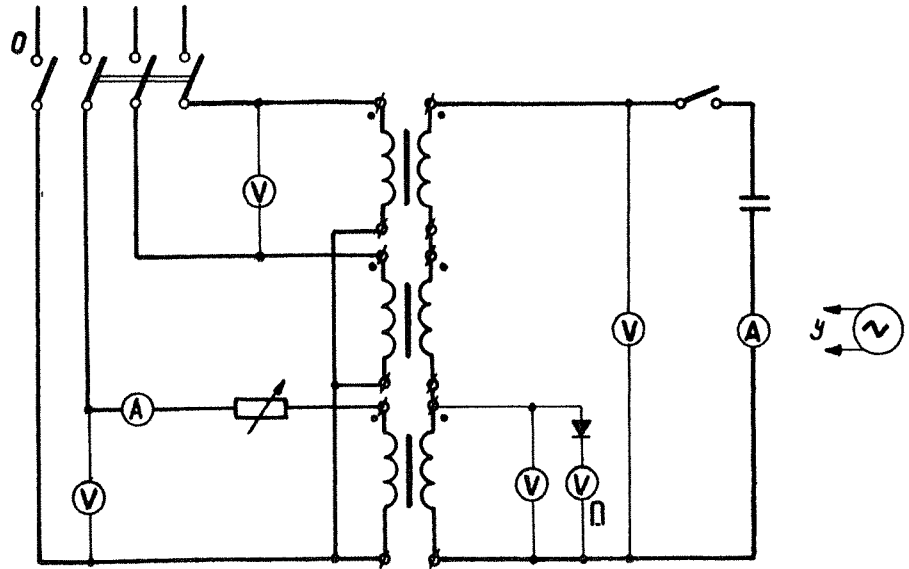
- [1], lk. 396-400;
- [2], lk. 309-317;
- [4], lk. 168-173;
- [7], lk. 98-105;
- [9], lk. 392-399.

T ö ö nr. 23

SAGEDUSE KOLMEKORDISTAMINE KÜLLASTATUD ÜHEFAASILISTE TRANSFORMAATORITE ABIL

Töö eesmärgiks on tutvuda sageduse kolmekordistamise võimalusega küllastatud ühefaasiliste transformaatorite abil ja kõrgemate harmoonilistega kolmefaasilistes vahelduvvooluahelates.

1. Koostada sageduse kolmekordisti lülitus vastavalt joonisele 23-1.



Joonis 23-1

2. Mõõta kolmejuhtmelise toite puhul mõõtekondensaatori lahtilülitatud olukorras ühe transformatori primaarvoolu, primaarpinget ja sekundaarpinget ning kolme transformatori sekundaarpingete summat.

Joonestada ostsilloskoobi ekraanilt transformatorite primaarpoole ühe liini- ja faasipinge, sekundaarpingete summa ja primaarvoolu kõverad.

Magnetvoo maksimaalväärtuse määramiseks trafo südamikus mõõta alaldiga varustatud magnetelektrilise voltmeetri abil ühe trafo sekundaarmähise klemmipinget. Kõik mõõtmised teha ja pinge- ning voolukõverad joonestada toitepinge ühe suure ja ühe väikese väärtuse juures.

3. Mõõta kolme transformatori sekundaarpingete summa sageduse määramiseks teadaoleva mahtuvusega mõõtekondensaatori voolu ja pinget toitepingete samade väärtuste juures kui p. 2. Jälgida, kuidas muutub kolme transformatori sekundaarpingete summa ja ühe transformatori sekundaarpinge kondensaatori juurdelülitamisel.

4. Korrata punktides 2 ja 3 nimetatut neljajuhtmelise toite puhul.

5. Alaldiga varustatud magnetelektrilise voltmeetri mõõtetulemuste ja trafode sekundaarmähiste teadaoleva keerdude arvu alusel arvutada magnetvoo maksimaalväärtused trafode südamikes.

6. P. 5 arvutustulemuste ja trafode südamike teadaolevate mõõtmete ning täiteteguri alusel arvutada magnetilise induktiooni maksimaalväärtused trafode südamikes.

7. Arvutada ühe trafo pinge kujutegur k_f elektromagnetilise ja alaldiga varustatud magnetelektrilise voltmeetri näitude alusel kolme- ning neljajuhtmelise toite puhul p. 2 ja 4 mõõtetulemustest. Võrrelda arvutatud kujutegureid siinuse kujuteguriga.

8. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang. Selgitada trafo aseseemi ja vektordiagrammi abil, miks sageduse kolmekordisti koormamisel mahtuvusliku vooluga tema väljundi klemmipinget ja ühe trafo sekundaarpinge suureneb. Mille poolst erineb kolme- ja neljajuhtmeline toide antud ahelas?

Kirjandus

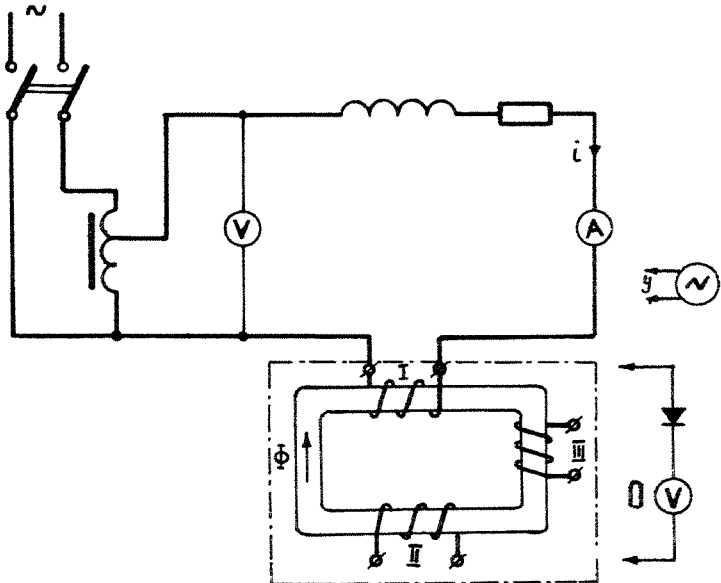
- [7], lk. 94-97, 110-113;
[9], lk. 234-238, 400-401.

