

TARTU RIIKLIK ÜLIKOOL

G. Karu

ELEKTROTEHNIKA PRAKTIKUMI
TÖÖJUHENDID

TARTU 1970

7-51008
TARTU RIIKLIK ÜLIKOOL
Üldfüüsika kateeder

G. Karu

ELEKTROTEHNIKA PRAKTIKUMI
TÖÖJUHENDID

TARTU 1970

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu

N

E e s s ö n a

Käesolev õppevahend on mõeldud Füüsika-Keemiateaduskonna pedagoogilise haru III kursuse üliõpilastele, kes õpivad elektro- ja raadiotehnika aluseid.

Tööde valikul on lähtutud eelkõige sellest, et üliõpilased saaksid praktikumil omandatud oskusi kasutada elektrotehnika praktikumi organiseerimiseks keskkoolis. Seetõttu ei ole kasutatud suure võimsusega ega defitsiitset aparatuuri, vaid peaaegu on pandud niisugustele riistadele, mis sobivad ka koolis kasutamiseks. Mitmed tööd toimuvadki spetsiaalselt koolidele toodetava aparatuuriga.

Tööülesannetes on peaaegu pandud uuritava nähtuse või protsessi füüsikalise külje avamisele, puhttehnilised küsimused on jäänud kõrvale. Ka see on tingitud praktikumi eesmärgist - anda ettevalmistus tulevastele füüsikaõpetajatele.

Tööjuhenditesse lülitatud teoreetilised küsimused on mõeldud loengukursuses käsitletavate põhitõdede konkretiseerimiseks. Neid loengutel ei käsitleta. Et praktikum ja loengukursus toimuvad samal semestril, tekkis vajadus viimastesse töödesse lülitada teoreetilisi küsimusi sellisel määral, et üliõpilane saaks enne tööle asumist uuritavast seadmest ja selle tööst minimaalse ülevaate.

Et elektrotehnika praktikumile eelneb üldmõõtmiste ja elektripraktikum, siis on eeldatud, et elektrimõõteriistade käsitlemise põhireeglid on üliõpilastel juba omandatud. Seetõttu tuleb katse korraldamiseks sobivad

mõõteriistad ja abiseadmed valida iseseisvalt, lähtudes katsetatava masina sildandmetest.

Üliõpilaste ettevalmistus elektrotehnika kursuse õpetamiseks keskkoolis jätkub raadiotehnika praktikumil, kus saadakse oskused kooliprogrammi võetud elektroonikaalaste küsimuste käsitlemiseks ja praktiliste tööde korraldamiseks.

Täna Enn Pärtelit laitmatu kvaliteediga jooniste valmistamise eest.

G. Karu

Sisukord.

| | |
|--|----|
| Eessõna | 3 |
| 1. TARBIJATE TÄHTÜHENDUS | 7 |
| 2. TARBIJATE KOLMNURK ÜHENDUS | 14 |
| 3. ÜHEFAASILISE TRANSFORMAATORI KATSETAMINE VA- HEHU KOORMAMISEGA | 20 |
| 4. ÜHEFAASILISE TRAFU KATSETAMINE TÜHIJOOKSU JA LÜHISKATSE MEETODIL | 25 |
| 5. ASÜNKROONMOOTOR JA MAGNETKÄIVITI | 30 |
| 6. ASÜNKROONMOOTORI KARAKTERISTIKUTE MÄÄRAMINE | 35 |
| 7. KOMPLEKT KOLMEFAASILISE VOOLU UURIMISEKS... | 42 |
| 8. VÖÖRERGUTUSEGA ALALISVOOLUGENERAATORI KARAK- TERISTIKUTE MÄÄRAMINE | 57 |
| 9. HARUVOOLUMOOTOR | 66 |
| 10. PEAVOOLUMOOTOR | 74 |
| 11. ÜHEFAASILINE KOMMUTAATORMOOTOR | 81 |
| 12. ÜHEFAASILINE VAHELDUVVOOLUARVESTI | 86 |

1. TARBIJATE TÄHTÜHENDUS

Töö eesmärk. Uurida kolmefaasilist süsteemi puhtaktiivse tähte ühendatud koormuse korral. Ehitada vektordiagrammid sümmeetrilise ja mittesümmeetrilise režiimi jaoks.

Töövahendid: 1) kolm lampreostaati hõõglampidega,
2) kaks vahelduvvoolu ampermeetrit,
3) vahelduvvoolu voltmeeter liini- ja faasipingete mõõtmiseks,
4) kolmepooluseline voolukommutaator,
5) kaks ühepooluselist lülitit.

Töö käik. 1. Neljajuhtmelise süsteemi uurimine sümmeetrilise koormuse korral.

Tutvuda kirjanduse põhjal järgmiste küsimustega: kolmefaasilise voolu saamine; tähtühenduse moodustamine; liini- ja faasivool ning liini- ja faasipinge, nendevaheline seos (tuletuskäik); kolme- ja neljajuhtmelise süsteemi moodustamine tähtühenduse korral.

Asume neljajuhtmelise süsteemi eksperimentaalsele uurimisele sümmeetrilise koormuse korral.

Selleks: 1) kontrollida, kas laual olevad mõõteriistad sobivad kasutamiseks entud töös;

2) koostada vooluring vastavalt skeemile 1.1;

3) pärast vooluringi kontrollimist juhendaja poolt valida faasidele võrdsed koormused ja mõõta I_A , I_B , I_C , I_0 , U_A , U_B , U_C , U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} ning kanda tulemused tabe-

lisse;

4) määrata seos U_1 ja U_f , I_f ja I_1 vahel, arvutada võrgust võetav aktiivvõimsus;

5) joonestada mõõtmistulemuste põhjal pingete ja voolude vektordiagramm.

2. Neljajuhtmeline süsteemi uurimine mitesümmeetrilise koormuse korral.

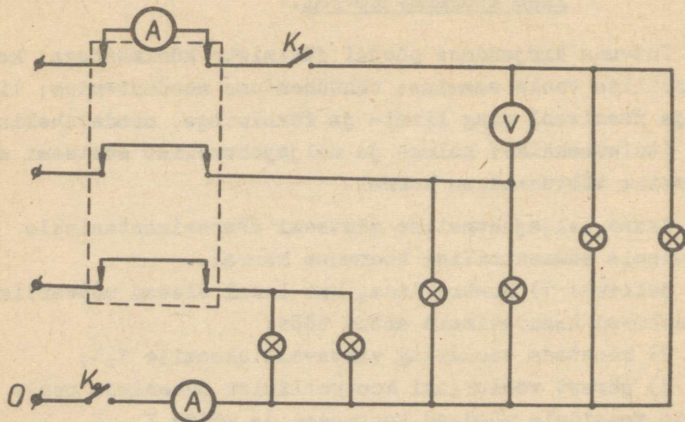
Mitesümmeetrilise koormuse korral tekib nulljuhtmes vool, mis määratakse Kirchhoffi I seaduse põhjal.

$$\bar{I}_0 = \bar{I}_A + \bar{I}_B + \bar{I}_C,$$

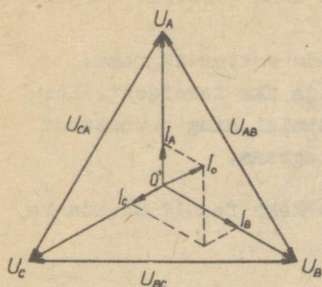
kus I_A , I_B , I_C on voolud vastavates faasides.

Vool nulljuhtmes kutsus selles esile väikese pingelanguga, mille aga praktiliselt võib jätta arvestamata. Seepärast võib öelda, et generaatori nullpunkti ja tarbija nullpunkti vahel potentsiaalide vahet ei ole, ja seetõttu seos $U_1 = \sqrt{3} U_f$ kehtib ka mitesümmeetrilise koormuse korral.

Mitesümmeetrilist koormust illustreerib vektordiagramm 1.2.



Joon. 1.1.



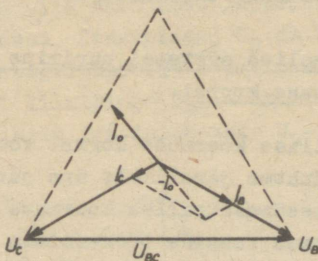
Joon.1.2.

võrdusest

$$\bar{I}_O + \bar{I}_B + \bar{I}_C = 0,$$

kuna faasi A katkemisel $I_A = 0$.

Vaadeldud juhtu illustreerib vektordiagramm 1.3.



Joon. 1.3.

Mittesümmeetrilise koormuse eksperimentaalseks uurimiseks:

- 1) muuta faaside koormusi, pöörates mõnest faasist osa lampe välja või asendades nad teistsuguse nimivõimsusega lampidega;
- 2) mõõta $I_A, I_B, I_C, I_O, U_A, U_B, U_C, U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$ ning kanda tulemused tabelisse;

- 3) määrata seos U_1 ja U_f vahel ning arvutada võrgust võetav aktiivvõimsus;
- 4) joonestada pingete ja voolude vektordiagramm;
- 5) lüliti K_1 abil lülitada välja üks faasidest, korraldata kõiki eelnimetatud mõõtmisi ning joonestada voolude ja pingete vektordiagramm.

Mis juhtub, kui katkeb korraga kaks faasi? Uurida ka seda olukorda katseliselt.

3. Kolmejuhtmelise süsteemi uurimine sümmeetrilise koormuse korral.

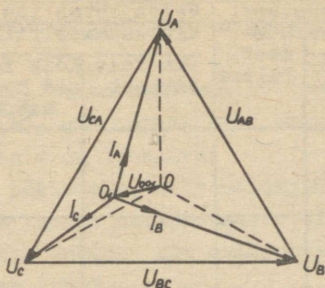
- 1) Ühendada lahti nulljuhe, valida faasidele võrdsed koormused ja mõõta samad suurused mis eelmistes katsetes.
- 2) Määrata seos U_1 ja U_f vahel ja joonestada pingete ning voolude vektordiagramm.
- 3) Võrrelda saadud tulemusi neljajuhtmelise süsteemi uurimisel saadud tulemustega.

4. Kolmejuhtmelise süsteemi uurimine mittesümmeetrilise koormuse korral.

Kui sümmeetrilise koormuse korral vool nulljuhtmes puudus, võis nulljuhtme järelikult ära jätta, ilma et midagi muutuks, mittesümmeetrilise koormuse korral põhjustab katkestus nulljuhtmes faaside töörežimisis olulisi muutusi, mis seisnevad pingete ümberjagunemises üksikute faaside vahel.

Nulljuhtme puudumisel mittesümmeetrilise koormuse korral on pingelangused faasides võrdelised faaside takistustega. Generaatori ja tarbija nullpunktide vahel esineb pinge U_{001} , mida nimetatakse neutraali nihkepingeks. Pinge U_{001} on võrdeline vooluga nulljuhtmes.

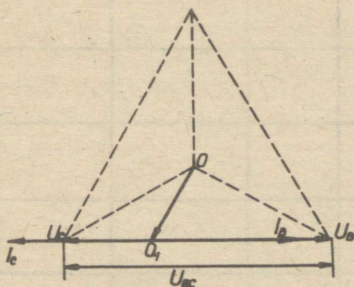
Tekkinud olukorda illustreerib vektordiagramm 1.4.



Joon. 1.4.

Liinipingete kolmnurk jääb ka kolmejuhtmelise süsteemi ja mittesümmeetrilise koormuse jaoks samaks. Punkti O_1 saab leida, kui kanda vastavate faaside pingete väärtused vektordiagrammile liinipingete kolmnurga tippudest. Vektordiagrammilt määratakse ka neutraali nihkepinge U_{O_1O} suurus.

Joonisel 1.5 on kujutatud olukord, kus kolmejuhtmelises süsteemis katkeb üks faasidest. Olgu selleks faas A. Faasid B ja C on siis ühendatud järjestikku, faasivoolud I_B ja I_C on võrdsed, faasipinged U_B ja U_C aga võrdelised faaside takistustega. Tarbijate nullpunkt O_1 nihkub nüüd vektordiagrammil liinipinge U_{BC} vektorile ja jaotab selle osadeks, võrdeliselt faasipingetega U_B ja U_C .



Joon. 1.5.

| Kolmejuhtmeline süsteem | | Neljajuhtmeline süsteem | | Režiim |
|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------|
| Mittesümmeetriline | Sümmeetriline | Mittesümmeetriline | Sümmeetriline | |
| Üks faas katkest. | Kõik faasid koorimatud | Üks faas katkest. | Kõik faasid koorimatud | |
| | | | | I _A |
| | | | | I _B |
| | | | | I _C |
| | | | | I ₀ |
| | | | | U _A |
| | | | | U _B |
| | | | | U _C |
| | | | | U _{AB} |
| | | | | U _{BC} |
| | | | | U _{CA} |
| | | | | U ₀₀₁ |
| | | | | $\frac{U_1}{U_2}$ |
| | | | | P |

Kõitmisstulemuste tabel.

Järelikult sõltub pinge U_{001} väärtus töötavate faaside takistuste väärtustest ja omab maksimaalväärtust $U_{001} = U_f$.
Millal?

Nagu selgub vektordiagrammilt 1.5, muutuvad ka faaside B ja C pinged, mis normaalsete ekspluatatsioonitingimuste seisukohalt on lubamatu.

See ongi põhjuseks, miks neljajuhtmelistes süsteemides ei asetata kunagi nulljuhtmesse ei sulavkaitseid ega ka lüliteid. Mis juhtub, kui nulljuhtmesse paigutatud sulavkaitse põleb läbi?

Kolmejuhtmelise süsteemi mittesümmeetrilise koormuse eksperimentaalsel uurimisel teostada samad mõõtmised mis eelmiste režiimide korral. Uurida eraldi juhtumit, kus töötavad kõik faasid, ja juhtumit, kus üks faas on välja lülitatud.

Tulemused kandke tabelisse. Joonestada pingete ja voolude vektordiagrammid.

Uurida kolmejuhtmelist süsteemi, kui katkeb korraga kaks faasi.

Järeldused ja kokkuvõtte tööst.

Kirjandus. Л. С. Касаткин. Основы электротехники. М.-Л., "Энергия", 1966, § 8-25; 8-3; 8-6.

2. TARBIJATE KOLMNURKÜHENDUS

Töö eesmärk. Uurida kolmefaasilist süsteemi puhtaktiivse kolmnurka ühendatud koormuse korral. Tutvuda praktiliselt sümmeetrilise ja mittesümmeetrilise režiimi iseärasustega.

Töövahendid: 1) lampreostaat hõõglampidega - 3 tk.,
2) vahelduvvoolu ampermeeter,
3) vahelduvvoolu voltmeeter,
4) kaks kolmepooluselist voolukommutaatorit.

Töö käik. 1. Kolmnurkühenduse uurimine sümmeetrilise koormuse korral.

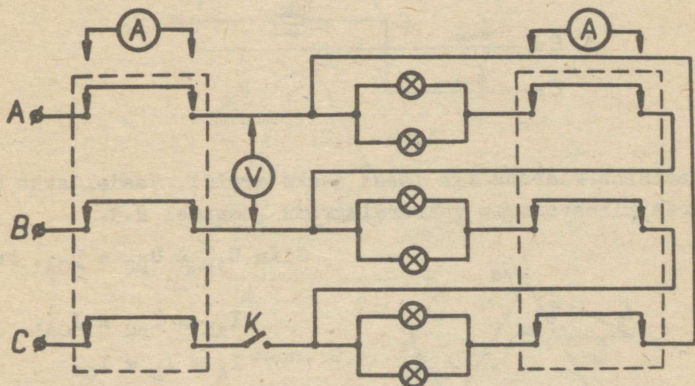
Korrata kirjanduse põhjal:

- a) kolmefaasilise voolu saamine;
- b) generaatori ja tarbijate kolmnurkühenduse moodustamine;
- c) seos liini- ja faasivoolu, liini- ja faasipingete puhul. (Tuletada!)

Kolmnurkühenduse eksperimentaalseks uurimiseks sümmeetrilise koormuse korral

- 1) kontrollida, kas laual olevad mõõteriistad sobivad kasutamiseks antud töös;
- 2) koostada vooluring vastavalt skeemile 2.1;
- 3) pärast vooluringi kontrollimist juhendaja poolt koormata kõiki faase võrdselt ja mõõta I_A , I_B , I_C , I_{AB} , I_{BC} , I_{CA} , U_A , U_B , U_C , U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} ning

- kanda tulemused tabelisse;
- 4) määrata seos I_f ja I_l , U_f ja U_l vahel, arvutada võrgust võetav aktiivvõimsus;
 - 5) esitada mõõtmistulemused pingete ja voolude vektor-diagrammil.



Joon. 2.1.

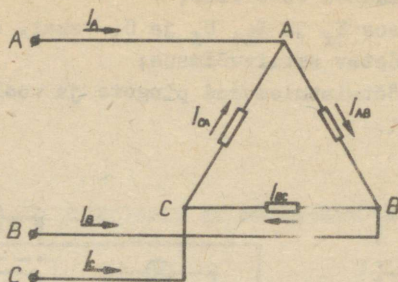
2. Kolmnurkühenduse uurimine mittesümmeetrilise koormuse korral.

Mittesümmeetrilise koormuse korral tuleb seose leidmiseks liini- ja faasivoolude vahel rakendada iga sõlmpunkti jaoks Kirchhoffi I seadust.

Saame:

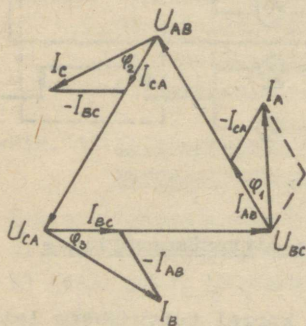
$$\left. \begin{aligned} \bar{I}_A &= \bar{I}_{AB} - \bar{I}_{CA} \\ \bar{I}_B &= \bar{I}_{BC} - \bar{I}_{AB} \\ \bar{I}_C &= \bar{I}_{CA} - \bar{I}_{BC} \end{aligned} \right\} \dots (2.1)$$

Kuna kõik voolud on erinevad, on erinevad ka seosed faaside liini- ja faasivoolude vahel. Kui sümmeetrilise koormuse korral liinivoolu ja faasivoolu vahel oli 30° -ne faasinihe, siis mittesümmeetrilise koormuse korral tuleb



Joon. 2.2.

faasinihe määrata iga faasi jaoks eraldi. Vaadeldavat olukorda illustreerib vektordiagramm joonisel 2.3.



Joon. 2.3.

