

J. LEPA

***Elektri-
mootorite
hooldamine
ja kaitse***

2/72759

29204¹¹

J. LEPA

ELEKTRIMOOTORITE HOOLDAMINE JA KAITSE



KIRJASTUS «VALGUS» · TALLINN 1968

Kaane kujundanud E. Tali

Обслуживание и защита электродвигателей, Лепа Я. Ю., 1968

В книге излагаются в основном вопросы обслуживания и защиты трехфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором. Затрагиваются также проблемы связанные с выбором, размещением и нагреванием электродвигателей. Приводятся данные основных типов пусковых и защитных установок электродвигателей. Даются схемы для контроля защитных установок асинхронных двигателей и основы выбора их защиты.

Книга предназначена главным образом для электромонтеров и техников, работающих в сельском хозяйстве, но может быть рекомендована как пособие для монтеров и техников других отраслей народного хозяйства, а также представлять интерес для инженеров, которые хотят познакомиться с вопросами обслуживания и защиты электродвигателей.

Таблиц 30, иллюстраций 109, библиографий 58.

Raamatus käsitletakse peamiselt kolmefaasilise lühisrootoriga asünkroonmootori hooldamise ja kaitse küsimusi. Puudutatakse ka elektrimootori valiku, paigaldamise ja soojenemisega seoses olevaid probleeme. Tuuakse andmed põhiliste elektrimootorite käivitus- ja kaitseseadmete ehituse ja tüüpide kohta. Antakse skeemid kaitseadmete kontrollimiseks ja alused kaitse valikuks asünkroonmootoritele.

Raamat on ette nähtud peamiselt põllumajanduses töötavatele elektrimontööridele ja tehnikutele, kuid võib osutada kasulikuks ka montööridele ja tehnikutele teistes rahvamajandusharudes ning inimestele, kes soovivad lihtsas vormis tutvuda elektrimootorite hooldamise ja kaitsemise küsimustega.

Retsenseerinud A. Hansson



I. ELEKTRIMOOTORITE RIKKED JA NENDE PÕHJUSED

1. Üldised alused

Ajavahemikus 1960...1965 kasvas elektrienergia tarbimine Eesti NSV põllumajanduses enam kui 2,5 korda. Käesoleval ajal saavad meil elektrienergiat kõik sovhoosid ja kolhoosid. Elektrimootorite koguarv majandeis kasvas veelgi kiiremini ja ulatus 1966. aasta alguses umbes 54 tuhandeni. Ühes kolhoosis töötas nimetatud ajal keskmiselt 52 ja ühes sovhoosis keskmiselt 165 elektrimootorit.

NLKP XXIII kongressi direktiivides NSV Liidu rahvamajanduse arendamise viie aasta (1966...1970) plaani kohta nähakse ette elektrienergia tarbimise suurendamine põllumajanduses viie aasta jooksul ligikaudu kolmekordseks [1].* Suure tähtsusega elektrienergia tarbimise suurendamisel on ka 1965. a. toimunud elektrienergia müügihinna alandamine kolhoosidele ja sovhoosidele. Kõigi eelduste kohaselt peaks enam-vähem proportsionaalselt tarbimisele kasvama ka põhiliste elektrienergia tarbijate — elektrimootorite — arv.

Kõige laialdasemalt on elektrimootoritest nii tööstuses kui ka põllumajanduses levinud kolmeefaasilised lühisrootoriga asünkroonmootorid. Tänu oma lihtsusele ja töökindlusele ei vaja nad käivitamiseks kvalifitseeritud personali ega töötamisel nimiväärtusele lähedase toitepinge ja korras töomasina puhul pidevat järelevalvet. Võttes arvesse ka lühisrootoriga asünkroonmootorite võrdlemisi madalat hinda, on paljudel kujunenud ekslik seisukoht, nagu ei vajaks nimetatud mootorid üldse mingisugust hooldamist ega kaitset. Ka kehtivad eeskirjad nõuavad elektrimooto-

* Nurksulgudes on viited raamatu lõpus toodud kirjanduse loetelule.

ritele eraldi kaitseseadet liigkoormuse vastu ainult juhtudel, kui liigkoormamine on võimalik tehnoloogiliste iseärasuste tõttu, ja sedagi ainult suurematele mootoritele [2, 3].

Nagu näitab rikete põhjuste analüüs, on rööbiti liigkoormusega veel muidki põhjusi (faasi katkemine, ventilatsioonitingimuste halvenemine), millest tingitud mootori riknemist võib vältida korralike kaitseseadmetega. Pealegi on enamus põllumajanduses töötavatest elektrimootoritest võimsusega alla 10 kW. Seetõttu jääb kaugelt suurema osa mootorite kaitsmine peamiselt liinide lühise kaitseks ettenähtud sulavkaitsinete hooleks, mis aga mootorite kaitseks üldjuhul üldse ei sobi.

Käesolevas raamatus on püütud anda ülevaade elektrimootorite hooldamisega seoses olevatest küsimustest, enamlevinud kaitseseadmetest, nende kasutuspiirkonnast ja töökindlusest. Vajaduse piirides on käsitletud ka ülilitusaparatuuri.

2. Elektrimootorite rikete põhjused

Kirjanduse [4] andmeil käib Nõukogude Liidu tööstuses igal aastal kapitaalremondis umbes 20% kõikidest töötavatest elektrimootoritest. Mõnedes rahvamajandusharudes (ehitustel) ulatub kapitaalremonti vajavate mootorite protsent isegi üle 50. Meie vabariigi mõnedest suurematest tööstuskäitistest aastatel 1954...1958 kogutud andmed [5] näitasid, et neis moodustas avariide arv 12...14% töötavate mootorite üldarvust. EPA elektrifitseerimiskateeder kogus andmeid tööst väljalangenud mootorite ja väljalangemise põhjuste kohta aastatel 1960 ja 1961. 61 majandis, mille kohta saadi andmed, oli 1961. a. lõpuks 2639 elektrimootorit, nendest töötas 2257, s. t. umbes 85,5%. Töötavatest elektrimootoritest langes kahe aasta kestel mitmesugustel põhjustel tööst välja 518 mootorit. Eeldades, et mootorite arv neis majandis suurenes aasta jooksul umbes 20% võrra, saame keskmiseks töötavate mootorite arvuks neil aastatel 1900, millest väljalangenud 518 mootorit moodustab 27,4% ehk keskmiselt 13,7% aastas. Kateedri poolt hiljem (1964. a.) kogutud ja kirjandusest [6] saadud andmed näitavad, et tööst väljalangenud mootorite protsent seoses mootorite arvu kasvuga tõuseb, ulatudes 16...18 protsendini töötavate mootorite arvust. See on ka arusa-

dav, sest esiteks ei suuda majandites töötavate elektrikute arv ja kvalifikatsioon sammu pidada elektrimajanduse kasvuga [7] ja teiseks puudub rõhuval enamikul elektrimootritel veel nõuetele vastav kaitse. Viimane asjaolu on eriti tähtis automaatselt ja ilma inimese pideva järelevalveta töötavate mootorite korral.

Et mootorit õigesti kaitsta, peab eelkõige tundma põhjusi, mis tingivad nende tööst väljalangemise. Eelnimetatud tööstuskäitiste kohta on vastavad andmed toodud tabelis 1 [5].

Tabel 1

Aasta	Avariide arv 100 töötava mootori kohta	Avarii põhjus protsentides avariide arvust						
		Ühe faasi-juhtme katkestus	Liigkoormus	Mootori tugev mustumine	Veetava masina vigastus	Valmistaja tehase vead	Loomulik kulumine	Laagrite liigne kulumine
1954	12,3	60,5	10,9	7,6	6,7	—	14,3	—
1955	14,2	45,6	28,2	9,6	5,6	2,3	8,7	—
1956	13,3	40,9	29,0	9,0	7,3	3,9	9,9	—
1957	13,7	45,5	26,8	9,2	6,6	2,2	9,2	0,3
1958	12,6	46,7	26,6	7,7	6,2	2,1	10,6	0,1

Tööst väljalangenud mootorite rikete põhjusi kuuekümne ühes vabariigi kolhoosis ja sovhoosis näitab tabel 2.

Tabel 2

Avarii põhjus	Avarii põhjus protsentides avariide üldarvust
Ühe faasijuhtme katkestus	41,7
Liigkoormus	20,3
Niiske ja söövitav keskkond	18,1
Mehaaniline vigastus	7,9
Mootori mustumine	6,8
Muud põhjused	5,2

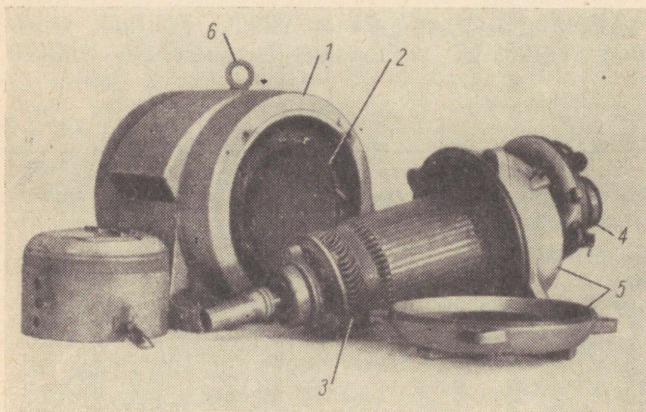
Nagu tabelist selgub, on peamiseks elektrimootorite avariide põhjuseks ühe faasijuhtme katkestus. Küllalt sageli põhjustab avariisid ka liigkoormus, mis iga kord pole tingitud tehnoloogilisest protsessist, vaid tihti toite-

pinge ülemäärasest langemisest. Peale eelmainitute on põllumajanduses üheks oluliseks rikete põhjuseks veel niiske ja söövitav keskkond, peamiselt tingituna keskkonnale mittevastava isolatsiooniga mootorite kasutamisest niisketes ja ammoniaagiauru sisaldavates ruumides (söödaköögid, laudad) ning välitingimustes, mõnikord ka mootorite üleujutustest pumbajaamades ja katlamajades. See tõttu on vaja teada, milliseid mootoreid antud keskkonnas kasutada ja keskkonna nõudeid arvesse võtta juba mootorite tellimisel.

II. ELEKTRIMOOTORI VALIK

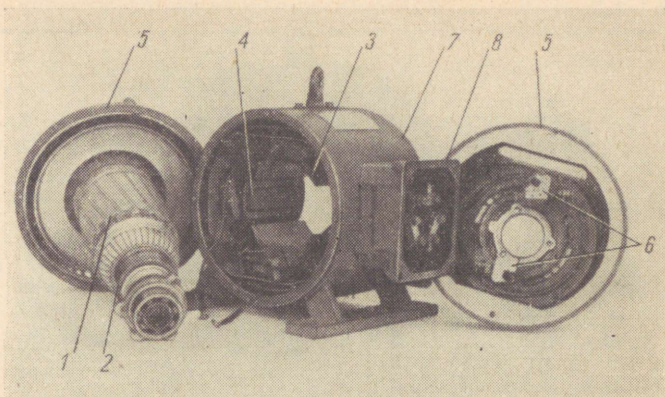
3. Elektrimootorite ehitus ja tüübid

Elektrimootoriks nimetatakse pöörlevat elektrimasinat, mis muundab elektrienergia mehaaniliseks tööks. Pöörleval elektrimasinal on kaks põhimist osa. Paigalseisvat, mähistega varustatud osa nimetatakse staatoriks, pöörlevat osa aga rootoriks. Peale eelnimetatute kuuluvad elektrimasina juurde veel mitmesugused abi- ja kinnitusosad, nagu laagrid, otsakilbid, kontaktrõngad, harjad, harjahoidjad, klemmkarp jne. (joon. 1). Alalisvoolumootori



Joon. 1. Kolmefaasiline faasirootoriga asünkroonmootor lahtivõetult:

1 — kere; 2 — staatori mähis; 3 — rootori mähis; 4 — kontaktrõngad; 5 — otsakilbid; 6 — tõsterõngas



Joon. 2. Alalisvoolumootor lahtivõetult:

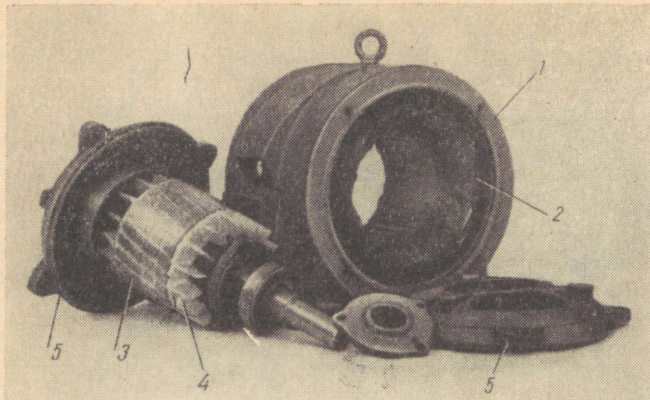
1 — ankur koos mähisega; 2 — kommutaator; 3 — poolus; 4 — abipoolus; 5 — otsakilbid; 6 — harjad koos harjahoidjatega; 7 — kere; 8 — klemmkarp

pöörlev osa — ankur — on varustatud kommutaatoriga, mille abil toimub voolu suuna muutmine nn. kommuteerivas mähiseseksioonis, kuna ka alalisvoolumootori mähistes voolab muutuva suunaga vool (joon. 2).

Nagu eespool mainitud, on kõige lihtsam ja kõige laialdasemalt kasutamist leidnud asünkroonmootor.

Sõltuvalt rootori mähise ehitusest eristatakse faasirootoriga ja lühisrootoriga asünkroonmootoreid. Faasirootoriga asünkroonmootoril on nii staatoril kui ka rootoril uuretesse sängitatud analoogilise ehitusega mähis. Staatori kolmefaasilisel mähisel tuuakse tavaliselt välja kõigi kolme mähiseharu kuus otsa, mis võimaldab mähiseharude ühendamist nii tähte kui ka kolmnurka. Rootori mähisel ühendatakse mähiseharude lõpud kokku, kuna algused ühendatakse võllile üksteisest isoleeritult kinnitatud kontaktrõngastele. Käivitamisel ühendatakse kontakt-rõngastel libisevate harjade kaudu käivitustakistid. Käivituse lõppedes rootori mähiseharud lühistatakse.

Käivitustakisti lülitamisel käivituse ajaks rootori vooluringi väheneb mootori käivitusvool. Ka on võimalik suurendada käivitustakisti õige valikuga mootori käivitusmomenti (kuid mitte üle vääratusmomenti). Vaatamata faasirootoriga mootori headele käivitusomadustele kasutatakse neid siiski vaid juhtudel, kui on esitatud erinõuded



Joon. 3. Kolmefaasiline lühisrootoriga asünkroonmootor lahtivõetult:

1 — kere; 2 — staatori mähis; 3 — rootor; 4 — rootori lühisrõngas ventilatsioonilabadega; 5 — otsakilbid

käivitusvoolu ja käivitusmomendi suhtes (näiteks tõsteseadmetel). Põhjuseks on seadme kallim hind, mõnevõrra keerukam ehitus ja käivitus. Põhiliseks elektrimootoriks põllumajanduses on ja jääb nähtavasti ka tulevikus lühisrootoriga asünkroonmootor. Viimase rootori mähis koosneb tavaliselt kogu uurde ristlõiget täitvatest jämedatest varrastest, mis rootori otstes on omavahel ühendatud rõngastega. Enamusel kaasajal massiliselt toodetavatest mootoritest valatakse rootori mähis alumiiniumist koos rõngaste ja viimaste külge kinnitatud ventilatsioonilabadega (joon. 3).

Kõige enam on nii tööstuses kui ka põllumajanduses levinud n. n. ühtlussarja elektrimootorid. Neid valmistatakse kaitstud ja kinnise ehitusega. Kummagi ehitusviisiga mootoritel võib olla veel mitmesuguseid eriomadusi, mis väljendub nende tüübitähises. Tabelis 3 on toodud vana ühtlussarja mootorite tüübitähised [8].

Praegu minnakse üle uue ühtlussarja A2 ja AO2 mootorite tootmisele. Viimastel on vana ühtlussarjaga võrreldes tihedam võimsuste astmik. AO2-tüüpi mootoreid valmistatakse võimsusega 0,4 kW (ainult 1000 pöördele minutis) 0,6; 0,8; 1,1; 1,5; 2,2; 3,0; 4,0; 5,5; 7,5; 10; 13; 17; 22; 30; 40; 55; 75 ja 100 kW. Vanas sarjas oli astendus 0,6; 1; 1,7; 2,8; 4,5; 7; 10; 14; 20; 28; 40; 55; 75 ja 100 kW.

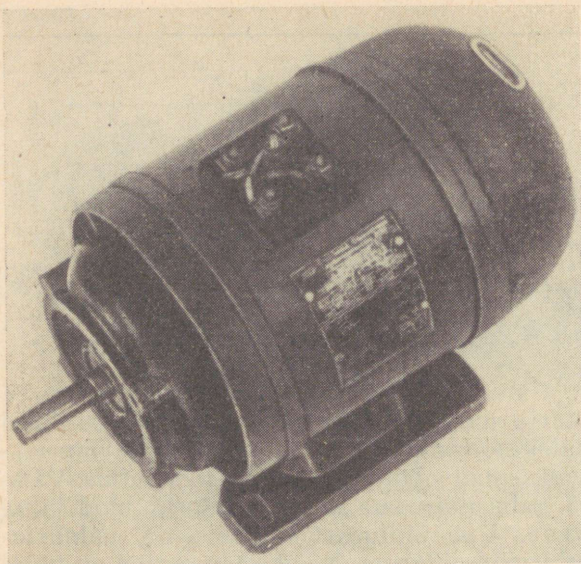
Ehitusviis	Kere materjal	Tüübi tähis						
		Lühisrootoriga mootorid						
		Üldkasutatavad	Suurendatud käivitusmomentiga	Suurendatud libistusega	Tekstiilööstusele	Mitme kiirusega	Töömehhanismasseehitatavad	Faasirootoriga mootorid
Kaitstud	Malm	A	АП	AC	—	A	AB	AK
„	Alumiinium	АЛ	—	—	—	—	—	—
Kinnine	Malm	AO	АОП	AOC	AOT	AO	—	—
„	Alumiinium	AOЛ	—	—	—	—	—	—

Uue ühtlussarja mootoritel on paremad energieetilised näitajad (kasutegur, $\cos \varphi$) [8], väiksem mass võimsusühiku kohta, väiksemad mõõtmed, suurem töökindlus. Väiksemad (1...5 gabariidi) uue sarja mootorid toodetakse ainult kinnistena. Uue ühtlussarja mootoreid valmistatakse ka sisseehitatud piduriga. Nendel mootoritel on tüübi tähiseks täiendavalt vene täht Э, näiteks AOЭ2-41-4. Alumiiniumist staatori mähisega mootoritel on tüübi tähise lõpus täht A (näiteks AO2-12-4A).

Tüübi tähise lõppu märgitakse samuti mitmesuguseid eritingimusi iseloomustavad tähed. Nii tähendab vene täht X keemiakindla isolatsiooniga mootorit (näiteks AO2-52-4X), tähed BMC — niiskus- ja külmakindla isolatsiooniga mootorit. Täht T tähendab, et mootor on ettenähtud töötamiseks troopikatingimustes, kuna täht III — väikese müraga töötavat mootorit.

Mootori kere materjaliks on põhiliselt malm, kuid 1...3 gabariidi mootoreid valmistatakse ka alumiiniumkerega; tüübitähisele lisatakse siis täht Л, näiteks AOЛ2. Uue ühtlussarja 1...7 gabariidi mootorite klemmkarp võib olla kahesuguse kujundusega. Klemmkarbil K-2 tuuakse kaablikingadega varustatud staatori mähise otsad lahtiselt välja, klemmkarp K-3 on varustatud klemmlauaga. Seejuures keemiakindla isolatsiooniga elektrimootorid varustatakse üldreeglina ainult klemmkarbiga K-2. Klemmkarbi konstruktsioon võimaldab toiteliini juurdeviimist nii gaasitoruga kui ka painduva voolikjuhtmega.

Väiksema võimsusega seadmete (külmutuskappide kompressorid, pesumasina) käitamiseks kasutatakse ühe-



Joon. 4. Kinnine ühefaasiline asünkroonmootor tüüp АОЛБ-22-2, 0,27 kW, 220 V, 2890 p/min.

faasilisi vahelduvvoolu elektrimootoreid (tüüp ДХМ, АОЛГ). Kinnine ühefaasiline asünkroonmootor АОЛБ-22-2 on näidatud joonisel 4.

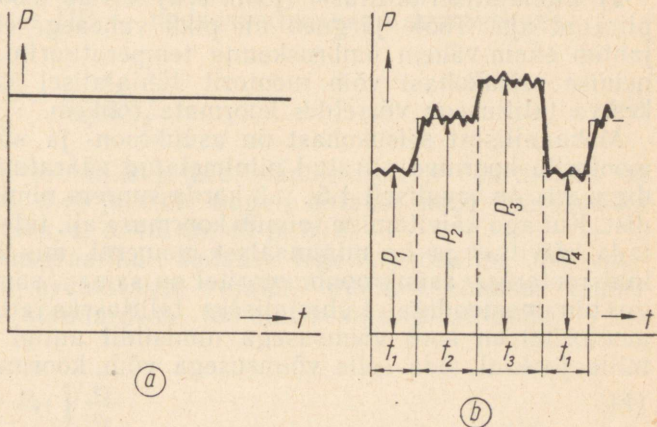
Suuremat pöörlemiskiirust vajavates seadmetes (näit. tolmuimejad) kasutatakse vahelduvvoolu kommutaatormootoreid. Need sarnanevad ehituselt alalisvoolumootoriga, ainult nende magnetsüsteem (poolused) on pöörisevoolukao vähendamiseks valmistatud elektrotehnilisest lehtterasest. Põllumajanduses on veel vähe levinud sünkroonmootorid. Nende suureks eeliseks on asjaolu, et üleergutatuna toodavad nad induktiivset ebaenergiat ja parandavad seega kogu majandi võimsustegurit. Ka tuleb nende plusside kontosse kanda püsiv, koormusest sõltumatu pöörlemiskiirus. Puuduseks on suhteliselt keerukas käivitamine. Sünkroonmootorid sobivad seadmeis, mis töötavad vaheaegadeta pikemat aega (kus käivitused toimuvad harva).

4. Elektrimootori valik sõituvalt töö iseloomust

ГОСТ 183-55 kohaselt eristatakse elektrimootorite kolmesugust talitlust (töörežiimi).

1) Kestval talitlusel on tööaeg nii pikk, et mootori kõik osad soojenevad selle jooksul lõpliku temperatuurini. Kestev talitus omakorda võib olla kahesuguse iseloomuga:

a) püsiva koormusega (joon. 5, a) ja b) muutliku koormusega (joon. 5, b).



Joon. 5. Elektrimootori koormusgraafik kestval talitlusel: a — püsival koormusel; b — muutlikul koormusel

Püsiva koormuse korral tuleb mootor valida lähtudes tingimustest, et mootori nimivõimsus peab olema vajalikust võimsusest suurem või sellega võrdne. Muutliku koormuse korral tuleb mootori valikul lähtuda koormusgraafikust. Viimane võib olla koostatud vajalike võimsuste (joon. 5, b) või voolude alusel. Tegelik koormusgraafik võib olla küllaltki keerukas. Mootori võimsuse määramiseks püütakse see asendada ristküliku- või trapsikujuliste osadega. Mootori ekvivalentne võimsus leitakse valemiga:

$$P_e = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + P_3^2 t_3 + \dots}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots}} \quad (1)$$

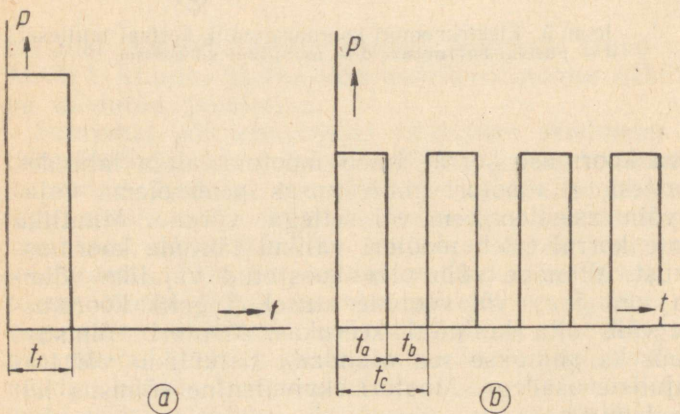
Valitava mootori võimsus ei või olla väiksem selliselt leitud ekvivalentsest võimsusest. Kui on teada koormusgraafik voolu järgi (selle saab üles kirjutada näiteks registreeriva ampermeetriga), on ekvivalentne vool

$$I_e = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + I_3^2 t_3 + \dots}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots}} \quad (2)$$

Valitava mootori nimivool ei tohi olla üldreeglina väiksem valemiga 2 arvatud ekvivalentsest voolust.

2) Lühiajalisel talitlusel (joon. 6, a) kestab mootori töö piiratud aja. Tööle järgneb nii pikk vaheaeg, et masin jahtub enam-vähem ümbruskonna temperatuurini. Soojenemise seisukohast võib mootorit lühiajalisel talitlusel kestva talitlusega võrreldes koormata rohkem.

Mehaanilisest seisukohast on asünkroon- ja sünkroonmootorite koormus piiratud niinimetatud väärtusmomentiga, mis on tavaliselt 1,5...3 korda suurem nimimomentist. Kui aga käivitamine toimub koormuse all, tuleb arvestada käivitus- ja ka minimaalset momenti, mis harilikel lühisrootoriga asünkroonmootoritel on samas suurusejär- gus nimimomentiga. Lühiajaliseks talitluseks ettenähtud mootoritel on koos võimsusega nimisildil antud ka aeg, mille jooksul teda selle võimsusega võib koormata.



Joon. 6. Elektrimootori idealiseeritud koormusgraafik:
 a — lühiajalisel talitlusel; b — vaheajalisel talitlusel (t_a — tööaeg,
 t_b — vaheaeg, t_c — tsükli aeg)

3) Vaheajalisel talitlusel vahelduvad lühiajalised tööperioodid vaheaegadega, kusjuures tsükli kestus ei ületa 600 sekundit (10 minutit) [3]. Vaheajalise talitluse idealiseeritud koormusdiagramm on kujutatud joonisel 6, *b*. Kasutades vaheajalisel talitlusel tavalist, kestvaks tööks ettenähtud mootorit, võib sellele lubada suuremat koormust kui kestval töötamisel. Valiku meetodika on antud erialases kirjanduses [11]. Nii nagu lühiajalisel koormusel, tuleb ka siin arvestada olenevalt olukorrast väärtus-, käivitus- ja minimaalset momenti. Vaheajalist talitlust iseloomustatakse suhtelise töötamiskestusega (venekeelses kirjanduses ПВ — продолжительность включения)

$$\varepsilon = \frac{t_a}{t_c} = \frac{t_a}{t_a + t_b} \quad (3)$$

Suhtelise töötamiskestuse standardseteks väärtusteks on 0,15; 0,25; 0,40 ja 0,60. Sageli antakse need suurused ka protsentides, s. o. 15, 25, 40 ja 60%.

Koormusgraafikult leitakse tegelik suhteline töötamiskestus ja arvutatakse vajalise mootori võimsus ümber lähimale standardsele töötamiskestusele alltoodud valemiga

$$P_{\varepsilon\%} = P_{\varepsilon 1} \sqrt{\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}} \quad (4)$$

Vaheajaliseks talitluseks on ette nähtud näiteks kraanamootorid.

5. Elektrimootori valik sõltuvalt keskkonnast

Elektriseadmete ehituse eeskirjade kohaselt jaotatakse ruumid keskkonna tingimuste järgi alljärgnevasse kategooriatesse:

- 1) kuivad — suhteline niiskus alla 60% (kui need ruumid ei kuulu käesoleva loetelu 5...9 punkti alla, loetakse nad normaalseteks;
- 2) niisked — suhteline niiskus 60...75%, aurud ning kondenseeruv niiskus ilmnevad harva ja vähesel määral;
- 3) rõsked — suhteline niiskus pidevalt üle 75%;

- 4) eriti rōsked — suhteline niiskus pidevalt 100% lähedal, ruumide seinad, laed ja pōrandad, samuti ruumis asuvad seadmed on mārjad;
- 5) kuumad — temperatuur pidevalt üle +30 °C;
- 6) tolmuused — tehnoloogilisest protsessist tingituna tekib tolmu sellisel mārjal, et see sadestub nii seadmete pealispinnale kui ka tungib nende sisemusse; eeskirjade kohaselt tuleb vahet teha elektrivoolu juhtiva ja mittejuhtiva tolmu vahel;
- 7) keemiliselt aktiivse keskkonnaga, mis mõjub hāvitatavalt kas isolatsioonile vōi masina voolujuhtivatele ja konstruktsiooniosadele;
- 8) tuleohtlikud;
- 9) plahvatusohtlikud.

Vastavalt esinevate tuleohtlike ainete iseloomule ja omadustele jagunevad tuleohtlikud seadmed veel omakorda klassidesse Π-I, Π-II, Π-IIa ja Π-III. Klassi Π-I kuuluvad nāiteks ruumid, kus kasutatakse ja hoitakse mineraalōlisid aurude sūttimistemperatuuriga alla 45 °C. Klassi Π-II kuuluvaks loetakse ruumid, milles tekib pōlevat tolmu mitteplahvatava kontsentratsiooniga (nāit. puidutōokojad). Klassi Π-IIa ruumides asuvad tahked ja kiulised pōlevad materjalid. Vālisseedmed (ka lahtised katusealused), kus hoitakse vōi kasutatakse tahkeid pōlevaid materjale (puitu, sūsi, turvast jne.) vōi pōlevaid vedelikke aurude sūttimistemperatuuriga üle 45 °C, kuuluvad klassi Π-III.

Plahvatusohtlikud ruumid jagunevad jārgmistesse klassidesse:

B-I — ruumid, kus normaalses tōoprotsessis eraldub gaase vōi aure, mis moodustavad plahvatavaid segusid.

B-Ia — ruumid, kus plahvatavad segud vōivad tekkida ainult avarii vōi rikke tulemusena.

Kui eelmises punktis mārgitud tunnustega ruumides on tegemist gaasidega, millistel plahvatuse tekkimiseks on vajalik vāga kōrge kontsentratsioon (üle 15%), vōi on plahvatavad ained terava lōhnaga (kergesti avastatavad), samuti juhtudel, kui plahvatava kontsentratsiooni tekkimine on vōimalik ainult vāikeses ruumi osas vōi on ohtlikke aineid ruumis vāga vāhesel hulgal, loetakse need kuuluvaks klassi B-I6.

Klassi B-1r kuuluvad vālisseedmed, kus on tegemist plahvatavate gaaside, aurude ja kergestisūttivate vedeli-

kega, ning plahvatusohtlikud kontsentratsioonid võivad tekkida avarii või rikke tulemusena.

Klassi B-II ruumides on tolmu või kiudainete plahvatava kontsentratsiooni tekkimine võimalik normaalses tööolukorras juba seadme lühiajalisel töötamisel, kuna klassi B-IIa kuuluvates ruumides võib ohtlik kontsentratsioon tekkida ainult avarii või rikke tulemusena.

Elektrimootori tüüp ja isolatsioon tuleb valida vastavalt keskkonnale.

Kaitstud ehitusviiside A ja A2 tüüpi mootoreid võib üldjuhul kasutada ainult kuivades, tolmuvabades, mitte-tuleohtlikes ruumides. Neid võib kasutada ka tuleohutuse klassi II-IIa kuuluvates ruumides.

Kinniste AO ja AO2 tüüpi mootorite kasutuspiirkond on märksa laialdasem. Peale tavalise valmistatakse neid veel niiskus- ja külmakindla, keemiakindla ning troopika-tingimustele ettenähtud isolatsiooniga.

Tavalise isolatsiooniga kinniseid mootoreid võib peale normaalsete ruumide kasutada veel kuivades tolmustes ja tuleohtlikes ruumides (kui tuletõrje eeskirjades ei esitata erinõudeid), heina- ja rehepeksuküünides, töökodades jne.

Niiskus- ja külmakindla isolatsiooniga AO2...BMC tüüpi elektrimootoreid võib kasutada niisketes, rõsketes ja eriti rõsketes ruumides keskkonna temperatuuridel $-40 \dots +40^{\circ}\text{C}$. Põllumajanduses, kus tunduv osa elektrimootoreid langeb keskkonnatingimuste ohvriks, oleksid seda tüüpi mootorid vajalikud näiteks vabas õhus töötavatele seadmetele, söödaköökidetes, pumbajaamades jne. Külma ja niiskuskindla isolatsiooniga mootoreid valmistatakse veel suurendatud libistusega — AOC2, suurendatud käivitus-momendiga AOΠ2, töömasinasse sisseehitatavaid AB2, tekstiilitööstustele AOT2, faasirooriga AOK2 ning muudetava pooluste arvuga (mitmekiiruselised). Laagrites tuleb kasutada mäaret CM.

Niiskus- ja külmakindlate elektrimootorite kõik detailid ja sõlmed on korrosioonikindla kattega ja neil on kaks maanduspolti.

Lautades, sõnnikuhoidlates jm. ruumides, kus on keemiliselt aktiivne keskkond, tuleks kasutada keemiakindla isolatsiooniga AO2...X-tüüpi mootoreid. Need on ette nähtud töötamiseks keskkonna temperatuuridel $-20 \dots +40^{\circ}\text{C}$. Nagu niiskus- ja külmakindlatel mootoritel, tuleb ka siin kasutada kõikidel osadel korrosioonikindlat

pinnakatet ning kaht maanduspolti. Laagrites, samuti otsakilpide lukkude tihendustes ja kruviaukudes tuleb korrosiooni vältimiseks kasutada määret ЦИАТИМ-205.

Plahvatusohtlikes ruumides tuleb kasutada eritüübilisi plahvatusohutuid mootoreid. Nende tüüpide osas on seni pilt võrdlemisi kirju. Näiteks valmistatakse neid K-, КО-, КОМ-, ТАГ- jne. tüüpi väga mitmesugustele võimsuste vahemikele ja mitmesuguste võimsuste astmikega. Nii valmistatakse КО-tüüpi plahvatusohutuid mootoreid võimsustele 4; 6; 8; 10; 11; 15; 20; 25; 32; 40; 47; 50; 72; 75; 90 ja 100 kW, suurendatud libistusega АСВ-tüüpi mootoreid võimsustele 0,18; 0,4; 0,6; 1,0; 1,7; 2,8; 3,5 ja 4,5 kW jne.

Nüüd on loodud ka plahvatusohutute mootrite ühtlussari ВАО (взрывозащищенный, асинхронный, обдуваемый). Neid valmistatakse võimsuste vahemikus 0,27... 100 kW, kusjuures võimsuste astmik vastab А- ja АО-tüüpi ühtlussarja võimsuste astmikule. ВАО-tüüpi mootorid võivad töötada keskkonna temperatuuridel $-40 \dots +40 \text{ }^\circ\text{C}$, töökeskkonna suhteline niiskus võib olla kuni 97%. Nagu põhisarja mootoreid, valmistatakse ka neid mitu modifikatsiooni, nagu faasirootoriga mootorid ВАОК, suurendatud libistusega mootorid ВАОС, suurendatud käivitusmomentiga mootorid ВАОП. Lisana eelnimetatutele valmistatakse veel vintsimootoreid ВАОЛ, konveierite mootoreid ВАОТ jne. Mootorid ВАО valmistatakse pingele 380/660 V, kuid eritellimisel võib valmistada ka pingetele 127, 220 ja 500 volti.


III. ELEKTRIMOOTORITE HOOLDAMINE

6. Elektrimootori sildiandmed ja nende tähendus

Mootori sildil on toodud kõik tema kasutamisel vajalikud põhiandmed. Joonisel 7 on kujutatud ühtlussarja kolmefaasilise lühisrootoriga asünkroonmootori silt, joonisel 8 — kolmefaasilise faasirootoriga asünkroonmootori silt.

Nõukogude Liidus toodetud mootori sildil on toodud järgmised andmed:

- 1) Valmistaja tehase nimetus või märk.
- 2) Lühisrootoriga ühtlussarja mootori sildil on tavaliselt veel mäрге: Двиг. 3-ф кор. замкн. (kolmefaasiline lühis-

СССР											
МЭП		ДВИГ. 3Ф. КОР. ЗАМКН.									
ТИП		А-41-4		№		1133945					
○ Δ/λ		220/380		В		6,7/3,5		а		○	
1,7		КВТ		1420		ОД/МИН		50		ГЦ	
КПД		81,5		cos φ		0,82		ВЕС		32,5 КГ	
ГОСТ		186-52		ГОД ВЫПУСКА		1956					

Joon. 7. Kolmefaasilise lühisrootoriga asünkroonmootori silt

СССР		ВОЛЬТА		ТАЛЛИН							
МЭП		ДВИГ. 3-ФАЗН. ТОКА									
ТИП		АК 52-6		№		598231					
○ Δ/λ		220/380		В		13/7,6		а		○	
2,8		КВТ		920		ОД/МИН		50		ГЦ	
КПД		75,5 %		cos φ		0,74					
РОТОР		89		В		22		А			
ГОСТ		186-52		ВЕС		103		КГ		1957 г.	

Joon. 8. Kolmefaasilise faasirootoriga asünkroonmootori silt

mootor), faasirootoriga masinal lihtsalt: Двиг. 3-фазн. тока (mootor kolmefaasilisele voolule).

3) Mootori tüübi tähis. See sisaldab peale II peatükis toodud ehitust ja sarja iseloomustavate tähtede ja numbrite veel kahte arvu. Esimene neist (tavaliselt 2- või 3-kohaline) iseloomustab mootori gabariiti, täpsemalt staatori plekipaki välisläbimõõtu ja pikkust. Nii on näiteks mootoril tüüp А31 või А031 staatori plekipaki välisläbi-

mõõt 145 mm, paki pikkus aga 64 mm, mootoril A32 või AO32 vastavalt välisläbimõõt 145 mm, pikkus — 100 mm. Mootoril tüüp A41 või AO41 on staatori plekipaki väline läbimõõt — 182 mm, pikkus — 75 mm, tüübil A42 (AO42) aga läbimõõt — 182 mm, pikkus — 115 mm jne. Teine arv pärast sidekriipsu tähendab mootori pooluste arvu.

4) Mootori mähiste ühendusviis koos neile lülitustele vastava liinipinge ja liinivooluga. Tavaliselt on lugejas toodud kolmnurga märk ja sellele vastavalt on samas reas esimesena antud ka liinipinge ja liinivool mähiste ühendamisel kolmnurka.

5) Võimsus mida masin võib anda võllil kestvalt või ettenähtud töötamisaja vältel nimipingel.

6) Pöörlemiskiirus nimikoormusel. Enamasti praegu töötavatel masinatel on antud pöörete arv minutis. On kasulik teada, et uues SI mõõtühikute süsteemis on pöörlemiskiiruse (pöörlemissageduse) mõõtühikuks radiaan sekundis (rad/s): $1 \text{ p/min} = \frac{\pi}{30} \text{ rad/s} \approx 0,105 \text{ rad/s}$. Seega mootoril, mille silt on näidatud joonisel 7, on pöörlemiskiirus $1420 \text{ p/min} = 149 \text{ rad/s}$.

7) Võrgupinge sagedus.

Edasi on mootori sildil antud veel:

8) Kasutegur (КПД) (antakse tavaliselt protsentides).

9) Võimsustegur ($\cos \varphi$).

10) Mootori kaal (õieti peaks olema mass) kilogrammides.

11) Riikliku standardi (ГОСТ) number, millele mootor vastab.

12) Väljalaskeaasta.

Faasirootoriga mootori sildil (joon. 8) on veel üks täiendav rida rootori andmetega. Nimelt on antud pinge seisva rootori kontaktrõngaste vahel, kui staatori mähised on lülitatud nimipingele ja vool lühistatud pöörleva rootori mähises masina nimikoormusel.