T ö o nr. 24

FERROMAGNETILINE SAGEDUSKAHEKORDISTI

Töö eesmärgiks on tutvuda sageduse kahekordistamisega eelmagneeditud ühefaasiliste transformatorite abil ja kõrgemate harmoonilistega ferromagnetilise südamikuga pooli sisaldavates vahelduvvooluahelates.

1. Koostada lülitus vastavalt joonisele 24-1 ühe töös kasutatava transformatori magnetvoo ja magneetimisergutuse



Joonis 24-1

hetkväärtuste vahelise seose $\dot{\Phi} = f(w_1 i)$ määramiseks nimetatud suuruste maksimaalväärtuste kaudu. Voolu siinuseliseks muutmiseks on ahelas transformaatori mähisega järjestikku suure takistusega induktiivpoolist ja reostaadist koosnev lineaarne osa.

2. Reguleerida ja mõõta trafo primaarmähise voolu ning trafo magnetvoo maksimaalväärtuse määramiseks teadaoleva keerdude arvuga mähise II või III pinget alaldiga varustatud magnetotelekttrilise voltmeetriga.

Kontrollida magneetimisvoolu siinuselisust ostsilloskoobiga.

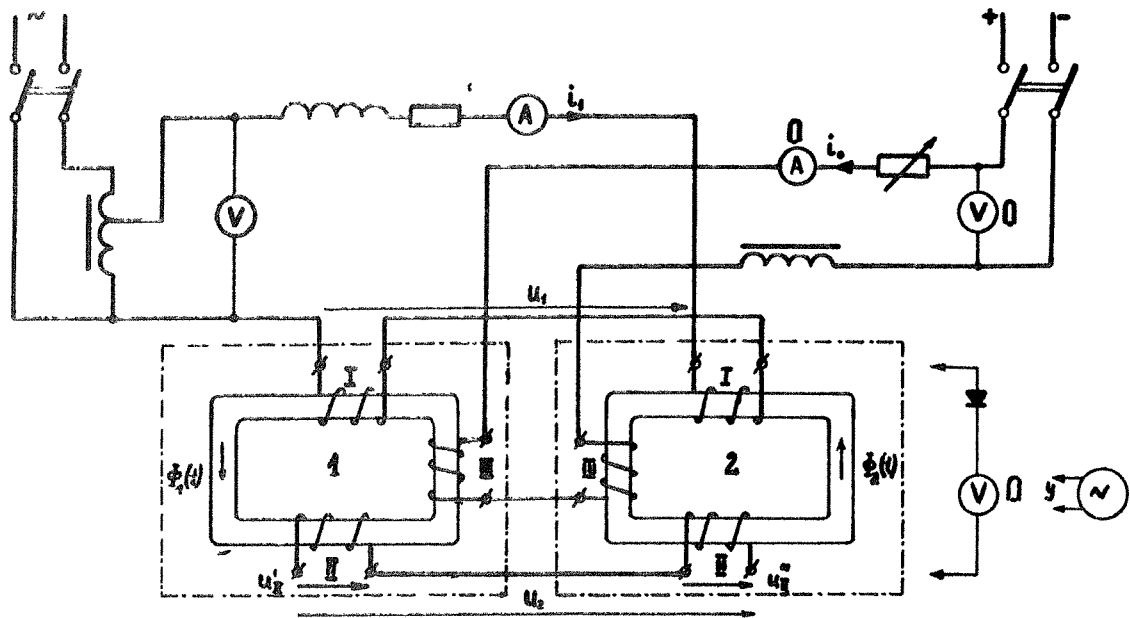
3. Koostada lülitus vastavalt joonisele 24-2 ferromagnetilise sageduse kahekordisti uurimiseks tühijoosul siinuselise primaarvoolu juures. Pinge vahelduvkomponendi tõkestamiseks ühendada eelmagneetimismähiste III toiteallikasse mähistega järjestikku suure induktiivsusega pool.

4. Sageduse kahekordisti väljundpinge keskvaartuse ja eelmagneetimisvoolu olenevuse $U_{2\text{kesk}} = f(i_0)$ määramiseks, kui toitevoolul on konstantne efektiivväärtus $I_1 = \text{const}$, mõõta alaldiga varustatud magnetotelekttrilise voltmeetriga mähiste II summaarse pinget ja magnetotelekttrilise ampermeetriga mähiste III voolu. Samal ajal reguleerida alalisvoolu nullist kuni maksimaalväärtuseni ja vahelduvvoolu hoida etteantud väärtusel.

Joonestada ostsilloskoobi ekraanilt sageduse kahekordisti mähiste I summaarse pinget U_1 ja voolu i_1 ning kummagi trafo mähise II pinget U_{II} ja U_{II}'' ning samade mähiste summaarse pinget U_2 kõverad ühe alalisvoolu väärtuse juures.

5. P. 2 mõõtetulemuste alusel arvutada magnetvoogude ja voolude maksimaalväärtused ning joonestada trafoade karakteristik $\dot{\Phi} = f(w_2 i)$.

6. Lähtudes p. 5 karakteristikust ja teadaolevatest mähiste I ja III keerdude arvust, konstrueerida mõlema trafo magnetvoo ajast olenevuse kõverad $\Phi_1 = f(t)$ ja $\Phi_2 = f(t)$ varem kasutatud toitevoolu i_1 juures.



Joonis 24-2

Magnetvoogude positiivseteks suundadeks lugeda joonisel 24-2 näidatud suundi. Eelmagneetimisvoolu i_0 suurus valida võrdseks selle väärtusega, mille puhul toimus kõverate joonestamine ostsilloskoobi ekraanilt p. 4 kohaselt.