Siin $U_{AB} = U_{BC} = U_{CA}$, kuid

$$I_{AB} \neq I_{BC} \neq I_{CA},$$

$$I_A \neq I_B \neq I_C,$$

$$\varphi_1 \neq \varphi_2 \neq \varphi_3.$$

Mittesümmeetrilise koormuse eksperimentaalseks uurimiseks

- 1) muuta faaside koormusi, pöörates mõnest faasist osa lampe välja või asendades

nad teistsuguse nimivõimsusega lampidega;

2) mõõta liini- ja faasivoolud, liini- ja faasipinged ning kanda tulemused tabelisse;

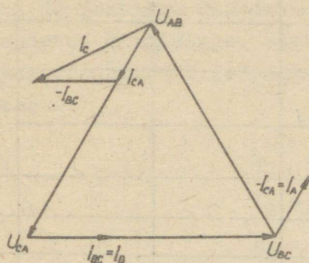
3) määrata seos liini- ja faasivoolu vahel iga faasi jaoks eraldi, arvutada võrgust võetav aktiivvõimsus;

4) joonestada katseandmete põhjal pingete ja voolude vektordiagramm;

5) arvutada faasinihe I_f ja I_l vahel erinevates faasides. Võrrelge tulemust vektordiagrammiga.

Mittesümmeetrilise koormuse erijuhtumiks on olukord, kus katkeb üks faasijuhtmetest. See on analoogiline olukorraga, kus ühes faasis puudub koormus, näit. $I_{AB} = 0$.

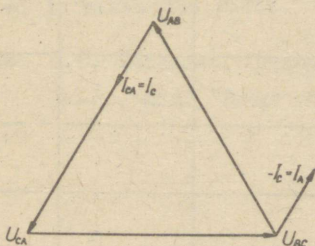
Võrranditest (2.1) selgub, et faasivoolud I_{BC} ja I_{CA} jäävad endiseks, liinivoolud I_A ja I_B vähenevad ja saavad võrdseteks faasivooludega I_{CA} ja I_{BC} ; liinivool I_C jääb muutmatuks. Analüüsitud olukorda illustreerib vektordiagramm 2.4.



Joon. 2.4.

Urvida antud olukorda eksperimentaalselt, lülitades ühest faasist kõik lambid välja. Tulemused kanda tabelisse. Ehitada vektordiagramm.

Kui koormus puudub korraka kahes faasis, siis muutub kogu süsteem ühefaasiliseks ning vool on ainult ühes faasis. Olgu selleks faas CA. Võrranditest (2.1) järeldub, et sellisel juhul ($I_{AB} = I_{BC} = 0$) $I_A = -I_C$. Olukorda illustreerib vektordiagramm 2.5.



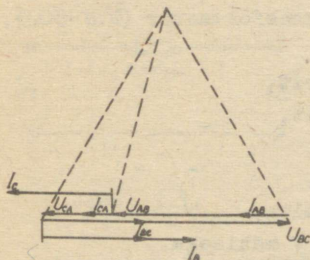
Joon. 2.5.

Mõõtmistulemuste tabel.

| Mittesümmeetriline | | | | Sümmeetriline | Režiim |
|--------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|---------------|----------------------|
| katkestus liinijuht- mes | kaks faa- si koor- museta | üks faas koormu- seta | kõik faa- sid koor- matud | | |
| | | | | | I _A |
| | | | | | I _B |
| | | | | | I _C |
| | | | | | I _{AB} |
| | | | | | I _{BC} |
| | | | | | I _{CA} |
| | | | | | U _A |
| | | | | | U _B |
| | | | | | U _C |
| | | | | | U _{AB} |
| | | | | | U _{AC} |
| | | | | | U _{CA} |
| | | | | | $\frac{I_A}{I_{AB}}$ |
| | | | | | $\frac{I_B}{I_{BC}}$ |
| | | | | | $\frac{I_C}{I_{CA}}$ |
| | | | | | A |
| | | | | | B |
| | | | | | C |
| | | | | | P |

Uurida antud olukorda eksperimentaalselt, lülitades kahest faasist kõik lambid välja. Mõõtmis- ja arvutustulemused kanda tabelisse. Ehitada pingete ja voolude vektordiagramm.

Mittesümmeetriline koormus tekib ka juhul, kui katkeb üks liinijuhtmetest. Olgu selleks liinijuhe A, s.t. $I_A = 0$. Sellisel juhul töötab normaalselt ainult üks faas. Kaks ülejäänud faasi, mis moodustavad katkenud liinijuhtmega sõlme, töötavad kui järjestikku ühendatud takistused, mille otstele on rakendatud liinipinge. Seetõttu toimub nendes faasides pingelangus võrdeliselt faaside takistustega. Kehitavad järgmised seosed:



Joon. 2.6.

$$\left. \begin{aligned} U_{CA} + U_{AB} &= U_{BC} \\ I_B &= I_{BC} + I_{AB} \\ I_C &= I_{CA} + I_{BC} \end{aligned} \right\} (2.2)$$

Olukorda illustreerib vektordiagramm 2.6.

Uurida antud olukorda eksperimentaalselt, tekitades katkestuse ühes

liinijuhtmes. Mõõtmis- ja arvutustulemused kanda tabelisse. Mõõtmistulemuste põhjal joonestada pingete ja voolude vektordiagramm.

Mis juhtub, kui katkeb korraka kaks liinijuhet? Uurida ka seda olukorda katseliselt.

Järeldused ja kokkuvõtte tööst.

Kirjandus. Л. С. Касаткин. Основы электротехники.

М.-Л., изд. "Энергия", 1966, § 8-2; 8-6.

3. ÜHEFAASILISE TRANSFORMAATORI KATSETAMINE VAHETU KOORMAMISEGA

Töö eesmärk. Tutvuda ühefaasilise transformaatori ehitusega. Määrata trafo karakteristikud.

Töövahendid: 1) ühefaasiline transformator ($MW-500$),
2) vattmeeter,
3) kolm ampermeetrit,
4) kaks voltmeetrit,
5) fasomeeter,
6) kaks reostaati,
7) kaks mahtuvussalve,
8) koolitrafo 120 V mähisega.

Töö käik. Tutvuda kirjanduse põhjal trafo tööprintsibiiga, kasutusalaodega, töörežiimidega ja neid iseloomustavate vektordiagrammidega.

Tutvuda uuritava trafo konstruktsiooniga. Trafo nimivõimsuseks on 500 VA. Antud töös kasutame sekundaarpinget 127 V. Leida vastavad puksid trafolt. Määrata primaarmähise ümberlülija asend, mis vastaks kasutatava võrgupinge väärtusele.

Üheks transformaatorit iseloomustavaks karakteristikuks on pingemuutus. Trafo pingemuutuseks nimetatakse tühijooksu ja koormusrežiimi sekundaarpingete vahet, kui primaarpinge jääb konstantseks.

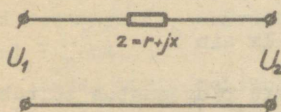
Tavaliselt kasutatakse suhtelist pingemuutust, mis arvutatakse protsentides nimipingest.

$$\Delta U = \frac{U_0 - U_n}{U_0} \cdot 100\%, \text{ kus}$$

U_0 on trafo sekundaarpinge tühijooksul,

U_n - koormatud trafo sekundaarpinge.

Pingemuutuse selgitamisel lähtume trafo lihtsustatud ekvivalentskeemist. (Ekvivalentskeemi koostamisel asendatakse elektromagnetiliselt sidestatud elektrihelad elektriliselt seotud elektrihelatega, mis võimaldab lihtsalt leida põhisuurustevahelisi seoseid. Ekvivalentskeem peab tarvitama võrgust sama võimsust, tarbima sama voolu ja tekitama sama faasinihke nagu asendatav transformaatorgi.)



$$r = r_1 + r_2,$$

$$x = x_1 + x_2,$$

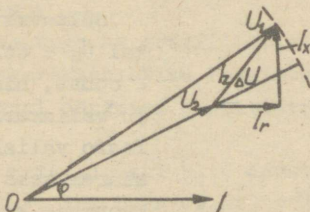
r_1 - primaarmähise aktiivtakistus,

r_2 - sekundaarmähise aktiivtakistus,

x_1 - primaarmähise reaktiivtakistus,

x_2 - sekundaarmähise reaktiivtakistus.

Joonestame antud ekvivalentskeemi põhjal vektordiagrammi induktiivse koormuse jaoks.



Joon. 3.2.

Pingevektor U_2 liigub vooluvektorist I ette teatud nurga võrra. Pinge U_1 avaldub valemiga $\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \dot{I}z$. Omakorda $z = r + jx$ ja järelikult

$$\dot{U}_1 = \dot{U}_2 + \dot{I}r + \dot{I}jx.$$

Vektor $\dot{I}r$ on paralleelne vooluvektoriga \dot{I} , vektor $\dot{I}jx$ on vooluvektorist ees 90° võrra.

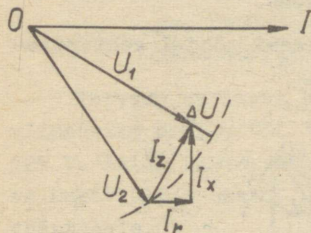
Et määrata vektorite \dot{U}_1 ja \dot{U}_2 algebralist vahet, pöörame vektorit \dot{U}_1 ümber punkti O , kuni ta langeb kokku vektoriga \dot{U}_2 , nii saamegi diagrammil $\Delta U = U_2 - U_1$ väärtuse, s.o. trafo pingemuutuse.

Samalt diagrammilt on näha, et ΔU võib väikese veaga avaldada aktiiv- ja reaktiivpingete kaudu järgmiselt:

$$\Delta U = Ir \cos \varphi + Ix \sin \varphi.$$

Saadud avaldisest ilmneb, et trafo pingemuutus sõltub koormuse suurusest ja iseloomust.

Joonisel 3.3 on esitatud lihtsustatud ekvivalentskeemi põhjal koostatud vektordiagramm mahtvusliku koormuse korral. Selgitada, kuidas see vektordiagramm on koostatud.

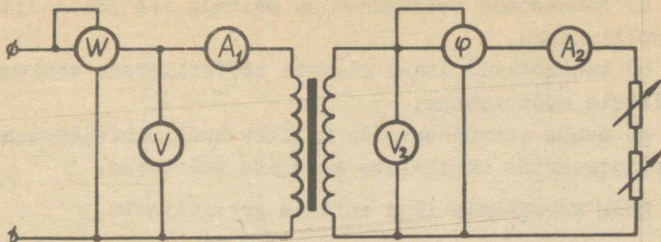


Joon. 3.3.

Jooniselt 3.3. selgub, et mahtvusliku koormuse korral $\Delta U < 0$, s.t. koormuse kasvades trafo sekundaarpinge suureneb.

Sõltuvust $U_2 = f(I_2)$, kui $U_1 = \text{const}$, $\cos \varphi_2 = \text{const}$, nimetatakse trafo väliskarakteristikuks. Trafo väliskarakteristiku määramiseks puhtaktiivse koormuse korral koostage

ühendused 3.4 esitatud skeemi kohaselt.



Joon. 3.4.

Arvutage trafo näivvõimsusest sekundaarvoolu nimiväärtus ja kontrollige, kas laual olevad mõõteriistad võimaldavad teostada mõõtmisi trafo nimikoormusel. Kontrollida antud reostaatide sobivust koormuse reguleerimiseks nullist kuni I_{2n} -ni.

Andes trafo mähisele nimipinge, reguleerige sekundaarvoolu nullist kuni nimiväärtuseni. Mõõtke I_2 , $\cos \varphi_2$, U_1 , U_2 . Tulemused kandke tabelisse. Arvutage ΔU puhtaktiivse koormuse korral.

Määrake ΔU induktiivse iseloomuga koormuse korral, asendades reostaadi raudsüdamikuga pooliga ning reguleerides induktiivsuse muutmisega $I_2 = I_{2n}$. Registreerige $\cos \varphi_2$.

Järgnevalt määrake ΔU mahtuvusliku koormuse jaoks. Ettevaatust! Pärast kasutamist lühistada kondensaatorpatarei! Ka siin reguleerige mahtuvuse muutmisega $I_2 = I_{2n}$. Registreerige $\cos \varphi_2$.

Tulemused esitage ka graafiliselt.

Peale väliskarakteristiku kasutatakse trafo töö iseloomustamiseks veel järgmisi eksperimentaalselt saadud kõveraid:

- 1) $\cos \varphi_1 = f(I_2)$, kui $U_1 = \text{const}$, $\cos \varphi_2 = \text{const}$;
- 2) $I_1 = f(I_2)$, kui $U_1 = \text{const}$, $\cos \varphi_2 = \text{const}$;
- 3) $P_1 = f(I_2)$, kui $U_1 = \text{const}$, $\cos \varphi_2 = \text{const}$.

Määrata nimetatud karakteristikud puhtaktiivse koormuse korral. Selleks:

a) joonestada katseskeem ja esitada see juhendajale kontrollimiseks,

b) kontrollida laual olevate mõõteriistade sobivust vajalikeks mõõtmisteks,

c) muuta sekundaarvoolu nullist kuni nimiväärtuseni ja registreerida uuritavate suuruste väärtused.

Kõik karakteristikud esitada graafiliselt.

Mõõtmistulemuste tabel.

| Jrk. nr. | Koormuse liik | U_1 | I_1 | P_1 | $\cos \varphi_1$ | U_2 | I_2 | P_2 | $\cos \varphi_2$ |
|----------|---------------|-------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|------------------|
| | | | | | | | | | |

Järeldused ja kokkuvõtte tööst.

Kirjandus. A. С. Касаткин. Основы электротехники. М.-Л., изд. "Энергия", 1966, стр.263-
- 285.

4. ÜHEFAASILISE TRAFU KATSETAMINE TÜHIJOOKSU JA LÜHISKATSE MEETODIL

Töö eesmärk. Tutvuda trafo kasuteguri määramisega tühijooksu ja lühiskatse meetodil.

Töövahendid: 1) transformaator (KAT-15),
2) vattmeeter,
3) kaks ampermeetrit,
4) kaks voltmeetrit,
5) autotrafo PHW

Töö käik. Eelmises töös (vt. töö nr. 3) määrasime karakteristikud, mis iseloomustavad trafot erinevatel koormustel. Väga oluline on samuti teada trafo kasuteguri sõltuvust koormusest.

Kasuteguri definitsiooni alusel

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{I_2 U_2 \cos \varphi_2}{I_1 U_1 \cos \varphi_1}.$$

Et tänapäeva võimsustrafode kasutegur on väga suur, annab kasuteguri määramine vahetult sekundaar- ja primaarvõimsuse mõõtmise kaudu väga väikese täpsuse. Seepärast avaldatakse primaarvõimsus sekundaarvõimsuse ja kadude kaudu. Saame:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P} = \frac{P_1 - \Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P}{P_1} = 1 - \frac{\Delta P}{P_2 + \Delta P}.$$

Siin ΔP - trafo kaovõimsus. (Trafos esinevate kadude kohta vt. loengukonspektist.)

Trafos esinevaid kadusid on hõlpus määrata tühijooksu ja lühiskatsesest (vt. konspekti.).

Trafo rauaskaod on võrdelised pesmagnetvoo amplituudi ruuduga, järelikult ka primaarse elektromotoorse jõu amplituudi ruuduga. Kuid E_1 muutub koos koormuse muutumisega (vt. töö nr. 3). Seega muutub ka magnetvoog ja rauaskadu, olles induktiivse koormuse korral väiksem, mahtvusliku koormuse korral aga suurem kui tühijooksul. Kuna pingemuutus moodustab 2,5 - 4% tühijooksupingest, on ka sellele vastav rauaskaod muutus väike (5 - 8%). Arvestades veel seda, et rauaskaod ise moodustavad tavaliselt vähem kui 1% sekundaarvõimsusest, võib neid lugeda konstantseteks ja võrdseks tühijooksul kulutatud võimsusega $P_0 \approx P_{Fe}$.

Trafo vaseskaod määratakse lühiskatsesest. Miks võib lühiskatses jätta arvestamata rauaskaod?

Vaseskadude määramiseks kasutatava valemi saamiseks on otstarbekas sisse viia koormusteguri mõiste

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2n}},$$

mis defineeritakse kui tegeliku sekundaarvoolu ja nimisekundaarvoolu suhe. Saame

$$I_2^2 r_e = \beta^2 I_{2n}^2 r_e = \beta^2 P_{Cu},$$

kus P_{Cu} on vaseskadude võimsus nimikoormusel,
 r_e - trafo ekvivalenttakistus.

Kui eeldada, et $U_2 = U_{2n} = \text{const}$, siis

$$P_2 = U_2 I_{2n} \beta \cos \varphi_2 = \beta S_n \cos \varphi_2,$$

kus S_n on trafo näivvõimsus nimikoormusel.

Nii saamegi lõpuks avaldise, mille järgi standardi kohaselt määratakse trafo kasutegur.

$$\eta = 1 - \frac{P_{Fe} + \beta^2 P_{Cu}}{\beta S_n \cos \varphi_2 + P_{Fe} + \beta^2 P_{Cu}}$$

Nagu selgub, sõltub trafo kasutegur koormustegurist ja võimsustegurist sekundaarahelas.

Leiame maksimaalsele kasutegurile vastava koormusteguri. Selleks peame võtma kasuteguri avaldisest esimese tuletise koormusteguri järgi ja võrdsustama selle nulliga.

$$\frac{d\eta}{d\beta} = \frac{2\beta P_{Cu}(\beta S_n \cos \varphi_2 + P_{Fe} + \beta^2 P_{Cu}) - (\beta^2 P_{Cu} + P_{Fe})(S_n \cos \varphi_2 + 2\beta P_{Cu})}{(\beta S_n \cos \varphi_2 + \beta^2 P_{Cu} + P_{Fe})^2} = 0;$$

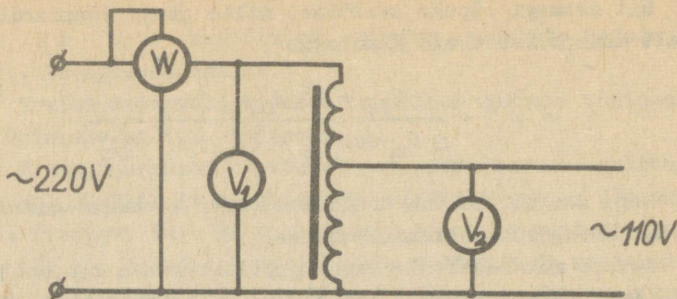
$$2\beta^2 P_{Cu} S_n \cos \varphi_2 + 2\beta P_{Cu} P_{Fe} + 2\beta^3 P_{Cu}^2 - \beta^2 P_{Cu} S_n \cos \varphi_2 - 2\beta^3 P_{Cu}^2 - P_{Fe} S_n \cos \varphi_2 - 2\beta P_{Cu} P_{Fe} = 0;$$

$$\beta^2 P_{Cu} S_n \cos \varphi_2 - P_{Fe} S_n \cos \varphi_2 = 0; \quad \beta^2 = \frac{P_{Fe}}{P_{Cu}};$$

$$\beta = \sqrt{\frac{P_{Fe}}{P_{Cu}}}$$

Siit järeneb, et kasutegur on maksimaalne siis, kui rauaskaod võrduvad vaseskadudega, sest siis $\beta = 1$.