7. Elektrimootorite mähised, nende otste tähistamine ja määramine

Mähis on elektrimootori kõige olulisemaks ning ühtlasi ka kõige õrnemaks osaks. Valdava enamuse elektrimootorite rikestest moodustavad just mähiste rikked. Sellepärast tuleb mootorite kaitsmisel peamine tähelepanu pöörata mähiste kaitsmisele. Enne mootori töösse rakendamist on vajalik veenduda, et mähis oleks vigastamata, õigesti ühendatud ja ta isolatsioon korras. Mähise mehaanilise korrasoleku kontrollimiseks tuleb mootor lahti võtta ja mähis järele vaadata.

Et mähist õigesti ühendada, on vaja teada mähiseharude otste tähistusi ja juhul, kui tähised puuduvad, osata neid otsi määrata ja tähistada.

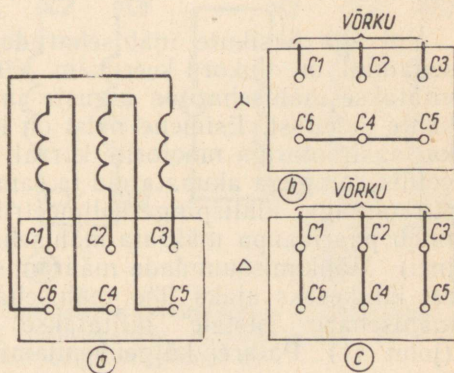
Kolmefaasilise asünkroonmootori staatori mähiseharude otsad tähistatakse järgmiselt: esimesel mähiseharul algus C1, lõpp — C4, teisel algus — C2 ja lõpp — C5, kolmandal vastavalt C3 ja C6 (joon. 9, a).

Staatori mähiseharusid võib ühendada kahel viisil — tähte või kolmnurka. Tähtühenduse korral ühendatakse kokku mähiseharude lõpud (C4, C5 ja C6), kuna algused (C1, C2 ja C3) lülitatakse võrku (joon. 9, b). Kolmnurkühenduse korral ühendatakse kokku C2 ja C4, C3 ja C5 ning C1 ja C6. Saadud kolm ühenduspunkti ühendatakse kolmefaasilise võrgu liinijuhtmetega (joon. 9, c).

Tuleb meeles pidada, et tavalise 220/380-voldisele pingele ettenähtud mootori võib kolmnurkühenduses lülitada

Joon. 9. Kolmefaasilise asünkroonmootori mähiseharude otste tähistamine ja ühendamine klemmlaual:

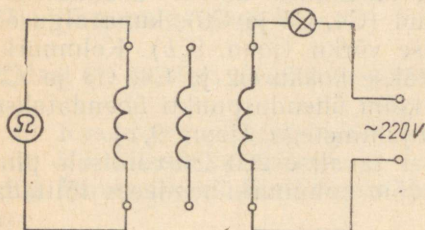
a — otste tähistamine ja paigutus klemmlaual; b — staatori mähiseharude ühendamine tähte; c — staatori mähiseharude ühendamine kolmnurka



ainult 220-voldise liinipingega võrku (faasipinge 127 V), mis esineb suhteliselt harva, näiteks Tallinna kesklinnas.

Faasirootoriga mootoril on rootori mähiseharude lõpud ühendatud juba rootori sees kokku. Algused tuuakse kontakt rõngaste kaudu välja ja tähistatakse P1, P2 ja P3.

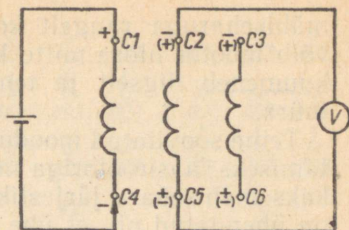
Mähiseharude otsad tuuakse välja kas klemmlauale, kus nad paiknevad nii, nagu on näidatud joonisel 9, või lihtsalt kolmekaupaga, kahest, tavaliselt kere küljel paiknevast avast. Tehasest väljalastaval mootoril on ühest avast välja toodud mähiste algused, teisest lõpud. Iga väljaviigu külge on kinnitatud tema tähis. Transpordi, eksploatatsiooni või remondi ajal aga võivad tähised kaduma minna. Kui mähiseharude algused ja lõpud on välja toodud erinevatest avadest, siis tähtühenduse korral tuleb lihtsalt ühest avast väljuvad otsad kokku ühendada, kuna teised lülitatakse võrku. Kolmnurkühenduse korral tuleb aga üksikute mähiseharude otsad paarikaupa kindlaks määrata. Selleks võib kasutada kas oommeetrit või hõõglampi (joon. 10).



Joon. 10. Kolmefaasilise asünkroonmootori üksikute mähiseharude otste määramine oommeetri või lambiga

Kui aga üksikute mähiseharude algused ja lõpud on segamini, on olukord keerukam. Kirjanduses [12, 13] soovitatakse mähiseharude alguste ja lõppude määramiseks kahte moodust. Esimene neist on kasutatav nii lühis- kui ka faasirootoriga mootorite korral; selleks on vaja mõnevoldise pingega akupatareid ja samuti mõnevoldise mõõtepiirkonnaga alalispinge-voltmeetrit (testrit). Kõigepealt tuleb paarikaupa määrata mähiseharude otsad (C1 — C4 jne.). Mähkimissuundade määramiseks ühendatakse patarei lühikeseks ajaks ühe mähiseharu otste külge. Teise mähiseharu otstele lülitatakse alalispinge-voltmeeter (joon. 11). Patarei külgeühendamise ja lahtiühendamise

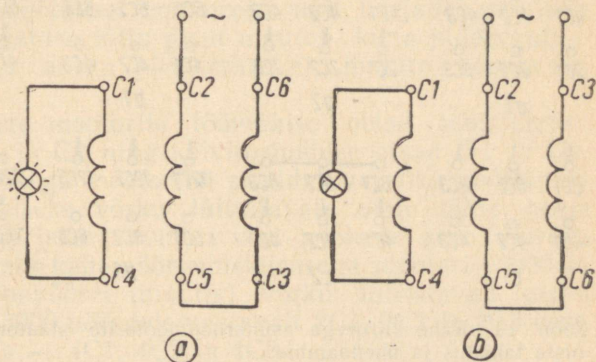
Joon. 11. Kolmefaasilise asünkroonmootori mähiseharude mähkimissuuna määramine patarei ja alalispinge-voltmeetriga



momendil indutseeritakse teistes mähiseharudes elektromotoorjõud (emj.), mida näitab voltmeeter.

Patarei külgeühendamisel on selle emj. suund vastupidine, lahtiühendamisel samasuunaline patarei pingega esimesel mähiseharul. S. t. kui patarei plussklemm on ühendatud esimese mähiseharu algusega, siis tekib ükskõik missuguse teise mähiseharuga ühendatud voltmeetril patarei külgeühendamisel vastassuunaline, lahtiühendamisel aga pärisuunaline väljalöök. On voltmeetri näit külgeühendamisel pärisuunaline, siis tähendab see, et voltmeetri plussklemm oli ühendatud teise mähiseharu lõpuga (patarei pluss oli ühendatud esimese mähiseharu algusega).

Sisuliselt võttes ei oma olulist tähtsust, kumb esimese mähiseharu ottest võtta alguseks, kumb lõpuks, kui aga esimese mähiseharu kohta on selles suhtes otsus tehtud, siis teiste mähiseharude mähkimissuund peab esimese



Joon. 12. Kolmefaasilise faasirooriga asünkroonmootori staatori mähiseharude mähkimissuuna määramine vahelduvvooluga hõõglambi abil

mähiseharuga rangelt kooskõlas olema, vastasel korral võib mootor üldse mitte käivituda; igal juhul aga mootor kuumeneb liigselt ja tema töötamisel tekib ebaloomulik müra.

Teine soovitatud moodustest (joon. 12) sobib hästi kasutamiseks faasirootoriga mootorite juures. Siin ühendatakse kaks mähiseharu järjestikku (jadamisi). Kui mähiseharud on ühendatud nii, et ühe mähiseharu lõpp on kokku ühendatud teise algusega (nii nagu normaalsel kolmnurkühendusel), siis hakkab kolmanda mähise klemmidega ühendatud hõõglamp helendama (joon. 12, a). On aga koos lõpud ja algused ühendatud vahelduvvooluvõrku (või vastupidi), siis kolmanda mähiseharu klemmidega ühendatud lamp ei helendu (joon. 12, b).

Sünkroonmootori staatori mähiseharude otste määramiseks sobib põhimõtteliselt sama meetodika kui asünkroonmootorilgi.

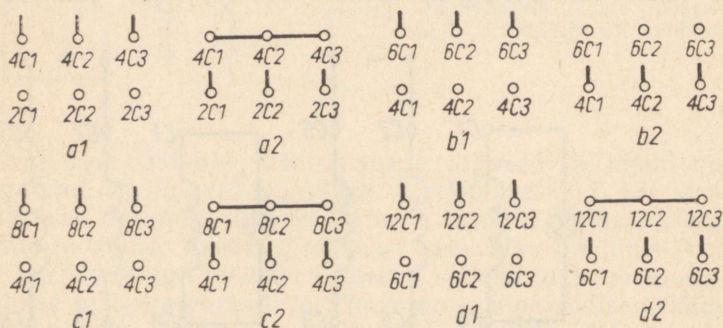
Alalisvoolumootori mähiste otste tähistus on järgmine. ankrumähisel \mathcal{R}_1 ja \mathcal{R}_2 ,

rööpergutismähisel (haruvoolu ergutusel) \mathcal{M}_1 ja \mathcal{M}_2 ,

jada- (peavoolu-) ergutusmähisel C_1 ja C_2 ,

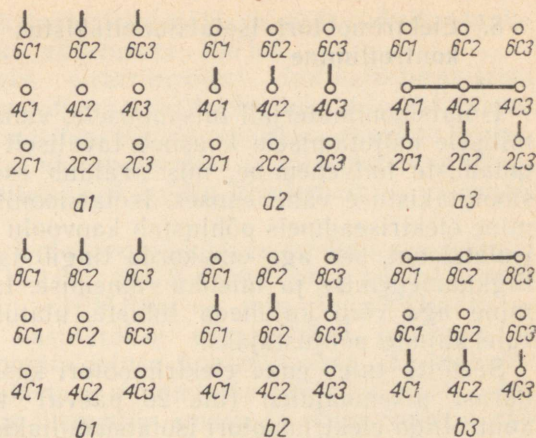
lisapooluste mähisel \mathcal{D}_1 ja \mathcal{D}_2 .

Sageli on lisapooluste mähise ots \mathcal{D}_1 ankru mähisega kokku ühendatud juba masina sees ja klemmlauale välja toodud ainult otsad \mathcal{R}_1 ja \mathcal{D}_2 .



Joon. 13. Kahe kiirusega asünkroonmootorite staatori mähiseharude otste tähistus ja ühendamine:

a — sünkroonkiirused 1500/3000 p/min (4/2 poolust), 1 — 1500 p/min, 2 — 3000 p/min; b — sünkroonkiirused 1000/1500 p/min (6/4 poolust), 1 — 1000 p/min, 2 — 1500 p/min; c — sünkroonkiirused 750/1500 p/min (8/4 poolust), 1 — 750 p/min, 2 — 1500 p/min; d — sünkroonkiirused 500/1000 p/min (12/6 poolust), 1 — 500 p/min, 2 — 1000 p/min.



Joon. 14. Kolme kiirusega asünkroonmootorite staatori mähiseharude otste tähistus ja ühendamine:

a — sünkroonkiirused 1000/1500/3000 p/min (6/4/2 poolust), 1 — 1000 p/min, 2 — 1500 p/min, 3 — 3000 p/min;
 b — sünkroonkiirused 750/1000/1500 p/min (8/6/4 poolust), 1 — 750 p/min, 2 — 1000 p/min, 3 — 1500 p/min

Kui klemmlaulal tähised puuduvad, saab mähiste otsi määrata oommeetri abil. Rööpergutusmähis on tunduvalt suurema takistusega kui ankruga ja jadaergutusmähis. Et teha vahet viimase kahe vahel (need on samas suurusejärgus), tuleb mõõtmise ajal ankrut käega ringi ajada. Ankruringi mõõtmisel oommeetri näit harjade muutuva üleminekutakistuse tõttu pisut muutub, kuna jadaergutusmähise ringis ankruga pööramine ei mõjuta oommeetri näitu.

Ühefaasiliste mootorite töömähise otsad tähistatakse tavaliselt C1 ja C2 ning käivitusmähise otsad Π1 ja Π2.

Mitme kiirusega mootoritel sisaldab vajaliku pöörlemiskiiruse saamiseks võrku lülitatavate otste tähis peale mähiseharu järjekorranumbri veel pooluste arvu näitava numbriga. Näiteks kahe pöörlemiskiirusega mootori (3000 ja 1500 sünkroonpöörat minutis) võrku lülitatavad otsad tähistatakse 3000 pöördele vastavalt 2C1, 2C2 ja 2C3 ning 1500 pöördele — 4C1, 4C2 ja 4C3.

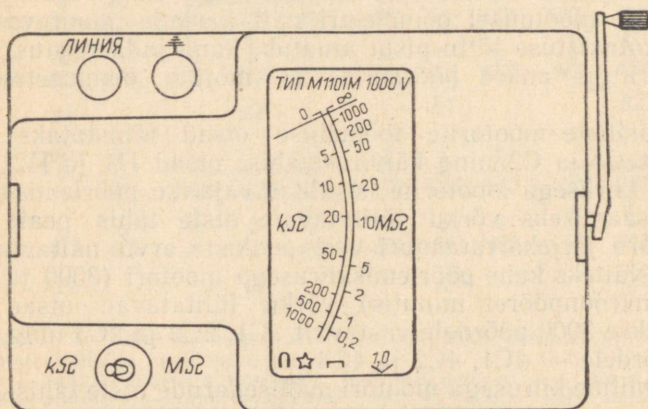
Mõne mitme kiirusega mootori mähiseharude otste tähistus ja ühendus on toodud joonisel 13 ja 14 [9].

8. Elektrimootori isolatsioonitakistus ja selle kontrollimine

Isolatsioonimaterjali niiskumisele, vananemisele ja keemilisele mõjutamisele kaasneb tavaliselt tema elektriliste omaduste halvenemine, mis avaldub esmajoones isolatsioonitakistuse vähenemises. Isolatsioonitakistuse vähenemine elektriseadmeis põhjustab kaovoolu suurenemise läbi isolatsiooni, see aga omakorda tingib isolatsiooni paikse liigkuumenemise ja täieliku riknemise. Isolatsiooni riknemine aga võib kujuneda lühiste, ulatuslike avariide ja tulekahjude põhjustajaks.

Seetõttu tuleb enne elektrimootori kasutuselevõtmist ja pärast pikemaajalisi (üle 20 päeva) töövaheaegu [2] kontrollida elektrimootori isolatsioonitakistust. Kuni 500 V tööpingega elektrimootori isolatsioonitakistust mõõdetakse megaoommeetriga (megeriga), mille pinge on 1000 V. Mõõtmisel tuleb mähiseharud üksteise küljest lahti ühendada ja mõõta isolatsioonitakistust kõigi mähiseharude vahel eraldi, samuti iga mähiseharu ja masina kere vahel.

Isolatsioonitakistuse suurusi ei ole eeskirjade [2, 3] kohaselt küll normitud, kuid praktikas on osutunud otstarbekohaseks võtta isolatsioonitakistuse minimaalselt lubatud piiriks 1000 oomi tööpinge iga voldi kohta, s. t.



Joon. 15. Megaoommeetri M-1101M pealtvaade

380 V liinipinge korral oleks mähiseharude vahelise takistuse minimaalseks väärtuseks 380 k Ω .

Jooksvalt tuleks elektrimootori isolatsioonitakistust mõõta ennetusremondi raames. Mootoritel, mille isolatsioon ei vasta keskkonnatingimustele (näiteks tavalise isolatsiooniga mootoritel välitingimustes ja niisketes ruumides), tuleks isolatsioonitakistust mõõta tihedamalt — vähemalt kord kuus.

Kõige enam on isolatsioonitakistuse mõõtmiseks levinud megaoommeeter M-1101. Sellel riistal on 3 vedruklemmi: «ЛИНИЯ» — liin, «ЗЕМЛЯ» — maa ja «ЭКРАН» — ekraan. Viimast kasutatakse ekraaneeritud juhtmete ja kaablite isolatsioonitakistuse kontrollimisel. Elektrimootori isolatsioonitakistuse mõõtmiseks lülitatakse mõõdetav isolatsioonitakistus klemmide «maa» ja «liin» vahele; näiteks kere klemmiga «maa», mähis klemmiga «liin».

Peale klemmide on riista kaanel veel ümberlüüti, mis määrab riista mõõdupiirkonna [14]. On see asendis «M Ω », saadakse lugem megaoomide skaalalt, on aga asendis «K Ω » — kilo-oomide skaalalt. Riista käepidet tuleb mõõtmisel pöörata kiirusega umbes 2 pööret sekundis. Riista uuema tüübi M-1101M kaanel on ainult kaks klemmi «liin» ja «maa». Selle riista pealtvaade on kujutatud joonisel 15.

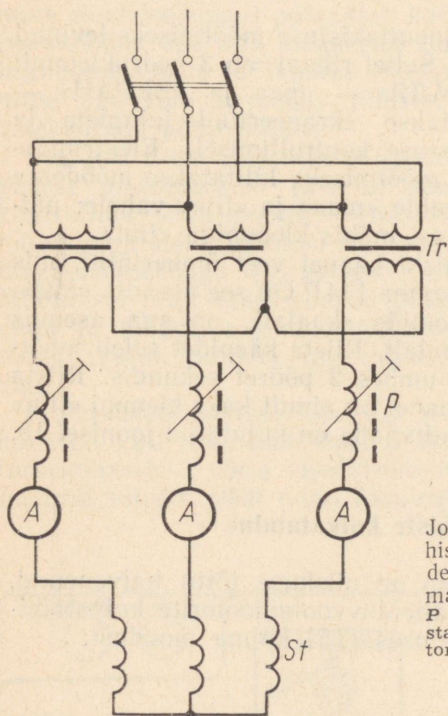
9. Elektrimootori mähiste kuivatamine

Kui mootori isolatsioon on niiskuse tõttu halvenenud, tuleb seda kuivatada. Vahelduvvoolumootorite kuivatamiseks soovitatakse kirjanduses [15] kolme moodust:

- a) mähiseskadudega,
- b) teraseskadudega,
- c) välise soojendamisega.

Moodused a ja c sobivad samuti alalisvoolumootorite kuivatamiseks. Mähiseskadudega on võimalik soojendada igasuguse võimsusega mootoreid, kui on olemas küllaldase võimsusega ja vajaliku pingega vooluallikas. Selle mooduse üheks eeliseks on asjaolu, et ei ole vaja mootorit lahti võtta. Kinniste mootorite juures ei kujune aga ilma lahtivõtmata kuivatamine eriti tõhusaks, mistõttu seda eelist ei saa täielikult ära kasutada. Kolmefaasiliste lühisrootoriga asünkroonmootorite kuivatamisel mähiseskadudega on soovitavaks voolutugevuseks 50...70% nimi-

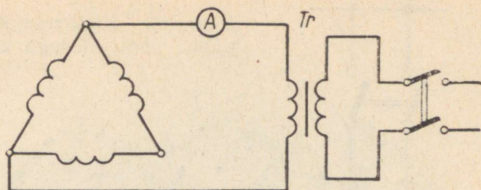
voolust [15]. Sellele vastab pidurdatud rootori korral pinge 8...17% nimipingest. Väiksemate (kuni 4,5 kW) mootorite puhul võib vooluallikana kasutada kolmefaasilisi (380/36 V) väikepingetransformaatoreid (näit. И-80А), suuremate mootorite puhul aga kolme (või kahte) keevitustransformaatorit (joon. 16). Voolutugevuse kontrolli-



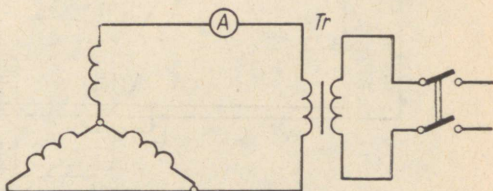
Joon. 16. Elektrimootori mähiste kuivatamine mähiseskadudega kolme keevitustransformaatori kasutamisel:
P — reguleeritav paispool, *St* — staatorimähis, *Tr* — transformator

miseks mähiste sellisel kuivatamisel tuleb iga mähiseharu vooluringi lülitada ampermeeter (kas otse või läbi vajaliku ülekandega voolutransformaatori). Kevitustransformaatori kasutamisel on võimalik kasutada ka joonisel 17 või 18 toodud lülitust. Siin aga kuumeneb üks mähis rohkem, mistõttu juhtmeid tuleb perioodiliselt ümber lülitada. Veel tuleb kuivatamiseks kōne alla kolme mähiseharu järjekorras lülitamine toitmise läbi reguleeritava takisti (reostaadi) 220-voldise pingega võrgust (joon. 19). See aga on kasutatav ainult väiksema võimsusega mootorite korral.

Joon. 17. Elektrimootori mähiste kuivatamine ühe keevitustransformaatoriga mähiste ühendamisel kolmnurka



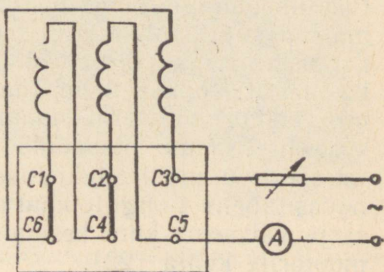
Joon. 18. Elektrimootori mähiste kuivatamine ühe keevitustransformaatoriga mähiste ühendamisel tähte



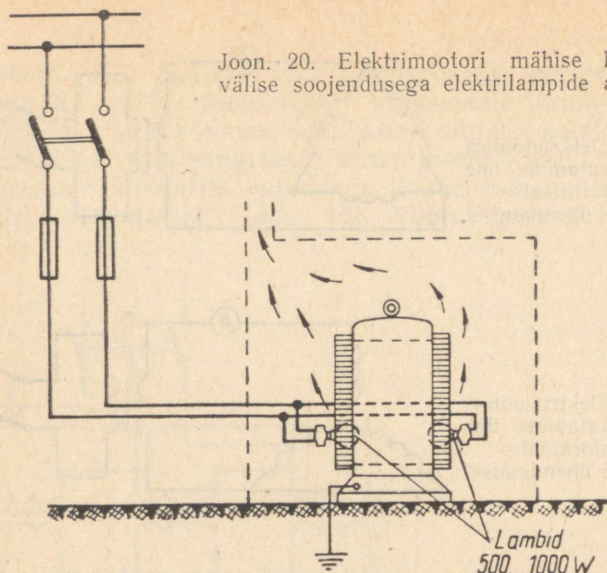
Kuivatamiseks teraseskadudega võetakse rootor välja ja mähitakse läbi staatori ava täiendav kuivatusmähis. Kuna seda viisi soovitatakse [15] kasutada peamiselt üle 100 kW võimsusega mootorite juures, ei ole seda siinjuures lähemalt käsitletud.

Igasuguste mootorite juures on kasutatav kuivatamine välise soojendusega. Kõige lihtsam moodus siinjuures on mootori ja staatori paigutamine kuiva sooja ruumi, kus niiskunud mähiste isolatsioonitakistus mõne aja möödudes tunduvalt paraneb. Selline moodus on aga aeganõudev ja kasutatav siis, kui on küllaldaselt aega. Tunduvalt kiirem on mähiste kuivatamine täiendava soojendusega (joon. 20). Siinjuures võib kasutada veel täiendavat ventileerimist väikese (näiteks laua-) ventilaatori abil.

Joon. 19. Elektrimootori mähise kuivatamine kolme mähiseharu järjestikku ühendamisel



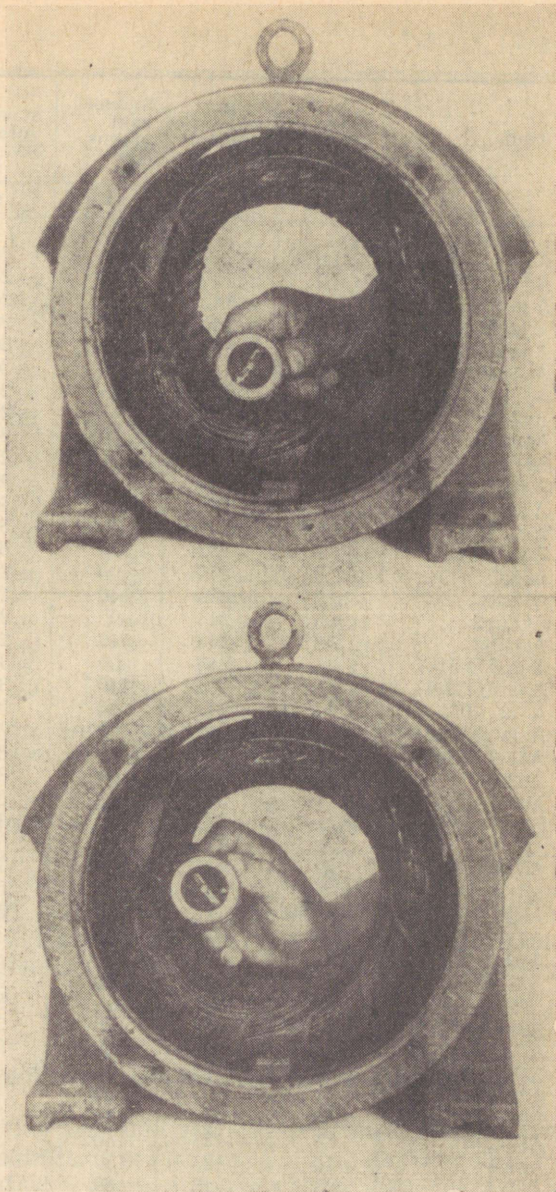
Joon. 20. Elektrimootori mähise kuivatamine
välise soojendusega elektrilampide abil



Kui majandis või ettevõttes on olemas kuivatuskappe või kambreid, võib ka neid edukalt kasutada elektrimootorite kuivatamiseks. Kinnised masinad tuleb siin muidugi lahti võtta. Kuivatuskapi temperatuur peab kuivatamisel olema 70...100 °C. Kui mootorite isolatsioon on tugevasti niiskunud, tuleb temperatuuri tõsta pikkamööda.

10. Kolmefaasilise lühisrootoriga asünkroonmootori põhiandmete määramine sildi puudumisel

Esineb juhtumeid, kus elektrimootori silt on mõnel põhjusel vigastatud või hoopis kadunud, nii et osutub võimatuks mõnede või kõigi põhiliste andmete otsene lugemine masina sildilt. Mootori juures huvitavad meid esmajärjekorras võimsus, pöörlemiskiirus ja tööpinge, kuna voolud, kasutegur, võimsustegur jne. on teisejärgulised suurused, mis mootori töösse rakendamist otseselt ei takista. Võimsuse üle saame otsustada staatori plekipaki mõõtmete, uurete arvu, mähise takistuse ja pooluste arvu järgi. Järgnevas tabelis 4 ongi toodud põhilised andmed vana ühtlusrarja väiksema kuni keskmise võimsusega A- ja AO-tüüpi mootorite kohta [22].



Joon. 21. Elektrimootori pooluste arvu määramine kompassi abil

Tabel 4

Tüüp	Võimsus kW	Staatori paki välis- läbimõõt mm	Staatori paki pikkus mm	Staatori uurete arv	Mähiseharu takistus pingele 220/380 V temperatuuril 20 °C
1	2	3	4	5	6
A ja AO31-2	1,0	145	64	24	7,18
A ja AO32-2	1,7	145	100	24	3,72
A ja AO31-4	0,6	145	64	24	11,95
A ja AO32-4	1,0	145	100	24	6,05
A ja AO31-6	0,4	145	64	36	19,9
A ja AO32-6	0,6	145	100	36	9,3
A41-2	2,8	182	75	24	2,0
A42-2	4,5	182	115	24	1,03
AO41-2	1,7	182	75	24	2,64
AO42-2	2,8	182	115	24	1,735
A ja AO41-4	1,7	182	75	36	3,65
A ja AO42-4	2,8	182	115	36	1,85
A ja AO41-6	1,0	182	75	36	6,96
A ja AO42-6	1,7	182	115	36	3,27
A51-2	7,0	245	90	24	0,586
A52-2	10,0	245	140	24	0,333
AO51-2	4,5	245	90	24	0,872
AO52-2	7,0	245	140	24	0,457
A ja AO-51-4	4,5	245	90	36	0,99
A ja AO52-4	7,0	245	140	36	0,53
A ja A051-6	2,8	245	90	36	1,695
A ja A052-6	4,5	245	140	36	0,914
A61-2	14	327	75	36	0,362
A62-2	20	327	100	36	0,212
A61-4	10	327	75	36	0,515
A62-4	14	327	100	36	0,323
A61-6	7	327	75	36	0,858
A62-6	10	327	100	36	0,485
A61-8	4,5	327	75	54	1,165
A62-8	7	327	100	54	0,715
A71-2	28	368	100	36	0,13
A72-2	40	368	135	36	0,0775
A71-4	20	368	100	36	0,213
A72-4	28	368	135	36	0,134
A71-6	14	368	100	54	0,377
A72-6	20	368	135	54	0,241
A71-8	10	368	100	48	0,481
A72-8	14	368	135	48	0,314
A81-2	55	423	130	36	0,0521
A82-2	75	423	180	36	0,0327
A81-4	40	423	130	48	0,0786
A82-4	55	423	180	48	0,047
A81-6	28	423	130	72	0,148
A82-6	40	423	180	72	0,0878
A81-8	20	423	130	72	0,22

Tabel 4 (järg)

1	2	3	4	5	6
A82-8	28	423	180	72	0,141
AO62-2	10	327	100	36	0,315
AO63-2	14	327	135	36	0,214
AO62-4	10	327	100	36	0,383
AO63-4	7	327	135	36	0,222
AO62-6	7	327	100	36	0,582
AO63-6	10	327	135	36	0,339
AO62-8	4,5	327	100	54	1,13
AO63-8	7	327	135	54	0,515
AO72-2	20	368	135	36	0,11
AO73-2	28	368	185	36	0,0745
AO72-4	20	368	135	36	0,155
AO73-4	28	368	185	36	0,0835
AO72-6	14	368	135	54	0,259
AO73-6	20	368	185	54	0,154
AO72-8	10	368	135	54	0,415
AO73-8	14	368	185	54	0,25
AO82-2	40	423	180	36	0,0458
AO83-2	55	423	250	36	0,0306
AO82-4	40	423	180	48	0,0601
AO83-4	55	423	250	48	0,0357
AO82-6	28	423	180	72	0,126
AO83-6	40	423	250	72	0,0692
AO82-8	20	423	180	72	0,182
AO83-8	28	423	250	72	0,115

Veel vanematel mootoritüüpidel on plekipaki mõõtmed sama võimsuse korral suuremad, uuematel A2- ja AO2-tüüpi mootoritel väiksemad.

Mootori pooluste arvu määramine võib toimuda kompassi abil. Selleks võetakse mootori rootor välja ja lülitatakse üks mähiseharu alalispingele ja tehakse serviti paikneva kompassiga ring staatori sisepinnal. Kompassi nõela poolpöorete arv ühe tiiru jooksul annab pooluste arvu (joon. 21). Mähiseharu läbiv vool ei tohi seejuures ületada tema nimivoolu.

11. Elektrimootorite perioodilised järelevaatused

Elektrimootorite perioodilistel järelevaatustel on tähtis koht nende töökindluse määramisel. Järelevaatuse käigus mootor puhastatakse, kontrollitakse välise vigastuste puudumist, vahetatakse vajaduse korral mõned väiksemad osad ja määratakse lahtivõtmise ning remondi vajadus.

Koos järelevaatusega tuleb mõõta ka mähise ja käivitusaparatuuri isolatsioonitakistust, kontrollida laagreid, mootori ja maandusjuhtme kinnitust, sidurdust, ülekanne (hammas- ja rihmarattad, rihmad jne.). Faasirooriga mootoritel tuleb kontrollida veel kontaktrõngaid, alalisvoolumootoritel kommutaatorit, mõlemal liigil veel harju ning harjahoidjaid. Vajaduse korral tuleb vahetada kulunud harjad, puhastada kontaktrõngad ning kommutaator. Veel tuleb järelevaatusel kontrollida mootori väljaviikude ja juhtimisaparatuuri elektrilisi ühendusi ning käivitusaparatuuri, eriti selle kontaktide olukorda. Vajaduse korral tuleb kontaktid puhastada või vahetada.

Elektrimootorite ja käivitusaparatuuri järelevaatuste sagedus sõltub mootori tüübist ja kasutuskohast. Kehtivad eeskirjad [2] ei määra otseselt mootorite järelevaatuste sagedust, kuid erialases kirjanduses [16] on soovitusel nende sageduse kohta antud ja need võiks kohalikke tingimusi arvestades aluseks võtta.

Eeltoodust ja mõningatest kogemustest lähtudes võiks soovitada elektrimootoritele tabelis 5 toodud perioodilise järelevaatuse tähtaegu.

Tabel 5

Kasutuskoht (kui mootorite ehitus ja isolatsioon vastavad keskkonna tingimustele)	Perioodiliste järelevaatuste sagedus
Mehaanikasehhid ja töökojad	iga kahe kuu järel
Niisked, keemiliselt aktiivse keskkonnaga ja tolmu- sed ruumid (laudad, sõnnikuhoiud)	1 kord kuus
Välitingimustes töötavad mootorid	1 kord kuus
Eriti tolmu- ja aktiivse keskkonnaga ruumid (tsemenditehased, rikastusvabrikud, keemiatehased)	1 kord nädalas

Juhul kui mootorite ehitus ja isolatsioon ei vasta keskkonna tingimustele, tuleb mootorit olenevalt olukorrast 2...4 korda tihedamini järele vaadata kui tabelis näidatud.

Elektrimootor ja töömasin ning käivitusseadmed tuleb erakorraliselt järele vaadata iga kord, kui töötamisega kaasneb ebaloosulik müra, mõne osa liigkuumenemine või isolatsiooni kõrbemise lõhn, samuti aga ka siis, kui ta kvaliteetse toitepinge korral ei käivitu või pöörleb normaalset aeglasemalt.

12. Elektrimootorite remont

Elektrimootorite remondi küsimusi on käsitletud reas raamatutes, brošüürides ja ajakirjade ning kogumike artiklites. Kahjuks lähtuvad erinevad autorid nende küsimuste valgustamisel erinevatest seisukohtadest. Ühed [17] teevad vahet jooksva, keskmise ja kapitaalremondi vahel, teised [18] jooksva ja kapitaalremondi vahel. Mõned autorid [19] aga kasutavad plaanilise ennetusremondi ja kapitaalremondi mõistet. Seejuures pole piirid üksikute remondiliikide vahel ning nende maht kaugeltki ühiselt määratud ja vahetegemisel üksikute remondiliikide vahel lähtutakse hoopis erinevatest seisukohtadest. Kapitaalremondiks nimetavad mõned [18] remonti, mille puhul mootor täielikult lahti võetakse, teised [17] lähtuvad tööaja kulust remondiks.

Käesoleva raamatu autori arvates ei ole väiksemate (kuni mõnekümne kW võimsusega) elektrimootorite korral erilist vajadust vahet teha kolme remondiliigi, s. o. jooksva, keskmise ja kapitaalremondi vahel. Piisab, kui eraldame kaks remondiliiki — ennetusremont ja kapitaalremont. Ennetusremondi ülesandeks on vältida elektrimootori täielikku või pikemaajalist rivist väljalangemist. Selle raames võiks toimuda mootori puhastamine, laagrite vahetamine, mähiste kuivatamine, mõningatel juhtudel ka laupühenduste uuesti lakkimine, kontaktrõngaste ja kommutaatori puhastamine ning vajaduse korral ületreimine, kere ja muude osade värvimine jne.

Kapitaalremondi nomenklatuuri kuuluksid põhiliselt staatori või ka rootori übermähkimine, kontaktrõngaste ja kommutaatori vahetus jms.

Väga ranget vahet nende kahe remondiliigi vahel siiski alati teha ei saa. Näiteks ebakvaliteetse lühisrootori või purunenud otsakilbi asendamist teiselt samade andmetega läbipõlenud mähistega võetud mootorilt ei saaks lugeda kapitaalremondiks. Küll aga võiks sellena kvalifitseerida mootorile uue võlli treimist ja paigaldamist purunenu asemele.

Käesolevas brošüüris ei ole ruumipuuduse tõttu võimalik üksikasjalisemalt käsitleda kapitaalremonti koos mähiste vahetuse ja arvutusega. Vaevalt aga selle järele vajadust tekibki, kuna kapitaalremont ja übermähkimine

toimub põhiliselt remondiettevõtetes, kus vajalikud andmed ja kogemused on olemas.

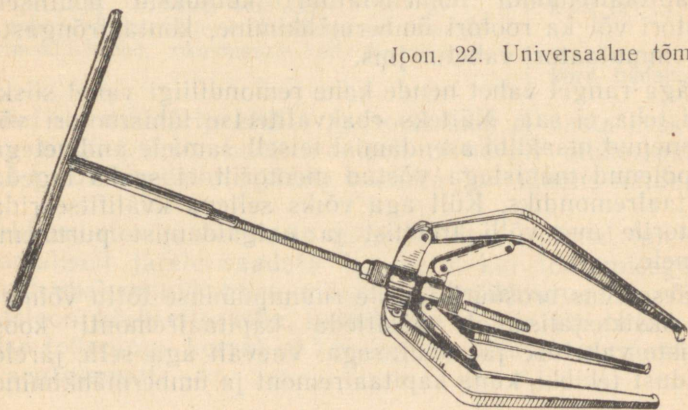
Mootori remont on tavaliselt seotud selle lahtivõtmisega. Viimast tuleb teha ettevaatlikult ja hoolikalt. Muidu võib juhtuda, et pärast lahtivõtmist vajab mootor ennetusremondi asemel juba kapitaalremonti. Ollakse harjunud, et auto või traktori mootori lahtivõtmiseks peab kõigepealt olema komplekt vajalikke tööriistu. Elektrimootorite lahtivõtmisel aga juhtub, et enamus tööoperatsioone püütakse sooritada haamri ja meisli abil.

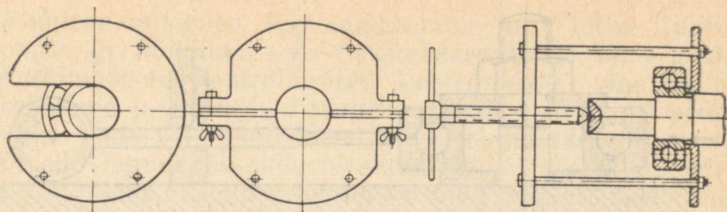
Mootori lahtivõtmine algab üldreeglina rihmaratta või sidurdusmuhvi mahavõtmisest. Selleks tuleb kasutada vastavat tõmmitsat (joon. 22).

Asudes otsakilpide mahavõtmisele, tuleb kõigepealt lahti kruvida ja ära võtta mõlemast otsast laagrikaaned, samuti ära võtta otsakilpide kinnituspoldid. Kui otsakilpide mahavõtmiseks vastav tõmmits puudub (tavaliselt seda pole), tuleb otsakilpi esialgu ettevaatlikult kangutada. Soovitav on seda teha korraga kahelt vastasküljelt või vähehaaval kord ühelt, kord teiselt poolt, et vältida kuullaagrite väänamist. Edasi võib lüüa ka haamriga, kasutades puidust või pehmest metallist (näiteks alumiiniumist) vaheklotsi. Seejuures tuleb jälle lüüa vaheldumisi nii ühelt kui ka teiselt poolt. Samuti on vaja võlli otsa toetada, et vältida rootori ja staatori plekipaki ning mähiste vigastamist rootori edasinihkumisel.