7. Kasutades punktis 6 saadud kõveraid, konstrueerida mähiste I summaarse aheldusvoo olenevus ajast

$$\Psi_{1-2}(t) = w_I \Phi_1(t) - w_I \Phi_2(t).$$

Konstrueerida kõvera $\Psi_{1-2}(t)$ graafilise diferentseerimise teel mähiste I summaarse pinge kõver $u_1(t)$. Võrrelda saadud pingekõverat $u_1(t)$ ostsilloskoobi ekraanilt joonestatuga.

8. Kasutades punktis 6 saadud kõveraid, konstrueerida mähiste II summaarse aheldusvoo olenevus ajast

$$\Psi_{1+2}(t) = w_{II} \Phi_1(t) + w_{II} \Phi_2(t).$$

Saadud kõvera maksimaal- ja minimaalväärtuste kaudu arvutada pinge u_2 keskväärus $U_{2\text{kesk}}$. Võrrelda saadud tulemust punktis 4 otseselt mõõdetutega.

9. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang.

Kirjandus

[1], lk. 404-409;

[7], lk. 111-113;

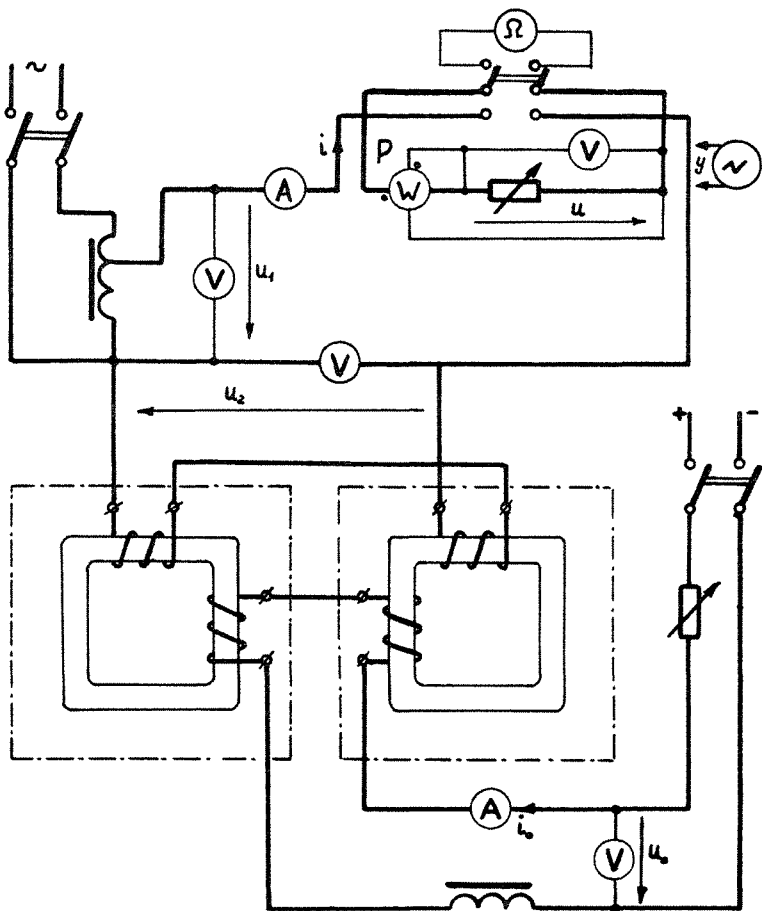
[9], lk. 401-402.

T o o nr. 25

MAGNETVÕIMENDI

Töö eesmärgiks on tutvuda selmagneeditud ferromagnetilise südamikuga poolide kasutamise võimalusega magnetvõimendina.

1. Koostada lülitus vastavalt joonisele 25-1 magnetvõimendi uurimiseks. Magnetvõimendi koormuseks kasutada reostaati ja mõõta selle pinget, voolu, võimsust ja takistust.



Joonis 25-1

2. Reguleerida ja mõõta magnetvõimendi kui eelmagneeditud ferromagnetilise südamikuga pooli pinget U_L ja voolu I alalismagneetimisvoolu i_0 mitme väärtuse juures. Mõõtmiste ajaks reguleerida koormusreostaadi takistus nulliks.

3. Belmises punktis kasutatud suurima alalismagneetimisvoolu i_{0max} juures reguleerida koormustakistuse suurust, kusjuures hoida toitepinge efektiivväärtus U_1 konstantsena. Mõõta koormuse pinget U , voolu I , võimsust P , magnetvõimendi väljundpinget U_L , alalismagneetimisvoolu i_{0max} ja alalispinget U_{0max} ning ümberlülitite abil koormusreostaadi takistuse r väärtust oommeetriga iga režiimi mõõtmiste lõpul. Ühe mõõdetava režiimina olgu fikseeritud niisugune, mille juures koormuse võimsus P omandab maksimaalse väärtuse P_{max} . Selle režiimi koormustakistust nimetatakse optimaalseks r_{opt} .

4. Konstantse toitepinge efektiivväärtuse U_1 ja koormustakistuse optimaalse suuruse r_{opt} juures reguleerida alalismagneetimisvoolu i_0 nullist kuni suurima väärtuseni i_{0max} . Mõõta alalismagneetimisvoolu i_0 , alalispinget U_0 ja koormuse võimsust P . Joonestada otsillooskoobi ekraanilt koormuse pingekõvera kuju, kui alalismagneetimisvool on i_{0max} .

5. P. 3 mõõtetulemuste alusel joonestada magnetvõimendile koormuse võimsuse olenevus koormustakistusest $P=f(r)$, kui $U_1=const$ ja $i_0=i_{0max}$.

6. P. 4 $i_0=i_{0max}$ ja $i_0=0$ mõõtetulemustest arvutada võimendi maksimaalne võimsusvõimendustegur $k_{max} = \frac{P_{max} - P'}{i_{0max} U_{0max}}$ ja koormuse voolu reguleerimiskordsus $\lambda = \frac{I_1}{I}$.