Tegelikult peab trafode projekteerimisel arvestama, et suurema osa ajast töötab ta alakoormusega. Seepärast konstrueeritakse transformaatorid selliselt, et kasuteguri maksimum esineks keskmise koormusteguri väärtuse, $\beta = 0,7 - 0,5$ juures. Trafo rauaskadude määramiseks koostage vooluring vastavalt joonisele 4.1.



Joon. 4.1.

Trafos KAT-15 kasutame sekundaarahelas 110-V-seid klemme. Trafo nimivõimsus

$$S_n = 710 \text{ VA.}$$

Kontrollige, kas laual olevad mõõteriistad võimaldavad nõutud mõõtmisi.

Tühijooksul määratakse ka trafo ülekandearv $k = \frac{E_1}{E_2}$.

Määrake see.

$$\text{Miks tühijooksul } \frac{E_1}{E_2} \approx \frac{U_1}{U_2} ?$$

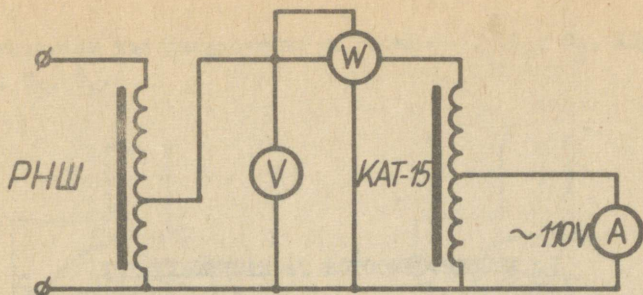
Valige vattmeetri pinge- ja voolumähiste jaoks sobivad mõõtepiirkonnad, koostage vooluring ja määrake rauaskaod.

Lühiskatseks on vaja koostada vooluring vastavalt joonisele 4.2.

1. Arvutage 110-V-se sekundaarmähise nimivool ja valige sobiva mõõtepiirkonnaga ampermeeter sekundaarvoolu mõõtmiseks.

2. Kuidas hinnata primaarvoolu suurust, mis vastab sekundaarahela nimikoormusele? Hinnake seda ja valige vattmeetri voolumähisele sobiv mõõtepiirkond.

Mitu protsenti moodustab primaarpinge lühiskatsel nimipingest? Valige selle mõõtmiseks sobiva mõõtepiirkonnaga voltmeeter ja vattmeetri pingemähis.



Joon. 4.2.

3. Autotrafo abil reguleerige katsetatava trafo primaarpinge nulliks. Järk-järgult primaarpinget suurendades koormame trafo sekundaarmähist nimivooluga. Ettevaatust! Registreerige U_1 , P_{Cu} ja I_{2n} . Arvutage trafo ekvivalenttakistus.

Tühijooksust ja lühiskatsesest saadud tulemuste põhjal arvutage trafo kasutegur erinevate koormustegurite väärtuste jaoks vahemikus $\beta = 0,1 - 1,2$ võimsustegurite $\cos \varphi_2 = 1$, $\cos \varphi_2 = 0,8$ ja $\cos \varphi_2 = 0,5$ puhul.

Ehitada sõltuvuse $\eta = f(\beta)$ graafikud.

Kokkuvõtte tööst ja järeldused.

Kirjandus. A. С. Касаткин. Основы электротехники. М.-Л., изд. "Энергия", 1966, §§ 12-1, 12-2, 12-8, 12-10.

5. ASÜNKROONMOOTOR JA MAGNETKÄIVITI

Tööülesanne. Tutvuda lühisrootoriga asünkroonmootori konstruktsiooniga. Määrata staatori mähiste algused ja lõpud. Uurida mootori käivitusrežiimi. Õpida tundma magnetkäiviti ehitust.

- Töövahendid:** 1) lahtivõetud asünkroonmootor;
2) töökorras asünkroonmootor;
3) avomeeter;
4) ampermeeter käivitusvoolu mõõtmiseks;
5) reverseerlülit;
6) magnetkäiviti П А-300;
7) magnetkäiviti ja termorelee töötav mudel.

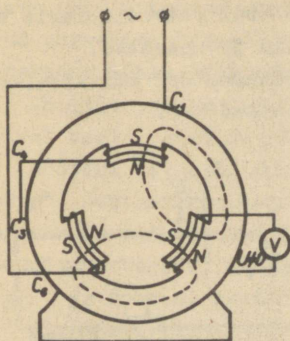
Töö käik. 1. Asünkroonmootori staatori uurimine.

Asünkroonmootori staatori ja rootori ehitusega tutvuda kirjanduse põhjal ning leida põhiosad lahtivõetud mootorilt.

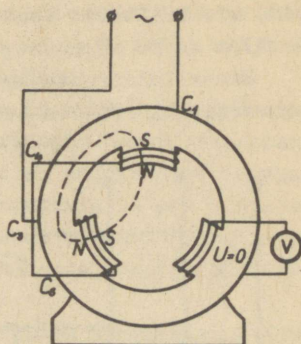
Määrake ommetri abil, millised otsad kuuluvad samale mähisele, ja kinnitage nende otstele eraldusmärgid.

Järgnevalt on tarvis määrata mähiste algused ja lõpud. Selleks ühendatakse omavahel kahe mähise ühed otsad, teised otsad aga lülitatakse vahelduvvooluvõrku. Kolmanda mähise otste vahele lülitatakse voltmeeter või hõõglamp. Kui voltmeeter registreerib pinget või lamp hakkab helenduma, on esimese faasi lõpp C_4 ühendatud teise faasi algusega C_2 (vt. joon. 5.1), kui lamp ei helendu, on omavahel ühendatud mähiste algused ja lõpud (joon. 5.2). Määrata ülalkirjeldatud meetodil mähiste algused ja lõpud ning

markeerida nad järgmiselt: algused - C_1, C_2, C_3 , lõpud - C_4, C_5, C_6 .



Joon. 5.1.



Joon. 5.2.

2. Mootori lülitamine võrku ja käivitusrežiimi uuri- mine.

Määrata mootori sildilt kasutatavale võrgupingele vastav mähiste ühendusviis, valida sildandmete alusel käivitusvoolu mõõtmiseks sobiv ampermeeter, joonestada skeem, kus ampermeeter oleks ühendatud ühte liinijuhtmesse ja esitada see juhendajale kontrollimiseks.

Pärast juhendajalt loa saamist teha ühendused, lülitada mootor võrku ning mõõta voolutugevus ühes faasimähises. Arvutada suhe $I_k : I_n$.

Teostada mootori reverseerimine

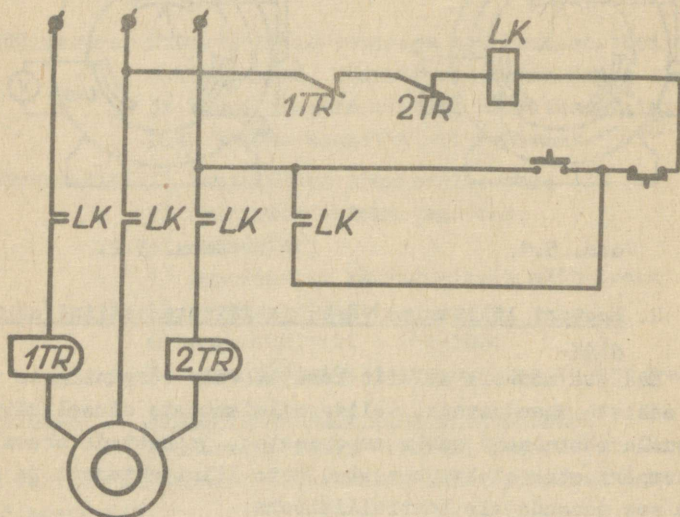
- kahe faasi omavahelise vahetamisega,
- reverseerlülitiga.

3. Magnetkäiviti ehitusega tutvumine.

Magnetkäivitiks nimetatakse seadet, mida kasutatakse asünkroonmootorite distantsjuhtimiseks. Magnetkäiviti põhiosaks on kolmepooluseline vahelduvvoolukontaktor, mis varustatakse tavaliselt ka termorelega.

Magnetkäivitis nagu igas distantsjuhtimise aparaadis on kaks voolusüsteemi: juhtimisvooluring ja peavooluring. Juhtimisvooluringis kasutatakse väikese võimsusega seadmeid, mis lülitavad kontaktorite abil peavooluringis sisse ja välja suure võimsusega masinaid ja aparate.

Skeem lühisroctoriga asünkroonmootori käivitamiseks magnetkäiviti abil on toodud joonisel 5.3.



Joon. 5.3.

Enne töö algust lülitatakse sisse kolmepooluseline lüliti. Elektrimootori rootor jääb seejuures liikumatuks, sest magnetkäiviti peakontaktid LK liinijuhtmetes on avatud. Mootori käivitamiseks on vaja vajutada survenupule "Käik". Nüüd sulgub juhtimisvooluring, millesse kuuluvad kontaktori LK mähis, termoreleede 1 TR ja 2 TR normaalselt suletud kontaktid ning nupu "Stopp" suletud kontakt. Mähis magnetvälja mõjul tõmbub ankur vastu südamikku ja pöörab latti koos sellele kinnitatud pea- ja blokeerimiskon-

taktidega. Kontaktid sulguvad, mootori staatorimähis lülitub kolmefaasilisse võrku ja seade hakkab tööle.

Tänu juhtimisvooluringis olevatele blokeerimiskontaktidele, mis sulguvad samaaegselt peakontaktidega ja šuntee-rivad survenupu "Käik", võib viimase vabastada, kusjuures kontaktori mähis jääb võrku lülitatuks.

Jälgida joonisel 5.3 ja töös kasutatavatel magnetkäivititel voolu teekonda pärast survenupu "Käik" vabastamist!

Mootori väljalülitamiseks tuleb vajutada survenupule "Stopp". Juhtimisvooluring katkestatakse ja oma liikuva osa raskuse ning vedru mõjul pöördub kontaktori ankur läh-teasendisse tagasi. Sellega lahutatakse staatorimähised võrgust ja mootori rootor peatub.

Magnetkäiviti kaitseb mootorit ka võrgupinge tunduva languse puhul. Sel juhul nõrgeneb vool kontaktori mähises, magnetväli ei jõua ankrut südamikule vastas hoida, kontaktor avaneb ja mootor lülitub välja.

Pikemaajalise mõõduka ülekoormuse puhul rakendub termorelee. Ta kontaktid, mis normaalselt on suletud, avanevad ning mootor seiskub.

Mootorit saab järjekordselt käivitada alles pärast bimetalplaatide jahtumist. Selleks tuleb eelnevalt vastavale nupule vajutamise viia rele lähteasendisse (sulgeda kontaktid 1 TR ja 2 TR) ning seejärel vajutada nupule "Käik".

Magnetkäiviti ei kaitse mootorit lühise eest, seepärast tuleb mootor võrku lülitada läbi sulavkaitsmete.

Järgnevalt tutvuge magnetkäiviti ja termorelee töötavate mudelitega.

Mudelite tehnilisi andmeid.

Tööpinge 220 ± 20 V. Töösasend vertikaalne, lubatud kõrvalekaldega mitte üle 10°. Elektromagneti tõmbejõud nimipingel: a) avatud kontaktori korral - 150 G; b) töösendis - 2000 G. Kontaktori maksimaalne koormusvool - 10 A.

Bimetalplaadi soojenduselement on keritud 0,45 mm läbimõõduga kroomnikeltraadist, takistus 21 oomi, nimi-

vool 5 A. Traat on paigutatud asbotsemendist (asbesti ja portlandtsemendi segust saadav materjal) alusele.

Leida mudelitel magnetkäiviti ja termorelee põhiosad. Teha kindlaks, millise värviga on mudelitel joonestatud juhtimis-, millise värviga peavooluring.

Koostage vooluring asünkroonmootori käivitamiseks magnetkäivitiga. Ettevaatust! Kuna mudelitel on vooluringid isoleerimata, hoiduge puudutamast pingestatud osi.

Viige läbi mitu sisse- ja väljalülitamist ning jälgige seejuures magnetkäiviti detailide tööd. Tehke kindlaks, millist teed mööda kulgeb vool nii juhtimis- kui ka peavooluringis.

Järgnevalt ühendage soojusrelee kontaktid omavahel juhtmega, mille läbimõõt on 0,5 - 1,0 mm. Lülitage seadeldis vooluringi ja jälgige termorelee rakendumist. Pärast bimetalplaaside jahtumist vajutage termorelee survenupule ja viige relee lähteasendisse.

Tutvuge termorelee tundlikkuse reguleerimise moodusega.

Aruandesse joonestada magnetkäiviti ja termorelee mudelite skeemid, märkides juhtimis- ja peavooluringi eri värvidega.

Edasi tutvuge magnetkäivitiga ПА-300 ja selgitage selle kasutamist asünkroonmootorite distantsjuhtimiseks.

Kirjandus. Л. С. Касаткин. Основы электротехники. М.-Л., изд. "Энергия", 1966, §§ 17-1, 17-2, 17-3, 17-9, 21-5.

6. ASÜNKROONMOOTORI KARAKTERISTIKUTE MÄÄRAMINE

Tööülesanne. Tutvuda lühisrootoriga asünkroonmootori ehitusega ja määrata katseliselt antud mootori koormuskarakteristikud.

Töövahendid: 1) kolmefaasiline lühisrootoriga asünkroonmootor koos klotspiduriga,
2) sagedusmõõtja,
3) fasomeeter,
4) vattmeeter,
5) voltmeeter,
6) ampermeeter,
7) tahhomeeter.

Töö käik. Koormuskarakteristikud määravad asünkroonmootori põhilised ekspluatatsioonitingimused.

Kõik koormuskarakteristikud võetakse üles jääva toitepinge ja sageduse korral.

Vaatleme lühidalt põhilisi koormuskarakteristikuid ja selgitame nende füüsikalist sisu.

1. Kiiruskarakteristik.

$$n = f(P_2) \quad \left| \begin{array}{l} U = U_n = \text{const} \\ f = \text{const.} \end{array} \right.$$

Kiiruskarakteristiku kuju selgitamiseks vaatleme mootori töötamisel toimuvaid protsesse. Asünkroonmasina õhupilus oleva magnetvoo ja rootori koormusvoolu koosmõjul tekitatakse pöördemoment, mille poolt arendatav elektromagne-

tiline võimsus avaldub valemiga

$$P_{em} = M \omega_1, \text{ kus}$$

ω_1 on magnetvälja sünkroonnurkkiirus. Kuna rootor pöörleb kiirusega ω , siis momendi M korral mootori võllil aren-datav mehaaniline võimsus

$$P_m = M \omega.$$

Vahe $P_{em} - P_m$ on vaseskadu rootori mähises, kuna rootorit läbiva magnetvoo väikese sageduse tõttu (0,5 - 3 Hz nimikoormusel) võib rootori rauaskao jätta arvesta-mata.

Saame

$$P_{Cu_2} = P_{em} - P_m = M(\omega_1 - \omega) = M \omega_1 \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1} = P_{em} \cdot S,$$

kus

$$S = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1} = \frac{n_1 - n}{n_1} \text{ on libistus.}$$

Tuletatud seosest näeme, et asünkroonmasina libistus

$S = \frac{P_{Cu_2}}{P_{em}}$ oleneb rootori vaseskaovõimsuse ja elektromagne-tilise võimsuse suhtest.

Asünkroonmasina pöörlemiskiirus

$$n = n_1(1 - S).$$

Seega tühijooksul, kui $P_{Cu_2} \approx 0$, siis ka $S \approx 0$ ja $n \approx n_1$. Koormuse suurenedes suureneb S ligikaudu võrdeliselt koor-musega ja nimikoormusel

$$S_n = 0,01 - 0,06.$$

Seega on kiiruskarakteristik veidi langev kõver ja sarnaneb haruvoolumasina kiiruskarakteristikuga. Kiirus-karakteristik on esitatud joonisel 6.1.

2. Pöördemomendi karakteristik.

$$M = f(P_2) \quad \left| \quad \begin{array}{l} U = U_n = \text{const} \\ f = \text{const.} \end{array} \right.$$

Lähtume mehaanilise võimsuse valemist mootori võllil

$$P_m = M\omega.$$

Siit

$$M = \frac{P_m}{\omega} \quad \text{ja} \quad M \sim \frac{P_m}{n}.$$

Et n väheneb võimsuse suurenedes, siis momendi karakteristiku tõus suureneb koos võimsuse suurenemisega (vt. joon. 6.1).

3. Võimsusteguri karakteristik.

$$\cos \varphi = f(P_2) \quad \left| \quad \begin{array}{l} U = U_n = \text{const} \\ f = \text{const.} \end{array} \right.$$

Asünkroonmootor tarbib magnetvälja tekitamiseks võrgust reaktiivset magneetimisvoolu, mistõttu tema võimsustegur on alati väiksem ühest. Kõige madalam on võimsusteguri väärtus tühijooksul, kus ta ei ületa 0,25. Koormuse kasvamisel kasvab ka rootori- ja staatorivoolu aktiivkomponent, mistõttu $\cos \varphi$ suureneb kiiresti. Võimsusteguri maksimum saabub nimikoormuse läheduses. Ülekoormusel hakkab $\cos \varphi$ vähenema, kuna suureneb kiiresti libistus, mistõttu suureneb rootorimähise reaktiivtakistus ja järelikult ka faasinihe rootorivoolu ja rootori emj vahel. φ_2 suurenemisel suureneb ka φ ning seega väheneb $\cos \varphi$ väärtus (vt. joon. 6.1).

4. Kasuteguri karakteristik.

Kasuteguri karakteristik oleneb masina töötamisel esinevate kadude muutusest.

Tühijooksul, kui $I_2 \approx 0$, $I_1 = I_0$, mis on ainult mõni protsent nimivoolust, on määrava tähtsusega rauaskaod.

Välkeste koormuste korral jäävad vaseskaod ikkagi vähetähtsaks ning kasutegur, mida arvutatakse valemiga

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + P_{Fe} + P_{Cu} + P_{meh.}}$$

kasvab järsult koormuse suurenemisel.