Laagrite mahavõtmine toimugu samuti tõmmitsa abil. Kui laager kõlbab edaspidiseks kasutamiseks, tuleb tõmbe-

Joon. 22. Universaalne tõmmits





Joon. 23. Tõmmitsi laagrite mahavõtmiseks

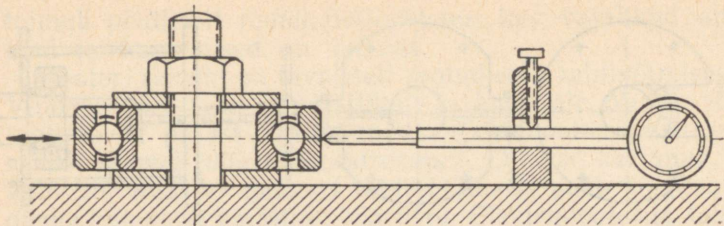
jõud rakendada sisemisele rõngale, milleks kasutada erikonstruktsiooniga tõmmitsat. Üks võimalikest sellise tõmmitsa konstruktsioonidest on näidatud joonisel 23. Kui kuullaager on edaspidiseks kasutamiseks kõlbmatu, võib tõmbejõu rakendada ka välimisele rõngale.

A- ja AO-tüüpi ühtlussarja mootoritel kasutatakse tabelis 6 näidatud laagreid [22].

Tabel 6

Elektrimootori tüüp	Laagri nr. sünkroonsel pöörlemiskiirusel p/min			
	3000	1500, 1000 ja 750	3000	1500, 1000 ja 750
	Võlli töötavas (rihmaratta-poolses) otsas		Võlli mittetöötavas (rihmaratta vastaspooles) otsas	
A, AO ja AOJI 31 ja 32	304	304	304	304
A, AO ja AOJI 41 ja 42	306	306	306	306
A ja AO 51 ja 52	308	308	308	308
A61 ja 62, AO 62 ja 63	308	310	308	310
A71 ja 72 AO72 ja 73	310	2312	310	312
A81 ja 82 AO82 ja 83	312	2314	312	314
A91 ja 92 AO92 ja 93	314	2317	314	317

Kuul- ja rull-laagrite kõlblikkuse kohta tehakse otsus tavaliselt temas esinevate lõtkude alusel. Laagrite töökõblikkuse määramise kohta leidub lähemaid andmeid nii



Joon. 24. Kuullaagri radiaallõtku määramine indikaatorkella abil

venekeelses [20] kui ka eestikeelses [21] tehnilises kirjanduses. Lõtkude kontrollimiseks soovitatakse [21] laagreid tootvates tehastes valmistatavaid eriseadmeid: radiaallõtkude kontrollimiseks P123 ja P124 ning aksiaallõtkude kontrollimiseks A122 ja A123. Need seadmed aga üldreeglina majandites ja ettevõtetes puuduvad. Seetõttu soovitatakse [20] näiteks radiaallõtkude mõõtmiseks joonisel 24 näidatud moodust. Laager kinnitatakse alusele nii, et sisemine rõngas surutakse seibide vahele, välimise rõnga vastu toetatakse samuti alusele kinnitatud indikaatori ots. Liigutades välist rõngast indikaatori telje suunas edasi-tagasi, annabki indikaatori näitude vahe laagri radiaallõtku. Nii tuleb mõõtmist korrata kolm korda, pöörates iga mõõtmise järel laagri välimist rõngast 120° . Laagri radiaallõtkuks loetakse kolme mõõtmise keskmine. Veel soovitatakse [16] radiaallõtku ligikaudseks määramiseks kasutada pilukaliibrit. Kaliibri leheke asetatakse kuulide vahetruki kohale. Kui võlli saab pöörata, nii et kaliibri leheke läheb kuuli ja rõnga vahelt läbi, on laagri lõtk suurem või võrdne kaliibri lehe paksusega. Veerelaagritel ei tohiks see olla suurem kui

0,1 mm	laagritele võlli läbimõõduga kuni	25 mm,
0,2 mm	„ „ „ „	100 mm,
0,3 mm	„ „ „ „	üle 100 mm.

Proovimist pilukaliibriga tuleb toimetada ettevaatlikult, et mitte vigastada veerepindu ja kaliibri lehte.

Laagri kõlblikkuse üle aga ei saa otsustada ainuüksi lõtkude järgi. Peale nende võib laager osutada töökõlbmatuks veel veerepindade ja separaatorite vigastuste, võõrkehade laagrisse sattumise, veerepindade ja veerekehade

väsimusmurenemise, liigkuumenemise jne. tõttu. Tähtis koht laagri kõlblikkuse kindlaksmääramisel on tema pöörlemisomaduste kontrollimisel. Veerepindade vigastused, korrosioon ja võõrkehad laagris raskendavad laagri pöörlemist. Seda võib põhjustada ka laagri määrdede kuivamine ja selle lagunemissaaduste sadestumine veerepindadele. Sellisel viisil töökõlbmatuks muutunud laagreid tuleb leotada petrooleumis või kuumas mineraalõlis. Korras ja puhas laager täidetakse konsistentse määrdedega umbes $\frac{2}{3}$ laagri vaba ruumi ulatuses. Soovitav on kasutada määrdede küllaldase temperatuurikindlusega. Näiteks on määrdede УТВ-1-13 lubatud töötemperatuur $+90^{\circ}\text{C}$, УТ-1 — $+110^{\circ}\text{C}$ ja УТ-2 — $+130^{\circ}\text{C}$.

Määrded ЦИАТИМ-201 ja ЦИАТИМ-202 võivad töötada temperatuuridel $-60 \dots +120^{\circ}\text{C}$, ЦИАТИМ-221 aga kuni 150°C .

Tavalisele sünteetilisele solidoolile УСс on aga lubatud temperatuur $+50^{\circ}\text{C}$.

Laagri paigaldamisel tuleb samuti silmas pidada, et jõud laagri pressimisel või löömisel võllile tuleb rakendada sisemisele rõngale ja ühtlaselt kogu rõnga ümbermõõdu ulatuses, kasutades näiteks vastava läbimõõduga toru. Laagri siserõngas monteeritakse võllile mitteliikuva istuga. Samuti peab tihedalt istuma laagri välisrõngas võlli mittetöötava (rihmaratta vastaspoolse) otsa kilbis. Võlli töötava otsa poolses kilbis peab laagri välimisel rõngal olema nihkumise võimalus (ujuvlaager). Eriti on see vajalik suurematel masinatel, kuna erinevate temperatuuride tõttu töötamisel esineb võlli ja kere osade erinev soojuspaisumine, mis tingib aksiaaljõudude tekkimise laagris ja laager, mis selliste jõudude vastuvõtuks pole määratud, võib rikneda.

Peale laagrite kõlblikkuse määramise tuleb majandi või ettevõtte tingimustes teha otsus veel mähiste, kontaktrõngaste ja kommutaatori korrasoleku kohta, veenduda kas rootori plekipakk istub tugevasti võllil jne.

Staatori mähise sagedamini esinevateks riketeks on keerude ja mähiseharude vahelise isolatsiooni halvenemine ning riknemine ja katkestused mähises. Katkestus mähises võib tekkida varem vigastatud mähisetraadi või väljaviikude murdumise või ka läbipõlemise (-sulamise) tõttu liiga tugeva voolu toimel. Selle rikke avastamine on lihtne oommeetri või proovilambi abil (vt. joon. 10). Kui murdu-

nud on väljaviigujuhe, osutub remont tavaliselt võrdlemisi lihtsaks — murdunud juhe joodetakse uuesti kokku või asendatakse uuega. Mõningatel juhtudel on õnnestunud jätkata ka laupühenduste peamiste kihtide juhtmeid. Jätkukohad tuleb muidugi täiendavalt isoleerida. Kui aga katkestus on uurdes või laupühenduse sisemuses, tuleb kogu mähiseharu või lihtsamal juhul osa sellest vahetada. See aga ei ole tavaliselt enam majandis või ettevõttes niisama lihtsalt teostatav ja mootor tuleb saata remondiette- võttesse.

Mähiseharude, samuti ka mähise ja aktiivraua vahelise isolatsiooni halvenemine on lihtsalt avastatav mähise isolatsiooni kontrollimisel megeriga, millest oli juttu juba eespool. Keerukam on olukord keerdudevahelise isolatsiooni halvenemise korral. Otsesele lühisele mähiseharu keerdude vahel kaasneb tavaliselt voolu mõningane suurenemine vastavas harus. Alati aga ei määra voolude erinevus üksikutes mähiseharudes lühise olemasolu. Mõneprotsendiline voolude erinevus võib esineda ka täiesti korras mootoril. Keerdudevahelisele lühisele aga kaasneb üsna kiiresti vastava mähise liigkuumenemine ja täielik riknemine.

Rikked võivad esineda ka rootori mähises. Faasirootori puhul on olukord analoogiline staatori mähisega, ainult selle vahega, et üksikuid mähiseharusid ei saa siin tavaliselt eraldada. Lühisrootori mähis valatakse viimasel ajal peaaegu eranditult alumiiniumisulamist. Nendes esineb aga mõnikord valudefekte. Neid võib olla ventilaatori labades, lühisrõngastes ja uurete sees. Vigased ventilaatori labad võivad mootori töötamisel murduda ja vigastada staatori mähist. Seetõttu tuleb rootor enne mootori võrku lülitamist kontrollida ja vigased ventilaatorilabad ära murda. Selle tõttu halveneb küll pisut mootori ventilatsioon, kuid välditakse staatori mähise vigastamise ohtu. Tuleb siiski kontrollida, kas puuduvate labade tõttu ei teki rootori mehaanilist vibreerimist.

Valutühimikud lühisrõngastes ja rootori varrastes suurendavad viimaste takistust, põhjustades mootori töötamisel rootori ja lõppkokkuvõttes kogu mootori liigkuumenemist. Halvemal juhul võib mõnes rootori vardas esineda koguni täielik katkestus. Sellise varda kindlaksmääramine on võimalik üsna lihtsate vahenditega. Paigutades sellise rootori vahelduvvooluga toidetava magneti pooluste vahele

ja lähendades rootori pinnale varraste kohal järgemööda õhukese ferromagnetilisest materjalist lehekese (näiteks trafoplekist riba), hakkab viimane terve varda kohal vibreerima, katkestusega varda kohal aga mitte. Ka võib vigase varda määramiseks kasutada vahelduvvooluga toidetavat elektromagnetit, mille poolusekingade vahe vastab ühele rootori uurde jaotusele. Asetades poolusekingad teine teisele poole rootori uuret, saame terve varda puhul magneti mähise vooluringi lülitatud ampermeetri suurema hälbe kui katkestusega varda korral. Vahelduvvooluga toidetava magnetsüsteemi südamik tuleb valmistada elektrotehnilisest lehtterasest (trafoplekist).

Mõrasid ja katkestusi lühiserõngastes on võimalik parandada kokkujootmise teel, kasutades selleks vastavat joodist (näit. 63% inglistina, 33% tsinki ja 4% alumiumi) ja räbustajat. Mõra või vigastuse kohta tuleb viilida kolmnurgakujuline alt kitsenev sälk ja jootekoht jootelambiga ette soojendada temperatuurini umbes 400° C. Joodetav pind paiknegu horisontaalselt. Kui aga katkestus esineb rootori vardas, tuleb rootor saata ümbervalamisele.

Faasirootoriga mootori kontaktrõngaste kulumine ei tohiks ületada 50% algpaksusest. Rõngaste paksus radiaalsuunas peab olema vähemalt 8...10 mm. Kontaktrõngaste ekstsentrilisus ei tohi olla üle 0,1 mm mootoritel pöörlemiskiirusega kuni 100 rad/s (955 p/min) ning mitte rohkem kui 0,05 mm mootoritel pöörlemiskiirusega üle 100 rad/s.

Alalisvoolumootorite kommutaatorid peavad samuti olema siledad ning nende ekstsentrilisus ei tohi olla üle 0,02 mm. Kommutaatori lamellidevaheline isolatsioon peab olema pisut madalam kommutaatori (vase) pinnast ja lamellide vahel ei tohi olla söetolmu ega muud mustust. Et neid nõudeid täita, tuleb lamellide vahesid aeg-ajalt töödelda nende laiusel vastava abinõuga, millise võib valmistada näiteks vajalikku mõõtu käiatud rauasae lehest. Harjade surve peab olema piirides 0,12...0,25 kgf/cm². Mootori võlli iäbipaine ei tohi ületada 0,1 mm iga meetri võlli pikkuse kohta (s. t. 1/2 meetri pikkusel võllil võib see olla ainult 0,05 mm).

Mootori kokkupanekut on soovitatav alustada alles siis, kui kõik tema üksikosad on remonditud või järelevaatusel leitud täiesti korras olevat.

Otsakilpide kohalepaigutamisel tuleb need üldreeglina

püüda asetada samasse asendisse, kui need olid enne lahtivõtmist. Selleks tuleb otsakilbi servale ja mootori kere äärele teha vastavad märgid. Mootori remonti käsitlevas kirjanduses soovitatakse remondi raames mõõta ka mootori õhupilu neljast küljest. Kes on aga pisutki kursis A- ja AO-tüüpi asünkroonmootorite ehitusega, see teab, et kokkupandud mootoril on õhupilu mõõtmine praktiliselt võimatu. Lahtivõetult ei ole aga sellel mõõtmisel mõtet. Kui see mõõtmine aga tingimata vajalikuks osutub, võib otsakilpi õhupilu kohale puurida neli auku, mis keermestatakse ja hiljem suletakse keermega varustatud punnidega.

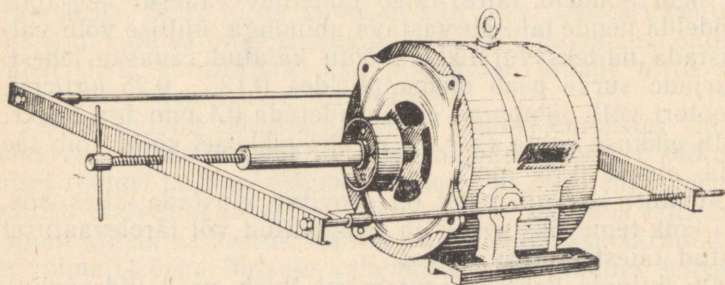
Õhupilu ebaühtlus ei tohiks ületada 10%. Selle arvutamine toimub järgmiselt: olgu näiteks neljast küljest mõõdetud õhupilu vastavalt 0,70; 0,60; 0,65 ja 0,65 mm. Keskmine õhupilu on

$$\frac{0,70 + 0,60 + 0,65 + 0,65}{4} = 0,65 \text{ mm}$$

ning suurim ebaühtlus protsentides

$$\frac{0,70 - 0,65}{0,65} 100 = 7,7\%.$$

Viimasena paigaldatakse rihmaratas või sidurdusmuhv. Ka siin on soovitatav kasutada vastavat rakist (joon. 25). Kui see aga puudub, tuleb rihmaratta otsalöömiseks kasutada pehmest materjalist (vask, plii) haamrit või vaheklotsi. Võlli teist otsa on soovitatav löömisel toetada.



Joon. 25. Rihmaratta otsapressimine mootori võllile

Korralikult kokkupandud mootor peab käega pöörates vabalt pöörlema, lühisrootoriga mootor kergemini, faasirootoriga ning alalisvoolumootor harjade hõõrde tõttu pisut raskemini. Pöörlemistakistus kogu pöörde ulatuses peab olema ühtlane.

Järgnevalt lülitatakse mootor nimipingele tühijooksul. Mootor peab pöörlema normaalse kiirusega, ilma erilise mürata ning ei tohi märgatavalt soojeneda.

13. Elektrimootorite paigaldamine

Töökindluse ja ohutuse tagamisel on olulise tähtsusega veel mootori paigaldamine. Rea nõudeid esitavad elektrimootoritele paigaldamise seisukohast Elektriseadmete ehituse eeskirjad [3].

Üldreeglina tuleb elektrimootorid paigaldada nii, et neile oleks paigalduskohal vaba juurdepääs nende järele vaatamiseks ja teenindamiseks. Selleks peab mootoril ühest küljest olema vähemalt 1 meetri laiune vaba ruum (teeninduskäik). Teistest külgedest peab mootori ja hoone või seadme osade vahel olema vähemalt 0,3 m laiune vahe. Mõningad erandid muidugi esinevad, näiteks töömasinasse sisseehitatud mootori korral. Samuti peab vähemalt 0,3 m laiune vahe olema kõrvuti paigaldatud mootorite vahel. Vundamentide ja seadmete vibratsioon mootori töötamisel ei tohi ületada lubatud väärtusi.

Elektrimootori paigaldamisel tuleb silmas pidada, et tema mähistele ja voolujuhtivatele osadele ei oleks võimalik vee, õli ega muude materjalide või esemete sattumine, mis võiksid kuidagi tema isolatsiooni halvendada, rikkuda või vigastada.

Elektrimootori enda pöörlevad ning ajami ja tema poolt käitatava seadme pöörlevad ja liikuvad osad (rihmarattad, rihmad jne.) peavad olema varustatud piirete või tõkete, mis väldivad nende puutumise ja inimeste, loomade ning seadmete vigastamise ajami töötamisel.

Elektrimootorite ja käivitusaparaatide korrodeeruvast materjalist kered, kui need ei ole korrosiooni vastu kaitsitud (näit. oksüdeerimise, kroomimise vms. teel), tuleb kaitses korrosiooni vastu värvida mootori töökeskkonnale vastava värviga.

Elektrimootori voolujuhtivast materjalist kere tuleb ühendada maandatud nulljuhtmega. Ei ole küllaldane, kui on maandatud seade, mille sisse on elektrimootor ehitatud. Maandusjuhe tuleb tingimata ühendada elektrimootori kerega.

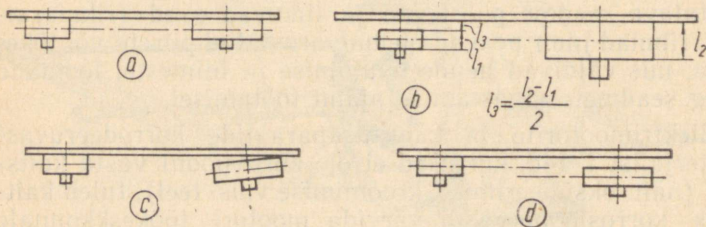
Elektrimootorid, välja arvatud kinnised, samuti nende käivitustakistid ja -reostaadid peavad asuma hoone süttivatest osadest vähemalt 1,5 m kaugusel.

Mootorit toitva jõukaabli muhv või toru, milles paiknevad toitejuhtmed, tuleb tuua vahetult klemmkarbi juurde või varustada torust väljuvad kaitseta juhtmed täiendava isolatsiooni ja kaitsekestaga mehaaniliste vigastuste eest (metallkõri, kummitoru).

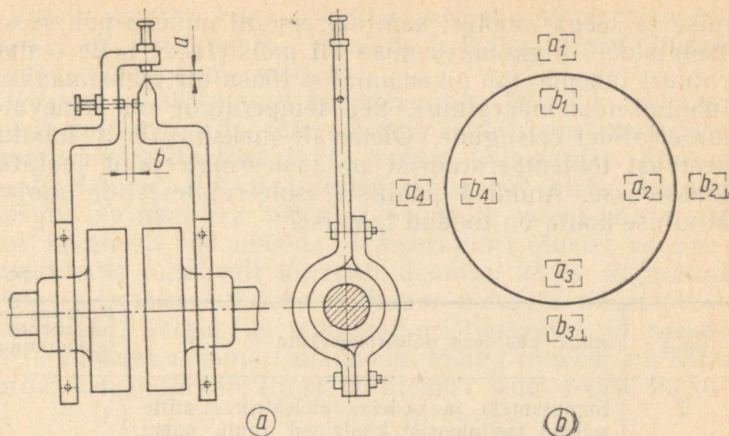
Kui jõu ülekandmine elektrimootorilt töömasinale toimub rihma abil, peavad mootori ja töömasina rihmarataste teljed üldreeglina olema rööbiti. Seda saab kontrollida joonlaua või nõõri abil (joon. 26). Sama kehtib ka ülekande korral silindriliste hammasratastega.

Otsakuti paiknevate võllide korral peavad nende tsentrid olema samal sirgel. Vastasel korral erinevad võllis töötamisel vahelduvad paindepinged, mille tõttu võlli materjal väsib ja võll võib murduda. Võllide tsentreerimiseks võib kasutada joonisel 27, *a* näidatud kujuga klambreid. Need kinnitatakse poolmuhvi külge ja mõõdetakse vahed *a* ja *b* vähemalt neljas kohas ühe täispöörde ulatuses. Mõõtmistulemused on soovitatav kanda vastavale «ringdiagrammile» (joon. 27, *b*). Tulemused loetakse rahuldavaks, kui

$$\left. \begin{aligned} a_1 + a_3 &= a_2 + a_4 \\ b_1 + b_3 &= b_2 + b_4 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$



Joon. 26. Mootori ja töömasina rihmarataste väljarihtimine



Joon. 27. Mootori võllide tsentreerimisklambrid

Seejuures

$a_1 - a_3$; $a_2 - a_4$ ja $b_1 - b_3$ ning $b_2 - b_4$ ei tohi olla üle 0,1 mm.

Vahe a erinevus eri asendites viitab võllide nihutamisele rööpsuunas, vahe b erinevus aga nurgale võllide vahel.

Mootori väljarihtimine toimub tavaliselt vajaliku pakusega teraslehtede paigutamisega mootori jalgade alla. Juhul, kui mootorit on vaja külgsuunas nihutada (näit. rihma sobitamiseks või pingutamiseks), paigutatakse mootor seaderööbastele.

IV. ELEKTRIMOOTORITE SOOJENEMINE

14. Isolatsiooniklassid ja neile lubatavad temperatuurid

Eeltoodud rikete põhjuste analüüsist võib teha järeldused, et vähemalt 70...80% riknenud mootoritest on langenud mähiste isolatsiooni liigkuumenemise ohvriks. Mootori isolatsiooni liigkuumenemine ei teki mitte ainult liigkoormusel, vaid ka töötamisel ühefaasilises olukorras (faasi katkemisel) ja mähiste mustumise tagajärjel. Ka mootori seismajäämine laagrite ja töömasina mehaaniliste vigastuste tõttu on sageli mähise isolatsiooni liigkuumene-

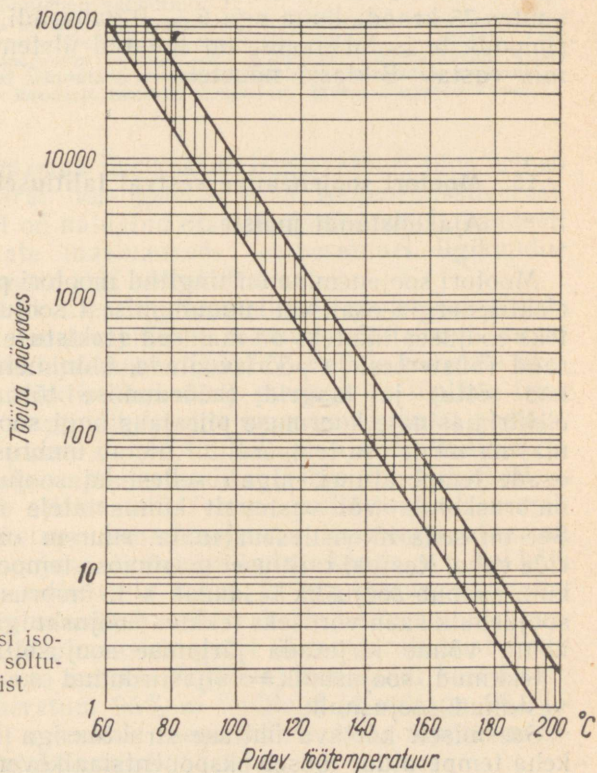
mise ja seega mootori kapitaalremonti mineku põhjuseks. Isolatsiooni liigkuumenemise all mõistetakse selle temperatuuri lühema- või pikemaajalist tõusu üle maksimaalselt lubatud töötemperatuuri. See temperatuur on erinevatel materjalidel erisugune. Olenevalt maksimaalselt lubatud kestvast töötemperatuurist on isoleermaterjalid jaotatud klassidesse. Andmed põhiliste isoleermaterjalide soojuskindluse kohta on toodud tabelis 7.

Tabel 7

Klassi tähis	Klassi kuuluvad isoleermaterjalid	Maksimaalselt lubatav töötemperatuur °C
Y	Immutamata ja vedelas dielektrikus mitte-asuvad tselluloosist kiudained (puit, paber, papp, fiiber, puuvill, hüdraattselluloos ja atsetüülselluloos), looduslik siid ja polüamiidkiud	90
A	Öli-, õlivaik- jms. lakkidega immutatud või naftast valmistatud või sünteetilisse vedelasse dielektrikusse paigutatud klassi Y materjalid, samuti emailitud juhtmete isolatsioon õlivaiklakkide alusel	105
E	Tsellulooidtäidisega plastmassid formaldehüüd- ja melamiinformaldehüüdvaikudest, kaasa arvatud getinaks ja tekstoliit, triatsetaatselluloos kilena, lavsaan (polüetüleentereftalaat) kilena ja kiuna; emailjuhtmete isolatsioon polüvinüülformaldehüüdlakkide alusel	120
B	Anorgaanilised materjalid: vilk, klaaskiud või asbest kombineeritud orgaaniliste side- ning immutusainetega: mikaniit, klaas-lakkriie, klaas-tekstoliit jm., plastmassid mine- raaltäidisega	130
F	Materjalid vilgu, klaaskiu ja asbesti alusel kuumuskindlamate side- ning immutussegudega	155
H	Materjalid vilgu, klaaskiu ja asbesti alusel räniorgaanilistest vaikudest side- ning immutusainetega. Siia kuulub ka räniorgaaniline kummi	180
C	Puhtanorgaanilised ained (vilk, portselan ja muud keraamilised materjalid, klaas, kvarts) ilma sideaineta või anorgaaniliste ja elementorgaaniliste sideainetega. Siia kuulub ka tefloon (polütetrafluoretüleen) (temperatuurile kuni 250° C)	Üle 180

Varem kasutati klassi Y tähise asemel tähte O, klassi E asemel AB, F asemel BC. Klasside A, B ja C vanad tähised langevad kokku praegustega.

Ka pideval töötamisel maksimaalselt lubatud temperatuuril või isegi alla selle muutub isolatsioon soojusliku vananemise tõttu teatud aja jooksul kõlbmatuks. Maksimaalselt lubatud temperatuuril töötamisel oleks see aeg masina normaalseks tööeks. Soojuslik vananemine toimub tavaliselt pikkamööda. Temperatuuri tõustes vananemisprotsess tunduvalt kiireneb. Joonisel 28 on kujutatud A-klassi isolatsiooni tööea sõltuvus pidevast töötemperatuurist [5]. Selgub, et temperatuuri tõusmisel 10 kraadi võrra väheneb masina isolatsiooni tööiga rohkem kui kaks korda. Edasi torkab silma võrdlemisi suur tööea kõiku-



Joon. 28. A-klassi isolatsiooni tööea sõltuvus temperatuurist

mine antud temperatuuril. 100 °C juures on see umbes 3000 ... 10 000 päeva piirides. Esmajoones on see tingitud asjaolust, et isoleerainete ühte klassi kuuluvad väga mitmesugused materjalid. Peale soojusliku vananemise on mõned materjalid veel tundlikud lühiajaliste temperatuuritõusude suhtes. Üldreeglina kuulub tavaliste ühtlussarja A ja AO 3. kuni 5. gabariidi elektrimootorite isolatsioon klassi A. Samasse klassi kuulub ka A-tüüpi 6. kuni 9. gabariidi mootorite isolatsioon. Kinnistel (AO) 6. kuni 9. gabariidi mootoritel on mähiste isolatsioon üldjuhul B-klassist. Ainult juhtudel, kui nende mootorite pidev töötemperatuur ei ületa 70 °C, kasutatakse neil A-klassi isolatsiooni [22].

Uue ühtlussarja 1...5 gabariidi (AO2) mootoritele, samuti kaitstud ehitusviisiga (A2) 6...9 gabariidi mootoritel on lubatav ületemperatuur ümbritseva keskkonna suhtes 75 kraadi, kuna aga 6...9 gabariidi kinniste elektrimootorite isolatsioonile on lubatud ületemperatuur [9], mis vastab B-klassi nõuetele.

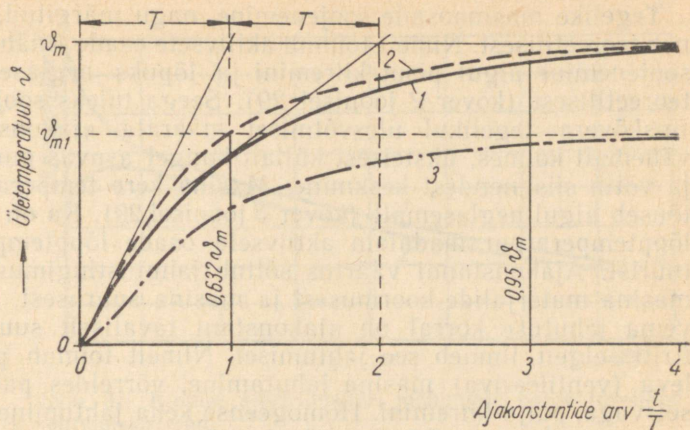
15. Mootori soojenemine kestval talitlusel.

Ajakonstandi mõiste

Mootori soojenemine on tingitud mootori poolt tarbitava elektrienergia osalisest muundumisest soojuseks. Peamiseks soojuseallikateks on mähised (takistuse tõttu), aktiivraud (hüstereesi ja pöörisvoolude, üldnimetusega teraseskao tõttu) ja laagrid (hõõrdumise tõttu). Põhiliseks elektrimasinate koormuse piirajaks ongi soojenemine. Kui masina mõne osa temperatuur ületab ümbruse või naaberosade temperatuuri, algab sellest ka soojuse siirdumine ümbruskonda või vastavalt külmematele naaberosadele. See on seda intensiivsem, mida suurem on temperatuuride vahe. Kestval talitlusel masinaosa temperatuur tõuseb, kuni saabub soojuslik tasakaal, s. t. ümbruskonda siirduv soojushulk saab võrdseks tekkiva soojushulgaga. Iga hetke kohta võime kirjutada järgmise soojusbilansi:

tekkinud soojushulk = väljasiirdunud soojushulk + salvestunud soojushulk.

Seemiselt köetava ühtlase struktuuriga (homogeense) keha temperatuur tõuseb eksponentsiaalkõvera järgi (joon.



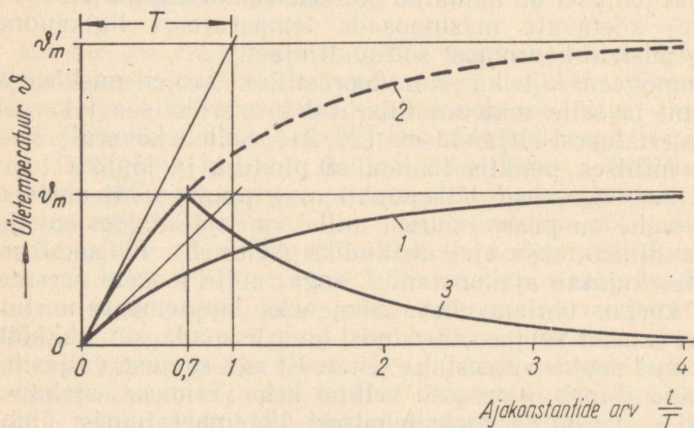
Joon. 29. Soojenemiskõveraid:

1 — ühtlase struktuuriga seesmiselt kõetava keha ületemperatuuri teoreetiline kulg keskkonna temperatuuri suhtes; 2 — otseselt kõetava ning seejuures kaudselt läbi muutuva temperatuuriga keskkonna (kere) jahutatava masinaosa (mähise) ligikaudne soojenemiskõver; 3 — kaudselt kõetava masinaosa (kere) soojenemiskõver

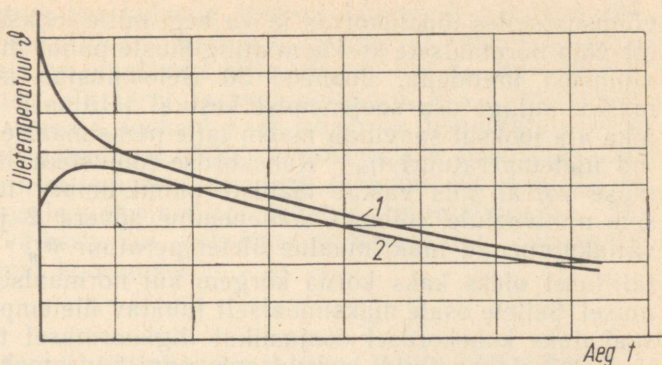
29). Tegelikku masina üksikosade temperatuuri tõus erineb mõningal määral homogeense keha soojenemiskõverast. Samal joonisel on näidatud otseselt (mähised) ja kaudselt (kere) kõetavate masinaosade temperatuuri ligikaudne kulg püsival koormusel sõltuvalt ajast.

Homogeense keha nn. teoreetilise soojenemiskõvera valemi ja selle matemaatilise tuletuse võib soovi korral leida erialasest kirjandusest [23, 24]. Sellele kõverale ükskõik millises punktis tõmmatud puutuja ja lõpliku temperatuuri θ_m sirge lõikepunkti ning puutepunkti abstsisside vahe on püsiv suurus, millel on aja dimensioon ja mida nimetatakse ajakonstandiks (tähtis T). Füüsikalises mõttes kujutab ajakonstant T aega, mille jooksul seesmiselt kõetav ühtlane keha soojeneb lõpptemperatuurini, kui ei esineks soojuse siirdumist ümbruskonda, s. t. kui kõik tekkinud soojus salvestuks kehas. Et aga soojuse väljasirdumine esineb, saavutab selline keha esimese ajakonstandi kestel 63,2% maksimaalsest ületemperatuurist ümbritseva keskkonna suhtes. Kolme ajakonstandi kestel tõuseb keha temperatuur 95%-ni lõplikust ja neljaga 98,2%-ni. Praktiliselt saavutab seega selline keha lõpptemperatuuri 4...5 ajakonstandi kestel.

Tegelike masinaosade soojenemine, nagu märgitud, erineb teoreetilisest. Nimelt toimub aktiivsete osade (mähiste) soojenemine algul pisut kiiremini ja lõpuks aeglasemalt teoreetilisest (kõver 2 joonisel 29). Seega tuleks soojenemiskõvera tegelikul ülesvõtmisel määrata ajakonstant vähemalt kolmes, üksteisest küllalt kaugel asuvas punktis ja võtta siis nendest keskmine. Masina kere temperatuur tõuseb algul aeglasemalt (kõver 3 joonisel 29). Ka on kere lõpptemperatuur madalam aktiivsete osade lõpptemperatuurist. Ajakonstandi väärtus sõltub jahutustingimustest, masina materjalide koormusest ja masina suurusest. Halvema jahutuse korral on ajakonstant tavaliselt suurem. Eriti selgeit ilmneb see jahtumisel. Nimelt toimub pöörleva (ventileeriva) masina jahutamine, võrreldes paigalseisvaga, palju kiiremini. Homogeense keha jahtumine toimub eksponentsiaalkõvera järgi (kõver 3 joonisel 30). Tegelikus elektrimootoris aga esineb jahtumiskõverate kulg üksikutel osadel seisva rootori korral emponentsiaalkõverast palju rohkem kui soojenemiskõveratel. Nimelt toimub mähiste jahtumine algul, hoolimata jahutuse puudumisest, võrdlemisi kiiresti (kõver 1 joonisel 31). Kerel ja aktiivraual aga esineb jahtumise algul koguni temperatuuri tõus (kõver 2 joonisel 31). See viitab asjaolule, et



Joon. 30. Elektrimasina ületemperatuuri kulg eeldusel, et see muutub eksponentsiaalkõvera järgi:
 1 — kestval töötamisel nimikoormusega; 2 — kestval töötamisel umbes 1,4-kordse vooluga; 3 — jahtumiskõver pärast maksimaalselt lubatava temperatuuri saavutamist



Joon. 31. Kinnise elektrimootori mõningate osade tegelikud jahtumiskõverad:
 1 — mähise laupühendused; 2 — kere

suur osa mähistes tekkivast soojusest siirdub välja läbi aktiivraua, mitte aga mootorisese jahutusõhu kaudu.

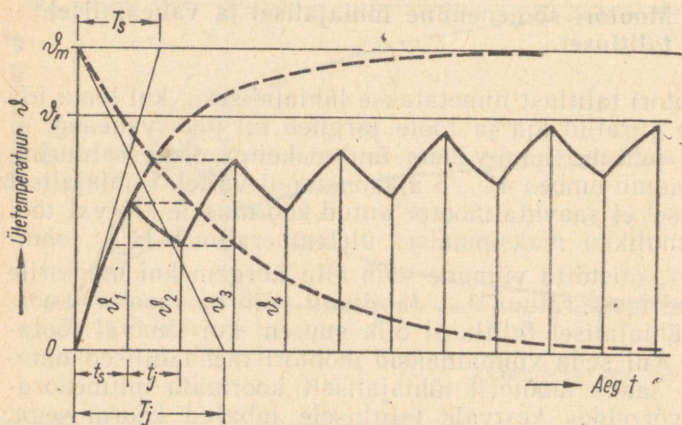
Põllumajanduses kasutatavate elektrimootorite soojenemise ajakonstant on paarituhande sekundi (mõnekümne minuti) piirides.

16. Mootori soojenemine lühiajalisel ja vaheajalisel talitlusel

Mootori talitlust nimetatakse lühiajaliseks, kui tema töö kestab piiratud aja ja tööle järgneb nii pikk vaheaeg, et masin jahtub enam-vähem ümbruskonna temperatuurini. See toimub umbes 4...5 ajakonstandi vältel. Lühiajalisel talitlusel ei saavuta mootor antud koormusele kestval tööl iseloomulikku maksimaalset ületemperatuuri (θ'_m joonisel 30), mistõttu viimane võib olla kõrgem kui mootorile lubatud temperatuur θ_m . Järelikult võib ka mootori koormus lühiajalisel talitlusel olla suurem kui kestval töötamisel. Kui seda võimaldaksid mootori mehaanilised omadused, saaks mootorit lühiajaliselt koormata mitmekordselt, võrreldes kestvale talitlusele lubatud koormusega. Mida pikem on tööaeg, seda väiksem on soojuslikus mõttes lubatav liigkoormus. Spetsiaalselt lühiajaliseks tööks ettenähtud mootorite nimesildil on antud mootori lubatud

võimsus selles tööolukorras ja ka aeg, mille jooksul mootor võib normaalsete keskkonnatingimuste puhul märgitud võimsust arendada. Joonisel 30 iseloomustab kõver 1 masina mingi osa soojenemist kestval talitlusel. Küllalt pika aja jooksul saavutab masin talle maksimaalselt lubatud ületemperatuuri ϑ_m . Kahekordse soojusliku liigkoormuse korral, mis vastab mähiste puhul umbes 1,4-kordsele nimivoolule, toimuks soojenemine kõvera 2 järgi ja väljakujunenud maksimaalne ületemperatuur ϑ'_m kestval talitlusel oleks kaks korda kõrgem kui normaalsel koormusel. Sellele osale maksimaalselt lubatav ületemperatuur saavutaks kahekordsel soojuslikul liigkoormusel teoreetiliselt 0,7 ajakonstandi jooksul, mis ongi tema maksimaalselt lubatud tööajaks lühiajalisel talitlusel antud koormuse puhul.