P' ja I' tähendavad koormuse võimsust ja voolu alalismagneetimisvoolu puudumisel ning I_1 koormusvoolu $i_0=i_{0max}$ puhul $U_1 = const$ ja $r=r_{opt}$ režiimis.

7. P. 4 mõõtetulemustest arvutada alalivõimsus $P_0=i_0 U_0$ ning joonestada võimendi karakteristikud $P=f(i_0)$ ja $P=f(P_0)$, kui $U_1 = const$ ja $r=r_{opt}$.

8. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang.

Kirjandus

- [1], lk. 412-414;
- [4], lk. 175-177;
- [6], lk. 105-107;
- [9], lk. 403-405.

T o o nr. 26

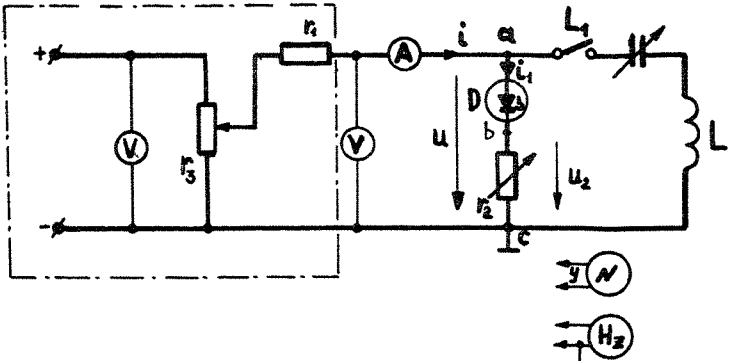
ISEERGUTUV GENERAATOR

Töö eesmärgiks on tutvuda omavõnkumistega r, L, C -ahelas, kui ahel sisaldab elementi (dinistor), mille pingevoolu karakteristikul on negatiivse diferentsiaaltakistusega r_A osa. Omavõnkumiste tekketingimuste selgitamiseks määratakse eelnevalt dinistori pingevoolu karakteristik.

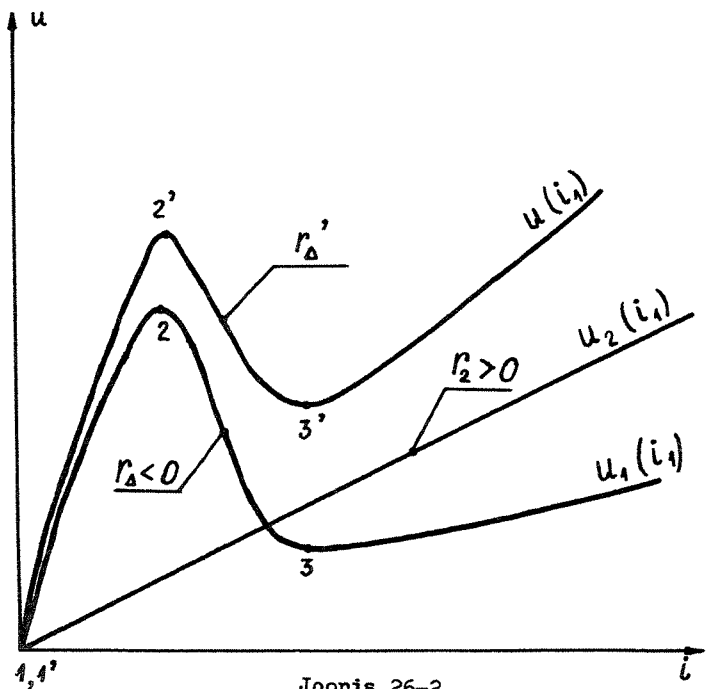
Lülitusskeem pingevoolu karakteristikute $u(i_1)$ ja $u_1(i_1)$ määramiseks ning r, L, C -ahelas omavõnkumiste uurimiseks on toodud joonisel 26-1. Lülitati L_1 avatud asendis määratakse pingevoolu karakteristikud, suletud asendis uuritakse omavõnkumisi.

Dinistori D põhimõtteline pingevoolu karakteristik $u_1(i_1)$ on toodud joonisel 26-2. Joonisel 26-1 on dinistoriga järjestikku ühendatud takisti r_2 (lineaarse pingevoolu karakteristikuga $u_2(i_1)$ joon. 26-2). Muutes r_2 väärtust on võimalik muuta karakteristiku $u(i_1)$ kuju: väikeste r_2 väärtuste juures esineb karakteristikul $u(i_1)$ vahemikus 2^1-3^1 negatiivse diferentsiaaltakistusega osa ($r_A' < 0$); küllalt suurte r_2 väärtuste puhul aga negatiivse diferentsiaaltakistusega osa puudub ($r_A' > 0$).

Teileks et määrata karakteristik $u(i_1)$ kogu ulatuses (ka osal, kus $r_A' < 0$), tuleb ahelat toita reguleeritava vooluallikaga (joonisel 26-1 punkt-kriipsjoonega piiratud osa). Vooluallikas koosneb reguleeritavast pingeuallikast (energiaallikas) ja kolme klemmiga reostaat r_3 ning temaga järjestikku ühendatud suure takistusega takistist r_4 . Takistuse väärtus valitakse sedavõrd suur, et r_2 muutmine praktiliselt voole ja L_1 ei muuda.

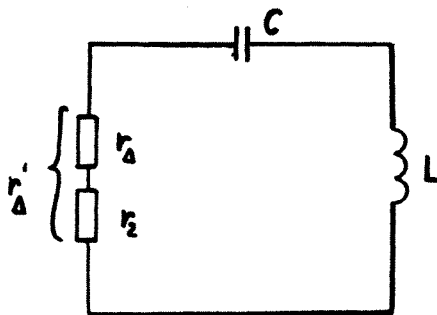


Joonis 26-1



Joonis 26-2

Omavõnkumiste tekketingimuste lihtsustatud määramiseks (lüliti L_1 suletud) võib karakteristikku $u(i_1)$ vahemikus 2'-3' asendada lineaarse takistiga $r'_\Delta = r_\Delta + r_2$ ja lugeda elemendid L ja C kaovabadeks. Kui r_1 on valitud küllalt suur ($r_1 \gg |r'_\Delta|$), võib võnkeahela kujutada r , L , C -jadaahelana (joon. 26-3).