Kasuteguri maksimum saabub juhul, kui konstantsete kadude summa $P_{Fe} + P_{meh.}$ on võrdne koormusest sõltuvate vaseskadudega P_{Cu} . See saabub tavaliselt nimikoormuse lähedal. Ülekoormuse korral võimsustegur väheneb, sest vaseskaod kasvavad kiiremini kui kasulik võimsus. Kasuteguri karakteristik on esitatud joonisel 6.1.

5. Koguvõimsuse karakteristik.

$$P_1 = f(P_2) \quad \left| \quad \begin{array}{l} U_1 = U_n = \text{const} \\ f = \text{const.} \end{array} \right.$$

Sõltuvuse iseloom selgub kasuteguri avaldisest $\eta = \frac{P_2}{P_1}$.

Siit $P_1 = \frac{P_2}{\eta}$. Kui kasutegur oleks jääv, oleks funktsioon

$P_1 = f(P_2)$ lineaarne. Et aga kasutegur algul kiiresti kasvab ja seejärel muutub vähe, kasvab P_1 algul aeglasemalt, seejärel aga kiiresti ja peaaegu lineaarselt (vt. joon.6.1).

6. Koormusvoolu karakteristik.

$$I_1 = f(P_2) \quad \left| \quad \begin{array}{l} U = U_n = \text{const} \\ f = \text{const.} \end{array} \right.$$

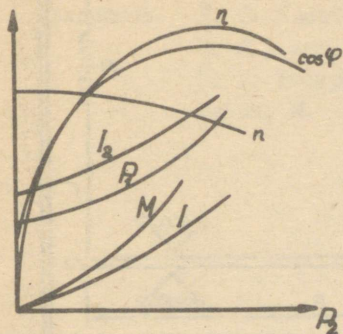
Koormusvoolu karakteristikuku kuju on toodud joonisel 6.1.

7. Libistuse karakteristik.

Sageli määratakse kiiruskarakteristiku asemel libistuse karakteristik.

$$S = f(P_2) \quad \left| \quad \begin{array}{l} U = U_n = \text{const} \\ f = \text{const.} \end{array} \right.$$

arvutades pöörlemiskiirusest libistuse valemi $S = \frac{n_1 - n}{n_1}$ põhjal.



Joon. 6.1.

oleva dünamomeetriga saame määrata kangi horisontaalasendis hoidva jõu F_1 . Kui pingutada klotse kruvidega C, kasvab rihmaratta ja klotside vaheline hõõrdejõud, mis tekitab pöördemomendi

$$M = F_h \cdot R,$$

kus R on rihmaratta raadius.

Pöördemomendi tasakaalustamiseks rakendame kangi otsale dünamomeetri D , mis tekitab hõõrdejõudude momendiga võrdse, kuid vastasuunalise momendi

$$M_V = M.$$

Tasakaalu korral:

$$F_1 \cdot l + F_h \cdot R = F_l \cdot l.$$

Siit

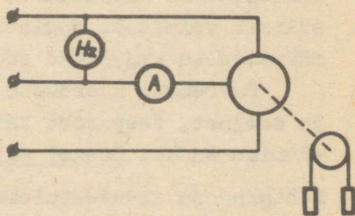
$$M = F_h R = (F - F_1) l.$$

Pöördemomendi ja pöörlemiskiiruse järgi saame arvu-

Koormuskarakteristikute määramiseks koostame lülitused vastavalt joonisele 6.2. Täiendage joonist kolmefaasilise vattmeetriga ja fasomeetriga.

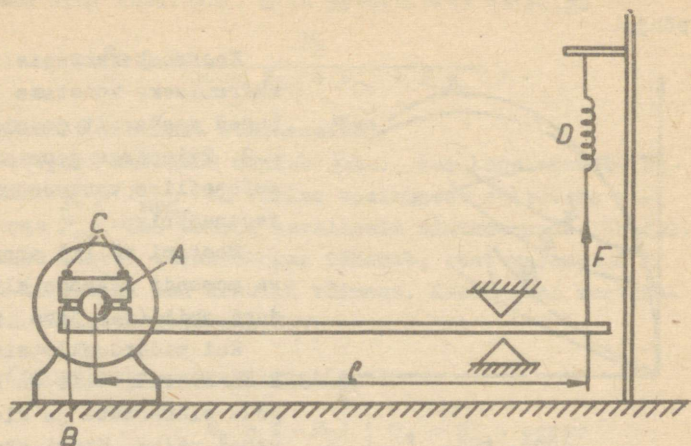
Mootori võllil arendatava momendi määramise klotspiduri abil (vt. joon. 6.3).

Kui pidurdusklotsid A ja B on avatud, siis on hõõrdejõud rihmaratta ja klotside vahel väike. Kangi otsas



Joon. 6.2.

tada ka mootori võllil arendatava kasuliku võimsuse P_2 .



Joon. 6.3.

Tutvuda katsetatava asünkroonmootori ehituse ja sildiaandmetega ning kanda need protokollile. Kontrollida katsetamiseks antud riistade sobivust mootori sildiaandmetega.

Kirjanduse põhjal tutvuda sagedusmõõtja ja kolmefaasilise fasomeetri ning vattmeetri ehitusega. Kanda protokollile riistade skeemid ja tehnilised andmed.

Koormuskarakteristikute määramist alustage tühijooksurežiimist. Suurendades klotspiduri abil järk-järgult kasulikku võimsust, registreerige koormuskarakteristikute määramiseks vajalikud suurused erinevate koormuste korral.

Suuremate koormuste korral eraldub klotspiduris palju soojust, seepärast käivitage mootor ainult lugemite võtmise ajaks. Seadet mitte üle kuumendada!

Mõõtmis- ja arvutustulemuste tabel.

| Jrk. nr. | F_1 | F | l | U | I_1 | f | P_1 | $\cos \varphi$ | n | M | P_2 | η | S |
|----------|-------|-----|-----|-----|-------|-----|-------|----------------|-----|-----|-------|--------|-----|
| | | | | | | | | | | | | | |

Saadud tulemuste põhjal joonestada millimeeterpaberile katsetatava mootori koormuskarakteristikud.

Järeldused ja kokkuvõtte tööst.

Kirjandus. Л. С. Касаткин. Основы электротехники. М.-Л., изд. "Энергия", 1966. Гл. 17.
Н. Г. Вострогнутов. Электрические измерения. М., 1966, § 4.9, 4.10.

7. KOMPLEKT KOLMEFAASILISE VOOLU UURIMISEKS

Töö eesmärk. Tutvuda koolidele toodetava demonstratsioonkatsevahendite komplektiga ning selgitada tema kasutamise võimalusi teemade "Vahelduvvool" ja "Elektrimasina" õppimisel.

Töövahendid: 1) Jelanski komplekt,
2) kolm demonstratsioonigalvanomeetrit,
3) alaldi BC-25,
4) reostaat,
5) kolme faasiline koolitrafo,
6) neonlamp MH-3,
7) kolme faasiline seleenalaldi,
8) kooli universaaltrafo,
9) kondensaatorpatari.

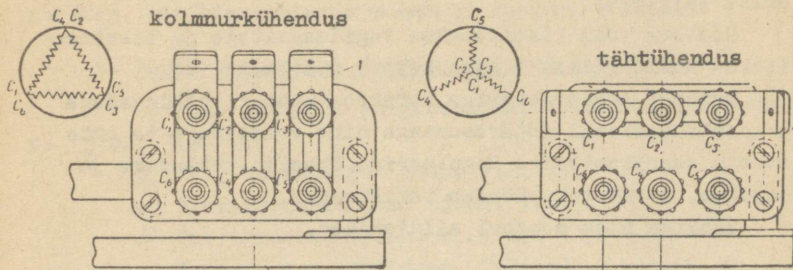
Töö käik. A. Komplekti kuuluvate seadmetega tutvumine.

1. Kolme faasilise voolu generaator.

Generaatori magnetahel on moodustatud 60-65 elektrotehnilise terase lehest. Magnetahela uures paigutatakse staatorimähis, mille igas faasis on 400 keerdu, masina pooluspaaride arv - 1. Generaatori esiküljel on iga staatorimähis eri värvi: esimese faasi mähis on punane, teise faasi mähis kollane, kolmanda faasi mähis roheline. Magnetahel koos staatorimähistega on kinnitatud kruvidega masina korpuse külge.

Staatorimähiste algused ja lõpped on välja toodud masina küljel paiknevate universaalklemmidega varustatud

klemmplaadile. Mähise otste tähistused vastavad GOST-ile 183-55. Staatorimähiste ühendamine tähte või kolmnurka toimub ühendusliistude abil vastavalt joonisele 7.1.



Joon. 7.1.

Generaatori rootoriks on magnetsulamist alin valmistatud püsivmagnet. Magneti põhjapoolus on värvitud siniseks, lõunapoolus punaseks. Rootori võll toetub kahele tugilaagrile, mida saab kinnitada kruvidega masina korpuse külge.

Õhupilu staatori ja rootori vahel on 1 mm. Masina kokkupanekul ja reguleerimisel tuleb jälgida, et õhupilu laius oleks igal pool ühesugune.

Tutvuge generaatori põhiosadega ja õhupilu laiuse reguleerimise moodusega. Tsentreerige rootor, kinnitage laagrakilbid ja veenduge, et rootor pöörleb vabalt ja takistuseta.

Märkige üles generaatori sildiaandmed.

2. Lühisrootoriga asünkroonmootor.

Mootori staatori konstruktsioon ei erine millegagi generaatori staatori konstruktsioonist. Staatorimähisel on kaks pooluspaari, mähiste otsad on värvitud eri värvidega analoogiliselt generaatori staatorimähistega.

Klemmplaadi ehitus ja klemmide paiknemine sellel vastab joonisele 7.1.

Mootori rootor on koostatud elektrotehnilise terase

lehtedest, mille uuretes paiknevad messingvardad. Messingvardad on kummastki otsast kinnitatud samast materjalist valmistatud rõngastesse, moodustades oravikrootori. Rootori esiküljel on kollane sektor, mis kergendab rootori pöörlemise jälgimist.

Rootori võll kinnitatakse tugilaagritele ja tsentree-ritakse analoogiliselt generaatori rootoriga.

Tutvuge lühisrootoriga asünkroonmootori põhiosadega ja konstruktsiooni iseärasustega ning valmistage ta ette katsete sooritamiseks. Reguleerige õhupilu ühtlaseks ja veenduge, et rootor pöörleb takistuseta.

Märkige üles mootori sildiammed.

3. Lambikesega rootor koos harjadega.

Teda kasutatakse elektromagnetilise induktoriga kolme-faasilise generaatori töö demonstreerimiseks (vt. ülesanne 3) ja rootorivoolu sõltuvuse demonstreerimiseks libistusest (vt. ülesanne 10).

Rootor koosneb elektrotehnilise terase lehtedest, mille baasides paikneb 500 keerust koosnev mähis. Kollaseks värvitud mähis paistab selgesti rootori mustal foonil.

Rootori esiküljel paikneb ka lambipesa madalavoldilise lambi jaoks, mida saab lülitada paralleelselt rootorimähisega.

Rootori võllil paikneb kahest isoleeritud poolrõngast koosnev kollektor.

Harjad on kinnitatud plastmassist paneelile. Vool juhitakse harjadesse harjahoidjas paiknevate universaalklem- mide kaudu. Harjahoidja on varustatud tihvtidega, mis paigutatakse generaatori korpuses olevatesse avadesse.

4. Hooratas koos käepidemega ja detailidega võlli paigaldamiseks.

Hooratas on varustatud soonega kummirihma jaoks. Ratas kinnitatakse võllile ja fikseeritakse stoppkruviga. Võll ise aga paigutatakse komplektiga kaasasoleva puitkas-

ti põhjas olevasse väljalõikesse ning kinnitatakse tiibmut-
riga. Võlli soones edasi-tagasi nihutades antakse kummirih-
male vajalik pingsus.

Komplekti kuulub ka väike käepidemega varustatud rih-
maratas, mis kinnitatakse vahetult rootori võllile.

5. Asünkroonmootori juurde kuuluvad detailid.

a) Alus staatori paigutamiseks horisontaalasendis-
se (joon. 7.2, a).

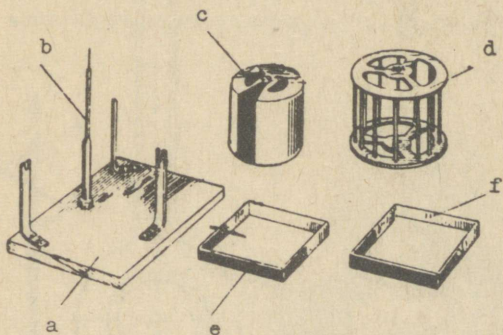
b) Telg teravikuga (joon. 7.2, b).

c) Alumiiniumsilinder (joon. 7.2, c).

d) Oravikrootor (joon. 7.2, d).

e) Teravikuga raam (joon. 7.2, e).

f) Tugilaagriga raam (joon. 7.2, f).

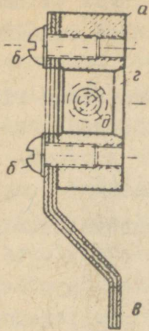


Joon. 7.2.

6. Detailid pingekõverate ülesvõtmiseks.

Siia kuulub kõigepealt ringskaala, millel on jaoti-
sed iga 30° tagant, teiseks liikuva harja kontakt (joon.
7.3) ja kolmandaks osuti (joon. 7.4), mis kinnitatakse
avause u kaudu kruviga generaatori tugilaagri külge.

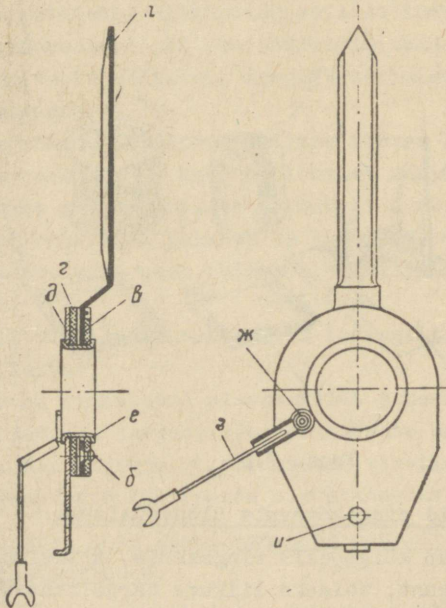
7. Püstpaneelid madalapingeliste lampidega tarbijate täht- ja kolmnurkühenduse demonstreerimiseks.



Joon. 7.3.

sis on paralleelselt lülitatud kaks lambipesa.

Ühele paneelile on monteeritud kuus lambipesa, mis on ühendatud tähte nii, et igasse faasi jääb kaks paralleelselt lülitatud lampi. Teisele paneelile on lambipesad monteeritud nii, et moodustub kolmnurkühendus. Ka siin on võimalik demonstreerida nii sümmeetrilist kui ka mittesümmeetrilist koormust, kuna igas faasis on paralleelselt lülitatud kaks lambipesa.



Joon. 7.4.

Mõlemad paneelid on varustatud universaalklemmidega, mis võimaldavad neid hõlpsasti ja kiiresti ühendada komplekti kuuluva kolmefaasilise voolu generaatoriga.

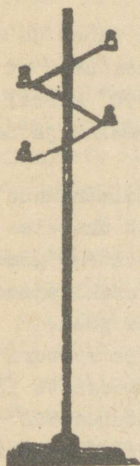
8. Kronsteinid ülekandeliinile.

Suurematel kronsteinidel on kolm portselanisolaatorit, mis võimaldavad kokku seada kolmejuhtmeline ülekandeliini. Väiksematel kronsteinidel on üks portselanisolaator. Mõlemate kronsteinide kooskasutamisel saame kokku seada nelja-juhtmeline ülekandeliini (vt. joon. 7.5).

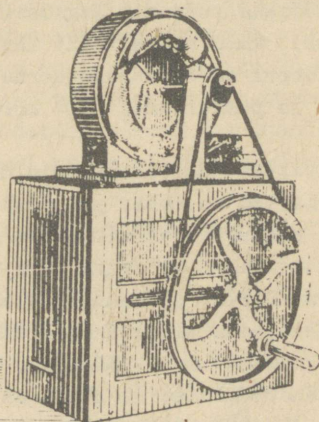
9. Alus generaatori paigaldamiseks.

Aluseks on puitkast, kus hoitakse ka komplekti kuuluvaid väiksemaid detaile.

Aluse ühel küljel on kaks puitliistu, mille vahele sobitatakse generaatori korpus. Kasti esiküljel on kaks klambrit skaala kinnitamiseks. Kasti külge seinas on väljalõige, kuhu asetatakse hooratta telg. Alusele paigutatud ja tööks ettevalmistatud generaator on kujutatud joonisel 7.6.



Joon. 7.5.



Joon. 7.6.

Paigutage eelnevalt väljareguleeritud generaator alusele, ühendage hooratas rihmaseibiga ja reguleerige kummirihmale sobiv pingsus. Veenduge, et rihm veab libisemiseta.

B. Katseid kolmefaasilise voolu komplektiga.

Ülesanne 1. Näidake kolmefaasilise voolu saamist.

Paigaldage generaator alusele, kinnitage skaala nii, et 0 oleks üleval keskel, ja asetage generaatori rootori võllile osuti. Pöörake rootor põhjapoolusega vastu punast mähist ja asetage osuti skaala 0-le. Sellise rootori asendi korral ajamomendile $t = 0$ vastab magnetvoo maksimaalväärtus, elektromotoorne jõud aga võrdub nulliga.

Millise faasi kohta kehtib ülaltoodud arutus?

Lülitage esimese faasi mähist otste vahele (punased klemmid) demonstratsioongalvanomeeter nii, et rootori pöörämisel 0° -st kuni 180° -ni kalduks galvanomeetri osuti paremale.

Mida teha, kui galvanomeetri osuti annab soovitud vastupidise hälbe?

Pöörake rootorit aeglaselt (üks pööre umbes 30 - 40 s jooksul), kuid võimalikult ühtlaselt ja veendume, et 0° ja 180° korral on elektromotoorne jõud null, 90° korral maksimaalne ja positiivne, 270° korral - maksimaalne ja negatiivne.

Lülitage galvanomeetrid ka teise ja kolmandasse faasi. Mõõteriistad on sobiv paigutada astmeliselt üksteise taha, jättes nähtavaks ainult nende skaalad. Käivitage generaatori ja veendume, et erinevates faasides on samal ajamomendil erineva suuruse ja suunaga elektromotoorsed jõud.

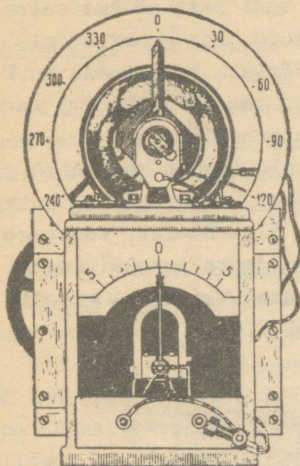
Kasutades alusele kinnitatud skaalat ja rootori võllile paigutatud osutit, näitame, et elektromotoorsete jõudude amplituudväärtused on üksteise suhtes nihutatud 120° võrra.