Vaheajalisel talitlusel pole vaheajad üksikute tööperioodide vahel nii pikad, et elektrimootor suudaks jahtuda ümbruskonna temperatuurini. Joonisel 32 on näidatud vaheaegadega töötava mootori temperatuuri kulg olukorrale, kus tööaeg on võrdne vaheajaga (jahtumisajaga) ($t_s = t_j$) ja jahtumise ajakonstant on kaks korda suurem kui soojenemisel. Siinjuures eeldatakse muidugi, et nii soojenemine kui ka jahtumine toimuvad eksponentsiaalkõverate järgi. Esimese töötsükli lõpul on masinaosa üle-



Joon. 32. Elektrimasina temperatuuri kulg vaheajalisel talitlusel (eeldusel, et temperatuuri muutus toimub eksponentsiaalkõverate järgi)

temperatuur ϑ_1 , vaheaja jooksul langeb ϑ_2 -ni, teise töötükli lõpuks tõuseb ϑ_3 -ni $> \vartheta_1$, järgneval vaheajal langeb ϑ_4 -ni, mis on omakorda jälle kõrgem kui ϑ_2 . Ka siin saabub teatud aja järel tasakaaluolukord, kus temperatuuri langus vaheaja jooksul saab võrdseks temperatuuri tõusuga töötamise ajal. Töö ja vaheaegade vahekord tuleb valida nii, et temperatuur ühegi töötükli lõpus ei ületaks masina osale maksimaalselt lubatud temperatuuri ϑ_l . See on aga väiksem kui maksimaalne temperatuur samasugusel kestval koormusel.

17. Mootori töö ebanormaalsetes talitlusolukordades

Kolmefaasiliste asünkroonmootorite ebasümmeetrilistest talitlusolukordadest vaatleme pinge ja sageduse kõrvalekaldumist nimiväärtusest ning ebasümmeetrilist toitepinget.

Pinge normaalväärtusest kõrvalekaldumine esineb põlumajanduses üsna sageli. Pinge tõus üle normaalse põhjustab magneetimisvoolu ja rauaskao kasvu. Normaalselt ei ületa see 5% ja ei ole seega mootorile ohtlik. Erijuhtumiks siin on aga kahjuks üsna sageli esinev valelülitus — harilikku 380/220-voldise mootori lülitamine kolmnurkühenduses 380-voldise liinipingega võrku. Siinjuures ületab faasimähisele antav pinge nimiväärtuse 1,73 korda, mis juba kindlasti põhjustab masina liigkuumenemise.

Palju sagedamini esineb pinge ülemäärane langus. Eeskirjad lubavad asünkroonmootorite töötamist nimikoormusega pinge langemisel kuni 10% alla mootori sildil märgitud nimipingega. Madalama pinge korral tuleb vähendada mootori koormust, kusjuures tuleb lähtuda sellest, et koormus peab olema võrdeline pinge ruuduga. Seega kui pinge on pool nimiväärtusest, võib koormus moodustada vaid veerandi mootori nimivõimsusest. Pinge vähenemisega kaasneb aga võimsusteguri tunduv paranemine. 220-voldise liinipingega võrkudes kasutatakse seetõttu tugeva alakoormusega (alla poole nimikoormusest) töötavate 380/220-voldiste mootorite lülitamist kolmnurkühenduse asemel tähte.

Kaasaegsetes suure võimsusega energiasüsteemides hoitakse sagedus võrdlemisi suure täpsusega konstantne, mistõttu sageduse muutumine ei kujune oluliseks problee-

miks. Küll aga esineb see probleem mootorite toitmise väikestest elektri jaamadest, eriti aga asünkroonmootorite pöörlemiskiiruse reguleerimisel sageduse muutmisega. Et sageduse muutmisel ei muutuks vool ja magnetvoog, tuleb koos sagedusega muuta ka mootorile antavat pinget, kusjuures pinge muutus peab olema ligikaudu võrdeline sageduse muutusega. Näiteks võib 220-voldisele pingele ja 50-hertsisele sagedusele ettenähtud mootori julgesti lülitada 110-voldisesse ja 25-hertsise sagedusega võrku. Mootori võimsus seejuures väheneb muidugi kaks korda.

Üsna sagedaseks ebanormaalseks nähtuseks kolmefaasiliste mootorite puhul on toitmine ebasümmeetrilise pingega. Piirjuhtumiks on ühe faasi katkestus, s. t. töö ühefaasilises olukorras, mis, nagu eespool toodud statistilistest andmetest selgub, ongi üheks põhiliseks mootorite riknemise põhjuseks. Ebasümmeetriline pinge põhjustab soojuskaotuse jaotuse üksikute mähiseharude vahel, kusjuures soojuskadu on suurem kui niisama suure võimsuse korral sümmeetrilisel toitmisel tekkiv kadu. Tunduvalt rohkem on ohustatud rootor, mida tuleb arvesse võtta eriti faasirootoriga masinal. Ühefaasilises olukorras moodustab kolmefaasilisele asünkroonmootorile lubatud võimsus umbes 60% lubatust kolmefaasilisel talitlusel.

18. Lühisrootoriga asünkroonmootori käivitamine

Kolmefaasilise lühisrootoriga asünkroonmootori käivitusmoment on tavaliselt samas suurusjärgus nimimomendiga. Käivitusvool aga on harilikult nimivoolust 3,5...7 korda tugevam. Suurendatud käivitusmomendiga АП- ja АОП-tüüpi ühtlussarja mootoritel on käivitusmoment piirides (1,7...2) M_n , kuna käivitusvool on samas suurusjärgus, kui tavalistel А- ja АО-tüüpi mootoritel. Väikese võimsusega ja kaugelasuvate toiteallikate korral (näiteks põllumajanduslikes elektrivõrkudes) tekitab tugev käivitusvool märgatava pingelangu, mis omakorda vähendab mootori käivitusmomenti ja häirib teiste tarbijate tööd. Et moment on ligilähedaselt võrdeline pinge ruuduga, väheneb moment pinge vähenemisel 30% võrra umbes kahekordselt. Kui nüüd töömasinale vajalik käivitusmoment on rohkem kui pool mootori käivitusmomendist nimipingel, siis mootor ei käivitu. Seadmetel, mille vajalik moment

pöörlemiskiiruse suurenemisel kiiresti kasvab (näit. ventilaatorid), võib mootor jääda pöörlema madalamatel pöörretel, tarbides seejuures nimivoolust mitu korda tugevamat voolu.

Kõige otstarbekohasem käivitusvoolude vähendamise moodus on faasirooriga mootorite kasutamine. Siin lülitatakse mootori käivitamisel rootori vooluringi käivitus-takistid ning nende õige valiku korral saavutatakse samaaegselt käivitusvoolu nõrgenemisega käivitusmomendi suurenemine. Käivitusmomenti ei saa endastmõistetavalt suurendada kuitahes palju, vaid kõige rohkem mootori maksimaalse (vääratus-) momendini. See on AK-tüüpi mootorite tavaliselt 1,8...2,8 korda nimimomendist suurem. Viimasel ajal on rootori vooluringis hakatud kasutama paispooli ja aktiivtakistuse kombineeritud lülitust, mis annab võrdlemisi soodsa käivitustunnusjoone. Faasirooriga mootori puudusteks on aga kallim hind ja keerukam käivitus.

Lühisrootoriga mootori käivitamisel võib käivitusvoolu nõrgendamiseks kasutada takistite või paispoolide lülitamist staatori vooluringi, samuti käivituspinge vähendamist autotransformaatori abil. Nende mooduste eeliseks on teiste tarbijate normaalse töö tagamine. Käivitatava mootori enda seisukohast on tegemist ikkagi mootorile antava pinge ja seega ka käivitusmomendi vähenemisega, mistõttu neid mooduseid saab kasutada ainult siis, kui töömehhanismile vajalik käivitusmoment on väike.

Omavalgust, kui madalapingelistes jaotusvõrkudes kasutati liinipinget 220 V, oli mootoritele pingega 220/380 V käivitusvoolu piiramiseks laialdaselt kasutusel tähtkolmnurklülitus. Siin lülitati mootor, mis normaalselt töötas kolmnurkühenduses, käivituse ajaks tähte. Käivitusvool väheneb küll kolmekordselt, kuid samavõrra väheneb ka käivitusmoment, mistõttu sedagi moodust saab kasutada ainult koormamata või väikese koormusega mootorite käivitamisel. Seoses uue standardpinge 660 V kasutuselevõtmisega, on hakatud tootma ka mootoreid pingele 380/660 V. Võrkudes liinipingega 380 V võib neid käivitada tähtkolmnurklülituse abil.

19. Mootori soojenemine käivitamisel ja pidurdamisel ning selle arvessevõtmine

Võrdse aja jooksul tekitab 3,5...7-kordne käivitusvool mähistes vastavalt 12...50 korda rohkem soojust kui normaalne töövool. Peale selle on käivitusolukorras ka jahutustingimused halvemad, sest omaventilatsiooniga masinatel hakkab ventilaator pöörlema alles koos rootoriga. Kestval talitlusel, samuti ka enamasti vaheajalisel talitlusel on käivitusaeg tööajaga võrreldes kaduvväike. Käivitusaega tuleb tõsisemalt arvestama hakata, kui see ületab 1...2% kogu tsükli ajast. Elektrimootorite käivitusaeg kõigub aga väga suurtes piirides — mõnest kümnendiksekundist kuni mitme sekundini, erijuhtumel isegi kümnete sekunditeni.

Elektrimootorite pidurdamiseks kasutatakse väga mitmesuguseid mooduseid. Kolmefaasiliste asünkroonmootorite puhul on üks lihtsamaid nn. pidurdamine vastuvooluga. See tähendab, et masin lülitatakse võrku vastupidisele pöörlemissuunale (vahetatakse kaks faasijuhet omavahel). Selle pidurdusviisi juures tekkiv soojus on peamiselt pöörlevate masside inertsist ja hõõrdumisest, kuid on üldreeglina tunduvalt suurem kui käivitamisel [25]. Sellest tingituna valmistataksegi seadmeile, kus on tarvilik sagedane pidurdamine, mootoreid sisseehitatud elektromagnetilise piduriga. Perspektiivseks näib kujunevat ka pidurdamine kondensaatorpatareide abil, kus energiakadu ja seega ka soojenemine on vastuvooluga pidurdusega võrreldes tunduvalt väiksemad [26].

Eriti sagedastel käivitustel ja pidurdustel on võimalik ligikaudselt arvutada lubatud lülituste arvu. Vastavad valemid on antud erialases kirjanduses [22; 23]. Nende äratoomine käesolevas raamatus ei ole otstarbekohane, sest nad on küllaltki keerukad ja nendes esinevate suuruste määramine pole just lihtne.

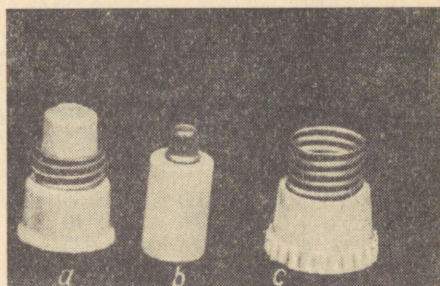
Orienteerimiseks olgu märgitud, et sagedaste käivituste ja pidurdustega elektrimootori valikul on vajalik eriarvutus, kui käivituse ja pidurduse koguaeg ületab 0,5% tsükli ajast.

V. MOOTORITE KAITSMINE

20. Sulavkaitsmed mootori vooluringis

Sulavkaitse kujutab endast vooluringi teadlikult ühendatud nõrgemat juhtmelõiku, mis võrku või seadmeid ohustava voolu korral läbi sulab ja katkestab vooluringi. See lõik on ühendatud kas lahtiselt vastavate klemmide vahele (ribakaitse) või paigutatud isoleerainest kesta. Viimastest on laialdasemalt levinud kaks tüüpi — torukaitsmed ja keermekaitsmed. Neid põhitüüpe võib omakorda veel liigitada mitmesuguste tunnuste järgi.

Näiteks võivad torukaitsmed olla kinnised või otstest lahtised. Keermekaitsmed omakorda on kahte liiki: korkkaitsmed ja padrunkaitsmed.



Joon. 33. Keermekaitsmeid:
a — korkkaitse (kaitsekork); b — padrunkaitse padrun; c — padrunkaitse pea

Korkkaitse ehk kaitsekork (joon. 33, a) koosneb portselankerest, metallkeermest ja kere sees olevast sulavribast; korkkaitse tuleb vahetada sulavriba läbisulamisel tervikuna. Padrunkaitse aga koosneb kahest osast: vahetatavast kaitsmepadrunist (joon. 33, b), mille sees asub sulavriba, ja kaitsmepeast koos keermega (joon. 33, c). Sageli on kaitsepadruni õõnsus, milles asub sulavriba, elektrikaare parema kustutamise sihiga täidetud kvartsliiduga. Lähemaid andmeid kaitsmete konstruktsiooni kohta võib leida ka eestikeelsest kirjandusest [27].

ГОСТ 1138-55 kohaselt toodetakse keermekaitsmeid tabelis 8 toodud andmetega.

Peale tabelis toodud nimivoolude valmistatakse veel keermekaitsmeid nimivoolule 1, 2, 25 ja 35 A. Viimasel ajal on hakatud tootma keermekaitsmeid ka tugevamatele vooludele; nii on ПД- ja ПДС-tüüpi 6. suuruse

Tabel 8

Kaitsmed kontakthülssi keermega ГОСТ 6042-51 järgi mm	Nimipinge V	Nimivool A	
		padrunil	sulavribal
14	220	10	2,5; 4; 6 ja 10
27	380	20	6; 10; 15 ja 20
33	380	60	10; 15; 20; 30; 40 ja 60

kaitsme nimivooluks 350 A, ПД-tüüpi 7. suuruse kaitsmetel isegi 600 A. Torukaitsmeid jõuseadmeile valmistatakse NSV Liidus nimivoolule 6, 10, 15, 20, 25, 35, 45, 60, 80, 100, 125, 160, 200 jne. amprit.

Võrdluseks on tabelis 9 toodud mõnede AO-tüüpi ühtlusarja mootorite nimi- ja käivitusvoolud.

Tabel 9

Mootori tüüp	Nimi- võimsus kW	Pöörlemis- kiirus p/min	Nimivool A		Käivitus- ja nimi- voolu suhe
			pingel 220 V	pingel 380 V	
AO31-2	1,0	2850	3,8	2,2	6,0
AO31-4	0,6	1410	2,8	1,6	5,0
AO31-6	0,4	935	2,25	1,3	3,5
AO32-2	1,7	2850	6,4	3,7	7,0
AO32-4	1,0	1410	4,2	2,4	5,0
AO32-6	0,6	930	3,1	1,8	4,0
AO42-2	2,8	2880	10,0	5,8	6,5
AO41-4	1,7	1420	6,7	3,9	5,0
AO41-6	1,0	930	4,8	2,8	6,0
AO51-2	4,5	2900	15,6	9,1	6,5
AO42-4	2,8	1420	10,5	6,1	5,5
AO42-6	1,7	930	7,5	4,3	4,5
AO52-2	7,0	2900	24,0	13,8	6,5
AO51-4	4,5	1440	16,3	9,4	6,0
AO51-6	2,8	950	11,4	6,8	5,0

Juba lihtne nimivoolude võrdlus näitab, et isegi kui meil oleks kaitsme tunnusjoonte ja mootori käivitusomaduste tõttu võimalik valida mootorile sulavkaitset nimivoolu järgi, on võimatu täpne sobitamine. Näiteks tuleks kestva tööolukorra jaoks mootorile nimivooluga 6,4 A valida 10-amprine kaitse, mis moodustab enam kui pooleteisekordse mootori nimivoolu.

Riikliku standardiga (ГОСТ 1138-55) püstitatakse keermekaitsetele läbisulamisvoolu seisukohast lähtudes tabelis 10 toodud nõuded.

Siit selgub, et kui meil õnnestubki leida mootori kaitsmiseks sobiva nimivooluga sulavkaitse, ei kaitse see ometi mootorit mingil määral liigkoormuse ega töö ajal faasi katkemise vastu, sest tunni aja jooksul lubab ta mootorit koormata keskmiselt 1,5... 2-kordse nimivooluga, mis on mootori isolatsiooni täielikuks riknemiseks enam kui küllaldane.

Tabel 10

Sulavriba nimivool I_{sn}	Vool, mida kaitse peab taluma ühe tunni kestel	Vool, millega kaitse peab ühe tunni kestel läbi sulama
2,5; 4; 6 ja 10	1,5 I_{sn}	2,1 I_{sn}
15; 20 ja 25	1,4 I_{sn}	1,75 I_{sn}
40 ja 60	1,3 I_{sn}	1,6 I_{sn}

Lähtudes käivitustingimustest, soovitatakse käsiraamatutes sulavkaitsme nimivool I_{sn} lühisrootoriga asünkroonmootorite vooluringis

a) normaalsete käivitustingimuste korral valida valemi järgi:

$$I_{sn} = \frac{I_k}{2,5}; \quad (6)$$

b) raskete käivitustingimustega mootoritele

$$I_{sn} = \frac{I_k}{1,6 \dots 2}, \quad (7)$$

kus I_k on mootori käivitusvool.

Nagu tabelist 9 selgub, ületab lühisrootoriga asünkroonmootori käivitusvool nimivoolu 3,5... 7-kordselt. Sellest lähtudes saame sulavkaitsme nimivooluks normaalsete käivitustingimustega mootorile 1,4... 2,8-kordse mootori nimivoolu, raskete käivitustingimuste korral aga 1,75... 4,4-kordse mootori nimivoolu. Olles valinud mootorile sulavkaitsme näiteks rasketest käivitustingimustest lähtudes ja arvestades, et 10-amprine keermekaitse võib taluda 2-kordset nimivoolu 1 tunni jooksul, saame kõige

halvemal juhul olukorra, kus kaitse talub läbipõlemata 8,8-kordse mootori nimivoolu terve tunni.

Mootori isolatsiooni paikseks liigkuumenemiseks piisab aga käivitusvoolust (lühisvoolust) umbes minuti või veelgi vähema aja jooksul.

Kergetele käivitustingimustele valitud ja igati normidele vastav kaitse võimaldab mootori koormamist tunni jooksul umbes 2,0- kuni 5,5-kordse nimivooluga.

Eelnenud arutelust peaks olema selge, et lihtsalt valemite 6 ja 7 järgi valitud sulavkaitse üldjuhul mootorit ei kaitse ja polegi ette nähtud mootori, vaid ainult mootorit toitva liinilõigu kaitseks lühiste eest.

Statistika näitab, et termokaitsega on vabariigi põllumajanduses varustatud vähem kui $\frac{1}{5}$ kõigist mootoritest, kuid nendestki ei ole paljudel kaitserelle komplekteeritud mootori nimivoolule vastava küttekehaga, ning enamusel juhtudel on kaitse kontrollimata. Seega on rõhuva enamus põllumajanduslike elektrimootorite vooluringi ainsaks kaitseks sulavkaitsmed.

Nagu juba eespool mainitud, nõuavad ka kehtivad eeskirjad alla 1000-voldise nimipingega elektrimootoritele liigkoormuskaitset ainult erijuhtudel. Nii on «Elektrijaa- made ja -võrkude tehnilise eksploatatsiooni eeskirjades» [2] nõutud liigkoormuskaitset ainult 10 kW ja võimsatele elektrimootoritele ja sedagi juhul, kui nende liigkoormamine on võimalik tööoludest tingituna. Nagu küsitlus näitas, ei ole mootorite tööst väljalangemine liigkoormuse tõttu eriti suur.

«Elektriseadmete ehituse eeskirjade» kohaselt nõutakse liigkoormuskaitset samuti ainult juhtudel, kui on võimalik mootori süstemaatiline liigkoormamine tehnoloogilistel põhjustel, aga samuti kui eriti rasketes käivitus- või isekäivitustingimustes on vajalik piirata käivitusaega vähenenud pingel. Kasutada kaitset katkestuse vastu ühes faasi-juhtmes lubatakse ainult tehnilis-ökonomilise põhjenduse alusel.

Nimetatud eeskirjades varem kehtinud piiramine mootori võimsusest lähtudes on küll kaotatud, kuid mootoreid, milliseid tehnoloogilisest protsessist tingituna süstemaatiliselt liigkoormatakse, on ikkagi üsna vähe ja ka tööstuses on liigkoormus avariipõhjusena vähem kui ühel kolmandikul tööst väljalangenud mootoritel.

Kuna põhilise osa põllumajanduses, samuti aga ka reas teistes rahvamajandusharudes töötavate elektrimootorite kaitsmine jääb siiski ainuüksi sulavkaitsmete hooleks, tuleb tõsist tähelepanu pöörata nende valikule. Kaitsme enam-vähem õige valik elektrimootorile on võimalik ainult siis, kui on teada selle tunnusjoon (kaitsme läbisulamisaja sõltuvus voolust), mootori käivitusvoolu kordsus ja seadme käivitusaeg. Tinglikult võiks kaitsmeid nende tunnusjoonetest lähtudes jagada kolme liiki: kiiretoimelised, tavalised ja inertsed. Kindlaid piire vahetegemiseks nimetatud liikide vahel ei ole. Orienteerivalt nimetame kiiretoimelisteks kaitsmeid, mille läbisulamisaja 5...6-kordse nimivoolu korral on alla 0,1 sekundi, inertseteks aga selliseid, millede läbisulamisaja sama nimivoolukordsuse puhul on üle 3 sekundi. Suurem osa meil seerialiselt toodetavatest kaitsmetest kuuluvad selle liigituse järgi «tavaliste» hulka.

Kiirtoimelisi kaitsmeid kasutatakse peamiselt germaanium- ja ränialaldite kaitseks, mis pikemaajaliste liigvoolude korral kiiresti riknevad. NSV Liidus toodetakse seeriaviisiliselt kiiretoimelisi kaitsmeid ПНБ-2 nimivoolule 40, 100, 150, 300 ja 600 amprit pingele 380 V [28].

Tabelis 11 on toodud mõnede kaitsmetüüpide läbisulamiskestused viiekordse nimivoolu korral [28].

Tabel 11

Kaitsme tüüp	Padruni ja sulavriba nimivool A			
	15	60	100	200
	Läbisulamiskestus sekundites viiekordse nimivoolu korral			
Inertsed	> 3	> 4	> 5	> 7
ПР-2 (pikad)	1,7	4	5	2
ПР-2 (lühikesed)	0,5	2	0,65	0,9
КП	0,4	0,6	0,4	0,6
ПН-2	1,5	1,5	1,5	2

Seoses alajaamade võimsuse ja võrkude läbilaskevõime kasvuga omandab järjest suurema tähtsuse sulavkaitsmele maksimaalselt lubatav lahutusvool. Näitena on tabelis 12 toodud andmed mõningate kaitsetüüpide lahutusvoolu kohta [29].

Kvartsliaivatäitega ПН-2 tüüpi kaitsmetel on lahutusvool piirides 25 000... 50 000 A [30].

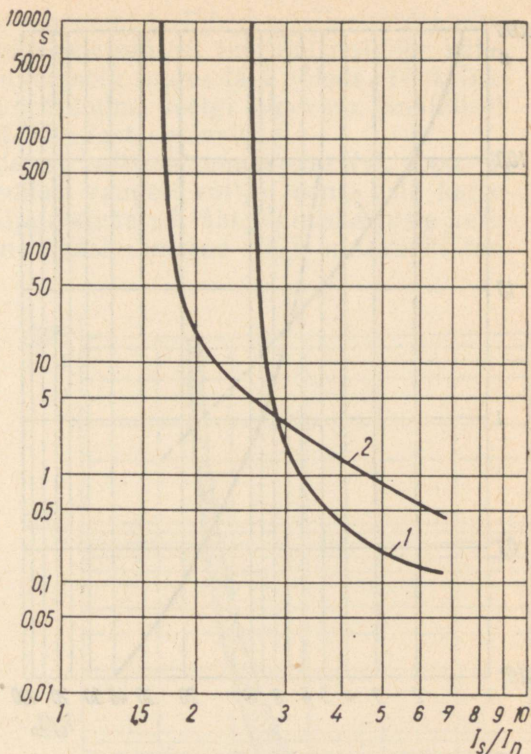
Kaitsme tüüp	Lubatud lahutusvool A
Keermekaitse 2...10 A	350 (pingel 220 V)
—,— 15...25 A	600 (pingel 380 V)
—,— 40...60 A	1000 —,—
Torukaitse ПП2 I suurus 15 A	800 —,—
—,— " " " 60 A	1800 —,—
—,— " " " 100 ja 200 A	6000 —,—
Torukaitse ПП-2 II suurus 15 A	8000 (pingel 380 V)
—,— " " " 60 A	4500 —,—
—,— " " " 100 ja 200 A	11 000 —,—

Elektrimootori käivitusaeg oleneb mootori nimipöörlemiskiirusest, käivitatava seadme ja mootori inertsmomendist ning koormusest. Mootori käivitamiseks vajalik aeg kõigub üsna suurtes piirides: kergemate käivitustingimuste puhul on see mõni kümnendik sekundit, eriti raskest tingimustes võib aga ulatuda kümne ja rohkemgi sekundini.

Tabelist 11 selgub, et lühema käivitusajaga ajamite puhul tuleb kõne alla ka näiteks nimivoolu järgi valitud kaitsmete ПП-2 (pikkade) ja ПН-2 kasutamine.

Illustreerimiseks toome näite. Joonisel 34 on toodud kahe eksperimentaalselt ülesvõetud 6-amprise keermekaitsme tunnusjooned: 1 — vasest sulavribaga padrunkaitsmele ja 2 — pliisulamist sulavribaga korkkaitsmele. Vasest sulavribaga kaitsme läbisulamisaeg on tugevate voolude puhul lühem, nõrgemate voolude korral pikem kui pliisulamist sulavribaga kaitsmel.

Katseks prooviti Eesti Põllumajanduse Akadeemia loomakasvatustehnikumide mehhaniseerimise laboratooriumis käivitada БЭ-2,5 tüüpi automaatse pumbajaama 2,8-kilovatist elektrimootorit, mille vooluringi oli lülitatud kord üht, kord teist tüüpi 6-amprised kaitsmed. Selle mootori nimivool tähtlülituses on 6,1 A, käivitusvool on nimivoolust 5,5 korda suurem, nimipöörlemiskiirus 1420 p/min. Kuna nimetatud pumbajaama ajam on võrdlemisi kergete käivitustingimustega (mootor käivitub 0,2...0,3 sek. jooksul), osutus võimalikuks mootori mitmekordne käivitamine mõnekümnesekundiliste vaheaegadega pliisulamist sulav-

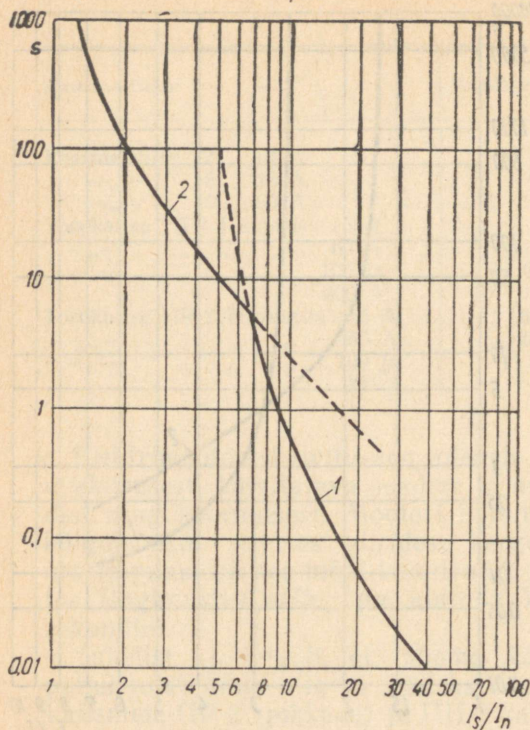


Joon. 34. Sulavkaitsmete tunnusjooni:
 1 — vasest sulavribaga padrunkaitse; 2 — plii-sulamist sulavribaga korkkaitse

ribaga kaitsekorkidega, ilma et viimased oleksid läbi põlenud. Tarvitses aga üks faasisuhe enne käivitamist katkestada, kui kaitse lahutas mootori võrgust umbes ühe sekundi jooksul. Vasest sulavribaga 6-amprised padrunkaitsmed aga ei võimaldanud üldse nimetatud mootorit käivitada.

Nagu aga plii-sulamist sulavribaga kaitsme tunnusjoone edasisel jälgimisel selgub, võib kaitsme läbisulamisaeg pooleteistkordse nimivoolu puhul olla juba mitu tundi (vt. ka fabel 10), nii et liigkoormusel selline kaitse enam ei tööta.

Kirjanduses [28] leidub andmeid spetsiaalselt mootorikaitsmaks ettenähtud sulavkaitsmete kohta, millesse on monteeritud 2 sulavriba: üks kiireloomuline, mis toimib alles tugevamatel kui seitsmekordsetel nimivooludel, teine



Joon. 35. Kahe sulavriiba kaitsme tunnusjooned:

1 — lühisel toimival osal; 2 — inertsel osal

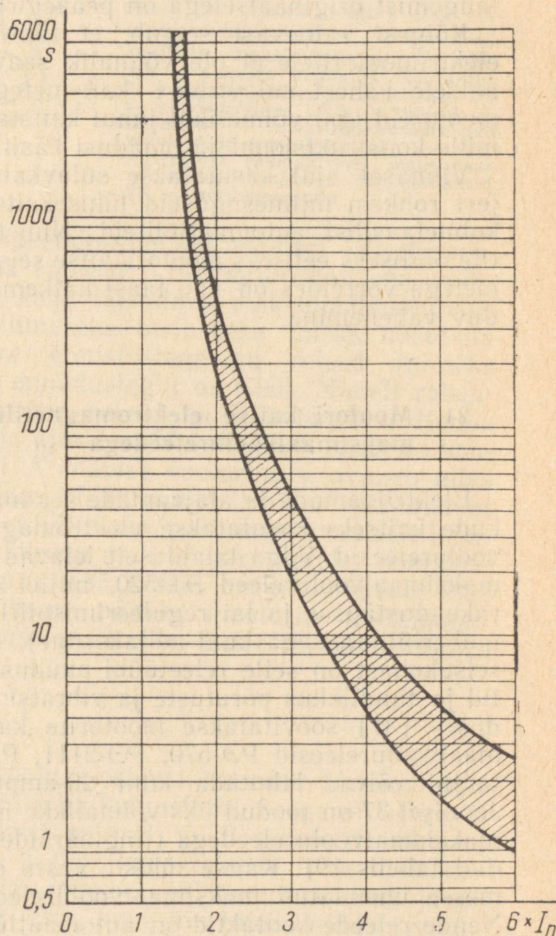
aga inertselt toimiv. Sellise 100-amprise nimivooluga kaitsme ligikaudne tunnusjoon on esitatud joonisel 35. Viie- kuni kuuekordse nimivoolu korral on selline kaitsme lahuskestus 8... 10 sekundi piirides, mis võimaldab käivitada lühisrootoriga asünkroonmootorit küllaltki rasketes tingimustes. Kiirelt toimiv sulavriiba aga lahutab ka võrgu lühisvoolu küllalt kiiresti.

Keerukas konstruktsioon ja kallis hind on seni takistanud nende kaitsmete laialdasemat levikut. Teisest küljest ei ole ka need sulavkaitsmed vabad ühest kõigi sulavkaitsmete põhilisest puudusest — neil puudub võimalus rakendusvoolu reguleerimiseks. Valmistada aga sulavkaitsmeid kõikidele mootorite nimivooludele on äärmiselt tülikas.

Mõni sõna veel ühest sulavkaitsmete olulisest puudusest. Nimelt mida lähedasem on kaitset läbiv vool tema nimivoolule, seda kõrgem on sulavriiba temperatuur. Kõrgenenud temperatuur aga tingib sulavriiba oksüdeerumist ja

seega ka ristlõike vähenemist. Pikemaajalisel töötamisel võib kaitse seega oksüdeerumisest tingitud ristlõike vähenemise tõttu juba nimivoolu juures läbi põleda. Tõukelisel koormusel on oksüdeerumine veelgi tugevam. Suhteliselt vähe oksüdeeruvad hõbedast sulavribad.

Tuleb ka märkida, et kaitsme tunnusjoon (vt. joon. 34 ja 35) ei kujuta endast rangelt võttes joont, vaid katsepunktide alusel väljajoonistatud läbisulamiskestuste keskmist väärtust. Mõned käsiraamatud [30] annavadki tun-



Joon. 36. 60-amprise nimivooluga 15-amprise sulavribaga varustatud НПН-tüüpi torukaitsme rakenduspiirkond

nusjoonte asemel kahe joone vahelise piirkonna, millesse langevad katsepunktid. Joonisel 36 ongi toodud torukaitsme HPH rakenduspiirkond. Keskmisi väärtusi kujutavad ka tabelis 11 toodud sulamiskestused.

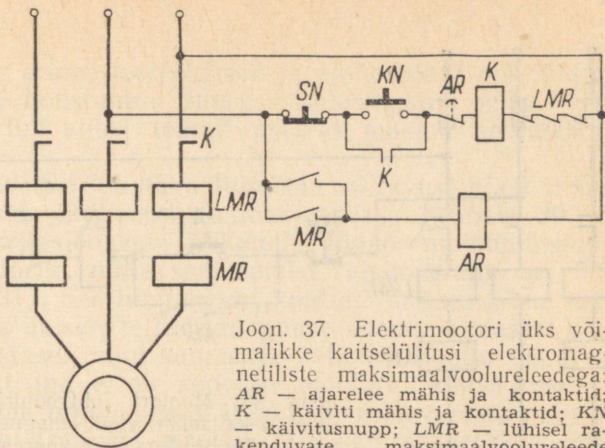
Lõpuks veel kaitsmete parandamisest. Üldreeglina on keelatud kaitsmete parandamine kõikides elektriseadmetes. Mootorite vooluringis asuvate kaitsmete parandamist aga tuleks pidada lausa kuriteoks, sest sageli on faasi katkestuse põhjuseks ebaühtlaste omadustega sulavkaitsmed. Saavutada aga parandatud kaitsmete tunnusjoonte kokkulangemist originaalsetega on peaaegu võimatu.

Kõigest eelnevast selgub, et täisväärtuslikku kaitset elektrimootoritele ei ole võimalik saavutada isegi spetsiaalsete kahest sulavribast kaitsmetega. Seetõttu tuleb mootoreid igal võimalikul juhul kaitsta termokaitsmetega, mille konstruktsiooni ja omadusi käsitletakse allpool.

Viimasel ajal kasutatakse sulavkaitsmete asemel järjest rohkem mitmesuguseid lühisekaitsmetega varustatud kolmefaasilisi automaatlüliteid. Nimetatud automaatlülite oluliseks eeliseks mootorikaitses seisukohast sulavkaitsmetega võrreldes on ühe faasi katkemise tõenäosuse tunduvalt vähenemine.

21. Mootori kaitse elektromagnetiliste maksimaalvoolureleedega

Elektri ja alajaamade seadmete ning jaotusvõrkude kaitseks kasutatakse elektromagnetilisi maksimaalvoolureleesid. Väga laialdaselt leiavad kasutamist näiteks maksimaalvoolureleed ЭТ-520, millel on võrdlemisi suur rakendustäpsus ja lai reguleerimispiirkond (koos mähiste ümberlülitamisega kuni neljakordne). Mootorite kaitsmise seisukohast on selle releetüübi puuduseks nõrgad kontaktid ja tundlikkus põrutuste ja vibratsiooni suhtes. Kirjanduses [31] soovitatakse mootorite kaitseks veel maksimaalvoolureleesid PЭ-570, PЭ-2111, P-4000, millede kontaktid võivad lahutada kuni 20-amprist vahelduvvoolu. Joonisel 37 on toodud üks võimalikke mootorikaitselülituse maksimaalvoolureleedega (tingmärkide tähendused on toodud tabelis 19). Kaitse lühiste vastu on kolme faasijuhtmesse ühendatud maksimaalvoolureleede LMR mähised. Nende releede kontaktid on automaatlüliti K hoidemähise

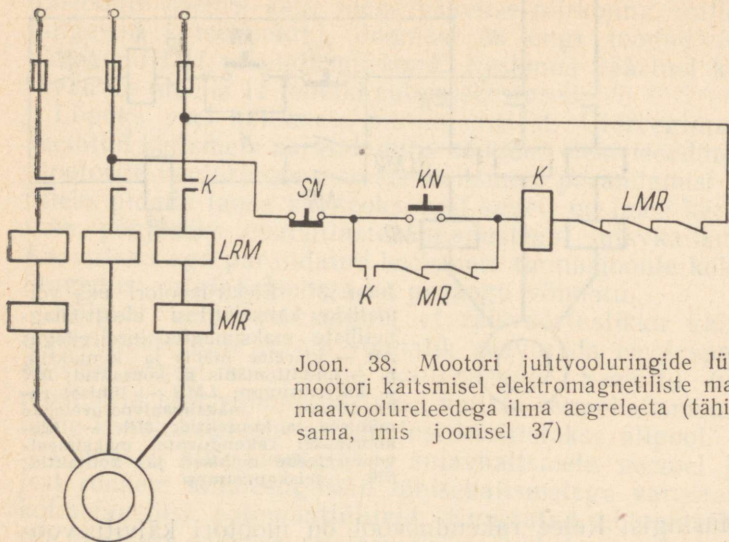


Joon. 37. Elektrimootori üks võimalikke kaitselülitusi elektromagnetiliste maksimaalvoolureleedega: AR — ajarelee mähis ja kontaktid; K — käiviti mähis ja kontaktid; KN — käivitusnupp; LMR — lühisel rakenduvate maksimaalvoolureleede mähised ja kontaktid; MR — liigkoormusel rakenduvate maksimaalvoolureleede mähised ja kontaktid; SN — seiskamisnupp

vooluringis. Relee rakendusvool on mootori käivitusvoolust 1,2...1,3 korda suurem. Liigkoormuskaitseks võiks kōne alla tulla veel kahe täiendava maksimaalvoolurelee MR kasutamine. Viimaseks otstarbeks tuleks kasutada ainult küllalt suure ennistusteguriga releed (näiteks releed ЭТ-520, mille ennistustegur on 0,85). Nimelt rakenduvad liigkoormuskaitse releed ka käivitumisel. Nende kontaktid sulguvad ja ajarelee AR rakendub. Ajarelee kontakt, mis asub lüliti K mähise vooluringis, avaneb alles relee seadeaja möödumisel. Et mootorit pärast käivitumist ajarelee poolt välja ei lülitataks, peab maksimaalselt lubatud töövool olema väiksem maksimaalvoolurelee ennistusvoolust. Ennistusteguri 0,85 korral on ennistusvool 0,85 rakendusvoolust. Lubame näiteks mootorile maksimaalseks vooluks 1,1-kordse nimivoolu. Relee rakendusvooluks saaksime sel juhul

$$I_r = \frac{1,1 I_n}{0,85} = 1,3 I_n, \quad (8)$$

s. o. 1,3-kordse nimivoolu. Kestev 1,2-kordne nimivool aga võib mootori mähiseid juba kahjustada. Seega on selge, et head liigkoormuskaitset sellisel viisil mootorile ei saa. Ka on taoline kaitse kallis (kuus releed). Tõsi, lülitades mootori juhtvooluringi joonisel 38 toodud skeemi järgi, võib aegrelee ka ära jätta, kuid siin tuleb hoida käivitus-



Joon. 38. Mootori juhtvooluringide lülitus mootori kaitsmisel elektromagnetiliste maksimumvoolureleedega ilma aegreleeta (tähistus sama, mis joonisel 37)

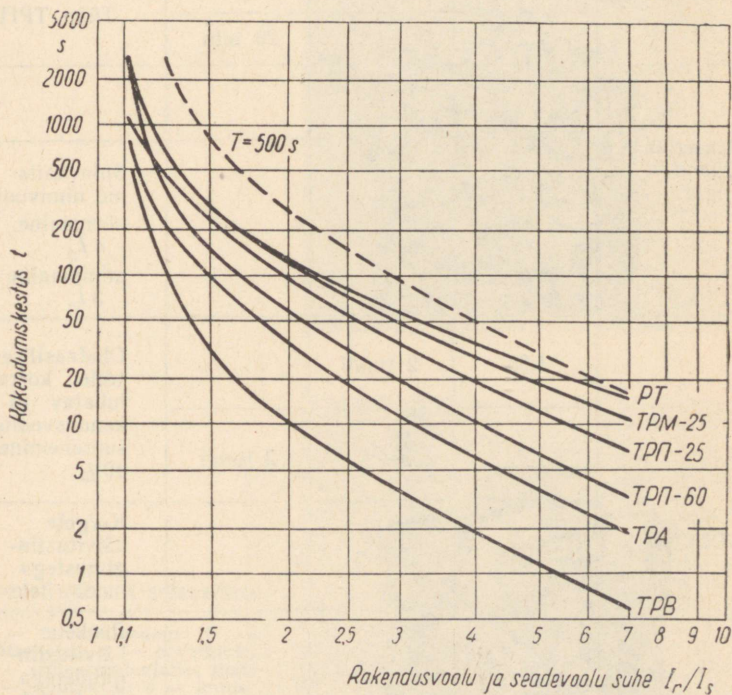
nupp koos kuni mootori lõpliku käivitumiseni. Niisuguseid lülitusi kasutatakse vaheajalise talitlusega mootorite kaitsmaks suurte liigkoormuste ja seismajäämise vastu. Lihtne magnetkäiviti ja kontaktor siin enam lülitusaparaadina kasutamiseks ei sobi, sest ta peab lahutama ka lühisvoole.