Joonis 26-3

1. Koostada lülitis vastavalt joonisele 26-1.

2. Lüliti L_1 avatud asendi puhul reguleerida pinget u nullist kuni maksimaalse lubatud väärtuseni. Mõõta pinget u ja voolu $i = i_1$. Katsepunktid olgu määratud nii, et hiljem oleks võimalik küllalt täpselt joonestada karakteristikku $u(i_1)$. Karakteristiku ülesvõtmisel jälgida, et dinistor oleks ühendatud ahelasse õige polaarsusega ega ületataks lubatud maksimaalset voolu väärtust.

Mõõta takistussillaga kasutatud r_2 takistus.

3. Lüliti L_1 avatud asendi puhul reguleerida reostaadiga r_3 vool i_1 nii, et tööpunkt asuks karakteristikku $u_1(i_1)$ negatiivse diferentsiaaltakistusega osa 2 - 3 (joon. 26-2) keskkohas.

Lüliti L_1 suletud asendi puhul vähendada r_2 takistust maksimaalselt väärtuselt kuni omavõnkumiste tekkimiseni. Omavõnkumiste tekkimist jälgida klemmidele ac ühendatud ostsilloskoobiga. Joonestada ostsilloskoobi ekraanilt pingete u ja u_{bc} kõverad. Mõõta sagedusmõõturiga omavõnkesagedus ja takistussillaga omavõnkumiste tekkele vastav r_2 väärtus.

4. Teha samad mõõtmised mis punktis 3 mahtuvuse C teise väärtuse juures.

5. P. 2 mõõtetulemuste alusel joonestada pingevoolu karakteristik $U(i_1)$. Karakteristiku $U(i_1)$ ja teadaoleva r_2 väärtuse alusel konstrueerida grafoanalüütiliselt dinistori pingevoolu karakteristik $U_1(i_1)$. Asendada karakteristikul $U_1(i_1)$ negatiivse diferentsiaalaktiivsusega osa (osa 2 - 3 joonisel 26-2) sirglõiguga. Määrata asendussirglõigu abil dinistori $r_{\Delta} < 0$.

6. Punktis 3 kasutatud L ja C väärtuste ning punktis 5 määratud r_{Δ} alusel arvutada omavõnkesagedus ja maksimaalne r_2 väärtus, mille puhul omavõnkumised tekivad. Võrrelda arvutatud tulemusi punktis 3 mõõdetutega.

7. Punktis 4 kasutatud L ja C väärtuste ning punktis 5 määratud r_{Δ} alusel arvutada omavõnkesagedus ja maksimaalne r_2 väärtus, mille puhul omavõnkumised tekivad. Võrrelda arvutatud tulemusi punktis 4 mõõdetutega.

8. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang. Miks on võnkumised ahelas mittesiinuselised? Mis piirab võnkumiste amplituudi kasvu?

Kirjandus

- [1], lk. 431-432; 299-307;
- [3], lk. 177-181;
- [6], lk. 319-329;
- [9], lk. 259-271.

ELEKTROSTAATILISTE INDUKTSIOONITEGURITE JA OSAMAHTUVUSTE MÄÄRAMINE

Tõõ eesmärgiks on tutvuda elektrostaatiliste induktsioonitegurite ja osamahtuvuste katselise määramisega.

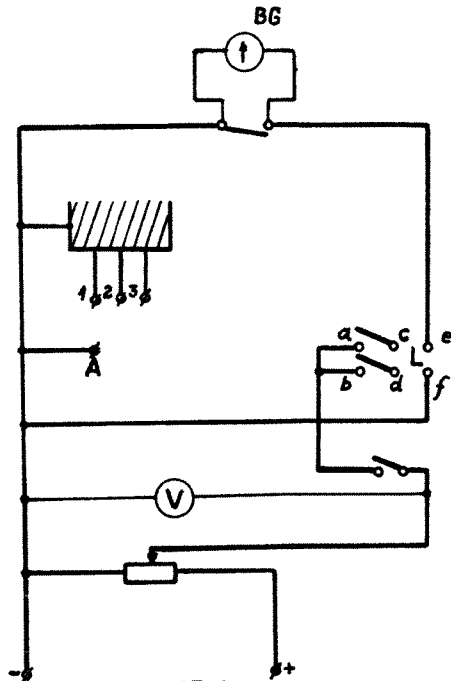
1. Kolmejuhtmelise kaabli elektrostaatiliste induktsioonitegurite ja osamahtuvuste määramiseks koostada lülitus vastavalt joonisele 27-1. Galvanomeetrite suuremate hälvete saamiseks kasutame mõõtmistel kolmejuhtmelise kaabli asemel temaga ekvivalentset kondensatoritest koostatud lülitust jooniselt 27-2.

2. Elektrostaatiliste omainduktsioonitegurite β_{kk} määramiseks ühendatakse kaabli "k"-s juhe lülititi L klemmiga c.

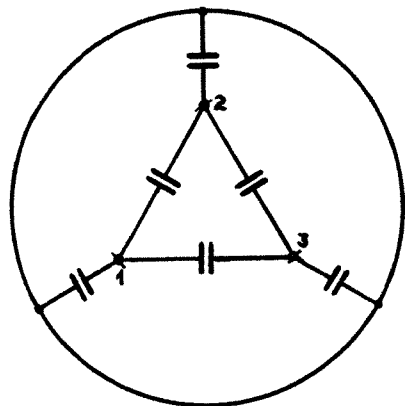
Kaabli ülejäänud juhtmed ühendada klemmiga A. (Joonisel 27-3 on näitena toodud skeem β_{33} määramiseks.)