Andke äsja tehtud katsele hinnang selle kasutamise võimaluste seisukohalt koolikursuses.

Katseskeem joonestage aruandesse.

Ülesanne 2. Võtke üles emj muutumise graafikud kõigis kolmes faasis.

Katse seadke üles vastavalt joonisele 7.7.



Joon. 7.7.

ratsioonivoltmeetrit koos 5-voldise eeltakistiga. Osuti juurde kinnitatud juhtme ots ühendatakse riista ühe klemmiga, teiselt klemmilt läheb juhe selle faasimähise lõpu külge, milles tahetakse määrata emj väärtust. Tähte ühendatud staatorimähiste nullpunktist võetakse juhe, mis ühendatakse osuti generaatori tugilaagri külge kinnitava kruvi alla.

Generaatori rootori pöörlemisel toimub koostatud vooluahela sisselülitamine üks kord täispöörde jooksul, momendil, mil liikuv hari kohtub osutil oleva kontaktiga. Seda momenti võib muuta osuti asendi muutmisega skaalal.

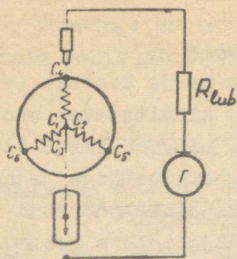
Kui osuti asetseb näiteks jaotisel 30° , toimub vooluringi sisselülitamine momendil, mil rootorimagneti telg moodustab esimese faasi mähise teljega nurga 30° .

Indikaator peab olema lülitatud selliselt, et osuti pööramisel 0° -st kuni 180° -ni kalduks indikaatori osuti

Idikuva harja kontakt (vt. joon. 7.3) kinnitatakse rootori võllile nii, et harja telg ühtiks magneti teljega ja harja vaba ots oleks pööratud magneti põhjapooluse poole. Kontrollige, et rootori pöörlemisel annaks hari osutil oleva kontaktiga hea ühenduse (seda saab kindlaks teha näiteks kokkupuutemomendil tekkiiva iseloomuliku hääle põhjal).

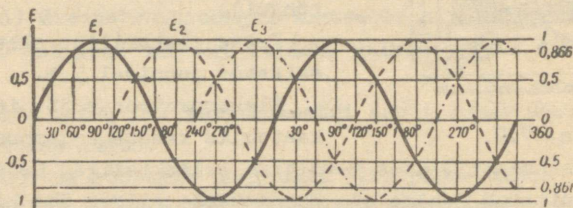
Katse elektriline skeem on esitatud joonisel 7.8.

Elektromotoorse jõu indikaatoriks kasutage demonst-



Joon. 7.8.

hetkväärtuste tabel kõigi kolme faasi jaoks iga 30° tagant ja kandke tulemused tabelisse. Tulemused kandke ka graafikule, mille näidis on toodud joonisel 7.9.



Joon. 7.9.

Graafiku analüüsimisel pöörake õpilaste tähelepanu sellele, et iga ajamomendi jaoks on elektromotoorsete jõudude hetkväärtuste summa null. Selle väite kinnituseks võib teha veel järgmise katse. Paigutage osuti skaala nulljaotisele. Indikaator ühendage esimese faasi mähisega - indutseeritud emj on null. Pöörates rootorit konstantse kiirusega, registreerige emj hetkväärtused teises ja kolmandas faasis, ühendades indikaatorist mineva juhtme otsa vastavalt klemmiga C_5 ja C_6 . Selgub, et kummaski faasis indutseeritakse suurselt võrdsed, kuid suunalt vastupidised emj-d.

Analoogiliselt võib eespool toodud väidet kontrollida ka iga teise osuti asendi korral.

Graafikute analüüsimisel pöörake tähelepanu ka sellele, millal indutseeritakse igas mähises maksimaalne elektromotoorne jõud.

Ülesanne 3. Demonstreerige elektromagnetilise induktoriga generaatori tööd.

Paigaldage generaatori staatorisse lambikesega rootor, generaatori korpusele, rootori kontaktrõngaste kohale, kinnitage harjad. Harjahoidjatel asetsevate universaalklemmide alla lülitage läbi reostaadi alalisvooluallikas pingega 4 - 6 V.

Reostaat ja vooluallikas valige iseseisvalt!

Tähelepanu! Jälgige rootoril paikneva lambikese nimipingest vastavust kasutatava vooluallika pingele!

Et rootori vooluahela sisse- ja väljalülitamise momendil indutseeritakse staatorimähistes suur elektromotoorne jõud (miks?), tuleb selleks ajaks generaatori koormus lahti lülitada, et see ei satuks ülepinge alla.

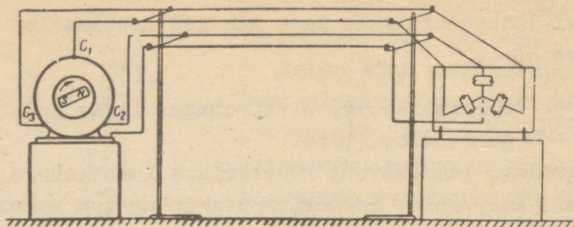
Joonestage vooluringi skeem, mis võimaldaks demonstree-rida generaatori emj sõltuvust rootori ergutusvoolu tugevusest, ja esitage see juhendajale kontrollimiseks. Katseks vajalikud riistad valige iseseisvalt. Koostage vooluring ja näidake, et generaatori emj on võimalik reguleerida masina magnetvoo muutmisega. Tulemused registreerige ja kandke aruandesse.

Ülesanne 4. Demonstreerige kolmeafaasilise voolu kolme- ja neljajuhtmelist ülekanaliini ning tarbijate tööd täht- ja kolmnurkühenduse korral.

Vooluring koostage vastavalt joonisele 7.10.

Koostage katsekirjeldus, kus tuleksid vaatluse alla:

- a) neljajuhtmeline süsteem tähte ühendatud tarbija ja sümmeetrilise koormuse korral;
- b) sama mittesümmeetrilise koormuse korral;
- c) kolmejuhtmeline süsteem tähte ühendatud tarbija ja sümmeetrilise koormuse korral;



Joon. 7.10.

- d) sama mittesümmeetrilise koormuse korral;
 - e) kolmejuhtmeline süsteem kolmnurka ühendatud tarbija ja sümmeetrilise koormuse korral;
 - f) sama mittesümmeetrilise koormuse korral.
- (Ettevalmistuse käigus vt. ka sama kogumiku tööjuhendeid nr. 1 ja 2.)

Katseid demonstreerida juhendajale, tulemused koos põhjenduste ja skeemidega kanda aruandesse.

Ülesanne 5. Näidake pöördvälja tekitamist kolmefaasilise vooluga.

Katseks tuleb paigutada asünkroonmootori staator horisontaalasendisse selleks spetsiaalselt valmistatud aluse abil (vt. joon. 7.2, a). Alusele kinnitatakse teravikuga telg (joon. 7.2, b), teravikule aga tugilaagriga raam (joon. 7.2, f).

Kontrollige, et õhupilu raami ja staatori magnetahela vahel oleks ühtlase laiusega ja raam pöörleks kergelt ning takistusteta.

Lülitage tähte ühendatud asünkroonmootori staator kolmefaasilise voolu generaatori staatorimähiste külge. Pange pöörlema generaatori rootor ja näidake, et pöörlema hakkab ka mootori staatoris paiknev raam.

Tähelepanu! Et raam pöörleb väga väikese hõõrdumise-ga ja omab küllalt suurt inertsi, tuleb katset teha rooto-

ri väikese pöörlemiskiiruse korral.

Näidake: a) raami pöörlemiskiiruse sõltuvust vahelduv-
voolu sagedusest;

b) raami pöörlemise suuna sõltuvust rootori pöörlemi-
se suunast;

c) raami pöörlemise suuna muutmise võimalust kahe faa-
si ümberlülitamisega. Kuidas selgitada ja põhjendada äsja
korraldatud katsed õpilastele?

Ülesanne 6. Näidake alumiiniumsilindri pöörlemist pöörle-
vas magnetväljas.

Katsekorraldus jääb muus osas eelmise katsega samaks,
ainult tugilaagriga raami asemel paigutage teravikule alu-
miiniumsilinder (vt. joon. 7.2, c). Tekitage mootori staa-
toris pöörlev magnetväli ja näidake, et silinder hakkab
väljaga kaasa pöörlema.

Kuidas selgitada seda nähtust õpilastele?

Ülesanne 7. Illustreerige asünkroonmootorit iseloomustavat
suurust, mida nimetatakse libistuseks.

Selleks täiendame äsja koostatud katseseadet teravi-
kuga raamiga (vt. joon. 7.2, e), mille paigutame alumiini-
umsilindri teljele. Kontrollige õhupilu laiust ja raami
vaba pöörlemist!

Pange pöörlema generaatori rootor. Et raami mass on
suhteliselt väike, võime lugeda tema pöörlemise sünkroon-
seks magnetvälja pöörlemisega staatoris. Võrreldes raami
ja alumiiniumsilindri pöörlemiskiirusi, saamegi illustree-
rida libistuse mõistet.

Kuidas selgitada õpilastele, miks asünkroonmootori
töös on vajalik positiivne libistus?

Ülesanne 8. Näidake oravikrootori pöörlemist pöörlevas mag-
netväljas ja andke nähtusele selgitus.

Ülesanne 9. Demonstreerige lühisrootoriga asünkroonmootori tööd.

Paigutage mootori staator horisontaalasendist vertikaalasendisse ning kinnitage sellesse tugilaagrite abil lühisrootor. Ühendage mootori staatorimähised generaatori staatorimähistega ja näidake:

- a) rootori pöörlemiskiiruse sõltuvust vahelduvvoolu sagedusest;
- b) rootori pöörlemise suuna sõltuvust generaatori pöörlemise suunast;
- c) rootori pöörlemise suuna muutmise võimalust kahe faasi ümberlülitamisega.

Ülesanne 10. Näidake asünkroonmootori rootoris indutseeritud emj suuruse sõltuvust libistusest.

Eemaldame mootori staatorist lühisrootori ja asendame selle lambikesega rootoriga, mida kasutasime 3. ülesandes. Pannes generaatori rootori pöörlema, tekitame mootori staatoris pöörleva magnetvälja. Et mootori rootorimähis on lühistatud läbi madalavoldise lambikesega, tekib rootoris indutseeritud elektrivälja mõjul vool - lambike hakkab helenduma. Samal ajal hakkab pöörleva magnetvälja mõjul pöörlema ka mootori rootor. Mida suuremaks muutub rootori pöörlemiskiirus, seda väiksemaks jääb libistus ja nõrgemaks muutub lambikesega helendumine. Millise järelduse saame siit teha rootoris indutseeritud emj suuruse sõltuvuse kohta libistusest? Kuidas selgitada vaadeldud nähtust õpilastele?

C. Täiendavaid võimalusi kolmefaasilise voolu komplekti kasutamiseks.

Koos mõningate lisaseadmetega võimaldab kolmefaasilise voolu komplekt näidata veel terve hulga katseid. Loetleme neist mõningaid.

1) Kolmefaasilise voolu transformeerimine.

Kasutatakse generaatorit ja õppevahendite tööstuse poolt toodetavat kolmefaasilist transformaatorit. Ühendas trafo madalpingemähised generaatori klemmidega, saame sekundaarmähisest koormusvoolu 0,15 A korral pinge kuni 50 V.

Lülitades trafo sekundaarmähisega neonlambi MH-3, võib näidata generaatori poolt toodetava vahelduvvoolu sageduse sõltuvust rootori pöörlemiskiirusest.

2) Kolmefaasilise voolu alaldamine.

Kasutatakse generaatorit ja õppevahendite tööstuse poolt toodetavat kolmefaasilist seleenalaldit. Alaldist võib saada pulseeriva alalisvoolu pingega 6 V ja koormusvooluga kuni 1,5 A, mis võimaldab demonstreerida hulga katseid elektrikursuse õppimisel.

3) Induktiivtakistus vahelduvvooluahelas.

Kasutatakse generaatorit, kooli universaaltransformaatori 120-V-st pooli, reostaati ja kahte 3,5-V-st hõõglampi.

Saab näidata: a) induktiivtakistuse sõltuvust pooli induktiivsusest, b) induktiivtakistuse sõltuvust vahelduvvoolu sagedusest.

Kuidas seda teha? Koostage katsekirjeldused!

4) Mahtuvuslik takistus vahelduvvooluahelas.

Kasutatakse generaatorit, kondensaatorpatareid, alalisvoolu demonstratsioonigalvanomeetrit.

Saab näidata: a) mahtuvusliku takistuse sõltuvust kondensaatori mahtuvusest;

b) mahtuvusliku takistuse sõltuvust vahelduvvoolu sagedusest.

Milliste kõrvalmõjudega on tegemist teise katse demonstreerimisel ja kuidas nad mõjutavad katsetulemust?

5) Kolmefaasilise asünkroonmootori staatorimähiste alguste ja lõppude määramine.

Kasutatakse generaatorit, mootorit, vahelduvvoolu

demonstratsiooniga vanomeetrit ja proovilampi (vt. juhend nr. 5 käesolevas kogumikus).

6) Ühefaasiline asünkroonmootor.

Kasutatakse kolmefaasilist võrgust läbi trafo saadavat vahelduvpinget 22 V ja asünkroonmootori staatorit koos alumiiniumsilindriga.

Koostage katsekirjeldus ja selgitage ühefaasilise asünkroonmootori tööprintsipi.

7) Vahelduvvoolugeneraatori pööratavus.

Generaator varustatakse elektromagnetilise induktoriga ja harjadega. Rotorist võetakse välja madalavoldine hõõglamp ja ühendatakse harjade alla 50-oomine reostaat. Generaatori staator lülitatakse kolmefaasilisse võrku liinipingega 22 V.

Kui lülitamise momendil valida reostaadi takistuseks 10 - 20 oomi, siis on mootori pöördemoment maksimaalne. Rotori pöörlemiskiiruse kasvades vähendame järjest reostaadi takistust kuni nullini. Selliselt demonstreerime ka käivitusreostaadiga asünkroonmootori käivitusprotsessi.

M ä r k u s. Viimati kirjeldatud katsetest tuleb sooritada mõned juhendaja poolt määratud katsed.

Kirjandus. Eesti NSV Haridusministeerium. Kaheksaklassilise kooli ja keskkooli programmid 1968/69. õppeaastaks. Tööõpetus IV - XI kl. Tln., "Valgus", 1968, lk. 55-59.

M. Anvelt jt. Elektrotehnika. Tln., "Eesti Raamat", 1964.

Министерство просвещения РСФСР. Глав-
учтехпром. Набор приборов для изучения
трехфазного тока. М., 1961.

8. VÖÖREERGUTUSEGA ALALISVOOLUGENERAATORI KARAKTE- RISTIKUTE MÄÄRAMINE

Töö eesmärk. Komplekteerida antud riistadest vööreergutu-
sega generaator ja määrata tema karakteristiki-
tud.

Töövahendid: 1) alalisvoolugeneraatori katsetamise stend,
2) alaldi BC-6 ergutusmähise toitmiseks,
3) reostaat ergutusvoolu reguleerimiseks,
4) reostaat ankruvoolu reguleerimiseks,
5) ampermeeter ergutusvoolu mõõtmiseks,
7) voltmeeter klemmipinge mõõtmiseks.

Töö käik. Tutvuda kirjanduse põhjal alalisvoolugeneraa-
torite ehituse, tööprintsibi ja liigitusega.

Tutvuda antud generaatori ehitusega, pöörates tähele-
panu magnetahelale, ankrule, kollektorile, harjadele. Lei-
da ankrumähise ja ergutusmähiste otsad.

Märkida üles generaatori sildandmed. Antud generaatori ergutusahelat peab toitma alalisvooluallikast, mille nimipinge on 4 - 6 volti ja nimivool mitte vähem kui 2 amp-
rit. Kontrollida reguleerimis- ja koormusreostaadi ning mõõteriistade sobivust antud generaatori katsetamiseks. Kanda protokollis kontrollimise tulemused ja kasutatavate seadmete tehnilised andmed.

Alalisvoolugeneraatorite omadusi iseloomustavad peale masina sildile märgitud nimisuuruste veel karakteristikud. Karakteristik on katsetulemuste põhjal konstrueeritud kõ-
ver, mis näitab generaatori mingi iseloomuliku suuruse sõl-

tuvust teisest, kui seejuures ülejäänud suurused on konstantseid.

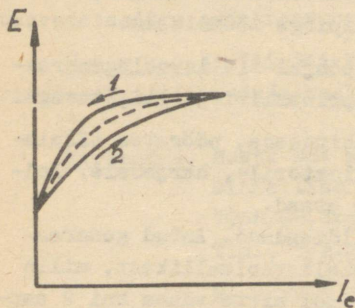
Alljärgnevalt asume gi generaatori tööd iseloomustavate peamiste karakteristikute määramisele.

1. Tühijooksukarakteristik.

Tühijooksukarakteristik näitab ankrus indutseeritud elektromotoorse jõu suuruse sõltuvust ergutusvoolust, kui ankru pöörlemiskiirus on jääv ja koormusvool null. Seega tühijooksukarakteristik on funktsioon

$$E = f(I_e), \text{ kui } n = \text{const}, I = 0.$$

Tüüpiline tühijooksukarakteristiku kuju on toodud joonisel 8.1. Sellelt nähtub, et karakteristikul on kaks haru, tõusev (2) ja langev (1), mis hüstereesinähtuse tõttu kokku ei lange. Praktikas kasutatakse generaatori iseloomustamiseks karakteristikut, mille ordinaadid määratakse kui tõusva ja langeva haru ordinaatide aritmeetilised keskmised.



Joon. 8.1.