22. Termoreleed ja nende tunnusjooned

Nagu eespool selgus, on elektrimootorite tööst väljalangemise sagedaimaks põhjuseks mähiste liigkuumene mine liigvoolu tõttu. Temperatuur ei tõuse mähises järsku, vaid soojusmahutavuse ja soojuse siirdumise tõttu ümb ruse toimub see seaduspärasuse järgi, millest oli juttu neljandas peatükis. Kuid käivitamisel ning sageli ka töö tamisel koormuse iseloomust tingituna peab mootor taluma normaalsest tugevamat voolu ja teatud aja jooksul talubki seda, ilma et mähise temperatuur tõuseks üle lubatu. See aeg sõltub liigkoormuse astmest ja masina soojuslikest omadustest. Viimaseid iseloomustab eespool tundma õpi tud soojenemise ajakonstant. Kuigi masina tegelik sooje-

nemiskõver erineb teoreetiliselt ja ajakonstant pole üldjuhul sugugi konstantne suurus, iseloomustab selle keskmine väärtus siiski teatud määral masina soojuslikke omadusi.

Elektrimootori lubatava liigvoolu sõltuvust ajast nimetatakse tema liigkoormustunnusjooneks. Joonisel 39 on näidatud kriipsjoonega ligikaudne liigkoormustunnusjoon elektrimootorile, mille soojenemise ajakonstant on 500 sekundit [31]. See tunnusjoon, kantuna kaitseseadme tunnusjoonega ühisele teljestikule, peab asuma viimasest kõrgemal. Vastasel juhul kuumeneb kaitstav mootor üle. Teisest küljest aga ei ole soovitatav mootori liigkoormuse ja kaitseseadme tunnusjoonte liiga suur erinevus, sest siis ei võimalda kaitseseade mootori täielikku soojuslikku ära-



Joon. 39. Mõnede enamkasutatavate termoreleede tunnusjooni (kriipsjoonega on näidatud elektrimootori liigkoormustunnusjoon)

kasutamist. Parimad eeldused tunnusjoonte sobitamiseks loob termokaitsme kasutamine.

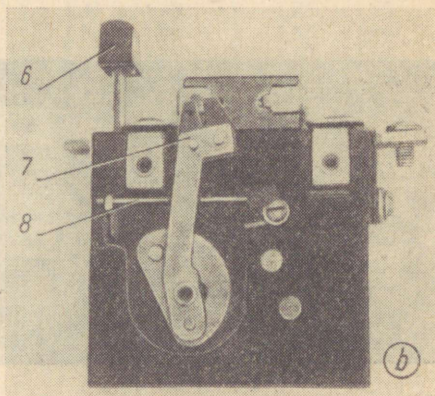
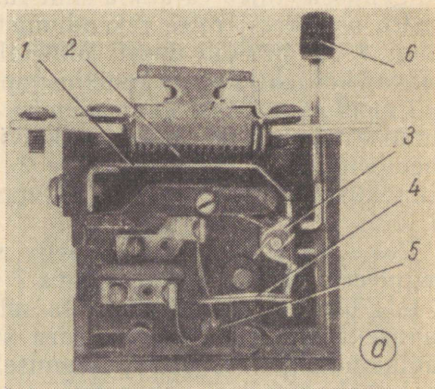
Tabelis 13 on toodud mõningad nõuded termoreleedele NSV Liidus, Ameerika Ühendriikides ja Saksa Demokraatlikus Vabariigis.

Tabel 13

Riik	Koormus- voolu ja nimivoolu suhe	Rakendumiskestus		Märkusi
		külmast olekust	soojast olekust	
NSV Liit	1,2	—	< 20 min	Tüüp PT
	7	—	> 1,5 s	
	1,0	—	∞	Tüüp TPII
	1,2	—	20 min.	
Ameerika Ühend- riigid	2 6	8 min 30 s		Sulavkaits- me nimivool: normaalne $4 I_n$ minimaalne $3 I_n$
SDV	1,05	2 tundi		Uhefaasilise toite korral lubatav ra- kendusvoolu suurenemine 10%
	1,2		2 tundi	
	6	> 2 s		Kergete käivitustin- gimustega mootoritele
		> 5 s		Raskete käivitustin- gimustega mootoritele
	2	> 30s		

Termoreleede põhiosaks on tavaliselt bimetallvedru, mida köetakse kas otseselt või kaudselt mootori vooluga. Otsese küttega releel läbib vool vahetult bimetallvedru, kaudse kütte puhul aga vastava küttekeha. Kasutatakse aga ka kombineeritud moodust — osa voolu läbib küttekeha, osa bimetallvedru. Soojenemisel bimetallvedru tema komponentide erineva soojuspaisumise tõttu paindub ja oma vaba otsa liikumisega põhjustab käiviti mähise (harvemini mootori enda) vooluringis asuva kontakti avanemise.

Tutvume nüüd lähemalt mõnede enamkasutatavate termoreleede ehituse ja omadustega.



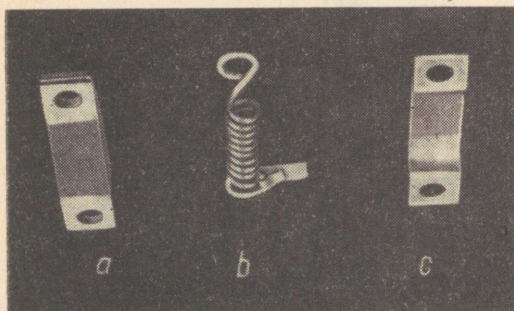
Joon. 40. Ühefaasiline

relee PT:

1 — bimetallvedru; 2 — küttekeha; 3 — pöördlink; 4 — isoleermaterjalist liist; 5 — kontaktid; 6 — ennistusnupp; 7 — reguleerimishoob; 8 — ennistusnupu vedru

Releed PT. Ühefaasilisi releesid kasutatakse põhiliselt vanemates Π -tüüpi magnetkäivitites. Kuigi need releed on viimasel ajal uuematüübilistes magnetkäivitites välja tõrjutud paremate termoreleede poolt, näiteks TPI, TPH, TPA, on siiski otstarbekohane tutvuda PT-tüüpi releedega pisut lähemalt, kuna neid esineb majandites veel üsna suurel arvul. Relee PT ehitust näitab joonis 40. Kaudselt köetavale bimetalvedrule 1 kandub soojus küttekehalt 2. Küttekeha on takistussulamist, nõrgematele vooludele spiraali- (joon. 41, *b*), tugevamatele vooludele latikujuline (joon. 41, *a* ja *c*). Tingituna metallide erinevast soojuspaisumisest bimetalvedru paindub ja vabastab lingi 3, mis traatvedru jõul pöördudes avab isoleerliistu 4 abil juhtvooluringis sisalduva kontaktipaari 5. Kontaktide taasalgemiseks tuleb vajutada ennistusnupule 6. Kui bimetalvedru on pärast relee rakendumist jahtunud sedavõrd, et lingi 3 ots haakub uuesti bimetalvedru vaba otsa taha, jäävad kontaktid peale ennistusnupule vajutamist suletuks. Nii mootori mähiste kuumenemise kui ka relee taaskrakendumise vältimiseks korduval käivitamisel ei ole soovitatav mootorit uuesti käivitada enne 3...4 minuti möödumist. Ennistusnupp tõuseb pärast vajutamist algasendisse vedru 8 jõul.

Relee rakendusvoolu ja aega saab mõningal määral reguleerida hoova 7 abil. Hoova 7 pööramisel nihkub lingi 3 telg bimetalvedru vaba otsa suhtes nii, et lingi vabastamiseks on vaja bimetalvedru suuremat või väiksemat läbipaindumist. Hoova pööramisel ennistusnupule lähemale rakendusvool väheneb ja vastupidi. Põhiliselt määratakse rakendusvool küttekeha sobiva valikuga.



Joon. 41. Ühefaasilise rele PT küttekehi

Tuleb tähelepanu juhtida ka PT-tüüpi releede mõnedele puudustele. Kaudse kütte tõttu võib tugevate voolude korral küttekeha enne läbi põleda kui relee jõuab rakenduda (eriti kui keskkonna temperatuur on madal). Sellest tingituna on bimetallvedru töötemperatuur võrdlemisi madal (alla 100 °C). See omakorda tingib suure sõltuvuse ümbruse temperatuurist. Nimelt põhjustab kümneprotsendine ümbruse temperatuuri muutus umbes kümneprotsendise rakendusvoolu muutuse. Madal töötemperatuur teeb raskeks ka reguleerimise kasutamise, mistõttu tuleb kasutada suurt arvu vahetatavaid küttekehi (tabel 14).

Tabel 14

Kütte- keha nr.	Kaitstava mootori nimivool A		
	Ühefaasiline relee PT-1	Kahefaasiline relee PT-1	
		katteta	kattega
1	2	3	4
1	0,64 ... 0,72	0,40 ... 0,43	0,33 ... 0,35
2	0,73 ... 0,79	0,44 ... 0,47	0,37 ... 0,39
3	0,80 ... 0,89	0,49 ... 0,52	0,41 ... 0,43
4	0,90 ... 0,99	0,54 ... 0,57	0,45 ... 0,47
5	1,00 ... 1,10	0,59 ... 0,62	0,49 ... 0,51
6	1,11 ... 1,20	0,65 ... 0,68	0,54 ... 0,56
7	1,21 ... 1,30	0,73 ... 0,76	0,60 ... 0,63
8	1,31 ... 1,40	0,79 ... 0,84	0,66 ... 0,69
9	1,41 ... 1,50	0,87 ... 0,92	0,72 ... 0,76
10	1,51 ... 1,70	0,97 ... 1,02	0,80 ... 0,86
11	1,71 ... 1,90	1,06 ... 1,12	0,89 ... 0,95
12	1,91 ... 2,10	1,16 ... 1,24	0,97 ... 1,05
13	2,11 ... 2,30	1,28 ... 1,36	1,10 ... 1,15
14	2,31 ... 2,50	1,41 ... 1,49	1,20 ... 1,25
15	2,51 ... 2,70	1,56 ... 1,64	1,35 ... 1,40
16	2,71 ... 2,90	1,72 ... 1,82	1,50 ... 1,55
17	2,91 ... 3,30	1,90 ... 1,98	1,60 ... 1,70
18	3,31 ... 3,60	2,08 ... 2,18	1,80 ... 1,85
19	3,61 ... 3,90	2,31 ... 2,42	1,95 ... 2,05
20	3,91 ... 4,20	2,42 ... 2,55	2,05 ... 2,15
21	4,21 ... 4,70	2,55 ... 2,65	2,15 ... 2,25
22	4,71 ... 5,20	2,68 ... 2,80	2,25 ... 2,40
23	5,21 ... 5,80	2,83 ... 2,95	2,40 ... 2,50
24	5,81 ... 6,30	2,95 ... 3,06	2,50 ... 2,60
25	6,31 ... 7,20	3,10 ... 3,25	2,60 ... 2,75
26	7,21 ... 8,00	3,25 ... 3,40	2,75 ... 2,90
27	8,01 ... 8,90	3,40 ... 3,60	2,90 ... 3,00
28	8,91 ... 9,70	3,60 ... 3,80	3,00 ... 3,20

Tabel 14 (järg)

1	2	3	4
29	9,71 ... 10,70	3,80 ... 4,00	3,20 ... 3,35
30	10,71 ... 11,60	4,00 ... 4,15	3,35 ... 3,50
31	11,61 ... 12,80	4,15 ... 4,35	3,50 ... 3,65
32	12,81 ... 13,80	4,35 ... 4,60	3,65 ... 3,80
33	13,81 ... 15,20	4,60 ... 4,80	3,80 ... 4,05
34	15,21 ... 16,80	4,80 ... 5,10	4,05 ... 4,25
35	16,81 ... 18,30	5,10 ... 5,35	4,25 ... 4,50
36	18,31 ... 20,00	5,35 ... 5,65	4,50 ... 4,75
37	—	5,65 ... 5,90	4,75 ... 4,95
38	—	5,90 ... 6,20	4,95 ... 5,20
39	—	6,20 ... 6,50	5,20 ... 5,45
40	—	6,50 ... 6,80	5,45 ... 5,70
41	—	6,80 ... 7,10	5,70 ... 5,90
42	—	7,10 ... 7,55	5,90 ... 6,30
43	—	7,55 ... 7,90	6,30 ... 6,60
44	—	7,90 ... 8,25	6,60 ... 6,95
45	—	8,25 ... 8,70	6,95 ... 7,30
46	—	8,70 ... 9,15	7,30 ... 7,70
47	—	9,15 ... 9,50	7,70 ... 8,00
48	—	9,50 ... 10,10	8,00 ... 8,30
49	—	10,10 ... 10,60	8,30 ... 8,70
50	—	10,60 ... 11,10	8,70 ... 9,15
51	—	11,10 ... 11,70	9,15 ... 9,60
52	—	11,70 ... 12,20	9,60 ... 10,00
53	—	12,20 ... 12,80	10,00 ... 10,50
54	—	12,80 ... 13,50	10,50 ... 11,10
55	—	13,50 ... 14,20	11,10 ... 11,70
56	—	14,20 ... 14,80	11,70 ... 12,20
57	—	14,80 ... 15,60	12,20 ... 12,85
58	—	15,60 ... 16,40	12,85 ... 13,50
59	—	16,40 ... 17,30	13,50 ... 14,20
60	—	17,30 ... 18,10	14,20 ... 14,90
61	—	18,10 ... 18,90	14,90 ... 15,60
62	—	18,90 ... 19,90	15,60 ... 16,40
63	—	19,90 ... 20,90	16,40 ... 17,20
64	—	20,90 ... 21,80	17,20 ... 18,00
65	—	21,80 ... 23,10	18,00 ... 19,00
66	—	23,10 ... 24,20	19,00 ... 19,90
67	—	24,20 ... 25,30	19,90 ... 20,80

Teiseks oluliseks puuduseks on hõõrdumine bimetalvedru vaba otsa ja joonisel 40 näidatud lingi otsa vahel, mis omakorda vähendab relee töökindlust. Katsetamisel ilmnes, et mõnedel releedel oli hõõrdumine bimetalvedru terava serva ja lingi vahel niivõrd suur, et relee üldse ei rakendunud. Selle vea saab aga kõrvaldada bimetalvedru

ja lingi hõõrdepindade lihvimisega peene luisu või smirgel-paberiga.

Peale ühefaasiliste toodavad meie tehased ka kahefaasilisi PT-tüüpi releesid. Nende omadused, tunnusjooned (vt. joon. 39) ja puudused on enam-vähem samad, mis ühefaasilistel releedel, vahetatavate küttekehade arv aga sama voolude vahemiku jaoks veelgi suurem. Võrdluseks on tabelis 14 toodud andmed kahefaasiliste releede PT-1 küttekehade kohta.

Konstruksioonilt on ühe- ja kahefaasiliste PT-tüüpi releede küttekehad erinevad ja ei ole omavahel vahetatavad. Releede PT ja nende küttekehade kohta käsiraamatutes toodud andmed kehtivad ümbruse temperatuuril $+35^{\circ}\text{C}$. Kui ümbruse temperatuur on eelmärgitust erinev, tuleb see arvesse võtta eeldades, et temperatuuri langemisel 10 kraadi võrra alla $+35^{\circ}\text{C}$ suureneb rele rakendusvool umbes 10%. Kuna aga mootorite maksimaalselt lubatud töötemperatuuriks nimikoormusel on $+35^{\circ}\text{C}$, võib mootorit madalamal temperatuuril ka mõningal määral ülekoormata. Igal juhul on aga vaja enne töölerakendamist releed kontrollida. Relee loetakse töökorras olevaks, kui ta rakendub pärast umbes pooletunnist koormamist nimivooluga sellele järgnenud 1,2-kordse koormuse juures vähemalt kahekümne minuti vältel. Kontrollimise meetoditel peatutakse allpool.

Releed TPII ja TPM

Releesid TPII kasutatakse põhiliselt ПА- (ПАЕ-) tüüpi magnetkäivitites, samuti mitmesugustes elektriajamite juhtimiseks ettenähtud komplektseadmetes.

TPII-tüüpi releesid valmistatakse 4 suuruses: TPII-25, TPII-60, TPII-150 ja TPII-600, kus tüübitähises sisalduv arv näitab antud releetüübi nimivoolu amprites.

Tabelis 15 on toodud põhilised andmed releede TPII ja nende küttekehade kohta [32].

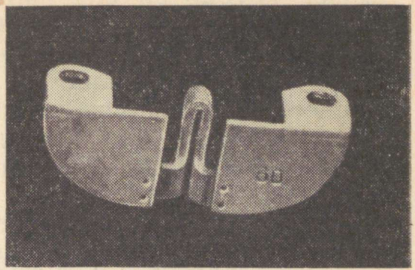
Releedel TPII-25 on lubatud seadevoolu reguleerimine piirides $(0,8 \dots 1,15) I_n$, ülejäänutel $(0,75 \dots 1,25) I_n$, välja arvatud releel TPII-150 küttekehaga 100 ja 120 A, kus reguleerimispiirkond on $(0,75 \dots 1,15) I_n$ ja küttekehaga 150 A, millise lubatav reguleerimispiirkond on $(0,75 \dots 1) I_n$.

Releed TPII-600 on komplekteeritud mittevahetatavate

Tabel 15

Relee tüüp	Küttekeha nimivool A	Küttekeha takistus temperatuuril 20 °C	Alumiiniumjuhtme minimaalne ristlõige relee primaarvoolu- ringi ühendamiseks, mm ²
ТПИ-25	1	3,74	2,5
	1,2	2,62	"
	1,5	1,59	"
	2	0,91	"
	2,5	0,617	"
	3	0,448	"
	4	0,257	"
	5	0,159	"
	6	0,112	"
	8	0,0655	"
	10	0,039	"
	12	0,0277	"
15	0,0182	"	
20	0,0117	4	
25	0,0079	6	
ТПИ-60	20	0,0104	4
	25	0,00815	6
	30	0,00625	10
	40	0,00422	16
	50	0,00332	25
	60	0,0025	25
ТПИ-150	50	0,0025	25
	60	0,002	25
	80	0,00145	50
	100	0,00103	50
	120	0,00082	70
	150	0,000585	70
ТПИ-600	150	—	20 × 3
	200	—	25 × 5
	250	—	30 × 4
	300	—	40 × 4
	400	—	40 × 5
	500	—	50 × 5
	600	—	60 × 6

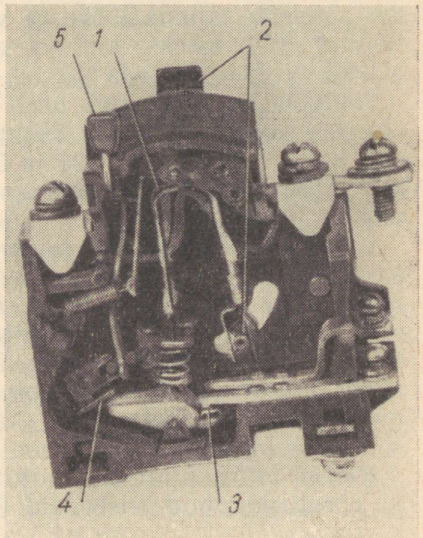
* Tabelis on toodud uuematüübiliste (moderniseeritud) küttekehade keskmine takistus. Vanematüübiliste, enne 1.07.65. toodetud küttekehade keskmine takistus on mõne protsendi võrra suurem. Toodud keskmisest suurusest on lubatud kõrvalekaldumine ligilähedasetl 5... 10% piirides, sõltuvalt küttekehast.



Joon. 42. Relee TPI küttekeha nimivoolule 60 A

voolutraansformaatoritega. Küttekeha materjaliks on releedel TPI-25 nikroomtraat mark X15H60 (ГОСТ-2238-58), teistel sama marki materjalist lint (joon. 42).

Relee TPI võib olla iseennistuv või käsitsi ennistatav, vajutades vastavale ennistusnupule (vt. joon. 43). Samuti võib relee kontakt olla avanev (normaalselt suletud) või sulguv (normaalselt avatud). Tavalise tähistuse korral (näit. TPI-25) on releel avanev kontakt ja relee on iseennistuv. Täht P tüübitähise lõpus viitab asjaolule, et relee on avaneva kontaktiga käsitsi ennistatav (näit. TPI-25P). Releed TPI-25K, TPI-60K jne. aga on iseennistuvad releed sulguva kontaktiga.



Joon. 43. Relee TPI-60:
 1 — bimetalvedru; 2 — reguleerimishoob; 3 — kontaktid;
 4 — ümberseatav tugi; 5 — ennistusnupp

Relee TPII-25 on ette nähtud töötamiseks keskkonna temperatuuridel $-10 \dots +40^{\circ}\text{C}$, releed TPII-60, TPII-150 ja TPII-600 temperatuuridel $-40 \dots +40^{\circ}\text{C}$.

Tabelites ja käsiraamatutes releede TPII kohta toodud rakendusvoolud kehtivad keskkonna temperatuuril $+40^{\circ}\text{C}$. Selle muutumisel 10 kraadi võrra ei tohi relee TPII-25 rakendusvoolu muutus ületada 6%, teistele nimivooludele ettenähtud releedel 5%.

Eeltoodud keskkonna temperatuuril ei tohi küttekeha temperatuur ületada 300°C , kuna aga bimetallvedru temperatuur ei tohi olla releel TPII-25 üle 165°C , teistel tüüpidel üle 235°C .

Releede omatarve nimivoolu korral on järgmistes piirides:

- releel TPII-25—4,5 ... 5,7 W,
- releel TPII-60—5,7 ... 10 W,
- releel TPII-150—8,1 ... 14,5 W,
- releel TPII-600—7 W.

Peale eeltoodute tuleb releede kasutamisel silmas pidada veel järgmisi nõudeid. Keskkonna suhteline niiskus ei või ületada 90% temperatuuril 20°C ja 50% temperatuuril 40°C . Keskkond ei tohi olla plahvatusohtlik, sisaldada suuremal hulgal tolmu, agressiivset gaasi või auru.

Relee peab olema kaitstud vee, õli ning otsese päikese kiirguse eest. Relee ei ole ette nähtud tööks tingimustes, kus ta peab taluma lööke ja vibratsiooni. Relee on ette nähtud töötamiseks kindlas asendis. Kõrvalekaldumine sellest ei tohi ületada 10° .

Juhtvooluringide pinged peab olema 24 ... 500 V.

Relee kontaktide poolt lahutatav vahelduvvool ei või olla üle 6 A releel TPII-25 ja üle 10 A suurematel tüüpidel. Alalisvoolule on lubatavad tugevused pingel 220 V vastavalt 0,25 ja 0,5 A.

Tähelepanu: Kui tellimisel ei ole märgitud vajaliku küttekeha numbrit, varustatakse relee tüübi maksimaalsele voolule ettenähtud küttekehaga. Nii varustatakse releed TPII-25 25 A küttekehadega, releed TPII-60 60-ampristega jne. Kuna aga käiviteid kasutatakse mootoritele mitmesuguste nimivooludega, on majandites enamus TPII-tüüpi releedega «kaitstud» mootorid praktiliselt ilma kaitseta.

Releed TPM kujutavad endast releede TPII vibratsiooni- ja põrutuskindlaid teisendeid [33].

Releed TPH

Releesid TPH valmistatakse nimivoolule 0,32...40 A ning neid kasutatakse uuemates käivitites ПА-300, ПМИ, ПМЕ j.m.

Andmed TPH-tüüpi releede ja nende küttekehade kohta on toodud tabelis 16 [34].

Releed TPH-8A, TPH-8, TPH-20 ja TPH-32 kõrvaldatakse tootmisest.

Releede TPH küttekehade nimivoolud kehtivad keskkonna temperatuuril $+20^{\circ}\text{C}$ regulaatori asendi «0» korral. Keskkonna temperatuuri muutumisel 10 kraadi võrra ei ületa rakendusvoolu muutus 3% relee seadevoolust.

Releedel TPH-8A ja TPH-10A saab seadevoolu reguleerida piirides (0,8...1,25) I_n , ülejäänutel (0,75...1,3) I_n , kusjuures maksimaalselt võib reguleerimisvõimalust ära kasutada kuni 1,25-kordse nimivooluni. Releedel TPH-8, TPH-10, TPH-20, TPH-25, TPH-32 ja TPH-40 võib suurima küttekeha korral seadevoolu maksimaalselt reguleerida kuni 1,05 I_n -ni.

Küttekehad on samuti valmistatud nikroomist (mark X15H60) nagu releedel ТПИ. Küttekeha temperatuur ei tohi ületada 300°C ning bimetalvedru temperatuur 200°C . Relee on varustatud temperatuurikompensatsiooniga, millest on tingitud ka relee rakendusvoolu väike sõltuvus keskkonna temperatuurist. Releel on normaalselt käsitsi ennistatav avaney kontakt.

TPH-tüüpi releede ühe pooluse omatarve nimivoolu korral on 2...6 W.

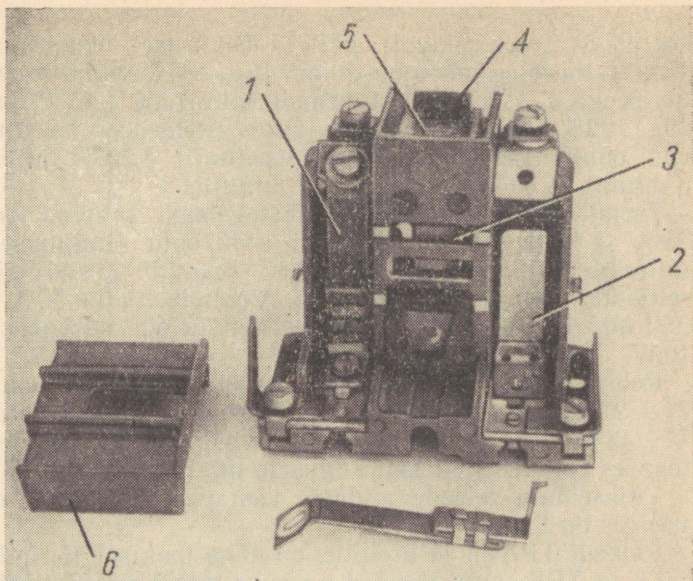
Releede TPH kasutamisel tuleb täita veel järgmisi nõudeid.

Keskkonna temperatuur peab olema $-40...+40^{\circ}\text{C}$. On lubatud töötamine keskkonna temperatuuril kuni $+60^{\circ}\text{C}$, kuid siis on maksimaalselt lubatav töövool väiksem.

Keskkonna suhteline niiskus ei tohi ületada 90% temperatuuril $+20^{\circ}\text{C}$ ja 50% temperatuuril $+40^{\circ}\text{C}$. Nagu releed ТПИ ei tohi ka releed TPH töötada plahvatusohtlikes, tolmustes ja sööbivate aurude ning gaasidega ruumides. Vältida tuleb lööke ja tugevat vibratsiooni (kiirendustel üle 0,7 g). Releesid TPH tuleb hoida vee, õli ja otsese päikesekiirguse eest. Juhtvooluringide pinged olgu 24...500 V. Kontaktid võivad lahutada kuni 6 A vahelduvvoolu pingel 500 V ja 0,25 A alalisvoolu pingel 220 V.

Tabel 16

Relee tüüp	Relee nimivool A	Küttekeha nimivool A	Küttekeha nimistakistus temperatuuril 20 °C	Alumiiniumjuhtme minimaalne ristlõige relee primaarvooluringi ühendamiseks mm ²
TPH-8A TPH-10A	3,2	0,32	16,9	2,5
		0,4	10,7	"
		0,5	6,8	"
		0,63	4,26	"
		0,8	2,7	"
		1	1,675	"
		1,25	1,055	"
		1,6	0,645	"
		2	0,425	"
		2,5	0,265	"
3,2	0,165	"		
TPH-8 TPH-10	10	0,5	17,6	2,5
		0,63	11,1	"
		0,8	6,9	"
		1	4,37	"
		1,25	2,8	"
		1,6	1,72	"
		2	1,1	"
		2,5	0,725	"
		3,2	0,44	"
		4	0,28	"
		5	0,183	"
6,3	0,115	"		
8	0,074	"		
10	0,048	"		
TPH-20 TPH-25	25	5	0,183	2,5
		6,3	0,115	"
		8	0,074	"
		10	0,048	"
		12,5	0,0282	"
		16	0,0177	4
		20	0,0122	"
		25	0,009	" (6)
TPH-32 TPH-40	40	12,5	0,0282	2,5
		16	0,0177	4
		20	0,0122	4
		25	0,009	6
		32	0,0056	10
		40	0,0035	10



Joon. 44. Relee TPH-20:

1 — küttekeha; 2 — bimetallvedru; 3 — termokompensaator; 4 — ennistusnupp; 5 — reguleerimiskruvi; 6 — kate

Samuti nagu releed TPII varustatakse ka TPH-tüüpi releed tehases väljalaskmisel antud releetüübi maksimaalvoolule ettenähtud küttekehaga (kui tellimistes ei ole märgitud küttekeha numbrit).

Relee TPH-20 on kujutatud joonisel 44.

Releed TPA ja TPB.

Releed TPA ja TPB on kombineeritud küttega ja teineteisele sarnase konstruktsiooniga. Küttekehade ja bimetalvedrude konstruktsiooni ja lülituse erinevuse tõttu on relee TPA rakendumisaeg sama nimivoolu kordsuse juures tunduvalt pikem. Seega on releed TPA ette nähtud raskematele, TPB kergematele käivitustingimustele. Erinevalt teistest releetüüpidest on releedes TPA ja TPB ümbruse nimitemperatuuriks $+20^{\circ}\text{C}$. Sel temperatuuril peab relee TPA soojast olekust (peale kestvat koormamist nimivooluga) rakenduma kaheksakordse nimivoolu korral 2...4 sekundi kestel, relee TPB — 2,5-kordse nimivoolu

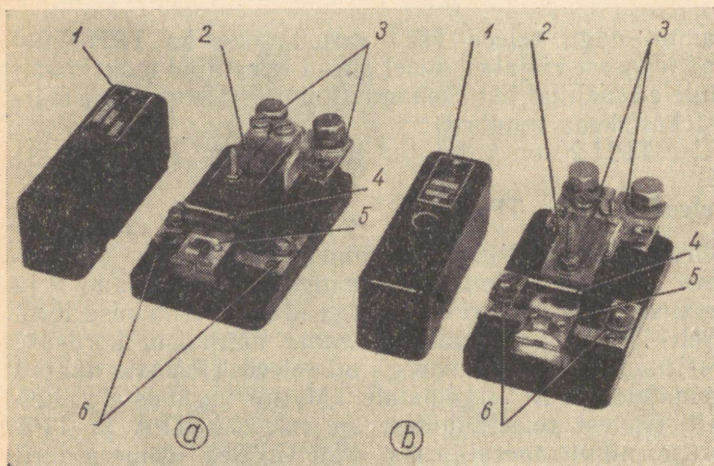
korral 5...12 sekundi vältel. Ümbruse temperatuuril $+50^{\circ}\text{C}$ on relee rakendumisvool 12...15% väiksem (muutus seega 4...5% iga 10 kraadi kohta) ja -40°C juures 20...22% suurem kui 20°C juures. Releed on iseennistuvad: ennistusaeg ümbruse temperatuuril $+20^{\circ}\text{C}$ mitte üle 3 minuti, $+50^{\circ}\text{C}$ juures 5...7 minutit.

Termilise vastupidavuse seisukohast taluvad releed TPA ja TPB 12...15-kordset nimivoolu tingimusel, et lülitusseade katkestab selle 0,15 sekundi kestel pärast relee kontakti avanemist [35]. Vooludele alla 50 A ettenähtud releede TPA omatarve on 12 W, releedel TPB 10 W.

Releesid TPA valmistatakse 23 suuruses nimivooludele 7...215 A ja releesid TPB 20 suuruses nimivooludele 7...200 A. Iga suuruse relee võib vastavalt tellimisele olla tehases reguleeritud kahesugusele nimivoolule.

Väiksemate releede andmed vastavalt tüübile ja nimivoolule on toodud tabelis 17.

Releede TPA ja TPB ehitus on näha joonisel 45. Releede TPA ja TPB tunnusjooned on koos mõnede teiste releede tunnusjoontega toodud joonisel 39.



Joon. 45. Releed TPA (a) ja TPB (b):

1 — kate; 2 — bimetalvedrude ja küttekehade pakett; 3 — peavooluringi klemmid; 4 — lehtvedru; 5 — juhtimisvooluringi kontaktid; 6 — juhtimisvooluringi klemmid

Releed TPA		Releed TPB	
Tüüp	Nimivool A	Tüüp	Nimivool A
TPA-7	7 ja 7,5	TPB-7	7 ja 7,5
TPA-8	8 ja 8,5	TPB-8,5	8,5 ja 9
TPA-9	9 ja 10	TPB-10	10 ja 11
TPA-10,5	11	TPB-12	12 ja 13
TPA-12	12 ja 13	TPB-14	14 ja 15
TPA-14	14 ja 15	TPB-16,5	16,5 ja 18
TPA-16,5	16,5 ja 18	TPB-19,5	19,5 ja 21
TPA-20	19,5 ja 21	TPB-22	23 ja 25
TPA-23	23 ja 25	TPB-26	27 ja 29
TPA-27	27 ja 29	TPB-30,5	31 ja 33
TPA-31	31 ja 33	TPB-36	36 ja 40
TPA-34	35		
TPA-38	38 ja 41		
TPA-44	44 ja 48		

Releed TPT ja TPTII

Valmistatakse nimivoolule 1,75...600 A. Nende tähistus on eespool vaadeldud uuematest releedest pisut erinev ning ei sisalda relee nimivoolu iseloomustavat numbrit. Releed TPTII kujutavad endast releede TPT üldtööstuslikku varianti.

Andmed releede TPTII kohta on toodud tabelis 18 [36].

Releede reguleerimispiirkond on üldreeglina (0,85... ..1,15) I_n , kuid mõningate küttekehade korral pole seda lubatud kasutada. Nii näiteks on releele TPTII-137 ($I_n = 56$ A) kestvalt lubatud 1,07-kordne nimivool (60 A), releele TPTII-138 — 1,05 I_n ja releele TPTII-139 koguni 1,02 I_n .

Releed TPTII on kas iseennistuvad või käsitsi ennistatavad. Viimasel juhul on nende tähise lõpus täht P. Näiteks on relee TPTII-111 iseennistuv, TPTII-111P — käsitsi ennistatav. Releel on üks, rakendumisel avanev kontakt. Nõuded keskkonna ja paigutuse suhtes on ligilähedaselt samad, mis releedel TPII. Keskkonna temperatuuri muutumisel 10 kraadi võrra (aluseks +40 °C) ei muutu rakendusvoolu väärtus üle 4%.

Releede TPTII omatarve nimivoolu korral ei ületa 3,6...4 W tüübil TPTII-110, 4,5...6,9 W tüübil TPTII-

Tabel 18

Relee tüüp	Relee nimi- vool	Relee tähistus	Küttekeha nimivool* A	Küttekeha nimi- takistus Ω	Alumiiniumjuhtme minimaalne rist- lõige relee primaar- vooluringi ühenda- miseks mm ²
TRTP-110	7	TRTP-111	1,75	0,975	2,5
		TRTP-112	2,5	0,5	"
		TRTP-113	3,5	0,25	"
		TRTP-114	5	0,13	"
		TRTP-115	7	0,067	"
TRTP-120	11,5	TRTP-121	9	0,0462	2,5
		TRTP-122	11,5	0,0445	"
TRTP-130	90	TRTP-131	14,5	0,0279	2,5
		TRTP-132	18	0,01595	4
		TRTP-133	22	0,01394	4
		TRTP-134	28	0,00962	6
		TRTP-135	35	0,00605	10
		TRTP-136	45	0,00406	16
		TRTP-137	56	0,00304	16
		TRTP-138	71	0,00229	25
		TRTP-139	90	0,001545	35
TRTP-140	140	TRTP-141	110	0,00145	50
		TRTP-142	140	0,000875	70
TRTP-150	550	TRTP-151	155	—	16×3
		TRTP-152	190	—	20×3
		TRTP-153	230	—	25×3
		TRTP-154	285	—	30×4
		TRTP-155	360	—	40×4
		TRTP-156	450	—	40×5
		TRTP-157	550	—	50×5

* Küttekehade nimivoolud kehtivad regulaatori nullasendi korral keskkonna temperatuuril +40 °C.

120, 6,9...13,8 W tüübil TRTP-130, 15,4...19 W tüübil TRTP-140 ning 7,5 W tüübil TRTP-150.

Releed TRTP-150 valmistatakse komplektis mittevahetatavate voolutransformaatoritega.

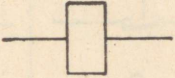
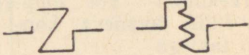
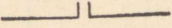
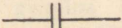
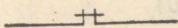
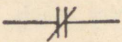
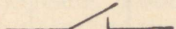



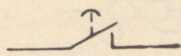
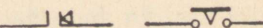
23. Mootorite kaitselülitusi termoreleedega

Peale releede konstruktsiooni ja omaduste tundmise on vaja osata ka neid õigesti lülitada mootorite ja nende käivitus- ning juhtimisseadmete voluringidesse. Mootori, selle juhtimis- ja kaitseseadmete paigutuse joonist voluringis nimetatakse seadme lülituskeemiks. Seadmed, sagedamini aga nende elektrilisest seisukohast olulisemad detailid ja sõlmed tähistatakse lülituskeemil vastavate tingmärkidega.

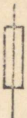
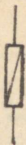
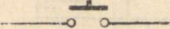
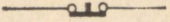

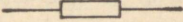
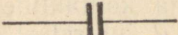

Enne lülituskeemide juurde asumist tutvume mõnede lülitustes enamesinevate detailide ja sõlmede tingmärki- dega, mis on toodud tabelis 19.

Praegu kehtivad ГOCT 7624-62-kohased tingmärgid. Kuna aga rööbiti nendega kasutatakse ka vanemaid (vanemas kirjanduses, käivitite informatsioonilehtedel jne.), siis on nimetatud tabelis toodud ka need.