Lülititi L vasakpoolses asendis laetakse kaabel ja ümberlülitamisel parempoolsesse asendisse fikseeritakse galvanomeetri hälve, mis on proportsionaalne β_{kk} -ga.

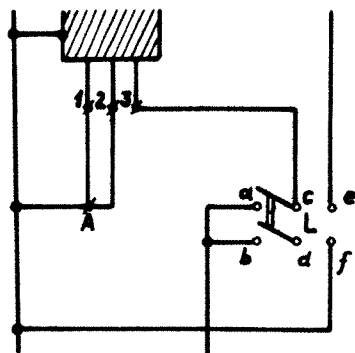
3. Elektrostaatiliste vastastikuste induktsioonitegurite β_{kp} määramiseks ühendatakse "k"-s juhe lülititi L klemmiga e ja "p"-s juhe klemmiga d. Kaabli kolmas juhe ühendatakse



Joonis 27-1



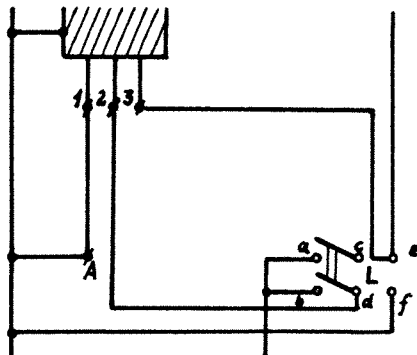
Joonis 27-2



Joonis 27-3

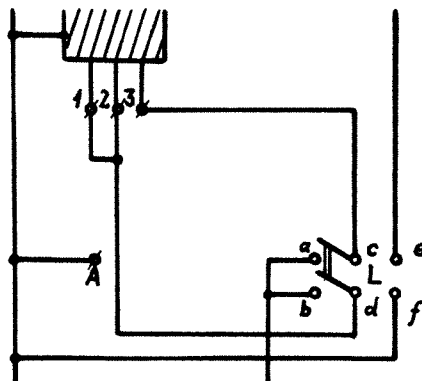
klemmiga A. (Joonisel 27-4 on näitena toodud skeem β_{32} määramiseks).

Lüliti L vasakpoolses asendis laadida kaabel ja ümberlülitamisel parempoolsesse asendisse fikseerida galvanomeetri hälve, mis on proportsionaalne β_{KP} -ga.



Joonis 27-4

4. Kaabli omaosamahtuvuste C_{kk} määramiseks ühendatakse kaabli "k"-s juhe lüliti L klemmiga c ja ülejäänud juhtmed klemmiga d. (Joonisel 27-5 on näitena toodud skeem C_{33} määramiseks.)



Joonis 27-5

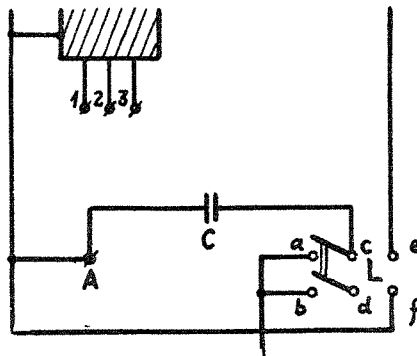
Lüliti L vasakpoolses asendis laadida kaabel ja ümberlülitamisel parempoolsesse asendisse fikseerida galvanomeetri hälve, mis on proportsionaalne C_{kk} -ga.

5. Kaabli vastastikuste osamahtvuste mõõtmist eri katseksena pole vaja, sest kehtib seos $C_{kp} = -\beta_{kp}$.

6. Galvanomeetri ballistilise konstandi määramiseks koostada lülitus vastavalt joonisele 27-6. Lüliti L vasakpoolses asendis laadida teadaoleva mahtvusega kondensator C ja parempoolses asendis tühjendada ta läbi galvanomeetri. Mõõtmisi teha mitmel toitepinge väärtusel.

7. P. 6 mõõtetulemustest arvutada galvanomeetri ballistiline konstant.

8. P. 2, 3 ja 4 mõõtetulemustest arvutada kolmejuhtmelise kaabli elektrostaatilised induktsoonitegurid ja osamahtvused.



Joonis 27-6

9. Anda töö tulemuste kriitiline hinnang. Kontrollida katsetulemuste vastavust seostele:

$$\left. \begin{aligned} C_{11} &= \beta_{11} + \beta_{12} + \beta_{13} \\ C_{22} &= \beta_{21} + \beta_{22} + \beta_{23} \\ C_{33} &= \beta_{31} + \beta_{32} + \beta_{33} \end{aligned} \right\}.$$

Kirjendus

- [2], lk. 555-559;
- [5], lk. 172-174;
- [7], lk. 243-247;
- [10], lk. 70-75;
- [11], lk. 112-121.

T ö ö nr. 28

KAHEJUHTMELISE LIINI ELEKTRIVÄLJA MODELLEERIMINE ELEKTRO- LÜÜTILISES VANNIS

Töö ülesandeks on tundma õppida elektrivälja kahejuht-
melise liini juhtmeid ümbritsevas ruumis.

1. Koostada lülitus vastavalt joonisele 28-1 kahejuht-
melise liini mudeli elektrivälja uurimiseks. Mõõta elektro-
lüüdikihi sügavus, vanni läbimõõt, liinijuhtmeid kujutava-
te elektrootide läbimõõdud ning elektrolüütilise vanni vool
ja pinge. Pikseerida elektrootide paigutus vanni suhtes.

2. Määrata katseliselt potentsiaali muutumine vabalt
valitud punktis elektrolüüdi sügavuse suunas.

3. Jagada elektrootide potentsiaalide vahe 8 võrdseks
vahemikuks ja määrata katseliselt neile vastavad 7 samapo-
tentsiaalijoont (igal joonel ca 10 punkti).

4. Koostada lülitus vastavalt joonisele 28-2 elektrolüü-
di erijuhtivuse määramiseks volt-ampere meetodil.

5. Mõõta joonisel 28-2 kujutatud katseseadmes elektro-
didevahelist pinget ja voolu. Määrata elektrootidevahelise
risttahukakujulise elektrolüüdisamba mõõtmed.