Tühijooksukarakteristiku eksperimentaalseks määramiseks on kaks moodust: 1) algul ergutatakse generaator nimipingeni ja seejärel vähendades ergutusvoolu nullini, saadakse langev haru (1); hiljem suurendatakse ergutusvoolu nimiväärtuseni - saadakse tõusev haru (2);

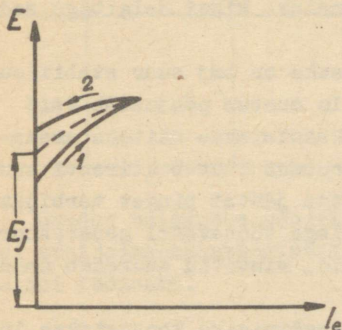
2) katset alustatakse ergutusvooluta ja määratakse algul tõusev, seejärel langev haru (joon. 8.2). Ankrus indutseeritud elektromotoorne jõud on jääva pöörlemiskiiruse korral võrdeline alalisvoolumasina peamagnetvooga

$$E = cn\phi.$$

Seega kõver $E = f(I_e)$ on ühtlasi vastavas mõõtkavas ka sõltuvus peamagnetvoo ja ergutusvoolu vahel

$$\phi = \varphi(I_e),$$

s.t. kujutab endast alalisvoolumasina magnetahela magneetismiskõverat. Kõvera kuju sõltub terassüdemiku küllastusastmest ja pooluskingade ning ankru vahelise õhupilu suurusest.



Joon. 8.2.

Tühijooksukarakteristik

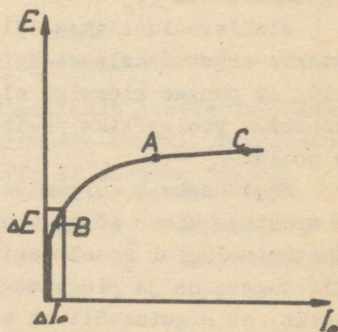
võimaldab iseloomustada alalisvoolumasina magnetahelat:

- 1) E_j väärtus iseloomustab alalisvoolumasina jääkmagnetvälja suurust;
- 2) tõusva ja langeva haruga piiratud pindala on võrdeline hüstereesist tingitud rauaskadudega ja iseloomustab alalisvoolumasina induktori omadusi;
- 3) kõvera kuju iseloomustab

magnetvälja kasutamist magnetilise küllastuse seisukohalt.

Tühijooksukarakteristiku võib tinglikult jagada kolmeks piirkonnaks (vt. joon. 8.3):

- 1) sirgjooneline osa kõvera algul, kus masina magnetahel on küllastamata, kuna magnetiline induksioon on siin väike;
- 2) kõvera "põlv", mis vastab magnetahela osalisele küllastumisele;
- 3) põlvest kõrgemal asuv aeglaselt tõusev sirgjooneline osa, kus magnetahel on küllastatud.



Joon. 8.3.

Masina nimipingele vastav punkt valitakse tavaliselt tühijooksukarakteristiku põlvel (punkt A). Kui masina tööpunkt asub kõvera algul (punkt B), siis masina pinge ei ole püsiv, kuna väikseimgi ergutusvoolu muutus (ΔI_e) kutsub esile suure emj muutuse (ΔE_1), mis ei ole lubatav tarbijate stabiilse töö tagamise seisukohalt.

Harva kasutatakse ka generaatoreid, mille tööpunkt on kõvera põlvest kõrgemal asuval osal (punkt C), kuna siin on piiratud pinge reguleerimise võimalus. Miks? Selgitage seda jooniselt 8.3.

Selliste generaatorite eeliseks on emj suur stabiilsus, kuna suhteliselt suur ergutusvoolu muutus põhjustab vaid väikese magnetvoo muutuse. Neid kasutatakse näiteks ekskaavatorite elektriajamites, kus koormus muutub kiiresti suurtes piirides ning on vaja säilitada jäävat pinget tarbijate klemmidel. Küllastatud magnetahelaga töötavatel generaatoritel on suurendatud ergutusmähiseid, mistõttu suureneb nende kaal ja maksumus.

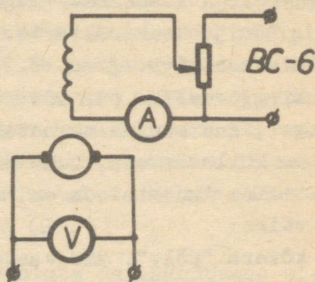
Tühijooksukarakteristiku ülesvõtmiseks koostatakse lülitus vastavalt joonisele 8.4.

Valige sobiv reostaat ja mõõteriistad! Generaator panakse pöörlema konstantse nimikiirusega. Katset alustame ergutusvooluta ($I_e = 0$).

Alalisvooluallikas lülitatakse ergutusahelasse selliselt, et punase klemmiga oleks ühendatud vooluallika positiivne poolus.

Ergutusahela sulgemisel ja ergutusmähises nõrga voolu tekitamisel peab resulteeriv väli tugevnema ja pinge masina klemmidel tõusma. See on tunnuseks, et ergutusväli on samasuunaline jääkväljaga.

Suurendame ettevaatlikult ja sujuvalt ergutusvoolu, kuni generaatori klemmipinge tõuseb (1,1 - 1,2) U_n .



Joon. 8.4.

Katse kestel ei tohi ergutusreostaati kunagi tagasi keerata, sest siis satume hüstereesikõvera teisele harule!

Seejärel vähendame sujuvalt ergutusvoolu nullini ja registreerime vastavad voltmeetri näidud.

Katsetulemuste tabel.

| Jrk. nr. | I_e | E | | $E = \frac{E_{\uparrow} + E_{\downarrow}}{2}$ |
|-------------|-------|----------------|------------------|---|
| | | $I_e \uparrow$ | $I_e \downarrow$ | |
| | | | | |

Saadud tulemuste põhjal joonestage katsetatava generaatori tühijoosukarakteristik. Märkige karakteristikule generaatori tööpunkt.

2. Väliskarakteristik.

Väliskarakteristikuks nimetatakse generaatori klemmipinge sõltuvust koormusvoolust, kui pöörlemiskiirus ja ergutusahela takistus on jäävad. Viimane tingimus võõrergutusega masina korral on sama mis $I_e = \text{const}$. Seega tühijoosukarakteristik on funktsioon

$$U = f(I) \quad \left| \begin{array}{l} n = \text{const} \\ I_e = \text{const} \end{array} \right.$$

Generaator peab säilitama võimalikult konstantse klemmipinge koormusvoolu erinevate väärtuste korral. Generaatori klemmipinge määratakse Kirchhoffi II seaduse põhjal

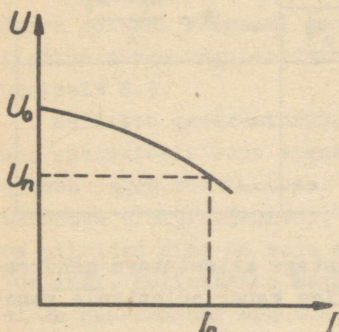
$$E = U + I_a r_a, \quad \text{kus } \begin{array}{l} I_a - \text{ankruvool,} \\ r_a - \text{ankrutakistus.} \end{array}$$

Siit

$$U = E - I_a r_a.$$

Saadud võrrandist selgub, et koormusvoolu suurenedes generaatori klemmipinge väheneb, sest 1) suureneb pingelang ankrumähises ($I_a r_a$), 2) väheneb emj, kuna tekib ankrureaktsioon. (Ankrureaktsiooni kohta vt. konspektist.)

Tüüpiline väliskarakteristiku kuju on toodud joonisel 8.5. Väliskarakteristikult määratakse ka generaatori nimi-



Joon. 8.5.

pinge muutus. GOST 183-55 alusel loetakse võõrergutusega generaatori nimipinge muutuseks tema klemmipinge muutust, kui koormus muutub nimikoormusest kuni nullini. Tavaliselt väljendatakse pingemuutus protsentides nimipingest.

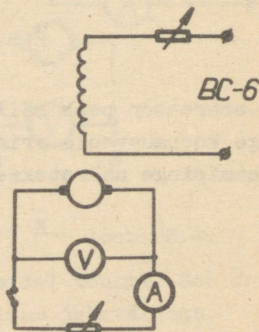
$$\Delta U = \frac{U_0 - U_n}{U_n} \cdot 100\%$$

Kui generaatorit koormata nimivoolust suurema vooluga, siis langeb klemmipinge veelgi ja masin töötab nüüd juba ülekoormusega. Tema ankrumähis, harjad ja kollektor kuumenevad üle, tekib tugev sädelemine.

Väliskarakteristiku ülesvõtmiseks koostatakse vooluring vastavalt joonisele 8.6.

Valige sobivad mõõteriistad ja reostaadid koormus- ja ergutusvoolu reguleerimiseks, lähtudes generaatori sildiammetest.

Karakteristiku ülesvõtmiseks paneme generaatori pöörlema nimipöörlemiskiirusega ning reguleerime ergutusmähises niisuguse ergutusvoolu, mille juures nimikoormusvoolu korral oleks generaatori klem-



Joon. 8.6.

midel nimipinge.

Seejärel vähendame koormusvoolu nullini ja registree-
rime igale koormusvoolu väärtusele vastava klemmipinge vää-
rtuse.

Katsetulemuste tabel.

| | |
|---|--|
| I | |
| U | |

Joonestage väliskarakteristik ja märkige sellel U_0 ,
 U_n , ΔU . Arvutada ΔU %-des.

3. Reguleerimiskarakteristik.

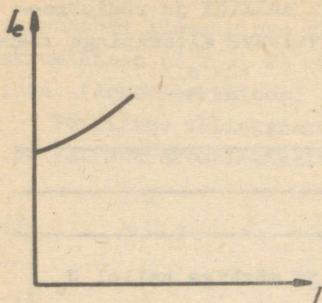
Generaatori ekspluaterimisel on vaja kindlustada jääv
klemmipinge erinevate koormusvoolude korral. Nagu nägime vä-
liskarakteristikult, langeb generaatori klemmipinge koormus-
voolu suurenemisel. Jäävat klemmipinget on võimalik säilita-
da ergutusvoolu muutmisega. Ergutusvoolu on võimalik regulee-
rida kas käsitsi või automaatselt reguleerimisreostaadi ta-
kistuse muutmisega. Ergutusvoolu reguleerimise käiku iseloo-
mustab reguleerimiskarakteristik, mis näitab ergutusvoolu
sõltuvust koormusvoolust, kui pöörlemiskiirus ja klemmipinge
on konstantsed. Seega reguleerimiskarakteristik on funktsi-
oon

$$I_e = f(I) \quad \left| \begin{array}{l} n = \text{const} \\ U = \text{const.} \end{array} \right.$$

Valemist $U = E - I_a r_a = \text{const}$ selgub, et kuna klemmipin-
ge peab muutaval koormusel jääma konstantseks, siis koormus-
voolu suurenemisega peab kaasnema emj suurenemine. Seda on
võimalik saavutada ergutusvoolu suurendamisega. Reguleerimis-
karakteristik on toodud joonisel 8.7.

Reguleerimiskarakteristiku mittelineaarsus on tingitud
sellest, et suuremate koormusvoolude korral on masina magnet-
ahel lähemal küllastusele, mistõttu peab ka suurenema ergutus-

voolu juurdekasv.



Joon. 8.7.

Reguleerimiskarakteristiku ülesvõtmiseks koostage vooluring vastavalt joonisele 8.8.

Valige sobivad mõõteriistad ja reostaadid, lähtudes generaatori sildiaandmetest.

Reguleerimiskarakteristiku saamiseks paneme generaatori ankru pöörlema nimipöörlemiskiirusega. Tühijooksurežiimis reguleerida ergutusvool selliseks, et generaatori klemmipinge võrduks nimipingega.

Lülitada sisse koormus ja muutes koormusvoolu nullist kuni nimiväärtuseni, reguleerida ergutusvoolu muutmise teel generaatori klemmipinge võrdseks nimipingega.

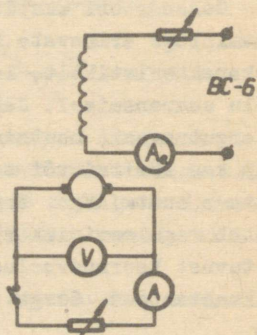
Mõõtmistulemuste tabel.

| | |
|-------|--|
| I_e | |
| I | |

Reguleerimiskarakteristikult saame määrata ka koormuse muutmisele vastava ergutusvoolu muutmise:

$$\Delta I_e = \frac{I_{en} - I_{eo}}{I_{en}}$$

Reguleerimiskarakteristikust lähtudes projekteeritakse generaatoritele automaatsed ergutusvoolu regulaatorid.



Joon. 8.8.

Joonestada katsetatava generaatori reguleerimiskarakteristik ja määrata sellelt ΔI_e .

Järeldused ja kokkuvõtte tööst.

Kirjandus. А.С. Касаткин. Основы электротехники.
М.-Л., изд. "Энергия", 1966, §§ 18-1 -
- 18-10.

9. HARUVOOLUMOOTOR

Töö eesmärk. Tutvuda mootori ehitusega, õppida reguleerima mootori pöörlemiskiirust, muutma rootori pöörlemissuunda. Koostada mootori karakteristikud.

Töövahendid: 1) õppevahendite tööstuse poolt toodetav alalisvoolumasin koos lintpiduriga,
2) seleenalaldi BC-6 mootori toitmiseks,
3) ampermeeter koormusvoolu mõõtmiseks,
4) ampermeeter ergutusvoolu mõõtmiseks,
5) reguleerimisreostaat ergutusvoolu reguleerimiseks,
6) tahhomeeter,
7) varbsirkel.

Töö käik. Tutvuda kirjanduse põhjal alalisvoolumootorite ehituse ja tööprintsibiiga. Leida antud mootorilt selle põhilised osad, pöörates tähelepanu induktori, ankru, harjade ja kollektori ehitusele. Otsida üles ankru- ja ergutusmähise otsad ja ühendada nad paralleelselt. Liilitada ahelasse alaldi BC-6 nii, et vooluallika plusspoolus oleks ühendatud ankru- ja ergutusmähise punase klemmiga. Remaldada kollektorilt tugevate vedrudega harjad.

Üles märkida katsetatava mootori põhilised tehnilised andmed. (Mootori ergutusvoolu võib suurendada kuni 2,5 A-ni.) Kontrollida laual oleva mõõte- ja abiaparatuuri sobivust mootori sildiantmetega. Märkida tulemused protokollis.

Elektrimootori pöörlemissuund on määratav vasaku käe

reegliga. Rakendage seda koostatud lülituse jaoks ning kontrollige mootori lülitamisega võrku. Joonestage skeem, kus oleksid märgitud mootori poolused (punase klemmiga poolusking on põhjapooluseks, musta klemmiga poolusking lõunapooluseks), ankrumähis, voolu suund selles ja mõjuva jõu suund.

Teostada alalisvoolumasina reverseerimine, muutes voolu suunda ankrumähises. Reverseerida mootor voolu suuna muutmise ergutusmähises. Joonestage vastavad skeemid.

Alalisvoolumasina magnetahela õigeks magneetamiseks tuleb ühendada ergutusmähisega 4-6-voldise pingega alalisvooluallikas, nii et vooluallika positiivne poolus oleks ühendatud ergutusmähise punase klemmiga. Magnetahela magneetamiseks on küllaldane ainult lühiajaline magneetimisvoolu läbi juhtimine ergutusmähisest.

Järgnevalt asume mootorit iseloomustavate karakteristikute määramisele.

1. Tühijooksukarakteristik.

Tühijooksukarakteristik iseloomustab mootorit pöörlemiskiiruse reguleerimise võimaluste seisukohalt. Ta näitab pöörlemiskiiruse sõltuvust ergutusvoolust, kui mootori klemmiping on konstantne ja koormusvool puudub. Seega tühijooksukarakteristik on funktsioon

$$n = f(I_e) \quad \left| \begin{array}{l} U = \text{const} \\ I = I_0. \end{array} \right.$$

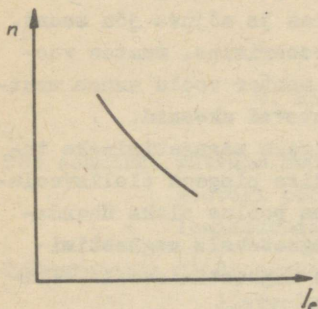
Haruvoolumootori tühijooksukarakteristik on kujutatud joonisel 9.1.

Rakendades ankruahela kohta Kirchhoffi II seadust võime kirjutada

$$U - E = I_a r_a.$$

Teiselt poolt on aga teada, et mootori vastuelektromotoorne jõud avaldub valemiga $E = kn\dot{\phi}$. Saadud valemitest leiame avaldise pöörlemiskiiruse arvutamiseks

$$n = \frac{U - I_a r_a}{k \phi}$$



Joon. 9.1.

hoolega jälgida, et reguleerimisreostaat ei lülitaks välja ergutusahelat, kuna siis väikese magnetvoo tõttu mootori pöörete arv kasvab lubatust suuremaks ja ankur võib puruneda.

Muutes reguleerimisreostaadiga ergutusvoolu suurust, registreerige tahhomeetriga ankru pöörlemiskiirus.

Mõõtmistulemuste tabel

| | |
|-------|--|
| I_e | |
| n | |

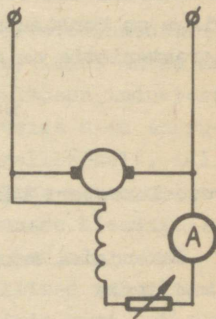
Saadud tulemuste põhjal konstrueerige katsetatava mootori tühi-
jooksukarakteristik.

Kui loobuda pingelangu arvestamisest ankrumähise tühi-
jooksul, saame pöörlemiskiiruse jaoks avaldise

$$n = \frac{U - 0}{k \phi} = \frac{U}{k \phi}$$

Saadud valemist nähtub, et tühi-
jooksukarakteristik on hüper-
bool.

Tühi-
jooksukarakteristiku
määramiseks koostage vooluring
vastavalt joonisele 9.2. Tuleb



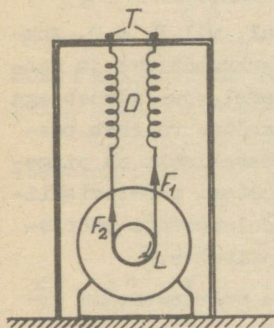
Joon. 9.2.

2. Töökarakteristikud.

Töökarakteristikud iseloomustavad mootorit püsiva töö-
režiimi korral. Siia kuuluvad pöörlemiskiiruse, pöördemomen-

di, ankravoolu ja kasuteguri sõltuvus kasulikust võimsusest, kui võrgupinge on jääv. Töökarakteristikute hulka kuulub ka pöörlemiskiiruse sõltuvus pöördemomendist. Viimane kannab mehaanilise karakteristiku nimetust ja on tähtis elektriajamite tööprotsesside selgitamisel.

Töökarakteristikute katseliseks määramiseks on tarvis reguleerida mootori koormust. Selleks kasutame lintpidurit (joon. 9.3). Lintpidur koosneb pidurilindist (L), mille otses on dünamomeetrid (D).



Joon. 9.3.