Tabel 19

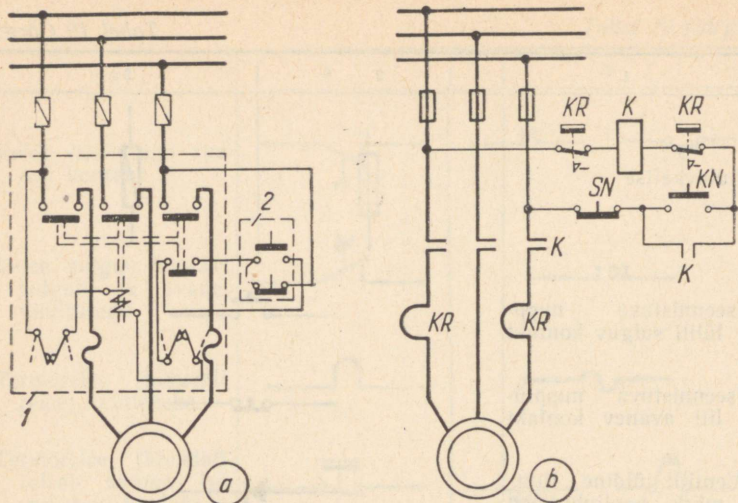
Nimetus	ГОСТ 7624-62- kohane tingmärk	Varemkasutatud tingmärke
1	2	3
Kontaktori (käiviti) mähis		
Kontaktori (käiviti) sulguv kontakt		
Kontaktori (käiviti) avanev kontakt		
Relee sulguv kontakt		
Relee avanev kontakt		
Relee viivitusega sul- guv kontakt		

1	2	3
Relee viivitusega ava- nev kontakt		
Relee sulguv kontakt, sulgub ja avaneb viivitusega		
Termorelee (bimetall- relee) küttekeha		
Termorelee (bimetall- relee) avanev ise- ennistuv kontakt		
Termorelee (bimetall- relee) avanev, kä- sitsi ennistatav kon- takt		
Teekonna- või lõpp- lüli avaneva kon- taktiga		
Teekonna- või lõpp- lüli sulguva kon- taktiga		
Pingerelee mähis		
Voolurelee mähis		
Termotakisti (termis- tor)		

1	2	3
Sulavkaitse		
Iseennistuva nupplülitit sulguv kontakt		
Iseennistuva nupplülitit avanev kontakt		
Ventiili üldine tingmärk, pooljuhtdiod		
Takisti (resistor)		
Kondensaator		
Pooljuhttriiod (transistor)		

Sõltuvalt otstarbest ja üksikosade paigutusest võib teha vahet mitmesuguste skeemide vahel. Näiteks eristatakse montaažiskeeme ja koondatud ning laotatud põhimõtteskeeme. Montaažiskeemidel vastab üksikosade ja juhtmete paigutus tegelikkusele. Koondatud põhimõtteskeemidel erineb üksikosade paigutus tegelikust paigutusest, kuid iga osa kõik lülid (näiteks releede mähised ja kontaktid) paiknevad koos. Laotatud põhimõtteskeemidele on seevastu kõik üksikosad paigutatud laiali selliselt, et skeem oleks hõlpsasti loetav.

Et näidata üksikute elementide omavahelist kokkukuvulust, tuleb nende tähistamiseks kasutada ühiseid skeemitähiseid. Käesolevas raamatus on kasutatud näiteks käi-



Joon. 46. Elektrimootori juhtimis- ja kaitaselülitus:
a – skeem kujul, nagu see esineb II-tüüpi magnetkäivite informatsioonilehtedel (*1* – käiviti, *2* – surunupud); *b* – sama skeem laotatud kujul

viti mähise ja kontaktide tähistamiseks tähte *K*, kaitseleel tähti *KR*, juhtreleel *JR*, ennistusreleel *ER*, igasugusel muudel releedel *R*, kusjuures, et vajaduse korral vahet teha erinevate releede vahel, on releed tähistatud veel numbriga *1R*, *2R* jne. Tähega *R* on veel märgitud lülitusskeemides esinevad takistid. Vahetegemiseks aga kasutatakse takistite puhul numbreid indeksitena *R*₁, *R*₂ jne. Skeemides ettetulevad kondensaatorid on märgitud tähega *C*, käivitusnupp tähtedega *KN*, seiskamisnupp tähtedega *SN*. Ülejäänud tähiste tähendus on igal konkreetsel juhul antud joonise allkirjas.

Joonisel 46, *a* on toodud mootori kaitaselülituse koondatud põhimõtteskeem käsitsi ennistatavate releedega kujul, nagu see esineb vanemate (näit. II-tüüpi) magnetkäivitega kaasasolevatel informatsioonilehtedel. Osaliselt on siin kasutatud vanu tingmärke, osaliselt koguni (käiviti südamik ja kontaktid) piltlikku kujutamist. Skeem on võrdlemisi lihtne ja selle lugemine ka koondatud kujul ei valmista raskusi. Mootori käivitamine ja seiskamine toimub käsitsi nupplülititega.

Joonisel 46, *b* on sama lülituse laotatud põhimõtteskeem uute tingmärkidega. Skeemi lugemine on siin veel lihtsam.

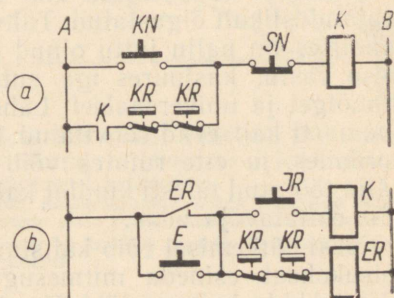
Kaitserleede *KR* küttekehad on lülitatud mootori peavooluringi, kontaktid aga magnetkäiviti *K* mähise vooluringi. Liigkoormuse puhul kaitserelee *KR* kontaktid avanevad ja nende taassulgemiseks tuleb vajutada magnetkäiviti kaanel asuvale nupule, mis omakorda annab surve edasi relee või releede ennistusnuppudele (pos. 6 joonisel 40, pos. 5 joonisel 43, pos. 4 joonisel 44). Mootori käivitamine on võimalik alles pärast kaitserelee kontaktide sulgemist.

Et skeemi veelgi lihtsustada, jäetakse kaitse- ja automaatskeemidel sageli peavooluringid välja joonistamata ning vaadeldakse ainult kaitse ja juhtimisvooluringe.

Joonisel 47, *a* kujutatud lülitust soovitatakse kasutada mootorite käsitsijuhtimisel nupplülititega, kui mootori kaitseks kasutatakse iseennistuvaid kaitserleesid *TPA*, *TPB* või mõne muu relee (näit. *ТПП*) iseennistuvat varianti. Kaitserelee *KR* kontaktid on koos magnetkäiviti blokk-kontaktidega *K* lülitatud rööbiti käivitusnupuga. Viimane moodus on eriti otstarbekohane releede *TPA* ja *TPB* kasutamisel, kuna neil puudub võimalus käsitsi ennistamiseks, ning antud lülitus võimaldab lihtsalt käivitusnupule vajutamiselega kontrollida, kas väljalülitamine oli tingitud kaitserelee töötamisest või mitte.

Joonis 47, *b* kujutab iseennistuva kaitserelee kontaktide lülitust elektrimootori automaatsel juhtimisel juhtrelee *JR* abil [37].

Et vältida rikkega mootori uuesti sisselülitamist juhtrelee kontaktide poolt kaitserelee *KR* kontaktide sulgemisel, kasutatakse nn. ennistusreleed. Kaitserelee rakendamisel katkeb ennistusrelee *ER* vooluring ja selle kontakt magnetkäiviti *K* hoidemähise vooluringis avaneb. Selle



Joon. 47. Elektrimootori kaitselülitus iseennistuva termoreleega:

a — käsitsi juhtimisel; *b* — automaatsel juhtimisel

taassulgumine on võimalik alles pärast kaitserelee kontaktide sulgumist ennistusnupule *E* vajutamisega.

Ruumipuudusel ei ole käesolevas raamatus võimalik ära tuua kõiki elektriajamite juhtimisskeemides esinevaid tingmärke. Ka riikliku standardi ametlik väljaanne [38] ei ole täielik, ning mootorite kaitsteskeemides võib kohata veel kombineeritud tingmärke. Näiteks skeemidel TPH-tüüpi kaitsereleedega kasutatakse kahte bimetallvedru tingmärki seotuna ühe kontakti tingmärgiga, kuna siin mõjutavad kaks bimetallvedru ühte kontakti. Samuti võib kohata ka mitmesuguseid muid kombinatsioone standardsetest tingmärkidest.

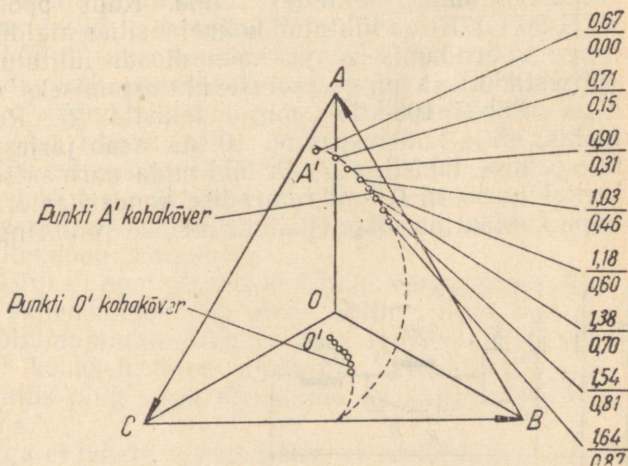
24. Kolmefaasiliste mootorite kaitseviise ühe faasi katkemisel

Nagu näitab mootorite rikete põhjuste analüüs nii meie vabariigis kui ka üleliidulises ulatuses, on faasi katkestus elektrimootorit toitvas võrgus üheks olulisemaks kolmefaasiliste asünkroonmootorite avariide põhjustajaks. Katkestuse kõige sagedamaks põhjuseks on kas vahetult mootori ees või ka kaugemal (mootori ja alajaama trafo vahel) mootori vooluringis asuva mõne kaitsme läbipõlemine. Esineb aga ka katkestusi lüliti või käiviti halva kontakti, juhtme katkemise jne. tõttu.

Kuigi eeskirjad lubavad erikaitset faasi katkemise vastu ainult tehniliselt ja majanduslikult põhjendatud juhtudel, on otstarbekohane siiski vaadelda kaitseviise faasi katkemise vastu, sest sageli on nende kasutamine kohapealsetest oludest tingituna (mõnede releede olemasolu, eriti suur mootorite avariide arv faasi katkemise tõttu) ka majanduslikult õigustatud. Tuleb märkida, et erialases kirjanduses on palju juttu olnud kaitseviisidest faasi katkemise vastu, kusjuures iga autor esitab oma skeemi kui ainuõiget ja universaalset. Lähem analüüs aga näitab, et enamasti kaitsevad soovitatud lülitused ainult teatud olukordades, ja ette rutates võib väita, et siiani pole veel välja töötatud täiesti kindlat kaitset, mis oleks ühtlasi lihtsalt ehitatav ja odav.

Faasi katkemisel võib kaitstava mootori ja kaitseadme seisukohast esineda mitmesuguseid olukordi. Katkestus võib tekkida kaitsme läbipõlemisel käivituse, liigkoormuse

või mööduva lühise tõttu. Kuid kaitsme läbipõlemisega võib kaasneda veel püsiv lühis (maaühendus) mootori klemmi-
 del või mootorit toitvas liinis. Katkestus võib aga toimuda
 ka alajaamas või eespool üksikute mootorite toiteliinide
 hargnemist, nii et katkemiskoha järel töötab rööbiti mitu
 asünkroonmootorit. Viimasel juhul on ühe mootori seisukohast tegemist ebasümmeetrilise toitega. Selle ebasüm-
 meetria määr sõltub nii vaadeldava mootori kui ka rööbiti
 töötavate mootorite võimsusest ja koormusest. Veel on olu-
 lise tähtsusega asjaolu, kas katkestus toimus enne mootori
 võrku lülitamist või mootori töö ajal. Kui katkestus toimus
 enne võrku lülitamist, moodustab vool kolmefaasilises moo-
 toris tähtühenduse korral kahes faasimähises umbes
 80...90% normaalsest käivitusvoolust. Mootor ei käivitu
 ja mähiste temperatuur tõuseb mõnekümne sekundi jooksul
 kõrgemale lubatud töötemperatuurist. Kui nüüd kaitse-
 seade mootorit võrgust ei lahuta, on tulemuseks mähiste
 isolatsiooni kiire riknemine. Tuleb märkida, et valdav ena-
 mik kaitseseadmeid, sageli ka õigesti valitud sulavkaits-
 med, on sellisel juhul võimelised mootorit välja lülitama
 õigeaegselt.



Joon. 48. Liinipingete muutumine sõltuvalt koormusest pöörleva lühisrootori korral 1,7-kilovatise asünkroonmootori klemmi- ja liinijuhnte A katkemisel.

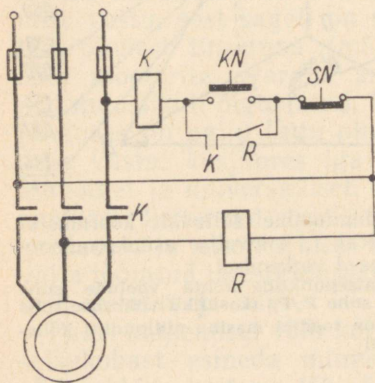
Joone peal on toodud katsepunktide kohta voolude suhe I/I_n , joone all võimsuste suhe P/P_n (kasuliku võimsuse suhe nimivõimsusega). Samuti on toodud masina nullpunkti kohakõver samadel koormustel

Hoopis keerukam on olukord, kui katkestus toimub mootori töötamise ajal.

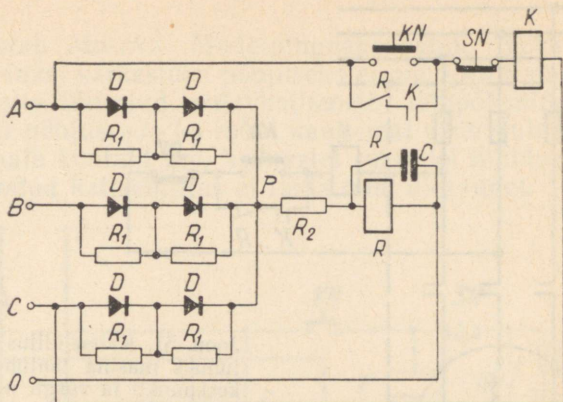
Joonisel 48 on näidatud pinge muutumine tähtühenduses 1,7-kilovatisel lühisrootoriga asünkroonmootori A-41-4 klemmidel sõltuvalt koormusest, kui töö ajal on katkenud faasijuhe A. Selgub, et isegi 80...90% koormusel on pinge pöörleva mootori klemmidel tervete ja katkenud faasi-juhtme vahel 240...320 voldi piires, mis on täiesti küllaldane, et hoida koos magnetkäiviti või väiksema ennistusteguriga relee kontakte. Vool aga ületab nimivoolu enam kui poolteisekordselt, mis võib juba mõne minuti jooksul tõsta vooluga mähiste temperatuuri lubatust kõrgemaks.

Siit selgub, miks mõnede autorite poolt [39] soovitatud ja joonisel 49 toodud skeemi ei saa pidada usaldatavaks. Sama kehtib ka kahe magnetkäiviti järjestikku lülitamise kohta hoidemähise toitmisel erinevatelt faasidelt.

Nii üleliidulises [40] kui ka eestikeelses [41] kirjanduses propageeriti joonisel 50 toodud skeemi. Siinjuures tahaks peatuda sellel skeemil pisut pikemalt, sest selles kasutatavad osad on võrdlemisi kergesti kättesaadavad ja seega ehitamine küllaltki lihtne. Kuus pooljuhtdiodi ДГЦ-26 (Д7Е) on lülitatud kolmefaasilise alaldina. Vastupinge vähendamiseks on kaks diodi lülitatud jadasse (järjestikku) ja pinge jaotuse ühtlustamiseks on diodidega rööbiti 100-kilo-oomised takistid R_1 . Relee PKM mähis, mille takistuseks on 10 k Ω , asub järjestikku 120-kilo-oomise takistiga R_2 ja läbi enda normaalselt avatud kontakti rööbiti 0,5-mikrofaradise kondensaatoriga. Relee teine kontakt on magnetkäiviti mähise vooluringis.



Joon. 49. Kaitselülitis faasi katkemise juhuks liinipingele lülitatud lisareleega R



Joon. 50. Kaitselülitus faasi katkestuse juhaks kolmefaasilise alaldiga:

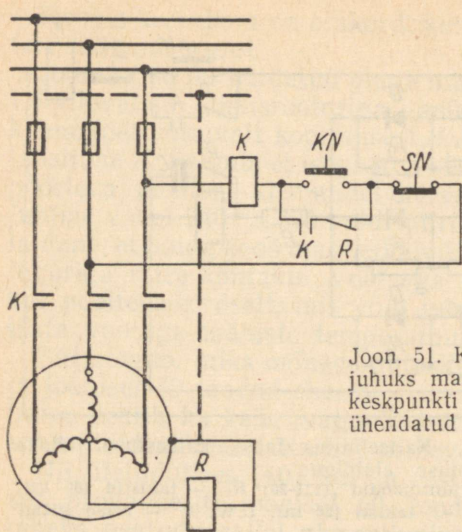
D — pooljuhtdiodid ДГЦ-26; R_1 — takistid 100 k Ω , 0,5 W; R_2 — takisti 120 k Ω , 1 W; R — relee PKM; C — kondensaator 0,5 μ F

Punkti P ja nulljuhtme vahel (kuhu on takistiga R_2 järjestikku ühendatud kaitserelee R) on pinge 260...270 V. Kui valida küllalt suure ennistusteguriga (0,85) relee, peab selle rakendamiseks masina katkenud faasiga ühendatud klemmi ja ülejäänud klemmide vaheline pinge (joonisel 48 $U_{CA'}$ ja $U_{A'B}$) olema mitte üle 270 voldi. See tähendab aga, et tähtühenduses pöörleva mootori kahes mähiseharus võib, ilma et kaitse rakenduks, kulgeda umbes 1,4...1,5-kordne nimivool, mis aga üsna kindlasti põhjustab nende mähiste isolatsiooni rikkumise.

Teisest küljest aga rakendub kaitse võrgupinge sümmeetrilisel vähenemisel 15% võrra. Selline pinge vähenemine on põllumajandusvõrkudes üsna igapäevane ja eeskirjade [2] kohaselt teiste mootorite käivitamisel isegi lubatud nähtus ning väga tõenäoline on kaitsme ebaõige rakendumine.

Eeltooduga ei taheta sugugi väita, et antud lülitus mootorit üldse faasi katkemise vastu ei kaitse. Soodsatel tingimustel võib ta töötada koguni üsna kindlalt, kuid eriti põllumajanduses, sageli aga ka tööstuses neid tingimusi ei esine. Kui selline kaitse on kord ehitatud, võib seda parema puudumisel ka kasutada, kuid selleks eraldi seadmeid hankida ei ole mõtet.

Analoogilisi puudusi esineb ka teistel faasi katkemise



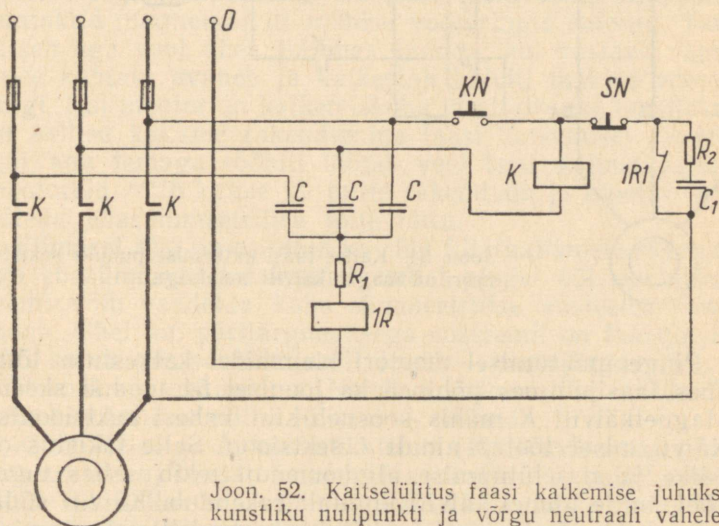
Joon. 51. Kaitselülitus faasi katkemise juhuks masina tähtühenduses mähiste keskpunkti ja võrgu nulljuhtme vahele ühendatud rele R abil

puhul kasutatavatel kaitsmetel. Vaatleme näiteks joonisel 51 toodud lülitust, kus pingerelee R (võib kasutada ka voolureleed) on ühendatud tähtühenduses masina nullpunkti ja võrgu nulljuhtme vahele. Pinge masina nullpunkti ja sümmeetriliselt koormatud võrgu nulljuhtme vahel võib muutuda piirides nullist (sümmeetrilisel koormusel) kuni 110 voldini (juhtme katkestus seisva rootori korral). Pöörleval masinal sõltub see koormusest (vt. joon. 48). Kui on olemas küllalt suurte reguleerimispiiridega rele, võib selline kaitse mootorit ka faasi katkemise vastu üsna kindlalt kaitsta. Nagu aga näitavad arvutused [42] ja ka praktika, võib võrgu ebasümmeetrilise koormuse või mootori mähiste ebasümmeetria tõttu esineda kaitsme valerakendumine.

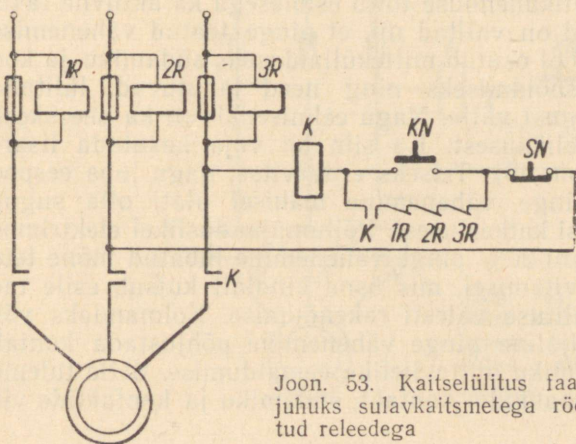
Nullpunkti nihkumisel faasi katkestuse korral põhineb ka joonisel 52 esitatud lülitus. Siin moodustatakse kondensaatorite C abil n. n. «kunstlik nullpunkt», milline ühe faasi katkestuse korral võrgu neutraali suhtes nihkub. Skeemi puudused on sarnased eelmisel skeemil (joon. 51) toodud kaitselülituse puudustega.

Joonisel 53 esitatud lülituses on releede mähised ühendatud mootori ees asuvate sulavkaitsmete klemmidega. Kaitsme läbipõlemisel saab rele mähis pinget ja käiviti pooli vooluringis olevad kontaktid ($1R, 2R, 3R$) avaneda. Samal põhimõttel töötavat kolmemähiselist $PO\Phi$ -tüüpi

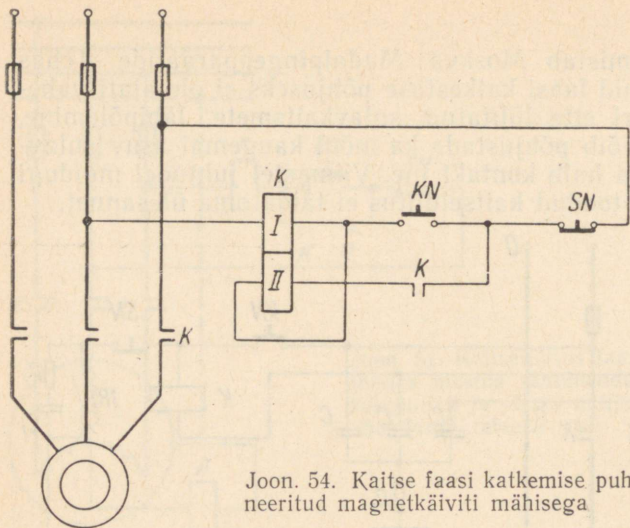
releed valmistab Moskva Madalpingeaparaatide Tehas (HBA). Kuid faasi katkestuse põhjuseks ei ole alati vahetult mootori ette lülitatud sulavkaitsmete läbipõlemine, vaid seda võib põhjustada ka mõni kaugemal asuv sulavkaitse, lüliti halb kontakt jne. Viimastel juhtudel muidugi joonisel 53 toodud kaitseülilitus ei täida oma ülesannet.



Joon. 52. Kaitseülilitus faasi katkemise juhuks kunstliku nullpunkti ja võrgu neutraali vahele lülitatud releega



Joon. 53. Kaitseülilitus faasi katkemise juhuks sulavkaitsmetega rööbiti ühendatud releedega



Joon. 54. Kaitse faasi katkemise puhuks sektsioneeritud magnetkäiviti mähisega

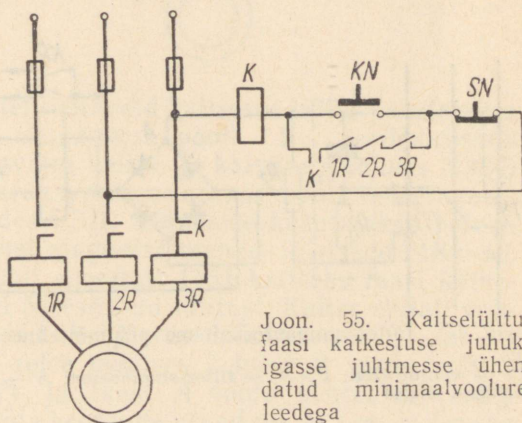
Pinge muutumisel mootori klemmidel katkestuse tõttu ühes faasisuhtmes põhineb ka joonisel 54 toodud skeem. Magnetkäiviti *K* mähis koosneb siin kahest sektsioonist. Käivitamisel töötab ainult *I* sektsioon. Selle takistus on väike ja sisselülitamise algmomendil tekib selles tugev vool, mille toimel käiviti kindlalt rakendub. Käiviti südamiku kokkutõmbumisel ja käivitusnupu *KN* vabastamisel väheneb vool mähises paljukordselt, sest südamiku kokkutõmbumisel suureneb mähise induktiivne takistus ja *II* sektsiooni järjestikühenduse tõttu esimesega ka aktiivne takistus. Mähised on valitud nii, et pinge teatud vähenemisel neid läbiv vool osutub mitteküllaldaseks südamiku ja kontaktide kooshoidmiseks ning need lahutuvad, lülitades mootori võrgust välja. Nagu eelmisedki, on ka see skeem kaugel täiuslikkusest. Ka siin on vaja kasutada lisareleid (vt. joon. 49). Teiseks ei tarvitse, nagu juba eespool mainitud, pinge vähenemine mähisel alati olla sugugi tingitud faasi katkestusest. Põllumajanduslikel elektrimootoritel on kuni 20% pinge vähenemine lubatud mõne teise mootori käivitamisel, mis üsna kindlalt kutsub esile taolise kaitseülituse valesti rakendumise. Kolmandaks võib selline lühiajaline pinge vähenemine põhjustada kontaktide ja südamiku mittetäieliku eemaldumise. Selle tulemusena tekib ebakindel kontakt, südamiku ja kontaktide vib-

reerimine, millele võib kaasneda nii kontaktide riknemine kui ka mähise läbipõlemine, kuna südamikuga ebatäieliku kokkutõmbumise tõttu mähise induktiivne takistus väheneb ning vool tugevneb. See voolu tugevnemine võib osutuda ebapiisavaks südamikuga uuesti kokkutõmbamiseks, kuid olla seejuures küllaldane mähise rikkumiseks.

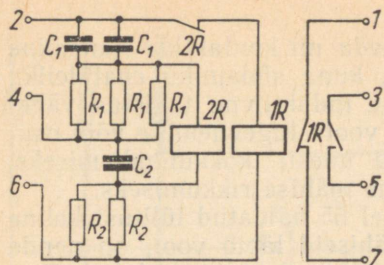
Edasi vaatleme veel joonisel 55 näidatud lülitust kolme voolureleega. Kui releede mähiseid läbib vool, on nende kontaktid magnetkäiviti mähise vooluringis suletud. Tarvitseb aga vool ühes juhtmes kaduda, kui vastava faasi rele kontakt avaneb ja katkestab käiviti mähise vooluringi. Kui mootor on katkemiskoha järel ainsaks tarbijaks, on sellise kaitsme rakendamine faasi katkemisel kindel. Kui aga temaga rööbiti töötab veel teisi kolmefaasilisi mootoreid, võib kaitsme ka mitte rakendada ja mootor läbi põleda ebasümmeetrilise toite tõttu.

Viimasel ajal on esitatud ka rida filterkaitsmete skeeme. Iga ebasümmeetrilist kolmefaasilist pinget- või voolusüsteemi võib vaadelda kahe sümmeetrilise süsteemi summana. Ühel nn. pärijärgnevusega süsteemil on faasijärjekord sama, mis põhisüsteemil, teisel — vastujärgnevusega süsteemil — vastupidine. Nende komponentide eraldamiseks kasutatakse erilisi lülitusi — filtreid.

Kiievi Relee- ja Automaatikatehas (Киевский завод реле и автоматики) toodab kaitsmaks faasi katkemise puhul releesid E-511. Selles relees on paigutatud ühise kesta sisse kaks klapptüüpi pingereleed ja vastujärgnevusega pingekom-



Joon. 55. Kaitselülitus faasi katkestuse juhaks igasse juhtmesse ühendatud minimaalvoolureleedega



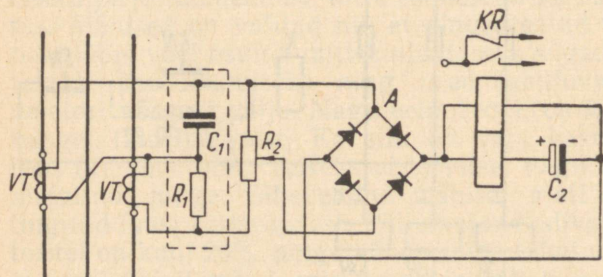
Joon. 56. Faasikatkestuse relee E-511 lülitus:

2, 4, 6 — võrguklemmid; 1—7 ja 3—5 kaitstava seadme juhtimisvooluringi ühendatavate kontaktide klemmid

ponendi filter. Joonisel 56 on toodud relee E-511 lülitus pingele 380 V. Filter koosneb aktiivtakistitest (R_1 , R_2) ja kondensaatoritest (C_1 , C_2). Filtri koormuseks on abirelee $2R$. Põhirelee $1R$ on ühendatud läbi abirelee normaalselt suletud kontaktide. Relee toitmisel sümmeetrilise pingega puudub pinge filtri väljundil. Relee $2R$ kontaktid on suletud ja relee $1R$ rakendunud. Toitmisel ebasümmeetrilise pingega relee $2R$ rakendub ning relee $1R$ ennistub. Releel on kaks kontaktipaari, üks normaalselt avatud, teine suletud.

Relee E-511 võrku lülitamisel on oluline teada faaside järjekorda. Võrgu faasijuhtmed A , B ja C tuleb ühendada vastavalt relee klemmidega 2, 4 ja 6.

Vastujärgnevusega voolukomponendiga töötavatest filterkaitsetest on kirjanduses [43, 44] laialdasemalt tutvustatud joonisel 57 toodud lülitust. Kaitsereleed KR toidetakse voolutrafodega VT ühendatud filtrist-summaatorist (R_1 , C_1) läbi sildlülituses alaldi A . Kaitsereleena kasutatakse kahe mähisega polariseeritud releed ПП-4,

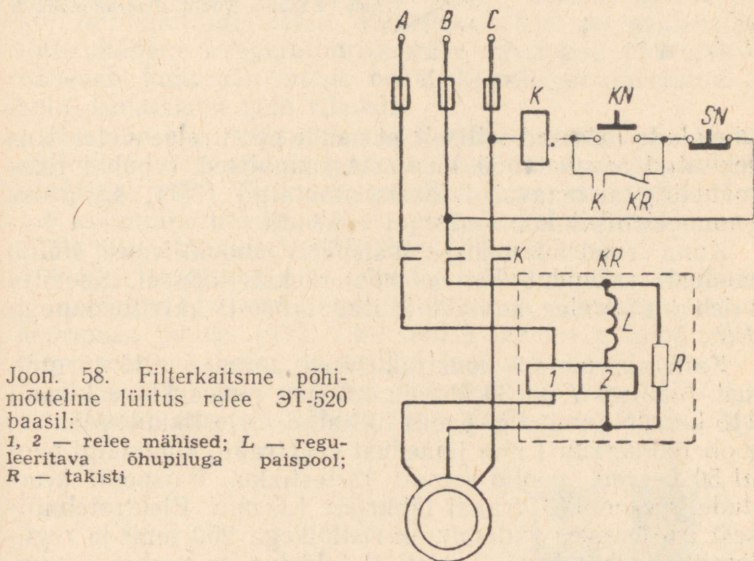


Joon. 57. Filtersummaatorkaitsme põhimõtteline lülitus:

VT — voolutrafod; C_1 — R_1 — filter-summaator; A — sildlülituses alaldi

mille ühe mähisega on järjestikku ühendatud elektrolüüt-kondensaator C_2 . See tagab vajaliku viivituse käivitamisel, sest relee ei rakendu enne, kui vool kondensaatoriga järjestikku ühendatud mähises on muutunud küllalt nõrgaks, s. t. kui kondensaator on laetud.

Kaitse töötab ka liigkoormusel, kuid tema tundlikkus vastujärgnevusega voolukomponendile on ligi neli korda suurem kui päripidisele komponendile, mistõttu faasi katkemisel ta rakendub tunduvalt kiiremini.

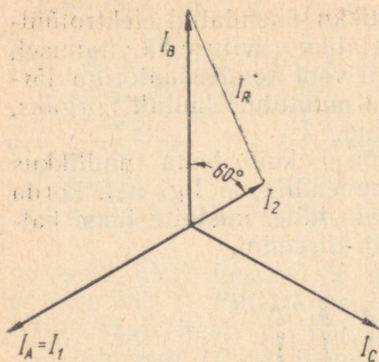


Joon. 58. Filterkaitsme põhimõtteline lülitus relee ЭТ-520 baasil:

1, 2 — relee mähised; L — reguleeritava õhupiluga paispool;
R — takisti

Toodud põhimõttel töötavaid kaitseadmeid kasutatakse tehase «Красный металлист» poolt 1,2... 8-kilovatistele mootoritele toodetavates kaitse- ja käivitusseadmes АЗЭБ ning trusti «Ювметаллургавтоматика» poolt toodetavates mootorikaitsereleedes РЗД. Viimastes kasutatakse polariseeritud relee asemel magnetvõimendit ja releed МКУ-48.

Allakirjutanu poolt soovitati [45] kaitseks faasi katkemise puhul joonisel 58 esitatud lülitust. Kaitse ehitati voolurelee ЭТ-520 baasil. Seejuures induktiivsuse ja takisti R abil tekitatakse relee mähises 2 faasi B voolu suhtes faasiniihe $\pi/3$ (60°) ja faasi A voolu suhtes π (180°) (joon. 59). Kui valida keerdude arvud nii, et $I_1\omega_1 = I_2\omega_2$ ja



Joon. 59. Joonisel 58 toodud kaitse vektordiagramm:

I_A, I_B, I_C — liinivoolude diagrammvektorid, I_R — takisti R läbiva voolu diagrammvektor, I_2 — relee mähist 2 läbiva voolu diagrammvektor

ühendada mähised selliselt, et nende poolt relee südamikus tekitatud magnetvood on vastassuunalised (voolud relee mähistes on omavahel faasis nihutatud 180°), siis relee sümmeetrilisel koormusel ei rakendu.

Kuna raudsüdamikuga paispooli induktiivsus sõltub voolust, rakendub kaitse mootori käivitamisel. Seetõttu tuleb kaitserelee kontakt lülitada rööbiti käivitusnupuga KN .

Kaitseeksplari konstruktiivsed andmed olid järgmised. Mähisel 1 on 30 keerdu 1,6 mm jämedust vasktraati (15 keerdu kummalgi poolil lülitatud järjestikku). Mähisel 2 on 100 keerdu 1 mm jämedust vasktraati, kummalgi poolil 50 keerdu, poolid samuti järjestikku. Paispooli keerude arv on 140, traadi läbimõõt 1,6 mm. Elektrotehnilisest lehtterasest südamik on ristlõikega 200 mm^2 ja reguleeritava õhupiluga. Takisti R takistus on umbes 1 oom. Kuna südamiku materjali magnetilised omadused polnud täpselt teada, toimus kaitseme lõplik häälestamine paispooli õhupilu ja takisti R reguleerimisega. Mähiste soovitatav paigutus relee ЭТ südamikule on näidatud joonisel 60.

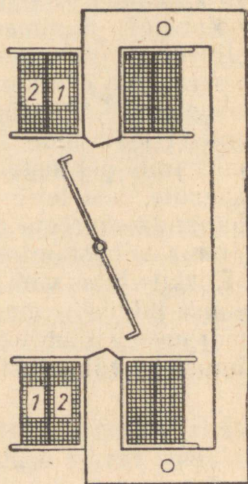
Tingituna esmajoones rea faasi katkemise puhuks soovitatavate kaitseseadmete vähesest töökindlusest, paremate seadmete küllaltki keerukast ehitusest ja kallist hinnast, soovivad paljud üldse loobuda tegelemast erilise kaitse küsimustega faasi katkemise juhuks. Väidetakse, et õigesti valitud ja reguleeritud väljaspool mootorit paiknev termokaitse võib kaitsta väga edukalt ka faasi katkemisel. Enamikul juhtudel, ja seda just mootori tähtsuse puhul, on see tõesti nii. Kolmnurkühenduses on aga olukord kee-

rukam. Tavaliselt reguleeritakse termorelee selliselt, et ta ilma rakendumata talub kestvalt 1,1-kordset mootori nimivoolu. Oletame, et töötava mootori koormus faasi katkemise hetkel on selline, et liinivool I_l pärast faasi katkemist ei ületa 1,1-kordset nimivoolu I_n . Vahetult liinipingele ühendatud faasimähises moodustab vool $0,67 \cdot 1,1 = 0,737 I_l$. Kolmefaasilisel sümmeetrilisel nimikoormusel on vool ühes mähises $0,577 I_l$. Liinijuhtme katkemisel on vool faasimähises seega $0,737 : 0,577 = 1,28$ korda nimivoolust suurem. Tekkiv soojus on aga võrdeline voolu ruuduga, s. t. soojust tekib $1,28 \cdot 1,28 = 1,64$ korda rohkem kui normaaltingimustes. Mähistevahelise soojusülekande tõttu mähiste temperatuuride vahe mõningal määral küll väheneb, kuid üks mähis on siiski rohkem ohustatud ja selle isolatsioon võib rikneda.

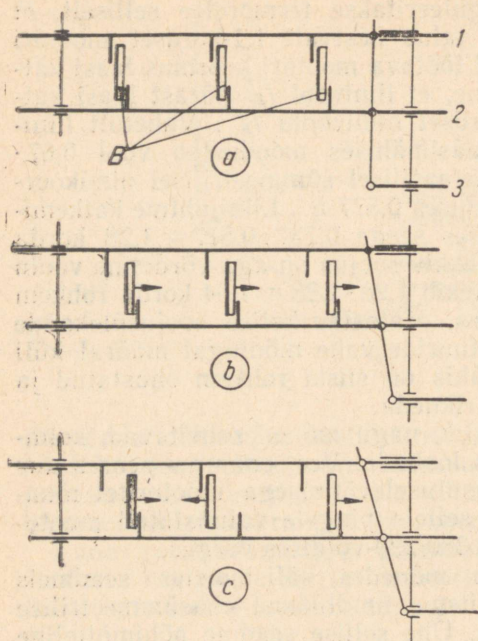
Ka pole alati võimalik, nagu mõned soovivad, kolmnurkühendusest hoopis loobuda. Veel enam — seoses uue liinipinge (660 V) kasutuselevõtmisega mootoritel muutub kolmnurkühendus sellele pingele valmistatud mootoritele jälle aktuaalseks 380/220-voldises võrgus.

Sellest tingituna on mõnedes välismaistes seadmes püütud tõsta termokaitsme tundlikkust ebasümmeetrilise koormuse juhuks [47]. Ühe sellise seadme põhimõtteline kinemaatiline skeem on toodud joonisel 61.