6. P. 5 mõõtetulemustest arvutada elektrolüüdi erijuht-
tivus.

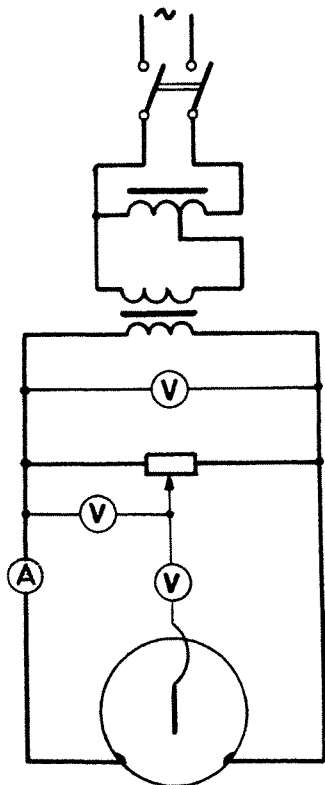
7. Kanda punktis 3 määratud samapotentsiaalijooned van-
ni ja elektroode kujutavale joonisele. Joonestada elektri-
välja tugevuse jooned, kui $\frac{\Delta n}{\Delta \alpha} = 1$.

8. Lähtudes elektrootide mõõtetest ja vahekaugusest, ar-
vutada teoreetiliselt punktis 7 katsetulemuste alusel osa-
liselt väljajoonestatud väljapilt. Kanda arvatud samapo-

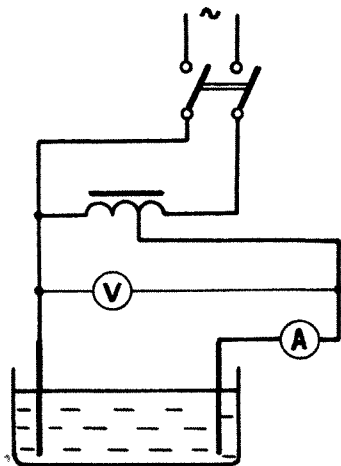
tentsiaaljooned ja elektrivälja tugevuse jooned p. 7 jooni-
sele.

9. Punktis 7 katsetulemuste alusel joonestatud välja-
pildilt määrata mudeli elektrodidevaheline juhtivus ja vas-
tav mahtuvus õhkkeskkonna jaoks. Punkti 1 mõõtetulemuste alu-
sel arvutada elektrodidevaheline juhtivus (voltmeetri ja
ampermeetrite näitude alusel).

10. Kasutades kahejuhtmelise liini mahtuvuse valemit ja
punkti 8 arvutustulemusi, leida elektrodidevaheline juh-
tivus ja mahtuvus õhkkeskkonna puhul.



Joonis 28-1



Joonis 28-2

11. Anda töö tulemuste analüüs. Võrrelda erinevatel meetoditel saadud tulemusi.

Kirjandus

- [2], lk. 546-550, 591-595;
[5], lk. 170-172, 176-179;
[7], lk. 221-225, 241, 257-258, 264-265;
[10], lk. 48-52, 68, 85, 90-91;
[11], lk. 174-181.

T ö ö nr. 29

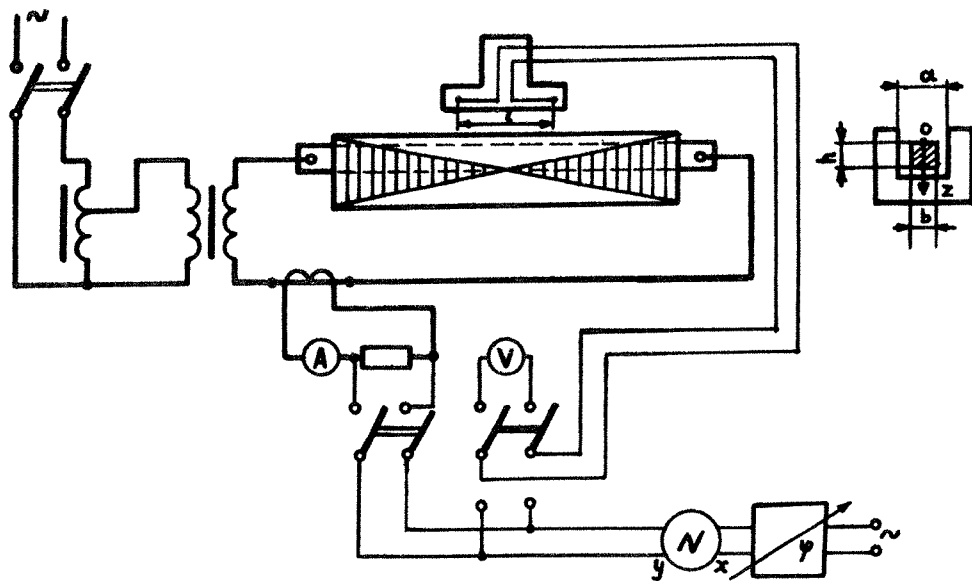
ELEKTROMAGNETILISED NAHTUSED FERROMAGNETILISEST MATERJALIST MAGNETAHELA UURDESSE PAIGUTATUD MASSIIVJUHTMETES

Töö eesmärgiks on uurida voolujaotust ferromagnetilisest materjalist magnetahela uurdesse paigutatud massiivjuhtmetes. Voolujaotuse alusel määratakse uurde kompleksvõimsus ja juhtmete aktiiv- ning reaktiivtakistus.