Linti on võimalik pingutada tiibnutritega (T). Pingutades ükskõik kumba dünamomeetrit, surume lindi vastu rihmaratast, kusjuures hõõrdejõud kisub linti kaasa ankrupöörlemise suunas. Hõõrdejõud lindi ja rihmaratta vahel tekitab mootori koormuse. Mootori poolt arendatud pöördemoment võrdub hõõrdejõu poolt tekitatud vastumomendiga ja määratakse valemiga

$$M = (F_1 - F_2) R = F \cdot R,$$

kus R - rihmaratta raadius,
 F_1 ja F_2 - dünamomeetrite näidud.

Mootori poolt arendatava kasuliku võimsuse määramisel lähtume võimsuse valemist $N = Fv$.

Tehes vastavad teisendused, saame

$$P_2 = F \cdot v \left(\frac{\text{kGm}}{\text{s}} \right) = F \cdot \frac{2\pi Rn}{60} \left(\frac{\text{kGm}}{\text{s}} \right) = 1,027 F Rn(W) = \\ = 1,03 Mn(W),$$

kus M - pöördemoment njuutonmeetrites,
 n - pöörlemiskiirus pöret minutis.

Haruvoolumootori pöörlemiskiiruse karakteristik määratakse tingimusel

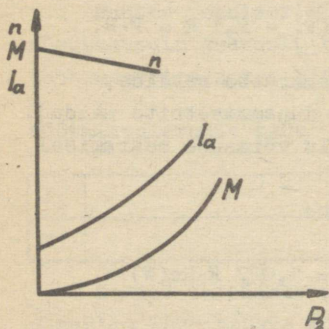
$$n = f(P_2) \quad \left| \begin{array}{l} U = U_n = \text{const} \\ I_e = \text{const.} \end{array} \right.$$

Sel juhul on konstantne ka mootori peamagnetvoog ja pöörlemiskiirus sõltub vaid pingelangust ankrus vastavalt valemile

$$n = \frac{U - I_a r_a}{k \phi}$$

ja ankrureaktsioonist (ankrureaktsiooni kohta vt. konspektist).

Pöörlemiskiirus on suurim tühijooksul, mil $P_2 = 0$. Ankruvoolu suurenemisel suureneb pingelang ankrumähises ja kutsub esile pöörlemiskiiruse vähenemise. Samal ajal ilmneb aga ka ankrureaktsiooni demagneetiv mõju, mistõttu väheneb peamagnetvoog ja suureneb pöörlemiskiirus. Tavaliselt on pingelangu mõju suurem ja seetõttu haruvoolumootori pöörlemiskiirus koormuse suurenemisel väheneb. Haruvoolumootori pöörlemiskiiruse karakteristik on kujutatud joonisel 9.4.



Joon. 9.4.

Kesuliku pöördemomendi karakteristik

$$M = f(P_2)$$

kujutaks endast sirgjoont, kui mootori pöörlemiskiirus oleks konstantne ($P_2 = kMn$). Kuna aga pöörlemiskiirus koormuse suurenemisel väheneb, siis momendi kõver suurematel koormustel pöörduv ülespoole (vt. joon. 9.4).

Ankruvoolu karakteristik

$I_a = f(P_2)$ algab ordinaatteljel tühijooksule vastavast punktist. Koormuse suurenemisel ankruvool tugevneb. Kuna magnetvoog koormuse suurenemisel väheneb, siis ankruvoolu joon ei

kujuta endast sirget, vaid kõverat, mis suurematel koormustel pöördub ülespoole. Haruvoolumootori mehaaniline karakteristik

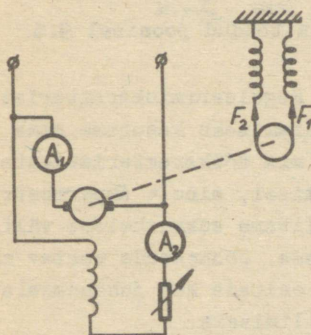
$$n = f(M) \quad \left| \begin{array}{l} U = U_n = \text{const} \\ I_e = \text{const.} \end{array} \right.$$

Mehaanilise karakteristiku kuju selgub pöördemomendi $M = cI_a\phi$ ja pöörlemiskiiruse $n = \frac{U - I_a r_a}{k\phi}$ valemitest.

$$n = \frac{U - r_a \frac{M}{c\phi}}{k\phi} = \frac{U}{k\phi} - \frac{r_a}{ck\phi^2} \cdot M = c_1 - c_2 M.$$

Seega mehaaniline karakteristik on abstsissitelje suhtes veidi kaldu olev sirge.

Mootori tööarakteristikute katseliseks määramiseks koostada vooluring vastavalt skeemile 9.5.



Joon. 9.5.

Kontrollida mõõteriistade sobivust alalisvoolumasina katsetamiseks, lähtudes mootori sildandmetest.

Mootori nimipinge ja jääva ergutusvoolu korral muuta lintpiduri abil koormust nullist nimiväärtuseni.

Mitmesugustel koormustel märkida üles ankruvool I_a , ergutusvool I_e , pöörlemiskiirus n , dünamomeetrite näidud ja rihmaratta raadius.

Mõõtmis- ja arvutustule-

mused kanda tabelisse.

| Jrk. nr. | I_a | I_e | n | F_1 | F_2 | R | M | F | P_2 |
|----------|-------|-------|-----|-------|-------|-----|-----|-----|-------|
| | | | | | | | | | |

Saadud andmete põhjal joonestada katsetatava mootori karakteristikud: n , I_a ja M funktsioonidena P_2 -st, kui $U = \text{const}$ ja $I_e = \text{const}$.

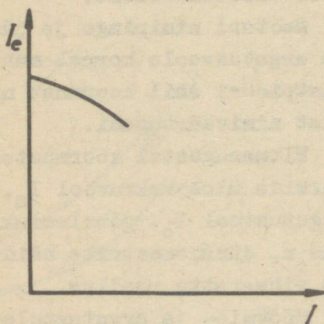
Eraldi joonestada välja mootori mehaaniline karakteristik.

3. Reguleerimiskarakteristik.

Haruvoolumootoreid kasutatakse sageli niisugustes seadmetes, kus vajatakse mitmesugustel koormustel peaaegu muutu-
matut kiirust. Pöörlemiskiiruse karakteristikult aga selgus, et muutumatu ergutusvoolu korral koormuse kasvades mootori pöörlemiskiirus väheneb. Reguleerimiskarakteristik iseloomustab mootorit jääva pöörlemiskiiruse säilitamise seisukohalt. See on ergutusvoolu sõltuvus koormusvoolust

$$I_e = f(I) \quad \left| \begin{array}{l} U = \text{const} \\ n = \text{const.} \end{array} \right.$$

Reguleerimiskarakteristik on toodud joonisel 9.6.



Joon. 9.6.

pöörlemiskiirus jääks konstantseks.

Reguleerimiskarakteristiku määramiseks kasutame sama skeemi mis töökarakteristikute määramisel, ainult ampermeetri A_1 lülitame ankruahelast välisahelasse. Joonestada vastav skeem ja esitada see juhendajale kontrollimiseks.

Muuta koormusvool mootori nimipingel nullist nimiväärtuseni, reguleerides seejuures ergutusvoolu nii, et mootori

Tulemuste tabel.

| | |
|----------------|--|
| I _e | |
| I | |

Saadud andmete põhjal joonestada katsetatava mootori reguleerimiskarakteristik.

Järeldused ja kokkuvõtte tööst.

Märkus. Kasutatav mootor on väikese võimsusega, mistõttu võib teda lülitada ilma käivitusreostaadita. Käivitusvool on ka antud mootori puhul tunduvalt suurem nimivoolust. Registreerida käivitusvool ja koormusvool ning arvutada nende suhe antud mootori jaoks.

Kirjandus. А. С. Касаткин. Основы электротехники.
М.-Л., изд. "Энергия", 1966, §§ 18-12,13.

10. PEAVOOLUMOOTOR

Töö eesmärk. Määrata katseliselt peavoolumootori tähtsamad karakteristikud.

- Töövahendid: 1) õppevahendite tööstuse poolt toodetav alalisvoolumasin koos lintpiduriga,
2) seleenalaldi BC-6 mootori toitmiseks,
3) ampermeeter koormusvoolu mõõtmiseks,
4) ampermeeter ergutusmähist šunteerivat takistust läbiva voolu mõõtmiseks,
5) reostaat ergutusmähise šunteerimiseks,
6) tahhomeeter,
7) varbsirkel.

Töö käik. Peavoolumootori oluliseks erinevuseks võrreldes haruvoolumootoriga on asjaolu, et ta ei tohi töötada tühijooksurežiimis. Tõepoolest, mootori pöörlemiskiiruse valemist $n = \frac{U - I_a r_a}{k \phi}$ selgub, et kui $I_a \rightarrow 0$, siis ka magnetvoog $\phi \rightarrow 0$, kuna $I_a = I_e$. Samast valemist nähtub, et kui $\phi \rightarrow 0$ ning $U = \text{const}$ ja $r_a = \text{const}$, siis $n \rightarrow \infty$, s.t. peavoolumootori ankur hakkab pöörlema liiga kiiresti ja mootor võib puruneda.

Mootori koormamiseks kasutame antud töös lintpidurit.

Jälgige, et pidur oleks korras ja mootor enne lülitamist küllaldaselt koormatud.

Leida katsetatava mootori põhilised osad. Ühendada järjestikku ankru- ja ergutusmähis ning lülitada külge mootori toide (alaldi BC-6). Bemaldage kollektorilt tugevate vedrudega harjad.

Kanda protokollis mootori sildisandmed ja kontrollida laual oleva mõõte- ja abiparatuuri sobivust mootori katsetamiseks.

Reverseerida masin

- a) voolu suuna muutmisega ankrumähises,
- b) voolu suuna muutmisega ergutusmähises.

Kanda protokollis vastavad skeemid.

Töökarakteristikute määramiseks on tarvis mõõta mootori kasulikku pöördemomenti ja võimsust võllil. Lintpiduri otstes olevate dünamomeetrite näitude põhjal saame arvutada pidurdava jõu

$$F = F_1 - F_2$$

ja mõõtes rihmaratta diameetri ka kasuliku pöördemomendi võllil

$$M = F \cdot R,$$

kus R - rihmaratta raadius.

Mootori poolt arendatava kasuliku võimsuse määramisel lähtume valemist

$$P = M\omega,$$

kus M - pöördemoment võllil,

ω - võlli pöörlemise nurkkiirus.

Valige selles valemis ühikud nii, et tulemuse saaksime SI ühikutes.

Peavoolumootori pöörlemiskiiruse karakteristik

$$n = f(P_2) \quad |U = U_n = \text{const}$$

erineb oluliselt haruvoolumootori vastavast karakteristikust.

Teatavasti

$$n = \frac{U - I_a (r_a + r_e)}{k\phi}.$$

Kui jätta arvestamata alalisvoolumasina magnetahela küllastumine, võib lugeda magnetvoo võrdeliseks ankruvooluga

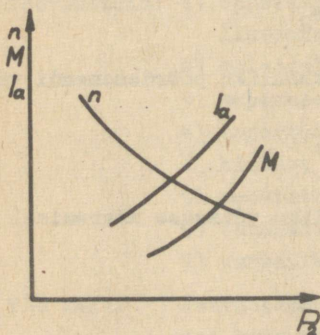
$$\phi = a I_a.$$

Tähistame $r_a + r_e = R$ - masina ekvivalenttakistus.

Saame

$$n = \frac{U - I_a R}{ka I_a} = \frac{U}{ka I_a} - \frac{R}{ka}.$$

Saadud valemist järeldub, et peavoolumootori pöörlemiskiirus sõltub ankruvoolust pöördvõrdeliselt. Seejuures on jäetud arvestamata ankrureaktsiooni demagneetiv mõju. (Milles see seisneb?) Pöörlemiskiiruse karakteristikku kuju on esitatud joonisel 10.1.



Joon. 10.1.

momendi karakteristik paraboolikujuline. Tugeva ankruvoolu puhul magnetahel küllastub, mistõttu pöördemoment suureneb edasi peaaegu lineaarselt.

Selline pöördemomendi muutumine on soodus näit. käivitamisel suure pöördemomendiga (elektriraudtee, kraana). Kasuliku momendi karakteristik on esitatud joonisel 10.1.

Peavoolumootori ankruvoolu karakteristik

$$I_a = f(P_2) \quad | \quad U = U_n = \text{const}$$

Kasuliku momendi karakteristiku

$$M = f(P_2) \quad | \quad U = U_n = \text{const}$$

kuju selgub, kui asetada pöördemomendi valemisse $M = c \phi I_a$ masina magnetahela magnetvoo avaldis $\phi = a I_a$ (eeldusel, et magnetahel on küllastamata).

$$\text{Saame } M = ca I_a^2.$$

Järelikult on küllastamata magnetahela korral kasuliku

on sarnane haruvoolumootori vastava karakteristikuga (vt. joon. 10.1 ja töö nr. 9).

Peavoolumootori mehaanilisest karakteristikust

$$n = f(M)$$

saame ettekujutuse, kui avaldame mootori pöörlemomendi valemist ankruvoolu ja asetame ta pöörlemiskiiruse valemisse

$$M = caI_a^2, \text{ siit } I_a = \sqrt{\frac{M}{ca}}.$$

$$n = \frac{U}{ka I_a} - \frac{R}{ka} = \frac{U}{ka \sqrt{\frac{M}{ca}}} - \frac{R}{ka}.$$

Viimasest järeldub, et ka mehaaniline karakteristik on küllastamata magnetahela korral hüperbool.

Mehaanilise karakteristiku põhjal võib järeldada, et peavoolumootori võimsus peaaegu ei muutu isegi järsul pidurdusmomendi suurenemisel (väheneb vaid rootori pöörlemiskiirus).

(Kuna karakteristik on hüperbool, siis $M \cdot n = \text{const.}$ Kuid $M \cdot \omega = P$, järelikult ka $P = \text{const.}$)

Ülalmainitud omaduse tõttu kasutatakse peavoolumootoreid laialdaselt transpordis, kus esinevad järsud koormuse kõikumised.

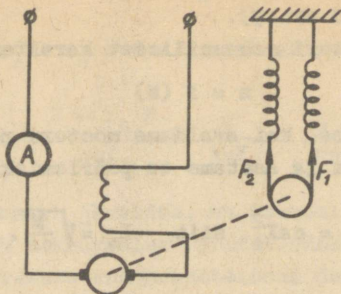
Võrrelge peavoolumootori mehaanilist karakteristikut haruvoolumootori vastava karakteristikuga. Kuidas käitub haruvoolumootor pidurdusmomendi järsul suurenemisel?

Kuidas muutub peavoolumootori mehaanilise karakteristikuga kuju magnetahela küllastumisel?

Töökarakteristikute katseliseks määramiseks koostage vooluring vastavalt joonisele 10.2.

Koormake mootorit selliselt, et $I_a = I_n$, ja mõõtke n , I_a , dünamomeetrite näidud ja rihmaratta raadius.

Vähendades ettevaatlikult koormust, märkige üles mõõteriistade näidud veel 5 - 6 korral. Jälgige, et rootori pöörlemiskiirus ei ületaks nimikiirust rohkem kui 30 - 40%.



Joon. 10.2.

Mõõtmis- ja arvutustulemuste tabel.

| Jrk. nr. | I_a | n | F_1 | F_2 | F | R | M | P_2 |
|----------|-------|-----|-------|-------|-----|-----|-----|-------|
| | | | | | | | | |

Saadud tulemuste põhjal joonestage katsetatava mootori karakteristikud n , I_a ja M funktsioonidena P_2 -st, kui $U = \text{const}$.

Joonestada eraldi välja ka peavoolumootori mehaaniline karakteristik.

Peavoolumootori pöörlemiskiirust on võimalik reguleerida:

- a) ankru ahelasse järjestikku ühendatud lisatakistuse muutmise teel,
- b) magnetvoo muutmise teel.

Esimene moodus on ebamajanduslik, kuna esineb võimsuskadu pidevalt võrku ühendatud reostaadis ja seetõttu kasutatakse seda vähe.

Magnetvoo muutmiseks šunteeritakse peavoolumootori er-

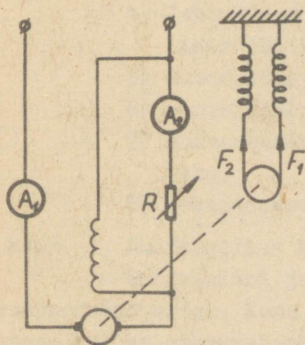
gutusmähis. Kirchhoffi I seaduse põhjal võime kirjutada $I_e = I_a - I_g$, kus I_g on šunti läbiv vool. Siit selgub, et jääva ankruvoolu korral on võimalik reguleerida ergutusvoolu ja seega ka sellega võrdeliselt muutuvat magnetvoogu. Mootori pöörlemiskiiruse valemist järeldub, et magnetvoo vähenemisel suureneb pöörlemiskiirus. Nii saab kiirust suurendada 1,5 korda ja isegi rohkem.

Sõltuvust, mis näitab, kuidas muutub peavoolumootori pöörlemiskiirus olenevalt ergutusvoolust jääva kasuliku momendi korral, nimetatakse reguleerimiskarakteristikuks. Reguleerimiskarakteristik on seega funktsioon

$$n = f(I_e) \quad \left| \quad M = \text{const.} \right.$$

Reguleerimiskarakteristiku katseliseks määramiseks koostada vooluring vastavalt joonisele 10.3.

Koormates mootorit umbes



Joon. 10.3.

$$M = 0,5 M_n = \text{const.}$$

lülitada täielikult sisse reostaat R ja käivitada mootor.

Ettevaatlikult vähendada šunteeriva reostaadi takistust, registreerida n , I_a , I_g . Jälgida, et pöörlemiskiirus ei ületaks nimikiirust rohkem kui 30 - 40%.

Mõõtmistulemuste tabel.

| Jrk. nr. | n | I_a | I_g | $I_e = I_a - I_g$ |
|----------|-----|-------|-------|-------------------|
| | | | | |

Mõõtmistulemuste põhjal joonestada peavoolumootori reguleerimiskarakteristik.

Järeldused ja kokkuvõte tööst.

Märkus. Kasutatav mootor on väikese võimsusega, seepärast võib teda lülitada käivitusreostaadita. Ergutusmähis on arvestatud selliselt, et teda saab kasutada ka haruvoolumootorina, seepärast ei vasta saadud karakteristikud täielikult spetsiaalselt peavoolumootoriks ehitatud mootori karakteristikutele.

Kirjandus. Л. С. Касаткин. Основы электротехники. М.-Л., изд. "Энергия", 1966, § 18-14.