Süsteem koosneb kolmest hoovast, kusjuures hoobasid 1 ja 2 saab nihutada läbiva voolu poolt otseselt või kaud-



Joon. 60. Mähiste paigutus relee ЭТ südamikule



Joon. 61. Ebasümmeetrilise koormusele tundliku termokaitsme töötamise kinemaatiline skeem:
 a — normaalsel koormusel;
 b — sümmeetrilisel liigkoormusel;
 c — ebasümmeetrilisel liigkoormusel

selt köetavate bimetalvedrude *B* toimel. Hoob 3 vabastab lülitusseadme riivistuse või lahutab kontakti hoidemähise vooluringis. Sümmeetrilisel liigkoormusel põhjustab bimetalvedrude paindumine teise hoova vahendusel ka kolmanda hoova liikumise paremale ja seega ka riivistuse vabastamise. Ebasümmeetrilisel koormusel või faasi katkemisel jääb ühte faasi ühendatud bimetalvedru külmemaks, mis põhjustab esimese hoova suhtelise paiknemise vasakule, mis teise hoova sama asendi juures põhjustab kolmanda suurema paremale liikumise, seega ka riivistuse varem vabastamise.

Kokku võttes võib märkida, et erikaitsme valikul faasi katkemise juhuks, samuti konkreetse kaitsevariandi kindlaksmääramisel tuleb esmajoones aluseks võtta kohalikke tingimusi ja võimalusi.

25. Minimaalpingekaitse

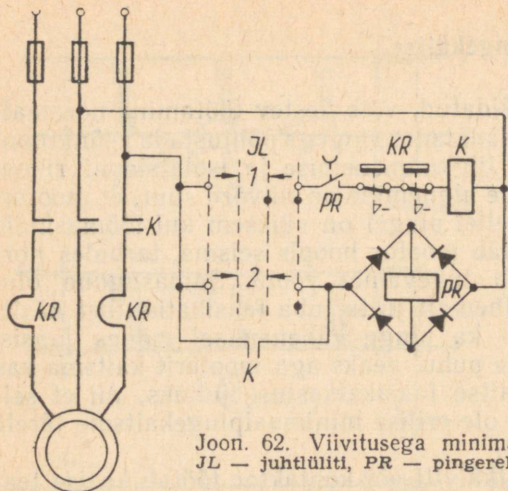
Nagu eespool näidatud, võib kestev töötamine normaalsest märgatavalt madalama pingega põhjustada asünkroonmootorite mähiste liigkuumenemise ja isolatsiooni riknemise. Kui aga pinge alanemine on niivõrd suur, et mootori väärtusmoment sellel pingel on väiksem kui töömasinale vajalik moment, jääb mootor hoopis seisma, tarbides normaalsest tunduvalt tugevamat voolu. Samasugune olukord, millest oli lähemalt juttu juba faasikatkestust käsitlevas osas, esineb ka pinge vähenemisel mõnes faasis. Taoliste olukordade puhul peaks aga mootorit kaitsma kas termokaitse või kaitse faasikatkestuse juhuks, nii et sellest seisukohast ei ole erilise minimaalpingekaitseme järele vajadust.

Tavaline magnetkäiviti või kontaktor töötab ka ise teatud määral minimaalpingekaitsemena: tema kontaktid avanevad mähise toitepinge langemisel alla 40...50% nimiväärtusest. Kuid nagu eespool selgus, ei ole selline minimaalpingekaitse mootori mähiste liigkuumenemise seisukohast siiski kuigi mõjuv.

Hoopis suurem tähtsus on minimaalpingekaitsemel kogu jaotusseadme eksploatatsiooni ning ohutustehnika seisukohast. Nimelt võib isegi võrdlemisi lühiajaline pinge katkemine või sügav langus põhjustada kõigi jaotusseadmetest toidetavate elektrimootorite seismajäämise või nende pöörlemiskiiruse niivõrd tunduva vähenemise, et normaalse toitepinge taastumisel need hakkavad korraga tarbima normaalsest mitu korda tugevamat (käivitus-) voolu. See võib põhjustada ka kõigi jaotusseadmetest toidetavate tarbijate väljalülitamise liigvoolukaitsme poolt, mida muidugi lubada ei või. Ka on seisva mootori ootamatul käivitumisel võimalikud õnnetusjuhtumid.

Antud juhtumil on muidugi käsitsi nupplülitite abil juhitav magnetkäiviti minimaalpingekaitsemena omal kohal. Elektrimootori automaatsel juhtimisel jäävad aga juhtiva relee kontaktid tavaliselt suletuks ja pinge taasilmumisel mootor lülitub sisse. Viimasel juhul tuleks kasutada lisareleed analoogiliselt sellele, nagu on näidatud joonisel 47, b.

Sisselülitamisel riivistuvad lülitusaparaadid (näiteks automaatlülitid) varustatakse vajaduse korral spetsiaalse minimaalpingemähisega.



Joon. 62. Viivitusega minimaalpinge kaitselülitis:
 JL — juhtlüliti, PR — pingerelee PЭ-500

Kui katkestus kestab väga lühikest aega (0,5 sekundit ja alla selle), nagu see esineb näiteks automaatse korduvlülitumise või reservtoite automaatse sisselülitumise korral, ei kaasne rea tarbijate puhul märgatavat mootori pöörlemiskiiruse langust. Ka voolutõuge taaslülitumisel on antud juhul võrdlemisi väike ja tihti on otstarbekohane või isegi vajalik mootorit sellise lühiajalise katkestuse korral mitte välja lülitada. Üks võimalikke lülitusi, mis kindlustab mootori taaslülitumise pärast lühiajalist toite katkestust, on näidatud joonisel 62. Mootori käivitamiseks ja seiskamiseks kasutatakse УП-tüüpi universaalset juhtlüliti. Selle kontaktid 1 ja 2 sulguvad lüliti pööramisel paremale. Kontakt 1 jääb suletuks ka käepideme tagasipöördumisel algasendisse vedru mõjul, avanedes alles lüliti pööramisel vasakule. Tagasipööramisel esialgsesse asendisse vasakult jääb ta avatuks. Kontakt 2 suletakse ainult pööramisel paremale: algasendis on ta igal juhul avatud. Viivitusega avanevate kontaktidega pingereleena PR kasutatakse kas tüüpi PЭ-500 või PЭ-100. Pingerelee mähis toidetakse läbi sildlülituses alaldi, sest relee on ette nähtud alalisvoolule. Mootori käivitamine toimub juhtlüliti pööramisega paremale, relee PR mähis pingestatakse hetkeks juhtlüliti kontakti 2 kaudu, tema kontaktid sulguvad ja magnetkäiviti mähis saab voolu läbi juhtlüliti kontakti 1, pingerelee PR ja kaitserelee KR kontaktide. Kui pinge katkestuse aeg on lühem kui relee PR viivitus kon-

taktide avanemisel, lülitub magnetkäiviti pinge taasilmumisel sisse.

Mõningatel eriti vastutusrikastel mootoritel reguleeritakse rele *PR* selliselt, et uuesti sisselülitumine on võimalik veel pärast 5...10 sekundit kestnud toitepinge katkestust. Sel juhul tuleb pingerelee asemel kasutada vastava viivitusega aegreleed.

26. Kaitse masinasse sissepaigutatavate termoanduritega

Eespool käsitlesime väljaspool mootorit asuvaid kaitse-seadmeid. Kaitse-seadme ja kaitstava objekti ruumilise eraldatuse tõttu ei ole sageli võimalik tagada neile sama-suguseid keskkonna tingimusi. Kaitsme rakendusparameet-rid ja ka mootorile lubatav koormus aga sõltuvad keskkonna temperatuurist. On selge, et kaitse-seadme õigeks valikuks tuleb seda arvestada, mis on küllaltki tülikas, mõnikord aga, kui need tingimused olenevalt mitmesugus-dest asjaoludest muutuvad, isegi võimatu.

Tingituna kaitserelle väikesest massist saavutab ta lõpp-temperatuuri tunduvalt kiiremini kui kaitstav mootor, mille mass ja soojusmahtuvus on tavaliselt mitu korda suure-mad. See asjaolu raskendab mootorikaitse valikut eriti vaheajalisel talitlusel.

Väljaspool mootorit paiknevate kaitse-seadmete kasuta-mine on seotud mõninga energiakuluga, sest rele kütte-keha või mähis tarbib teatud võimsust. See võimsus on tavaliselt alla 10 W ühe rele kohta, kuid kaitse-seadmete massilisel kasutamisel võib kütise või majandi ulatuses anda siiski märgatava kao.

Mis aga kõige tähtsam — väljaspool mootorit asuv kaitse-seade reageerib mootori voolule (kaitse faasi katkemise puhuks ka pingele), mis on küll põhiline, kuid alati mitte ainus masina temperatuuri ülemäärase tõusu põhjus. Näi-teks võib masina liigtemperatuuri põhjuseks olla muude võrdsete tingimuste puhul veel mähiste või masina jahutus-pindade risustumine. Nagu näitab statistika, on selle ohv-riks langenud 5...10% kõikidest riknenud mootoritest.

Enamikust kirjeldatud kaitsmete puudustest on vabad mootorisse sisseehitatavad kaitse-seadmed. Need paiguta-takse kas mähistesse, aktiivrauapakki või ka keresse.

Mõte masinasse sisseehitatavate kaitseesadmete kasutamise ei ole uus. Neid on ehitatud ja kasutatud juba ligi 40 aastat. Seni aga on nende kasutamist peamiselt takistanud töökindlate ja küllalt väikeste mõõtmetega seadmete puudumine. Ka tingib taoliste kaitserleede masinatesse sissemonteerimine valmistamise või remondi ajal nende tööde keerulisemaks muutumise ja masinate ning remondi omahinna mõningase suurenemise. Lõpuks eeldab suurema osa sisseehitatavate kaitseesadmete massiline kasutamine magnetkäivitite kasutamist, milledest aga praegu eriti põllumajanduses on veel puudus.

Tahaks loota, et need ajutise iseloomuga raskused peagi ületatakse ja sisseehitatud termokaitse kujuneb juba lähemal ajal põhiliseks elektrimootorite kaitsemeks.

Sisseehitatavate soojuskaitsete ehitamisel võiks kõne alla tulla järgmiste nähtuste kasutamine:

- 1) metallide erinev soojuspaisumine (bimetallreleed jne.);
- 2) juhtide ja pooljuhtide takistuse sõltuvus temperatuurist;
- 3) kaitstava masinaosa maksimaalselt lubatud temperatuurile vastav metalli või mingi segu sulamine;
- 4) ferromagnetikute magnetilise läbitavuse sõltuvus temperatuurist;
- 5) dielektrikute dielektrilise läbitavuse sõltuvus temperatuurist;
- 6) vedelike või gaaside soojuspaisumine;
- 7) termopinge.

Metallide erineval soojuspaisumisel põhineb valdav enamus praegu seeriaviisiliselt toodetavatest kaitsetest. Väljaspool mootorit paiknevate bimetallreleedega tutvusime juba eespool. Ka laialdasemat kasutamist leidnud sisseehitatavatest kaitseesadmetest põhineb suurem osa metallide erineval soojuspaisumisel.

Kõrvuti ainult mootori vastava osa temperatuurile reageerivate kaitserleedega kasutatakse ka selliseid sisseehitatavaid seadmeid, mis on varustatud veel küttekehaga.

Nõukogude Liidus väljatöötatud nn. temperatuuri-voolureleed tüüp TT on ette nähtud ühefaasiliste 0, I, II ja III gabariidi mootorite (kuni 600 W) ja 2...100-kilovatiste kolmefaasiliste mootorite kaitseks. Ühefaasiliste mootorite kaitsemisel lülitatakse relee kontakt vahetult mootori vooluringi, kuna kolmefaasiliste mootorite puhul asub kontakt

magnetkäiviti mähise vooluringis. Küttekeha on nõrgemate voolude korral lülitatud mootori vooluringi vahetult, tugevamate voolude jaoks aga kaitsmega komplektis toodetava voolutrafo kaudu.

Ühefaasilistes mootorites paigutatakse relee TT kilbi siseküljele või staatori rauapakile, kolmefaasilistes mootorites rauapakile. Voolutrafod monteeritakse mootori välisküljele vastava katte alla. TT-tüüpi releesid on välja töötatud viis suurust. Põhilised andmed nende kohta on toodud tabelis 20 [46].

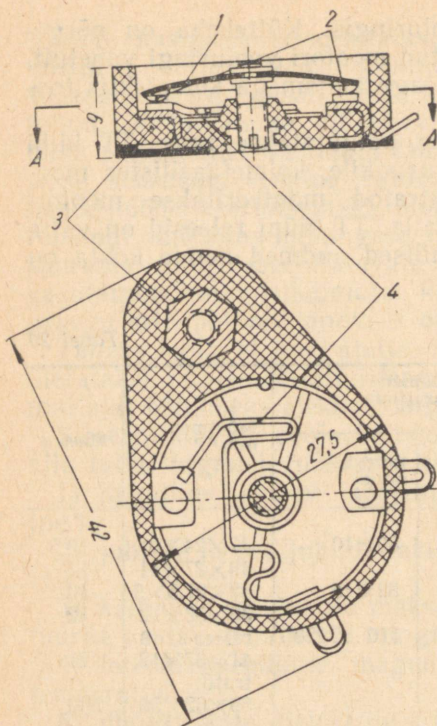
Tabel 20

Relee tüüp	Elektrimootori gabariit või võimsus	Tundliku elemendi temperatuur (ilma vooluta) °C		Mõõtmed mm	Mass g
		Rakendamine	Ennistamine		
TT-0	0		80 ± 10	47 × 24 × 9	13,5
TT-1	I	110 ± 10		49 × 27 × 11	17
TT-2	II	100 ... 125	82 ± 15	42 × 27,5 × 9	13
TT-3	III	110 ... 130		33 × 33 × 12	12
TT-10	2 ... 100 kW	135 ... 145	110 ... 120	relee: 41 × 37 × 12; trafo: 69 × 62 × 56	21 500

Joonisel 63 on näidatud relee TT-2, millega lülituselemendi ja küttekeha konstruktsioonilt ja paigutuselt sarnaneb ka relee TT-10.

Temperatuuritundlikuks elemendiks on siin kumer bimetallmembraan 1. Suurema soojuspaisumisteguriga komponent moodustab normaalsel temperatuuril membraani sisepinna. Soojenedes paisub see rohkem ja teatud temperatuuri saavutamisel surub ta membraani hüppega teistpidi kumeraks. Sellega lahutuvad relee kontaktid 2. Küttekeha 4 asub membraani all. Relee on iseennistuv ja monteeritud plastmassist kerele 3. 5-amprise voolu puhul taluvad TT-tüüpi relee kontaktid vähemalt 200 lülitustsüklit (välja- ja sisselülitumine) pingel 220 V (võimsusteguriga 0,4).

Relee TT-10 lülitust kolmefaasilise mootori vooluringi käsitsijuhtimisel näitab joonis 64. Kuna relee on iseennistuv, tuleb automaatse juhtimise korral kasutada ennistusreleed, nagu on näidatud joonisel 47, b.

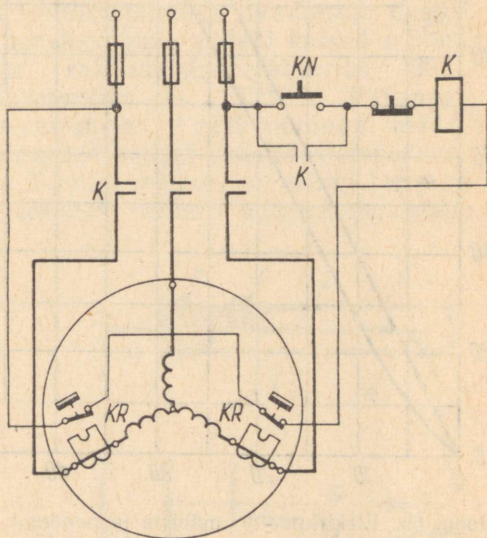


Joon. 63. Relee TT-2 ehitus:
 1 — bimetallmembraan; 2 —
 kontaktid; 3 — kere; 4 —
 küttekeha

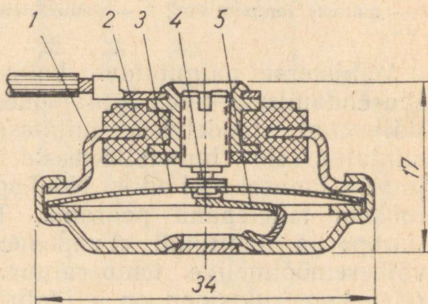
Küttekeha muudab releed ja selle lülituse keerukamaks. Ilma küttekehata T-1-tüüpi releed on kujutatud joonisel 65. Temperatuuri anduriks on siin, samuti nagu releel TT-2, kumer bimetallmembraan. Releed rakendustemperatuur on $110 \dots 150^\circ\text{C}$, ennistustemperatuur $75 \dots 115^\circ\text{C}$, releed mass on 12 grammi. Rakendustemperatuuride järgi sobib ta E-, B- ja F-klassi isolatsiooniga mootorite kaitsmiseks. Releed tuleb paigutada masina kõige kuumemasse kohta, järelikult mähistesse. Väiksemate mootorite mähistesse aga ei ole sellist releed tema võrdlemisi suurte mõõtmete tõttu võimalik mahutada. Releed kaitses mootorit hästi väikestel liigkoormustel. Lühisel ajal, kus mähise temperatuur tõuseb algul kiirusega $1 \dots 10 \text{ deg/s}$, jääb kaitsereleed või anduri temperatuur mähise temperatuurist märgatavalt maha. Tekkiv temperatuuride vahe sõltub releed või anduri massist ja soojuslikust kontaktist mähise ja anduri vahel.

Kuna lühise puhul, vähemalt mähistele lubatavate temperatuuride piirkonnas, tõuseb nende temperatuur ligilähedastelt lineaarselt (kõver 1 joonisel 66), siis anduri temperatuuri kulgu iseloomustab kõver 2 samal joonisel.

Selgub, et anduri temperatuur tõuseb algul aeglasmalt, hiljem aga, kui mähise ja anduri temperatuuride vahe on saavutanud püsiva väärtuse $\Delta\theta_m$, sama kiirusega kui mähise temperatuur, ning rööpjoonte vahe horisontaaltele suunas annab relee ajakonstandi T . Katsetusel tõusis releelega T-1 kaitstud elektrimootori TΦ-15/6 temperatuur lühisel 236° C-ni, mis on muidugi lubamatu [46].

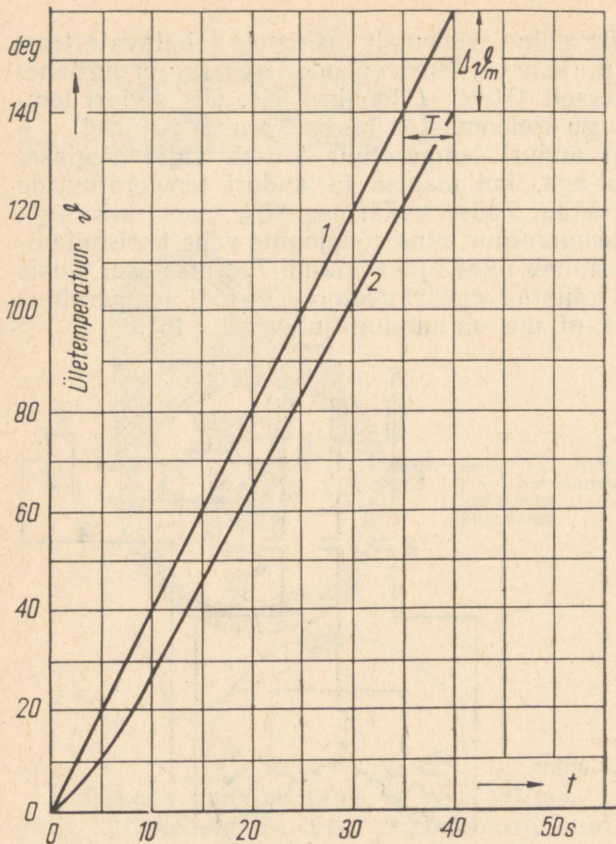


Joon. 64. Kaitselülitus releelega TT



Joon. 65. Relee T-1 ehitus:

- 1 — kere; 2 — isolatsioon;
- 3 — bimetallmembraan;
- 4 — kontakt; 5 — painduv juhe

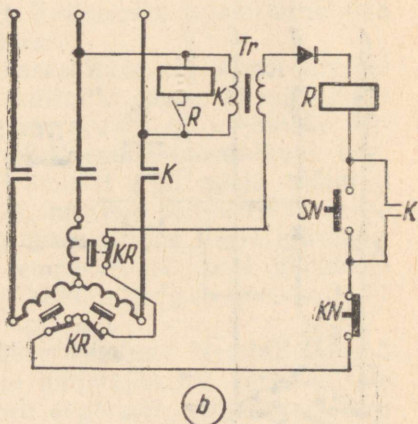
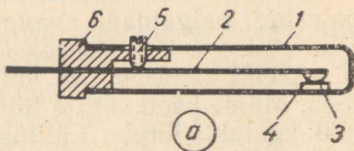


Joon. 66. Elektrimootori mähiste ja nendesse paigutatud anduri (relee) temperatuuri tõus lühisel (pidurdatud rootori korral):
 1 — mähiste temperatuur; 2 — anduri temperatuur

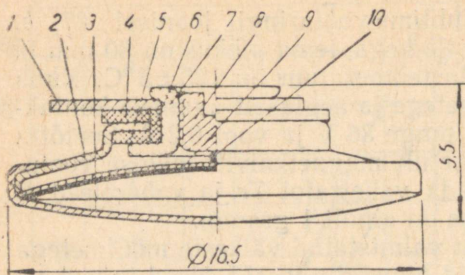
Mähistesse paigutatava kaitseseadme rakenduskiiruse suurendamiseks tuleb esmajoones vähendada tema massi. Välismaal toodetakse mitmesuguse konstruktsiooniga miniatuurseid bimetalloreleid (*Ipsotherm*, *Paratherm* jne.). Viimasel ajal on ka Nõukogude Liidus hakatud neile rohkem tähelepanu pöörama. Tehase «Кузбассэлектромотор» ja instituudi «Гипронисэлектрохим» poolt loodi väikesemõõtmeline temperatuurirelee TM-1 [67]. Selle relee konstruktsioon on näidatud joonisel 67, a ja skeem

lülitamiseks mootori juhtimisvooluringi joonisel 67, *b*. Relee on ümmarguse ristlõikega, tema pikkus on 30 mm ja läbimõõt 5 mm. Rakendustemperatuur on $125 \pm 5^\circ\text{C}$. Kuna relee on väikeste mõõtmetega ja aeglaselt avaneva kontak-tiga, on releele lubatud pinge 36 V ja vool 0,2 A. Seetõttu ei saa teda lülitada vahetult magnetkäiviti mähise voolu-ringi, vaid tuleb kasutada vahetrafit *Tr* ja vahereleed *R* (joon. 67, *b*). Relee mass on ainult 1 gramm.

Ka meie vabariigis on valmistatud väikeste mõõtmetega mootorisse paigutatavaid bimetallorelesid. Need releed on konstrueeritud Eesti NSV Teaduste Akadeemia Energeetika Instituudis. Relee konstruktsioon selgub jooniselt 68. Tehases «Volta» ja Eesti Põllumajanduse Akadeemia elektri-fitseerimiskateedri laboratooriumis andsid katsed mõnede katsepartii releedega rakendustemperatuuriks 96... 145°C, ennistustemperatuuriks 71... 121°C. Rakendus-temperatuur on reguleerimiskruvi 8 abil mõningal määral reguleeritav. Kruvi sissekeeramisel rakendustemperatuur väheneb. Nagu TT- ja T-tüüpi releedel on siingi tempera-tuuritundlikuks elemendiks kumer bimetallemembraan.



Joon. 67. Relee TM-1:
a — lõige (1 — kere; 2 — bimetalvedru; 3 — liikumatu kontakt; 4 — liikuv kontakt; 5 — reguleerimiskruvi; 6 — isoleeralus); *b* — lülitusskeem

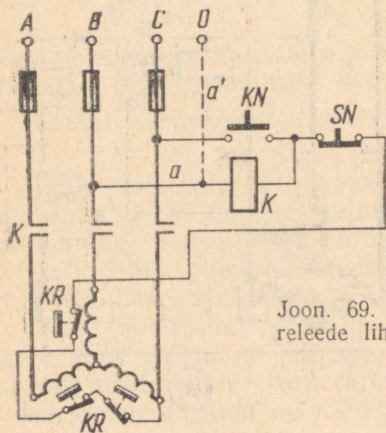


Joon. 68. ENSV Teaduste Akadeemia Energeetika Instituudis konstrueeritud miniatuurne bimetaltermorelee:

- 1 — kontaktlible; 2 — relee kaas; 3 — relee põhi;
- 4, 5 ja 6 — isolatsioon;
- 7 — keermetatud kontaktpuks; 8 — kontaktkruvi;
- 9 — bimetallemembraan;
- 10 — hõbekontakt

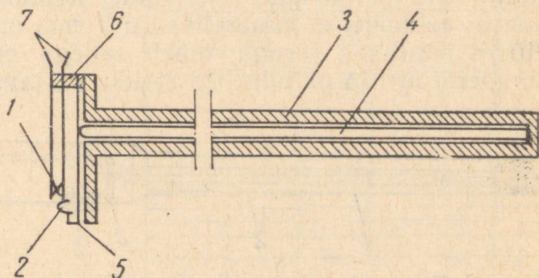
Relee kontakt avaneb hüppeliselt, mistõttu ta võib lahutada kuni 2-amprist voolu pingel 220 V. See võimaldab lülitada relee kontakti vahetult magnetkäiviti mähise vooluringi ja katselülitust tunduvalt lihtsustada. Kontaktid võib lülitada käiviti vooluringi joonisel 64 toodud skeemi kohaselt (mootori peavooluringi lülitatud voolutrafod ja nendega ühendatud küttekehad jäävad ära).

Üheks oluliseks puuduseks elektrimootoris sissehitavate kaitseseadmete kasutamisel on suur juhtmete kulu juhul, kui käiviti ja mootor paiknevad teineteisest kaugel. Nimelt tuleb kaitsereleede ühendamiseks käiviti mähise vooluringi paigaldada mootori ja käiviti vahele kaks lisajuhet. Kui aga lülitada releed joonisel 69 antud lihtsustatud skeemi kohaselt, on võimalik piirduda ühe lisajuhtmega. Muide kaob sellise lülituse puhul ka vajadus käiviti blokk-kontakti järele. Lülituse puuduseks on aga asjaolu, et mootori mähised ja klemmid jäävad väljalülitatud



Joon. 69. Mootoris paigutatud bimetalreleede lihtsustatud lülitusskeem

käiviti korral läbi käiviti hoidemähise pinge alla, mida tuleb ohutustehnilisest seisukohast lähtudes tõsiselt arvestada. Kasutades aga magnetkäivitel 220-voldist mähist, võib nulljuhtmega 220/380 V võrgus ühenduse a asemel kasutada kriipsjoonega näidatud ühendust a' , kusjuures mootori mähised normaalses olukorras enam ei jää pingestatuks.



Joon. 70. Metallide erineval soojuspaisumisel põhinev termorelee:

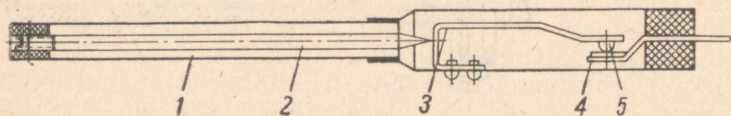
1 — kontaktid; 2 — lehtvedru; 3 — väikese paisumisteguriga metallist toru; 4 — suure paisumisteguriga metallist varras; 5 — hoob; 6 — isolatsioon; 7 — kontaktide ühendusjuhtmed.

Peale bimetallvedrude ja -membraanide võib metallide erinevat soojuspaisumist mootori kaitseks kasutada veel joonisel 70 näidatud konstruktsiooniga seadmes. Varda 4 soojuspaisumistegur on suurem kui torul 3. Kui varda ja toru pikkuste vahe muutub nii suureks, et hoova 5 ots surutakse kaugemale kui liikuva kontakti ots, avaneb kontakt vedru 2 tõttu hüppeliselt. Kaitserelee torukujuline osa paigutatakse masina mähistesse.

Eespool oli juttu ühest sisseehitatavate bimetalreleede põhilistest puudustest — küllaltki suurest soojuslikust inertsist, mis võimaldab temperatuuri tõusu suurte kiiruste korral kaitstavate mootori osade märgatavat liigkuumenemist. Seetõttu on viimasel ajal välja töötatud sisseehitatavad bimetalreleed, millised reageerivad mitte üksi temperatuurile, vaid ka temperatuuri tõusu kiirusele. Nende soojuslik inerts on temperatuuri kiirel tõusmisel väiksem. Taolise relee tööpõhimõte selgub jooniselt 71 [49].

Kontaktipaar 4 ja 5 hoitakse suletuna bimetalvedru 3 jõul ja varda 2 survele mõjul bimetalvedru vertikaalsele osale. Kui temperatuur tõuseb aeglaselt, soojenevad toru

1 ja varras 2 ühtlaselt ning kontakt avaneb bimetallvedru 3 paisumise tõttu soojenemisel. Kui aga temperatuuri tõus on kiire, paisub keskkonnaga vahetult kontaktis olev toru 1 rohkem kui sellest soojuslikult isoleeritud varras 2. Varda vaba ots nihkub toru vastava punkti suhtes vasakule, bimetallvedru vertikaalne osa paindub elastsusjõu mõjul samuti vasakule, kiirendades kontakti avamist. Siinjuures eeldame, et bimetallvedru 3, mis on vahetus metallilises kontaktis toruga, omab sellega praktiliselt sama temperatuuri ja paindub ka sellele vastavalt ülespoole.



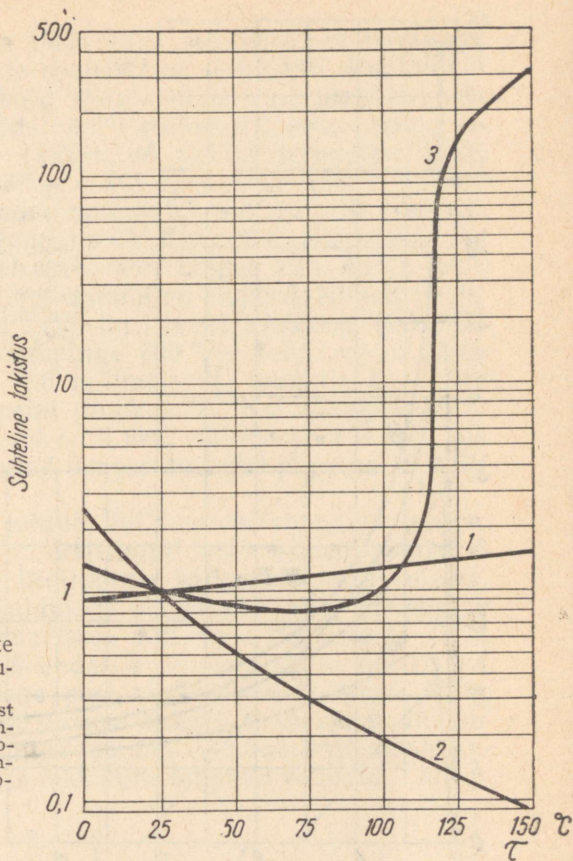
Joon. 71. Temperatuurile ja selle tõusu kiirusele reageeriv sissehitatav bimetalldrele:

1 — toru; 2 — varras; 3 — bimetalvedru; 4, 5 — kontaktid

Elektrimootorite kaitseseadmete ehitamisel saab ära kasutada ka elektrijuhtide ja pooljuhtide takistuse sõltuvust temperatuurist. Metalljuhtmetel on see sõltuvus väike ja moodustab tavaliselt elektrimasinates kasutataval temperatuuridel 0,4% ühe kraadi kohta. Temperatuuri tõustes nende takistus suureneb (kõver 1 joonisel 72). Väikese temperatuuriteguri tõttu nõuavad normaalsete juhtmaterjalide baasil valmistatud temperatuurandurid tundlikku mõõteaparatuuri ja on sellest tingituna keerukad ja kallid. Neid kasutatakse temperatuuride mõõtmisel ning tööstuslike ja põllumajanduslike elektrimootorite kaitsmiseks ei tule nad esialgu arvesse.

Pooljuhtide uurimisel avastati, et nende hulgas leidub materjale, mille takistuse sõltuvus temperatuurist on tunduvalt suurem kui metallidel, ulatudes mõne protsendini iga kraadi kohta. Enamikul meie praegu seeriaviisiliselt toodetaval temperatuuritundlikel pooljuhttakistitel (termistoridel) on temperatuuritegur negatiivne, s. t. nende takistus temperatuuri tõustes väheneb (kõver 2 joonisel 72).

Oluline tähtsus termistori kasutuspiirkonna kindlaksmääramisel on nn. pinge-voolu tunnusjoontel. Need näitavad termistori klemmipinget sõltuvust teda läbivast voolust keskkonna konstantsel temperatuuril ja muutumatute

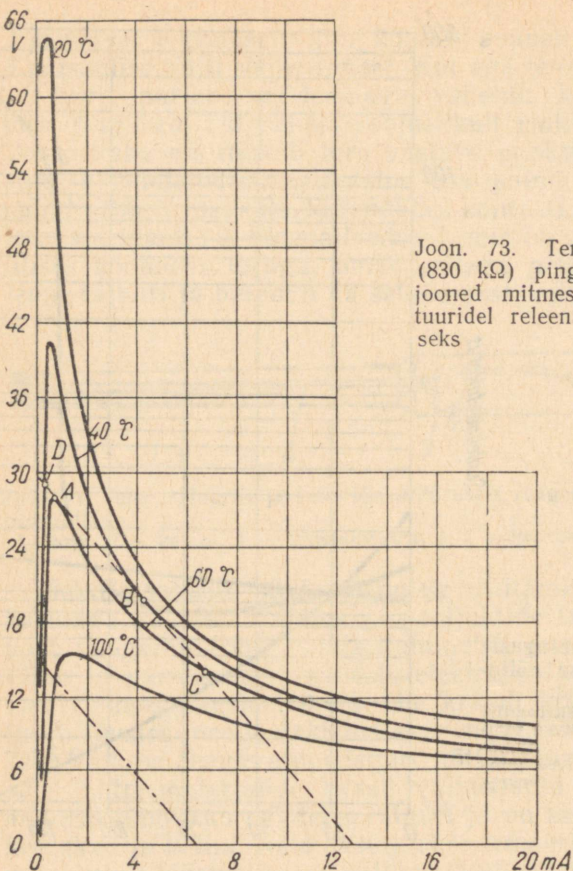


Joon. 72. Mitmesuguste takistite takistuse sõltuvus temperatuurist:

1 — tavalisest vasktraadist takisti; 2 — negatiivse temperatuuriteguriga termotakisti; 3 — positiivse temperatuuriteguriga termotakisti

jahutustingimuste korral. Joonisel 73 on toodud termistori KMT-10 pingevoolu tunnusjooned mitmesugustel keskkonna temperatuuridel. Nõrkade voolude korral tõuseb tunnusjoon järsult ja voolu tugevnedes hakkab langema. See langus on tingitud termistori intensiivsest soojenemisest (ja sellega seotud takistuse kiirest vähenemisest) läbiva voolu toimel.

Termistorid KMT-10 (samuti KMT-11 ja veel mõned tüübid) sobivad mootorite kaitseks eriti seetõttu, et nendega on võimalik tekitada niinimetatud releenähtust. See võimalus selgub tema pingevoolu tunnusjoontest. Kui ühendada termistoriga järjestikku vajaliku suurusega



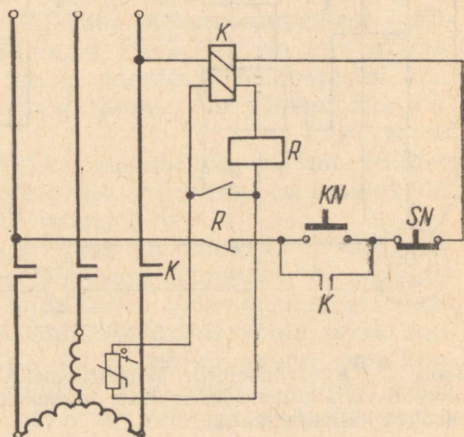
Joon. 73. Termistori KMT-10 (830 k Ω) pingevoolu tunnusjooned mitmesugustel temperatuuridel releenähtuse selgitamiseks

tegev- ehk aktiivtakisti (või sellist takistust omav releemähis), võrdub kummalgi tekkinud pingelangude summa neile rakendatud kogupingega.

Joonisel 73 on kõrvuti 830-kilo-oomise takistusega (20 °C juures) termistori pingevoolu tunnusjoontega toodud kriipsjoonega ka tavalise 2480-oomise takisti tunnusjoon. Kogupingeks on võetud 30 volti. Aktiivtakistile langev pinge tuleb lugeda 30 voldist kriipsjooneni. Keskkonna temperatuuril 20 °C on vool kogu ringis kaduvalt nõrk. Peaaegu kogu pinge langeb termistorile, sest selle takistus on takisti (või relee mähise) omast palju suurem. Kui keskkonna temperatuur on 60 °C, tugevneb vool termistori

takistuse vähenemise tõttu juba sedavõrd, et termistori vool hakkab omakorda soojendada termistori. Punktide *A* ja *C* vahel on olukord ebastabiilne, sest pingelangude summa takistil (mõõdetud 30 voldist allapoole kriipsjooneni) ja termistoril (mõõdetud nullist termistori 60°C tunnusjooneni) on väiksem kui kogupinge (30 V). Tekib voolu järsk tugevnemine umbes 0,7 milliamprilt (punktis *A*) 6,7 milliamprini (punktis *C*). Kui nüüd selle keskkonna temperatuur, kus asub termistor, langeb kuni 40°C, tekib alates punktist *B* jälle ebastabiilne olukord. Nimelt peaks pingelangude summa termistoril ja relele mähisel (takistil) olema suurem kui kogupinge (30 V). Tekib voolu järsk nõrgenemine umbes 4,3 milliamprilt (punktis *B*) mõne kümnendiku milliamprini (punktis *D*). Kui näiteks kasutatava rele rakendusvool on 4 mA, ennistusvool 2 mA, siis töötab kaitseseade antud temperatuuridel pingega 30 volti igati laitmatult.

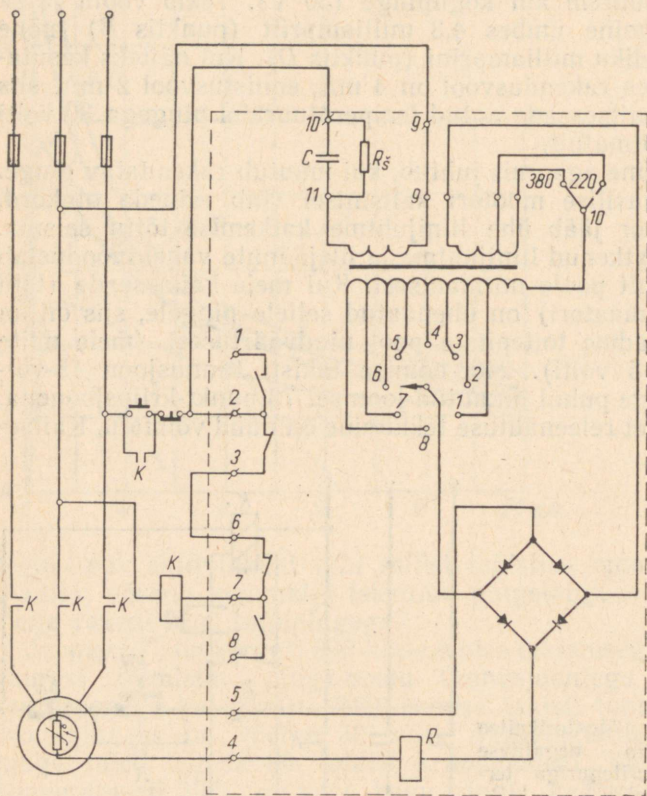
Vaatame aga, mis juhtub, kui muutub rakendatav pinge. Kolmefaasilise mootori kaitsmisel võib esineda olukord, et mootor jääb ühe liinijuhtme katkemise tõttu seisma. Pinge katkenud liinijuhtme ja ülejäänute vahel moodustab siis ainult poole normaalsest. Kui meie kaitseseade (läbi transformaatori) on ühendatud sellele pingele, siis on ka kaitseseadme toitepinge pool nimiväärtusest (meie näite puhul 15 volti). 2480-oomise takisti tunnusjoon 15-voldise pinge puhul on antud joonisel 73 punkt-kriipsjoonena. Näeme, et releenähtuse tekkimine on nüüd võimatu. Kaitsese-



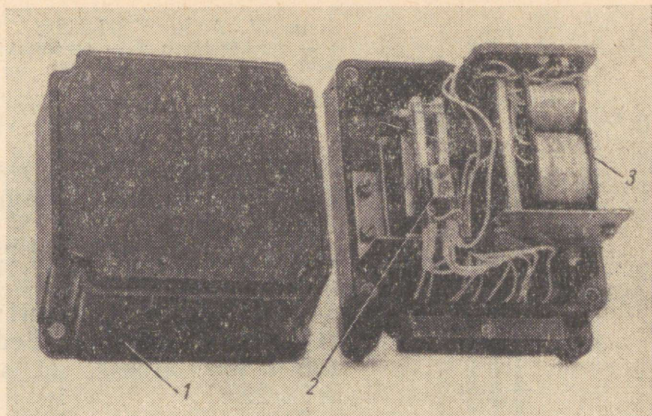
Joon. 74. Mootorikaitselülitusskeem negatiivse temperatuuriteguriga termotakisti abil

seadme vool kaitstava objekti temperatuuril 100°C on alla 1 mA , mis muidugi on rele rakendamiseks mitteküllaldane. Teisest küljest võib kaitse pinge tõusul rakenduda tunduvalt madalamatel temperatuuridel. 42-voldise pinge korral rakenduks samadest detailidest koosnev kaitseseade umbes 40°C temperatuuril.