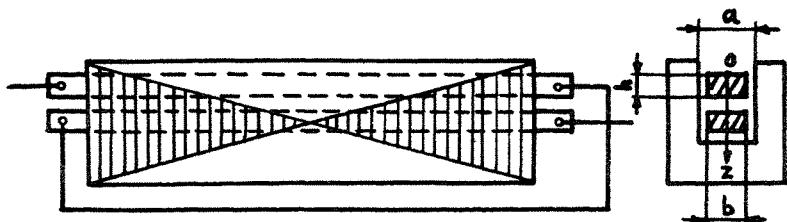
1. Koostada lülitus vastavalt joonisele 29-1 ühe massiivjuhtme katsetamiseks. Elektrivälja tugevuse faasi määramiseks lülitada ahelasse ostsiloskoop faasiregulaatoriga, mille skaalalt on võimalik määrata reguleeritavat faasi.

2. Määrata katseliselt kompleksvoolutiheduse $\dot{\delta}_m$ jaotus juhtme ristlõikes, kusjuures eeldada voolutihedus olenevaks ainult uurde sügavusest (koordinaat z). Selleks viia juhtme ja uurde seina vahelisse õhupilusse kahe surukontaktiga kontaktsond ja mõõta kaugusel l asuvate kontaktide vahelise komplekspinge \dot{U} moodulit ja argumenti. Katse käigus mõõta juhtme temperatuuri ja voolu I . Komplekspinge \dot{U} argumendi määramisel loeme kompleksvoolu \dot{I} algaasi nulliks, s.o. $\dot{I} = I$.

3. Koostada lülitus vastavalt joonisele 29-2 kahe massiivjuhtme katsetamiseks nende järjestikühenduses. Teha samad mõõtmised mis punktis 2.



Joonis 29-1



Joonis 29-2

4. P. 2 mõttetulemustest arvutada voolutiheduse $\delta_m = \delta_m e^{j\varphi} = \frac{U_0 \sqrt{2}}{l}$ jaotus juhtmes. Joonestada kõverad $\frac{\delta_m}{\delta_{mk}} = f(z)$ ja $\varphi = f(z)$, kus keskmine voolutihedus $\delta_{mk} = \frac{\sqrt{2} I}{bh}$.

5. P. 2 mõttetulemustest leida Umovi-Poyntingi vektor juhtme ülemisel pinnal $\vec{\Pi}_z = \frac{U_0 I}{l a}$ ja pikkust l omava juhtmeosa kompleksvõimsus $\vec{S} = P + jQ$, kusjuures $U_0 = U|_{z=0}$.

6. P. 5 arvutustulemustest leida katseline juhtmeosa aktiivtakistus r ja reaktiivtakistus x ning suhtelised takistused $\frac{r}{r_0}$ ja $\frac{x}{r_0}$, kus r_0 on pikkust l omava juhtmeosa alalisvoolutakistus.

7. Lähtudes juhtme ja uurde mõõtetest ning juhtme erijuhtivusest, arvutada:

a) suhteline voolutiheduse jaotus juhtmes $\frac{\delta_m}{\delta_{mk}} = f(z)$ ja $\varphi = f(z)$;

b) juhtmeosa suhteline aktiivtakistus $\frac{r}{r_0}$.

8. P. 3 mõttetulemustest arvutada voolutiheduse $\delta_m = \delta_m e^{j\varphi} = \frac{U_0 \sqrt{2}}{l}$ jaotus juhtmetes. Joonestada kõverad $\frac{\delta_m}{\delta_{mk}} = f(z)$ ja $\varphi = f(z)$.

9. P. 3 mõttetulemustest määrata Umovi-Poyntingi vektor juhtmete ülemisel pinnal $\vec{\Pi}_z = \frac{U_0 I}{l a}$ ja pikkuse l kohta tulev juhtmete kompleksvõimsus $\vec{S} = P + jQ$.

10. P. 9 arvutustulemuste alusel määrata kahe pikkust l omava juhtmeosa järjestikühenduse katseline aktiivtakistus r ja reaktiivtakistus x ning suhtelised takistused $\frac{r}{r_0}$ ja $\frac{x}{r_0}$, kus r_0 on kahe pikkust l omava juhtmeosa järjestikühenduse alalisvoolutakistus.

11. Lääntudes juhtmete ja uurde mõõtmetest ning juhtmete erijuhtivusest, arvutada analüütiliselt:

a) suhteline voolutiheduse jaotus juhtmetes $\frac{\delta_m}{\delta_{mk}} = f(z)$ ja $\varphi = f(z)$;

b) kahe pikkust l omava juhtmeosa järjestikühenduse suhteline aktiivtakistus $\frac{r}{r_0}$.

12. Analüüsida töö tulemusi. Võrrelda katselisi ja arvutatud tulemusi.

Kirjandus

[5], lk. 267-270;

[11], lk. 78-88.

III. Kirjandus

1. Г.В. Зевеке, П.А. Ионкин, А.В. Нетушил, С.В. Страхов. Основы теории цепей. Энергия, 1965.
2. Л.А. Бессонов. Теоретические основы электротехники. Высшая школа, 1973.
3. К.М. Поливанов. Теоретические основы электротехники. Т. I. Энергия, 1972.
4. Б.Я. Жуковичкий, У.Б. Негневицкий. Теоретические основы электротехники. Т. 2. Энергия, 1972.
5. К.М. Поливанов. Теоретические основы электротехники. Т. 3. Энергия, 1969.
6. Л.Р. Нейман, К.С. Демирчян. Теоретические основы электротехники. Т. I. Энергия, 1966.
7. Л.Р. Нейман, К.С. Демирчян. Теоретические основы электротехники. Т. 2. Энергия, 1966.
8. L.R. Neumann ja P.L. Kalantarov. Elektrotehnika teoreetilised alused. Esimene osa. ERK, 1964.
9. L.R. Neumann ja P.L. Kalantarov. Elektrotehnika teoreetilised alused. Teine osa. Valgus, 1967.
10. L.R. Neumann ja P.L. Kalantarov. Elektrotehnika teoreetilised alused. Kolmas osa. Valgus, 1969.
11. Л.Р. Нейман, К.С. Демирчян, В.М. Юринов. Руководство к лаборатории электромагнитного поля. Высшая школа, 1966.