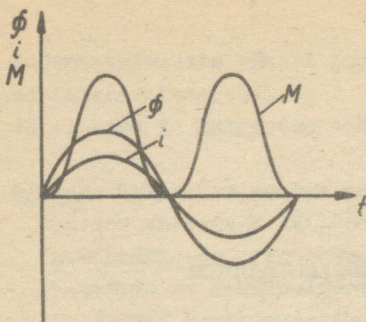
11. ÜHEFAASILINE KOMMUTAATORMOOTOR

Töö eesmärk. Tutvuda kommutaatormootori ehitusega. Määrata katseliselt universaalse kommutaatormootori peamised karakteristikud.

Töövahendid: 1) universaalne kommutaatormootor koos lintpiduri ja tiirude loendajaga,
2) vahelduvvoolu ampermeeter koormusvoolu mõõtmiseks,
3) voltmeeter,
4) laboratoorne autotrafo või potentsiomeetri-
lises lülituses kasutatav reostaat,
5) fasomeeter,
6) varbsirkel,
7) universaalne kommutaatormootor lahtivõtmiseks,
8) sekundomeeter.

Töö käik. Ühefaasiline kommutaatormootor sarnaneb oma ehitusviisi ja tööpõhimõtte poolest alalisvoolu peavoolumootoriga. Kuna samal ajal muutub voolu suund nii ergutus- kui ka ankrumähises, jääb pöördemomendi suund muutumatuks toitepinge polaarsuse muutumisel.

Vahelduvvooluga toitmisel indutseeritakse aga masina massiivsetes magnetahela osades (ike, poolused) tugevad pöörivoolud, mistõttu esinevad suured energiakaod. Nende vähendamiseks koostatakse vahelduvvooluringist toidetava ühefaasilise peavoolumootori ike ja poolused elektrotehnilise terase isoleeritud lehtedest. Joonisel 11.1 on toodud masi-



Joon. 11.1.

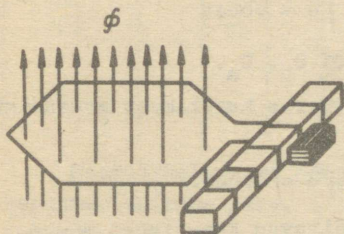
na magnetvoo, voolu ja pöördemomendi sõltuvus ajast. Nagu jooniselt selgub, on pöördemomendi märk kogu aeg ühesugune ($M = k_i \phi$), kuid pöördemoment on pulseeriv. Kuna pöördemomendi pulseerimise sagedus võrdub kahekordse voolusagedusega, mootori pöörlevate osade inerts on aga suhteliselt suur, siis reageerib mootor vaid pöördemomendi keskmisele väärtusele. Sellest järeldub, et ankrupöörlemiskiiruse võnkumist ei ole võimalik märgata.

Ühefaasilises peavoolumootoris toimub kommutatsiooniprotsess analoogiliselt alalisvoolumasinaga. Kuna sektsiooni kommuteerimisperiod on väike, võrreldes mootori toitevoolu perioodiga, siis võib lugeda voolutugevuse kogu kommuteerimise vältel konstantseks. Seepärast toimubki ühefaasilises peavoolumootoris kommuteerimine põhiliselt samuti nagu alalisvoolumasinas. Erinevus seisneb aga selles, et üksikute sektsioonide kommuteerimine toimub erinevate ankruvoolu hetkväärtuste korral.

Kommuteerimisel indutseeritakse lühistatud sektsioonis kommuteerimist aeglustavad elektromotoorsed jõud (vastastikuse ja endainduktsiooni em). Neid emj-e võib kompenseerida lisapooluste abil (vt. kommuteerimisprotsess alalisvoolumasinas).

Erinevalt alalisvoolumasinast indutseeritakse ühefaasilise peavoolumootori kommuteeritavates sektsioonides veel nn. transformatoorne emj, mis oluliselt raskendab kommutatsioonitingimusi. See emj indutseeritakse masina peamagnetvoo poolt viimase ajalise muutuse tõttu. Vahelduva magnetvoo suhtes on harjade poolt lühistatud kommuteeriv sektsioon nagu trafo sekundaarmähiseks (vt. joon. 11.2). Transforma-

toorne emj avaldub sama valemiga nagu trafo emj $e = W \frac{d\phi}{dt}$, kus W on mähise sektsiooni keerdude arv. Siit selgub, et e ei sõltu ankru pöörlemiskiirusest, seega avaldub tema mõju täiel määral ka mootori käivitamismomendil. Seepärast pole transformatoorse emj kompenseerimine põhimõtteliselt võimalik kõikides töörežiimides, seda saab teha ainult ühe kindla pöörlemiskiiruse juures ja siiski lisaabinõude kasutamisel.



Joon. 11.2.

Ühefaasilise peavoolu-mootori mehaanilised karakteristikud on sarnased alalisvoolupeavoolumootori karakteristikutega. Seepärast kasutatakse neid eeskätt vahelduvvooluga elektrifitseeritud raudteedel.

Et transformatoorse emj suurus on võrdeline sagedusega, kasutatakse kommutatsioonitingimuste parandamise eesmärgil madalamaid sagedusi.

Nii on näiteks Saksamaa, Šveitsi, Norra, Rootsi, Austria raudteed elektrifitseeritud peamiselt vahelduvvooluga sagedusel $16 \frac{2}{3}$ Hz. USA-s on mõningad raudteed elektrifitseeritud ka sagedusel 25 Hz.

On selge, et ühefaasiline peavoolumootor on võimeline töötama ka alalisvooluga. Seetõttu ehitatakse väikese võimsusega (kuni mõnisada vatti) peavoolumootorid sellistena, et neid võib lülitada nii vahelduv- kui ka alalisvooluvõrku. Seepärast nimetatakse neid mootoreid universaalseteks. NSV Liidus toodetakse seerilaviisiliselt ainult universaalseid kommutaatormootoreid võimsusega kuni 150 W. Neid kasutatakse laialdaselt majapidamis- ja muudes väiksemates seadmetes. Nendes mootorites kompensatsioonimähist ja lisapooluseid ei kasutata, nad käivitatakse otseselt võrku lülitamise teel.

Antud töö ülesandeks on määrata õmblusmasina elektrijamis kasutatava universaalse kommutaatormootori MW-2

põhilised karakteristikud ja tutvuda universaalse mootori ehitusega.

Mootori tehnilised andmed:

Võrgupinge - 220 V, sagedus 50 Hz, nimipöörlemiskiirus 6000 ± 15% pöört minutis, kasulik võimsus võllil - 40 W, töörežiim - korduvate vaheaegadega, suhtelise töötamisaja väärtusega 40%.

1. Määrata mehaaniliste karakteristikute parv

$$n = f(M) \quad | \quad U = \text{const}$$

pingetele $U = 50\% U_n, 60\% U_n, 80\% U_n, U_n$.

2. Määrata koormusvoolu sõltuvus kasulikust momendist võllil

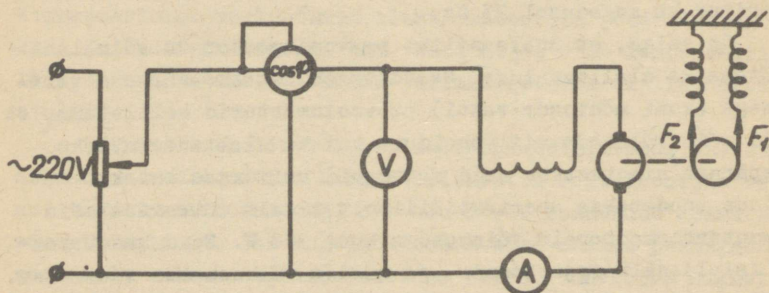
$$I = f(M) \quad | \quad U = \text{const.}$$

3. Määrata võimsusteguri sõltuvus kasulikust momendist

$$\cos \varphi = f(M) \quad | \quad U = \text{const}$$

pingete $U = 50\% U_n, 60\% U_n, 80\% U_n, U_n$ korral.

Karakteristikute määramiseks koostada vooluring vastavalt joonisele 11.3.



Joon. 11.3.

Mõõtmisi alustada väiksemate pingete korral, et mootorit mitte algul üle kuumendada! Lülitada mootor tööle ainult mõõtmiste ajaks.

Pidada kinni suhtelisest töötamisaja väärtusest.

Mõõtmis- ja arvutustulemuste tabel.

| Jrk. nr. | U | F_1 | F_2 | N | t | I | F | M | n | $\cos \varphi$ | R |
|-------------|---|-------|-------|---|---|---|---|---|---|----------------|---|
| | | | | | | | | | | | |

Saadud tulemuste põhjal joonestada katsetatava mootori karakteristikute parv.

Järeldused ja kokkuvõtte tööst.

Kirjandus. Л. С. Касаткин. Основы электротехники. М.-Л., изд. "Энергия", 1966, § 18-17.

12. ÜHEFAASILINE VAHELDUVVOOLUARVESTI

Töö eesmärk. Õppida tundma arvesti ehitust. Selgitada, kas arvesti vastab riiklikus standardis ettenähtud tingimustele.

Töövahendid: 1) ühefaasiline induktsioonarvesti,
2) vattmeeter,
3) vahelduvvoolu voltmeeter võrgupinge mõõtmiseks,
4) ampermeeter arvesti koormusvoolu mõõtmiseks,
5) milliampermeeter arvesti tundlikkuse määramiseks,
6) kõrgoomiline liikuva kontaktiga reostaat,
7) lampreostaat,
8) sekundomeeter.

Töö käik. Tutvuda kirjanduse põhjal induktsioonarvesti ehituse ja tööprintsiibiga. Tutvuda antud arvesti konstruktsiooniga ja teha eskiis.

Arvestid erinevad osutimõõteriistadest põhiliselt selle poolest, et liikuv osa, mille pöördumist ei piirata vedruga, saab pöörelda, kusjuures arvesti liikuva osa igale pöördele vastab mõõdetava suuruse teatud väärtus. Elektrienergia registreerimiseks on igal arvestil loendusmehhanism, mis sisuliselt kujutab endast liikuva osaga hammas-ülekande kaudu ühendatud pööretelugejat.

Liikuva osa pidurdusmoment tekib püsivmagneti magnetvoo ja sama voo poolt kettas indutseeritud pöörisvoolude

vastastikuse mõju tulemusena. Pidurdusmomendi suurus ole-
neb ketta pöörlemiskiirusest

$$M_p = k_1 \frac{N}{t},$$

kus N on ketta pöörete arv ajavahemiku t jooksul.

Ketta pöördemoment on võrdeline aktiivvõimsusega, s.t.

$$M = k_2 P.$$

Kui arvesti on lülitatud muutumatu võimsusega voolu-
ahelasse, pöörleb ketas kiirusega, mille puhul

$$M = M_p.$$

Siit järeldub, et $k_1 \frac{N}{t} = k_2 P$, ehk $\frac{k_1}{k_2} = \frac{Pt}{N} = \frac{W}{N} = C$. Suurus
 C on arvuliselt võrdne ketta ühe pöörde jooksul võrgust ku-
lutatud energiaga ja seda nimetatakse arvesti tegelikuks
konstandiks.

Järelikult võib kulutatud elektrienergiat mõõta arves-
ti ketta pöörete arvuga.

Arvesti sildil on toodud ülekandearv A , s.o. arvesti
ketta pöörete arv, mis vastab arvesti poolt registreerita-
vale energiaühikule.

Ülekandearvu pöördväärtust, s.o. arvesti ketta ühe
pöördega registreeritavat energiahulka nimetatakse arvesti
nimikonstandiks C_n .

Seega arvesti poolt registreeritud energia avaldub va-
lemiga $W' = C_n N$, tegelikult kulutatud energia aga: $W = CN$.

Arvesti poolt registreeritud ja tegelikult vooluahelas
kulutatud energiahulcade vahet nimetatakse arvesti absoluut-
seks veaks.

$$\Delta W = W' - W.$$

Arvesti suhteline viga

$$\gamma = \frac{W' - W}{W} = \frac{C_n N - CN}{CN} = \frac{C_n - C}{C}$$

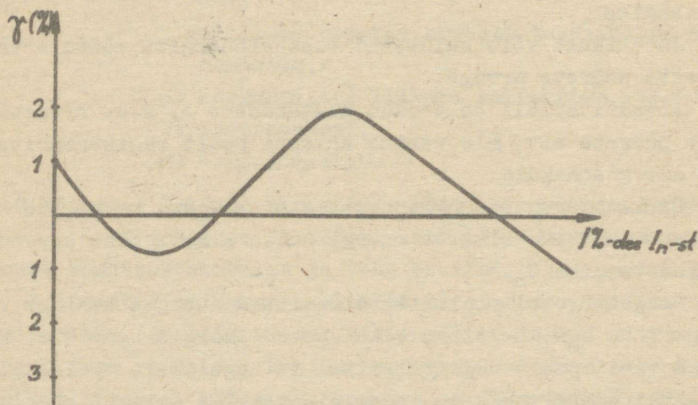
võrdub arvesti konstandi suhtelise veaga.

Tehniliste tingimuste kohaselt peab arvesti viga määrama koormuste 5, 10, 25, 50, 75, 100, 150% korral nimikoormusest.

Sõltuvust $\gamma = f(I\%)$ nimetatakse arvesti veakõveraks või koormuskarakteristikuks.

Joonisel 12.1 on esitatud induktsioonarvesti GO-1 tüüpiline veakõver. Väikeste koormuste (kuni 5%) korral töötab arvesti ebastabiilselt ja selle osa jaoks harilikult veakõverat välja ei joonestata.

Koormuse korral kuni 10% on arvesti viga positiivne, mis on tingitud hõõrdumise kompensatori mõjust (tekib liiga suur pöördemoment). Koormusel 10 - 20% I_n -st tekib paineviga muutub negatiivseks. See on tingitud hõõrdumise mõjust, mida püütaksegi kõrvaldada hõõrdumise kompensatoriga. Lisategurina avaldab veakõverale mõju ka liiga väike voolumagneti magnetvoog väikese koormusvoolu korral, mistõttu järsult väheneb pöördemoment.



Joon. 12.1.

Suurte ülekoormuste korral muutub suhteline viga negatiivseks, mis on tingitud sellest, et pidurdusmomendi tekitab mitte ainult püsivmagneti magnetvoog, vaid ka voolumagneti magnetvoog.

Vastavalt GOST-ile 6570-53 jagunevad aktiivenergia arvestid klassidesse 1; 2 ja 2,5.

Klassi 2,5 arvestile lubatavad vead on antud tabelis 12.1

Tabel 12.1.

| | Koormus %-des nimikoormusest | | | | | | |
|-----------------------|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | 10 | 50 | 100 | 150 | 20 | 50 | 100 |
| Lubatav viga | $\pm 3,5$ | $\pm 2,5$ | $\pm 2,5$ | $\pm 2,5$ | $\pm 4,0$ | $\pm 4,0$ | $\pm 4,0$ |
| Võimsusteguri väärtus | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 1,0 | 0,5 | 0,5 | 0,5 |

Arvesti peab vastama veel järgmistele nõuetele.

1. Kui voolu alla jääb ainult paralleelahel, s.t. koormus puudub, peab arvesti liikuv osa pinge väärtusel 80 - 110% nimipingest seiskuma, olles sooritanud mitte üle ühe pöörde.

2. Nimipingel, -sagedusel ja $\cos \varphi = 1$ puhul peab klassi 2,5 arvesti ketas pöörlema peatusteta, kui koormus on 1,5% nimikoormusest.

Viimast tingimust iseloomustab arvesti tundlikkus. Arvesti tundlikkust arvutatakse valemiga

$$\sigma = \frac{I_{\min}}{I_n} \cdot 100\%.$$

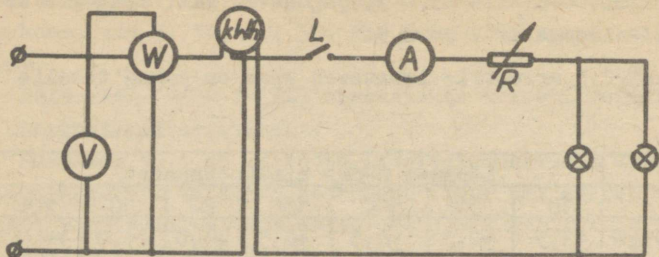
Käesolevas töös kontrollime antud arvesti vastavust tehnilistele tingimustele.

Arvesti kontrollimine seisneb:

- 1) tühijooksu määramises,
- 2) tundlikkuse määramises,
- 3) arvesti vea määramises.

Tühijooksu määramiseks lülitatakse mõõteriistad joonisel 12.2 toodud skeemi kohaselt, ühendatakse lahti lüliti L ja jälgitakse, kas arvesti neis tingimustes pöörleb. Järeldus.

Enne tundlikkuse määramisele asumist on vaja kontrollida olemasoleva aparatuuri sobivust antud skeemis kasutamiseks.



Joon. 12.2.

Selle katse puhul peavad arvesti järjestikahelas olema: a) ampermeeter, mille nimivool moodustab 2 - 5% arvesti nimivoolust, b) reostaat, mille abil saab reguleerida voolu ahelas selliselt, et ta moodustaks 0,1 - 5% arvesti nimivoolust.

Ettevaatust mõõteriistade lülitamisel ja voolu reguleerimisel!

Veakõvera koostamiseks mundetakse reostaadi takistust ja seatakse vattmeetri järgi koormus võrdseks 10% nimikoormusest. Sellel koormusel loendatakse ajavahemikus 100 - 120 sekundit arvesti ketta täispöörete arv, märgitakse üles vool, pinge ja võimsus. Arvutatakse arvesti tegelik konstant, nimikonstant ja viga. Sama korratakse koormustel 25, 50 ja 100% nimikoormusest.

Vaatlus- ja arvutustulemuste tabel.

| Jrk. nr. | U | I | P | t | N | C | C _n | γ ^a |
|----------|---|---|---|---|---|---|----------------|----------------|
| | | | | | | | | |

Joonestada veakõver võimsusteguri $\cos \varphi = 1$ korral.
Anda hinnang kontrollitava arvesti kohta.

Kirjandus. Н. Т. Вострокнутов. Электрические измерения. М., "Высшая школа", 1966, гл. X.

Л. С. Касаткин. Основы электротехники.
М.-Л., изд. "Энергия", 1966, § 16-9.

Г.И. Кару

РУКОВОДСТВО К ПРАКТИКУМУ ПО ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

На эстонском языке

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

Vastutav toimetaja T. Madise
Korrektor M. Raisma

=====

TRÜ rotaprint 1970. Paljundamisele antud 31. VIII 1970.
Trükipoognaid 5,75. Tingtrükipoognaid 5,35. Arvestus-
poognaid 3,9. Trüklarv 500. Paber 30 x 42. 1/4.
MB 06758. Tell. nr. 643.

Hind 20 kop.

Hind 20 kop.

A
31008

5125759

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00512575 4