Siit selgub negatiivse temperatuuriteguriga termistoridel ehitatud mootorikaitse üks põhiline puudus — suur tundlikkus toitepinge muutuste suhtes. Seetõttu tuleb kaitsekeemides, mis peavad töötama suurema täpsusega, kasutada pingestabilisaatorit. Üks kirjanduses [50] soovi-



Joon. 75. Elektrimootorite kaitseseadme ATB-229 lülitus mootori väljalülitamiseks mähiste liigkuumenemise korral mootori käsitsijuhtimisel



Joon. 76. Kaitseseadme ATB-229 üldvaade:
 1 — kaas; 2 — rele; 3 — transformaator-stabilisaator

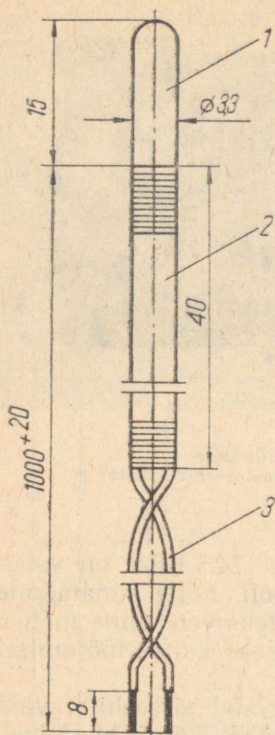
tatavaid lülitusi on toodud joonisel 74. Siin on vahe-
 trafona kasutatud magnetkäiviti pooli, mille südamikule
 on mähitud termistori vooluringi toiteks veel teine mähis.
 Magnetkäiviti vooluringi katkestamiseks kaitse töötamisel
 kasutatakse veel lisareled *R*.

Koondis «Севквэлэлектроприбор» toodab sisseehitatavaid
 kaitse- ja signalisatsiooniseadmeid ATB-229 [51]. Nime-
 tatud seadmed on ette nähtud elektrimootorite mähiste,
 laagrite jne. kaitsmiseks liigkuumenemise eest. Seade koos-
 neb temperatuurireleest PT-230y ja termoanduritest ТДП-
 -231y või ТДП-232y. Andurid ТДП-231y on ette nähtud
 paigutamiseks laagritesse ja muudesse mehhanismi osa-
 desse, kuna ТДП-232y paigutatakse elektrimootorite mä-
 histesse.

Elektrimootorite kaitseks kasutatava seadme lülitus-
 skeem mähistesse paigutatavate anduritega on toodud joo-
 nisel 75 ja seadme vaade joonisel 76.

Temperatuuriandur (pooljuht termotakisti TP-33) lüli-
 tatakse järjestikku rele mähisega. Nimetatud termotakis-
 til esineb releenähtus, ning kaitse rakendustemperatuuril
 toimub vooluringis termistor-releemähis voolu järsk suu-
 renemine, ning rele MKY-48c rakendub, avades oma kon-
 taktid magnetkäiviti mähise vooluringis. Kuna rele
 MKY-48c töötab alalisvoolul, on rele ja andurite voolu-

Joon. 77. Andur ТДП-232y:
 1 — termotakisti; 2 — termotakisti kaitse-
 kest; 3 — anduri väljaviigud



ringi toiteks sildlülituses alaldi, kus kasutatakse germaaniumdioode ДГЦ-27.

Nagu selgub jooniselt 73, on releenähtusel põhineva soojuskaitseme rakendustemperatuuri võimalik reguleerida pingega. Seda põhimõtet kasutatakse ka seadmeis ATB-229.

Pinge muutmine toimub siin stabilisaatortrafo sekundaarväljavõtete abil.

Seadmeid ATB valmistatakse koos teisendit alljärgnevatele temperatuurivahemikele:

000	+30 ... +60 °C
00	+40 ... +75 °C
0	+55 ... +90 °C
A	+65 ... +100 °C
B	+75 ... +110 °C
B	+85 ... +125 °C

Kõrvalekaldumine etteantud rakendustemperatuurist ei ületa 5 deg. Seadme poolt tarbitav võimsus on 35 VA. Seadet toidetakse 380 V või 220 V pingega vahelduvvooluvõrgust. Seade võib töötada keskkonna temperatuuridel $-30 \dots +40$ °C. Suhteline niiskus võib olla kuni 90%. Keskkond ei tohi sisaldada agressiivseid gaase.

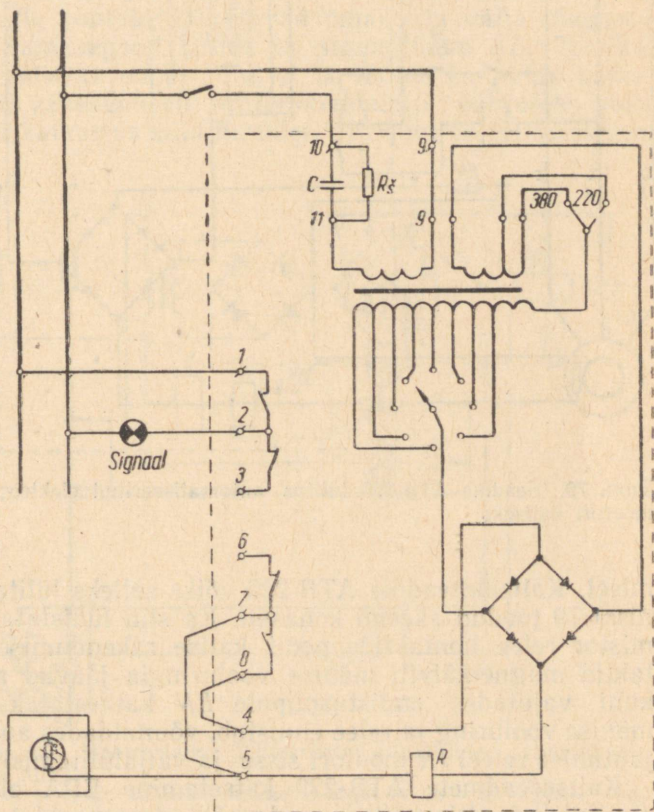
Pinge ümberlülitati on tehases väljalaskmisel üldreeglina asendis «380 V». Relee mähisega võib üheaegselt järjestikku lülitada kuni kümme andurit.

Mootori mähistesse paigutatava anduri ТДП-232y põhimõõtmed on antud joonisel 77. Joonisel on antud just kaitsekesta mõõtmed ja väliskuju. Termotakisti TP-33 isenesest on väga väikeste mõõtmetega, tema diameeter ei ületa 1 mm ja pikkus 3 mm. Ilma kaitsekestata aga seda termistori ei ole võimalik kasutada, kuna ta puruneb ker-

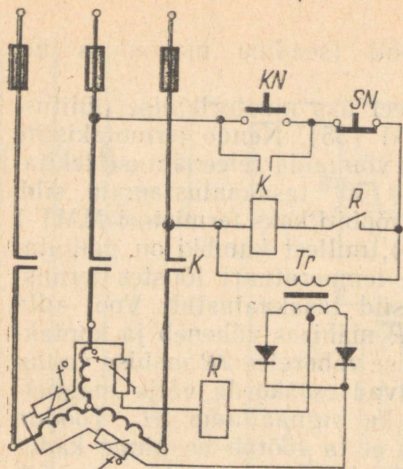
gesti. Anduri ühendusjuhtmete pikkus on 1 m; kui seade paikneb kaitstavast mootorist kaugemal, tuleb kasutada pikendusi.

Kui kaitse töötab signaalile (näiteks laagrite jms. temperatuuri kontrollimisel), kasutatakse joonisel 78 toodud skeemi. Kuna siin varitseb oht, et termistori läbib peale relee rakendumist pikemat aega küllaltki tugev vool, siis kasutatakse ühte paari kontakte termistori lühistamiseks (vrd. joon. 74).

Analoogiline vajadus võib tekkida ka siis, kui seadet ATB-229 kasutatakse automatiseeritud elektriajami kaits-



Joon. 78. Kaitseseadme ATB-229 lülitus signaali andmiseks kontrollitava seadmeosa liigkuumenemisel



Joon. 81. Mootorikaitse lülitusskeem positiivse temperatuuriteguriga termotakistite kasutamiseks

küllaltki keerukas ja vajab kaht lisareleed. Kirjanduses [5] leidub veel andmeid temperatuuritundlike takistite kohta, mille takistus temperatuuri teatud väärtusel järsult tõuseb. Ühe sellise takisti tunnusjoon on toodud ka joonisel 71 (kõver 3); selle kohaselt tõuseb tema takistus temperatuuride vahemikus 110...120 °C enam kui sajakordselt.

Taoline takisti on mootorikaitse seisukohast juba tunduvalt parem kui negatiivse temperatuuriteguriga takisti. Üht võimalikku mootorikaitse lülitusskeemi selliste termotakistite kasutamiseks näitab joonis 81. Ka siin tuleb esialgseil andmeil nende takistite väikese võimsuse tõttu kasutada vahetraafot ja lisareleed, kuid stabilisaatori järele tavaliste mootorite kaitsmisel vajadust ei teki. Siin on rele *R* normaalselt avatud kontaktid lülitatud magnetkäiviti mähise vooluringi, nii et kaitse rakendub kindlalt ka anduri vooluringis tekkiva katkestuse puhul.

Mõningal määral kasutatakse ka sulavseguga kaitse-seadmeid (näit. Tšehhoslovakkias). Ühe sellise kaitsereele ehitus on näidatud joonisel 82. Rele kujutab endast isoleerainest ampulli 3, mille sisse on viidud platinatraadist kontaktid 1. Elektrilise ühenduse kontaktide vahel annab elavhõbedatilk 2, mida hoitakse ülemises asendis massi poolt, mille sulamistemperatuur vastab kaitstava seadme minimaalsele ohtlikule temperatuurile. Selle temperatuuri saavutamisel segu sulab ja elavhõbedatilk langeb ampulli põhja, katkestades elektrilise ühenduse kontaktide vahel.

Kui nüüd need kontaktid ühendada magnetkäiviti mähise vooluringi, saame üsna kindla kaitsme.

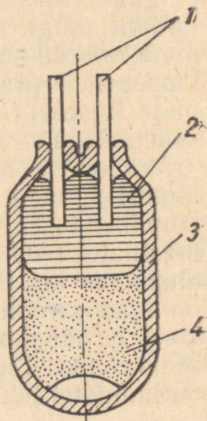
Sellise kaitsme rakendamine praktikas aga on küllalt tülikas. Relee peab asuma võrdlemisi täpselt vertikaalses asendis, peale rakendamist aga tuleb masinast välja võtta ja ümberpööratud asendis jahtuda lasta.

Kõigil ferromagnetilistel materjalidel on omadus teataval temperatuuril, mida nimetatakse Curie' punktiks, kaotada oma magnetilised omadused. See temperatuur on seotud materjali kristallilise struktuuri muutusega.

Raual on Curie' punkt näiteks 768°C . Mõnedel ferriitidel on see temperatuur aga tunduvalt madalam (100°C ja väiksem). Seda ferriitide omadust on võimalik ära kasutada mootoris sisseehitatud termokaitsmete konstrueerimisel. Võib valmistada sellise ferriitsüdamikuga miniatuurse paispooli, mille induktiivtakistus südamiku magnetiliste omaduste kadudes muutub väga väikeseks, või jälle trafo, mille sekundaarpinge taolisel juhul muutub nulliks.

Analoogiline nähtus esineb ka mõnedes dielektrikutes, s. t. teatud temperatuuril väheneb järsult nende dielektriline läbitavus. Sellise dielektrikuga kondensaatori vahelduvvoolutakistus kasvab dielektrilise läbitavuse vähenedes. Taolisi kondensaatoreid nimetatakse varikondideks ja ka neid on põhimõtteliselt võimalik kasutada mootorite mähistesse paigutatavais kaitseseadmes. Varikondide kasutamist elektrimootorite kaitselülitustes on seni pidurdanud väikeste varikondide liiga väike mahtuvus ja nende dielektriliste omaduste muutus aja jooksul.

Joon. 82. Sulavseguga termorelee:
1 — kontaktid; 2 — elavhõbedatilk;
3 — kest; 4 — sulavsegu



Vedelike aurustamist ja gaaside soojustpaisumist kasutatakse laialdaselt mitmesuguste temperatuuride mõõtmise ja reguleerimise seadmetes. On tehtud ettepanekuid ka vastava tööpõhimõttega seadmete kasutamiseks masinasse sisseehitatud kaitsmete juures. Põhimõtteliselt on see täiesti võimalik. Teatud raskusi tekitavad seadme suured mõõtmed. Nimelt peab valitsema teatud vahekord tööballooni ja kogu süsteemi mahu vahel. Kui relee elektriline lülitusseade tuua väljaspoole mootorit, läheb kogu süsteemi ja seega ka ballooni maht suureks. Kui aga paigutada lülitusseade mähistesse ballooni juurde, lähevad mähistesse paigutatavate osade mõõtmed ikkagi suureks. Süsteemi hermeetilisuse kadumisel kaitse ei tööta.

On ehitatud ka termopingeaga töölerakendatavaid kaitse-seadmeid. Tingituna aga tavaliste termopaaride materjalidega saavutatavatest madalatest pingetest, mis ei ole küllaldased vahereleede töölerakendamiseks, tuleb kasutada keerukat ja kallist võimendusseadet, mis aga igapäevases mootorikaitse praktikas ei ole ratsionaalne. Hoopis parem on olukord pooljuht-termopaaride kasutamisel, mille termopinge samade temperatuurivahemike korral sooja ja külma jootekoha vahel on hoopis suurem. Tabelis 21 on toodud andmed mõnede paaride termopinge kohta.

Üheks oluliseks termopaaridel töötava kaitse-seadme puuduseks on veel asjaolu, et ta ei reageeri temperatuuri absoluutväärtusele, vaid temperatuuride vahele. Seega eeldab ta täpseks töötamiseks mingi kindla temperatuuriga koha olemasolu masina lähedal «külmade» joodete paigutamiseks. Viimane põhjus, samuti ka veel mitteküllaldane pinge lihtsama konstruktsiooniga ja usaldatavamate releede otseseks töölerakendamiseks ei võimalda termopaaridel praegu veel konkureerida tunduvalt lihtsamate bimetalloreleede ja termotakistitel töötavate kaitse-seadmetega.

Mootorisse sisseehitatavate kaitsereleede või nende andurite paigutamise kohana tulevad kõne alla peamiselt laupühendused, sest nagu mõõtmised näitavad, on kinnistel masinatel (AO, AO2) temperatuur laupühendustes nii tööolukorras kui ka lühisel kõrgem kui uurdes. Lühisel, mis on aga sisseehitatava kaitse seisukohast kõige raskem olukord, on laupühendused peaaegu alati kõige enam ohustatud kohaks. Tegelikult, nagu selgub mõõtmistulemustest, on kinnistel lühisrootoriga mootoritel sageli kõige kõrgem

Paaride materjalid	Joodete temperatuurid °C		Termopinge mV
	Külm jooide	Soe jooide	
Tavalised, metallist termopaarid			
Kromeel-alumeel	0	100	4,10
Kromeel-kopeel	0	100	6,95
Vask-kopeel	0	100	4,75
Raud-kopeel	0	100	5,75
Vask-konstantaan	0	100	4,15
Pooljuht-termopaarid			
(Vismut+antimon+tina) — (vismut+antimon)	20	80	10,6
(Antimon+tsink) — konstantaan	20	80	16,8
(Antimon+tsink) — (vismut+antimon) . .	20	80	19,2
(Telluur+antimon) — (vismut+antimon) . .	20	80	65,0

temperatuur hoopis rootoris, aga see ei kujune tavaliselt ohtlikuks.

Mähistesse paigutatav relee või andur tuleb isoleerida lakk- või veel parem klaasriidega. Tähtis on, et isoleer-materjal oleks võimalikult parem soojusejuht. Edasi on andur või relee soovitatav kinnitada isolatsioonilakiga. Katsetel saavutati võrdlemisi rahuldavaid tulemusi ka liimi БФ-2 kasutamisel.

Relee või andur tuleks normaalselt paigutada mähise laupühenduse keerdude vahele. Kõige parem oleks seda teha tehases mootori mähkimisel. Anduri paigutamisel valmis mootorisse tuleb mähise keerud ettevaatlikult laiali painutada puidust või mõnest muust pehmemast materjalist kiiluga, et vältida keerdude isolatsiooni vigastamist. Juhul, kui on tegemist vananenud isolatsiooniga mähis-tega ning on olemas oht, et relee paigutamisel mähise keerdude vahele võib mähise hoopis rikkuda, tuleb kõne alla selle paigutamine laupühenduste pinnale. Sellisel

juhul tuleb andur väljastpoolt soojuslikult isoleerida, näiteks puuvillapaelaga üle mähkides.

Kui andur või relee on paigutatud klaas- või lakkriidega isoleerituna mähise keerdude vahele ning laki või kompaundi või mõne muu taolisega «sisse valatud», tuleb mähisesse tehtud pilu ettevaatlikult kokku suruda. Seda aga ei tohi teha liialt kõvasti, kuna releede korral on olemas oht, et nende servad võivad lakkriiet ja keerdude isolatsiooni vigastada ning kaitsmise asemel olla hoopis mootori riknemise põhjuseks.

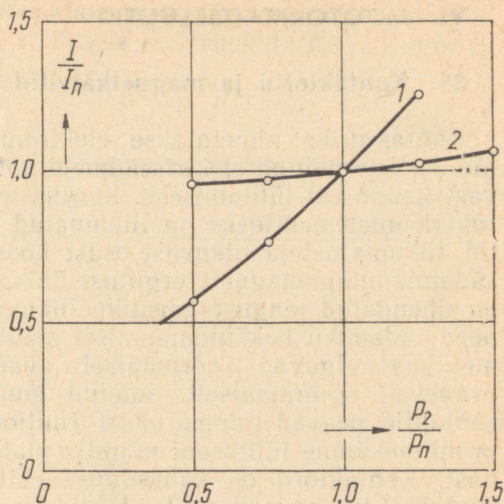
Kui mootor on lülitatud tähte, on andurid soovitatav paigutada mähise sektsioonidesse, mis asuvad kokkuühendatavate otste lähedal, et nende paigutamiskohtade vahel oleks võimalikult madalam pinge.

27. Väiksemate elektrimootorite kaitsmine

Väiksematel asünkroonmootoritel on tühijooksuvoolu suhe (I_0/I_n) märgatavalt suurem kui suurematel. Koormuse kasvades kasvab neil suhteline vool tunduvalt aeglasemalt. Joonisel 83 on toodud võrdluseks 80 kW ja 110 W võimsusega mootori staatori suhtelise voolu sõltuvus koormusest. Esimesel pilgul võiks arvata, et sellisele mootorile pole ka liigkoormus eriti ohtlik, kuna kadu staatori mähises ja seega ka selle soojenemine sõltub voolu ruudust, s. t. voolu suurenedes kaks korda suureneb energiakadu neli korda. Tegelikult aga on liigkoormus ka väikestele mootoritele ohtlik, sest koormuse suurenemisele kaasneb nendel libistuse märgatav suurenemine, mis omakorda võib põhjustada rootori liigkuumenemise. Rootorist aga kandub soojus üle staatorisse ja selle isolatsioon võib rikneda hoolimata sellest, et staatori vool pole oluliselt tugevnenud.

Nimetatud asjaolu teeb keerukaks ka väljaspool mootorit paiknevate, staatori mähiste vooluga köetavate kaitseseadmete kasutamise. Siin ei saa enam töökindlaks pidada kaitset, mis rakenduks kindlalt 1,2-kordse nimivooluga. Reguleerida aga sellist kaitseaset nii, et see rakenduks paariprotsendilise täpsusega, on kaasaegsete seerialiselt toodetavate kaitseleede juures peaaegu võimatu.

Seejuures on väikesed mootorid suhteliselt küllaltki kallid ja töötavad sageli üsna vastutusrikastes kohtades, nii



Joon. 83. Staatori voolu sõltuvus koormusest: 1 — 80-kW mootoril; 2 — 110-W mootoril

et nende kaitsmine on tihtilugu isegi väga vajalik. Siin tuleksid kõige lihtsamatena kõne alla kaks võimalust. Esiteks, kasutada väljaspool mootorit paiknevat kaitsereleed, reguleerides selle rakendusvoolu nii madalale kui võimalik. See on eriti hästi tehtav siis, kui mootor töötab lühiaegselt, nii et kaitserelee piirkoormustel veel ei jõua rakenduda. Teine võimalus on kasutada mootorisse sisseehitatavate anduritega kaitseseadmeid. Kuna mähise laupühendused on siin väikeste mõõtmetega, ei osutu sageli võimalikuks ega otstarbekohasekski andurite paigutamine mähisekeerdude vahele, vaid hoopis laupühenduse pinnale, eriti vananenud isolatsiooniga mähiste puhul, kindlustades hea soojusliku kontakti mähiste ja anduri vahel.

Mõnigaid raskusi on ühefaasiliste mootorite kaitsmisega. Juhtudel kui nende käivitamiseks kasutatakse tavalisi, näiteks ППBC-tüüpi lüliteid ja sulavkaitsmeid, ei tule nende täisväärtuslik soojuskaitse kõne alla. Samuti ei ole väikeste ühefaasiliste mootorite korral kasutatavad kahepooluselised automaatlülitid АП-50, sest nende rakendusvoolud on suuremad kui väikeste ühefaasiliste mootorite nimivoolud. Kasutades ühefaasilisel mootoril sisseehitatavat kaitset, tuleks andurid paigutada nii töö- kui ka käivitusemähise sisse (peale), eriti siis, kui käivitusemähise väljalülitamine toimub automaatselt (näiteks tsentrifugaalreleega).

VI. MOOTORIKAITSELÜLITID

28. Kontaktorid ja magnetkäivitid

Kontaktoriks nimetatakse elektromagnetilist aparaati, mis on ette nähtud elektriseadmete automaatseks ja teatavast kaugusest lülitamiseks. Kontaktori põhilisteks konstruktsioonelementideks on liikumatud ja liikuvad kontaktid, liikumatust ja liikuvast osast koosnev elektromagneti südamik ning magneti ergutusmähis. Liikuvad kontaktid on ühendatud magnetsüdamiku liikuva osaga selliselt, et need südamiku kokkutõmbumisel mähist läbiva voolu toimel kas sulguvad (normaalselt avatud kontaktid) või avanevad (normaalselt suletud kontaktid). Kontaktori kontaktid peavad taluma suurt (miljoneid) lülituste arvu ja mitmekümne lülituseni minutis ulatuvat lülituste sagedust. Kontaktoril on kahesuguse ehituse ja ülesandega kontakte: tugevamad peakontaktid on seadmete peavooluringide sisse- ja väljalülitamiseks ning abikontaktid juhtimise ja signalisatsiooni vooluringide lülitamiseks. Sõltuvalt peakontaktide arvust tehakse vahet ühe-, kahe-, kolme- ja enamapooluseliste kontaktorite vahel. Kontaktide materjaliks on tavaliselt vask, sageli ka parema elektrijuhtivusega ja vähem oksüdeeruv hõbe. Viimane asjaolu on eriti tähtis, kui kontaktor töötab nimivooluga pidevalt pikka aega.

Kontaktori poolt lülitatav vool ei tohi olla tugevam kui 7...10-kordne nimivool; seetõttu ei saa kontaktorit kasutada lühisevoolu lahutamiseks. Lülitatavate vooluringide maksimaalne pinge on tavaliselt 500...660 V ja ainult väga harva üle 1000 V (näiteks kontaktor KB pingele kuni 1500 V ja vahelduvvoolu sagedusele kuni 8000 Hz).

Kontaktorid on tavaliselt lahtise ehitusviisiga, monteeritud isoleerainest plaadile ja neid valmistatakse nii alalis- kui ka vahelduvvoolule.

Jõuvooluringide lülitamiseks ettenähtud alalisvoolukontaktorid erinevad vastavatest vahelduvvoolukontaktoritest peamiselt kaarekustutusseadmete poolest. Neil on tavaliselt magnetiline kaarekustutusseade. Alalisvoolukontakto-reid ilma kaarekustutusseadmeteta kasutatakse juhtudel, kui on vaja kas lahutada koormuseta vooluringe, katkestamisel jääb kontaktidele väike pinge või on lahutatavad vooluringid väikese induktiivsusega.

Andmed mõningate enamlevinud alalisvoolukontaktorite kohta, milliseid võiks kasutada elektrimootorite juhtimisel, on toodud tabelis 22.

Tabel 22

Tüüp	Suurus	Nimivool A	Peakontaktide arv	
			Sulguvaid	Avanevaid
KП-1	1	40	1...3	0...1
KП-2	2	75	1...2	0...1
KП-203	3	150	1	—
KП-223	3	75	—	1
KП-502	2	100	1	—
KП-503	3	150	1	—
KП-504	4	300	1	—
KП-505	5	600	1	—
KП-904A	4	300	1	—
KП-905A	5	600	1	—
KПД-110	0	25	1	—
KПД-111	1	60	1	—
KПДЗ-111	1	60	—	1
KПД-121	1	60	2	—
KПД-131	1	60	1	1
KПД-112	2	100	1	—
KПД-113	3	150	1	—
KПД-114	4	300	1	—

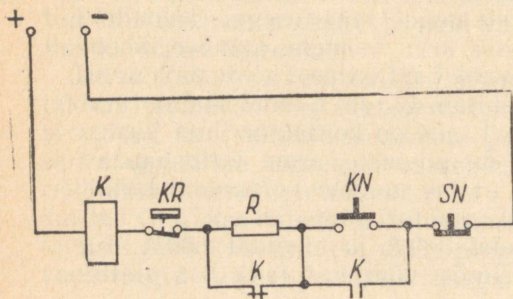
Kuigi vahelduvvoolu elektrimootorite juhtimiseks on kasutusel selleks eraldi kohandatud seadmed — magnetkäivitid, vaatleme seejuures ka mõningaid vahelduvvoolu kontakteid, kuna neid kasutatakse üsna tihti kommutatsiooniparaatidena jaotusseadmeis, aga samuti ka suuremate asünkroonmootorite (alates 75...100 kW) juhtimise ja kaitselülititena liigkoormuste vastu. Üheks kõige levinumaks on vahelduvvoolu kontaktoritest KTB-tüüpi kontaktorid. Tutvume lähemalt nende tähistusega. Tähtedele KTB järgneva kahekohalise arvu esimene number tähendab peavooluringi lülitavate kontaktide (pooluste) arvu, teine — suurust. Kui tüübitähises on kolmekohaline arv, mille esimene number on 1, siis on kontaktor ilma kaarekustutuskaambriteta. Siin on pooluste arvu iseloomustav number teisel ja suurust näitav number kolmandal kohal. KTB-tüüpi teise suuruse kontaktori nimivool on 75 A, kolmandal — 150 A, neljandal 300 A ja viiendal 600 A. Ka kontaktori juhtimisvooluringis võib kasutada kas alalis-

või vahelduvvoolu. Tavaliselt kasutatakse kontaktorite juhtimiseks samaliigilist voolu, millele kontaktor on ette nähtud. Kontaktoritel КТПВ-500 on aga peakontaktid vahelduvvoolu lülitamiseks, kuna juhtvooluringis kasutatakse alalisvoolu. Kui tekib vajadus alalisvoolu kasutamiseks teiste vahelduvvoolukontaktorite juhtimisel, tuleb kasutada voolu piiramiseks mähisega järjestikku lülitatud takistit, sest alalisvoolu korral ei tule arvesse mähise induktiivtakistus (joon. 84). Lähemaid andmeid mitmesuguste kontaktorite kohta võib leida kirjandusest [54].

Alalisvooluga juhitava kontaktori magnetsüdamik võib olla massiivterasest, vahelduvvoolu korral aga tuleb südamik valmistada elektrotehnilisest lehtterasest. Joonisel 85 on näitena toodud vahelduvvoolukontaktor КТВ-32 nimi-voolule 75 A ja pingele 380 V.

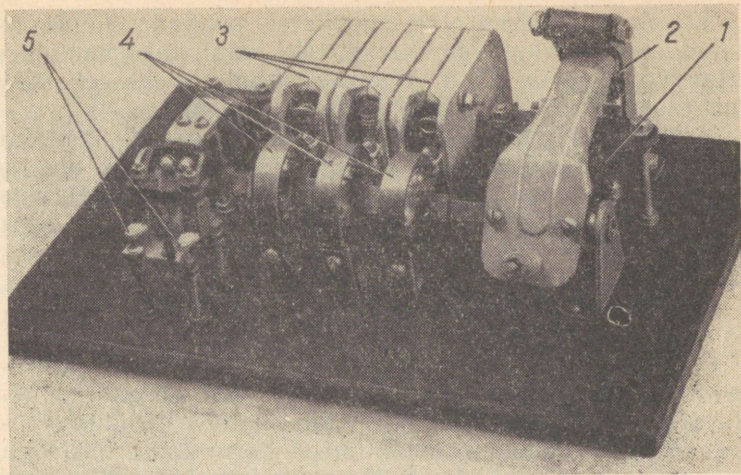
Et enamiku kontaktorite kontaktid lahutuvad magnet-süsteemi liikuva osa eemaldumisel paigalseisvast oma raskuse tõttu, tuleb nende monteerimisel silmas pidada asendit. Näiteks kui joonisel 85 kujutatud kontaktori plaat paigaldada horisontaalselt, siis jäävad tema kontaktid juhtimisvoolu väljalülitamisel suletuks.

Nagu juba mainitud, on kontaktori iseärasuseks teiste lülitusaparatuuridega võrreldes see, et nad taluvad lülituste suurt arvu ja sagedust. Sellest lähtudes on kontaktori kvaliteedi üheks oluliseks näitajaks nii mehaaniline kui ka elektriline kulumiskindlus. Mehaanilist kulumiskindlust iseloomustab vooluta lubatav lülituste arv, ilma et ükski tema osadest puruneks või ülemäära kuluks. Vahelduvvoolukontaktor loetakse heaks, kui ta talub üle kümne miljoni lülituse. Sellise kontaktori mehaaniline kasutusiga oleks sagedusega 300 lülitust tunnis kahevahetuselise töö korral ligi 8 aastat.



Joon. 84. Vahelduvvoolukontaktori mähise lülitus juhtvooluringi viimase toitmisel alalisvooluga:

K — kontaktori mähis ja blokk-kontaktid; KR — kaitserellee; R — mähisega järjestikku ühendatav lisatakisti; KN — käivitusnupp; SN — seiskamisnupp



Joon. 85. Kontaktor KTB-32, 75 A, 380 V:

1 — mähis; 2 — südamiku liikuv osa; 3 — kaarekustutuskaamerid; 4 — liikuvate kontaktide painduvad ühendused; 5 — blokk-kontaktid

Elektriline kulumiskindlus on määratud põhiliselt kontaktide vastupidavusega. Kontaktori juures on kontaktide kõlbmatuks muutumise kõige olulisemaks põhjuseks nende nn. põlemine välja- ja sisselülitamisel tekkiva kaare toimel. Valitseb arvamus, et kontaktide elektriline kulumine toimub peamiselt vooluringi lahutamisel. Üldiselt see nii ongi, aga mitte alati. Lühisrootoriga asünkroonmootorite juhtimiseks kasutatavatel kontaktoreil on sisselülitatav vool tavaliselt katkestatavast 4...7 korda tugevam. Kontaktide konstruktsiooni (suur mass, jäikus) tõttu tekib pärast nende esialgset kokkupuudet vibreerimine, mis kestab mõnest kümnetuhandikust kuni mõne tuhandiku sekundini. Seejuures katkeb kontakt mitu korda. Kui näiteks katkestus vibratsiooni tõttu kestab 4 kuni 5 millisekundit, siis on kontaktide elektriline kulumine asünkroonmootori käivitamisel tunduvalt suurem kui väljalülitamisel nimivooluga.

Vibratsiooni kestust mõjutavad veel kontaktide sulgemise kiirus (mida suurem on sulgemiskiirus, seda tugevam vibratsioon), kontaktvedru surve (surve suurenedes vibratsioon väheneb) jne.

Sagedasel lülitamisel ei soovitata kasutada hõbekontakte, sest need kuluvad kiiresti, eriti juhul, kui kommuteeritav vool ületab 100 A. Viimasel juhul tuleks eelistada metallokeramiisi kontakte (OK-15, CH-40).

Vahelduvvoolukontaktoril ei mõjuta antud kontakti materjali puhul lülitatava vooluringi induktiivsus ega ka lülitussagedus oluliselt kontaktide kasutusiga (lülituste arvu). Küll aga on elektriline kulumine võrdeline vooluga selle esimeses kuni teises astmes (voolu tugevnedes astmenäitaja suureneb).

Kontaktori mähis peab kindlustama kontakti kindla töötamise toitepingel $0,85 \dots 1,05 U_n$.

Kontaktoreid nende üldtuntud kujul kasutatakse peamiselt alalisvoolu- ja suure võimsusega (üle 75 kW) vahelduvvoolumootorite juhtimisel. Väiksemate, eriti lühisrootoriga asünkroonmootorite juhtimisel kasutatakse peaaegu eranditult magnetkäiviteid. Magnetkäiviti kujutab endast kontaktorit, mis on enamasti paigutatud kaitseks tolmu või niiskuse eest vastavasse kesta. Valmistatakse ka käiviteid hermeetiliselt suletud kestas ja ka õlis asuvate kontaktidega. Peale kontaktori kuuluvad magnetkäiviti juurde veel termoreleed ja juhtimisnupud. Lihtsamad lahtised termokaitsmeta magnetkäivitid aga on lihtsalt kontaktorid. Nii käsitletakse erialases kirjanduses kontaktoritena siinjuures käivilitena vaadeldud lülitusaparaate ПМИ-1, ПМИ-2 jt.

Laialdaselt on majandites ja ettevõtetes kasutusel П-tüüpi käivitid, mistõttu on õigustatud ka nende vaatlemine käesolevas raamatus, kuigi nad kuuluvad lähemal ajal tootmisest kõrvaldamisele (osaliselt ongi juba kõrvaldatud). Nende tüübitähis sisaldab peale üldtähise П veel kolmekohalise arvu, mille esimene number iseloomustab käiviti suurust (gabariiti), teine ehitusviisi (1 — lahine, 2 — kaitstud, 3 — vee- ja tolmutihe) ja kolmas termokaitse olemasolu ja reverseeritavust (1 — tavaline, mittereverseeritav termokaitsmeta käiviti, 2 — tavaline termokaitsmega käiviti, 3 — termokaitsmeta reversiivkäiviti ja 4 — termokaitsmega reversiivkäiviti). Täht M tähise lõpus viitab sellele, et tegemist on moderniseeritud käivitiga, kuna T iseloomustab troopikatingimustele kohandatud ehitusviisi.

Igale suurusele on iseloomustav kontaktide nimivool. Nii on esimese suuruse П-tüüpi käiviti kontaktide nimivool

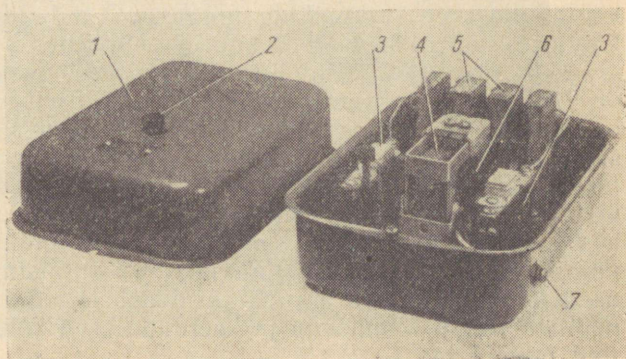
luks kaitstud ehitusviisi puhul 13,5 A, lahtisel käivitel 15 A, teisel suurusel vastavalt 20 ja 22,5 amprit, kolmandal suurusel mõlemal juhul aga 50 A. Neljanda suuruse kaitstud ehitusviisiga käivitel on nimivooluks 90 A, lahtistel 100 A, kuna viiendal suurusel on mõlemate nimivool jälle võrdne 140 A-ga [55]. Otstarbekohane on anda andmed vastava suurusega käivititega lülitatavate mootorite maksimaalse võimsuse kohta. Need on toodud tabelis 23.

Tabel 23

Käiviti suurus (gabariit)	Lülitatava elektrimootori suurim võimsus (kW) pingel V			
	127	220	380	500
1.	1	1,7	1,7	1,7
2.	2,5	4	5	5,5
3.	7	10	20	28
4.	10	20	28	40
5.	20	40	55	75

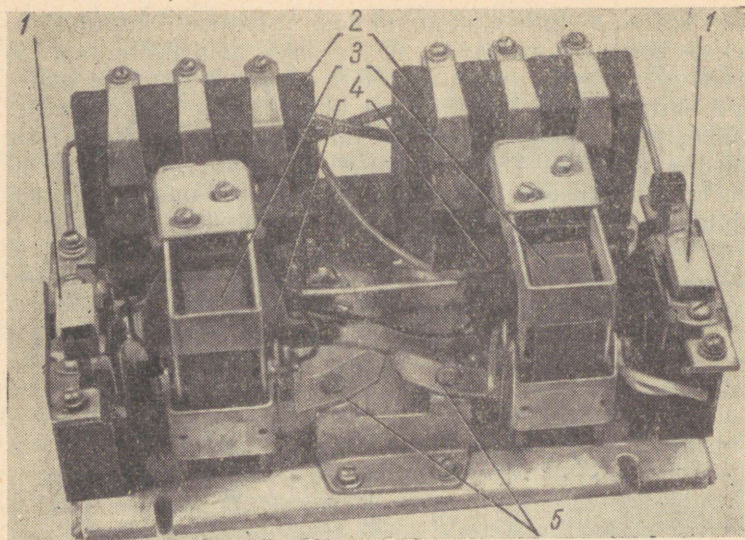
Käiviteid võib kasutada vaheajalisel talitlusel lülituste sagedusega tunnis kuni 150 ja suhtelise töötamisajaga (vene keeles ПВ) $\epsilon = 40\%$.

Joonisel 86 on näidatud teise suuruse kaitstud ehitusviisiga ja termokaitsmega П-tüüpi magnetkäiviti. Termokaitsmeks on kaks ühefaasilist releed PT-1, П-tüüpi reversiivkäiviti on toodud joonisel 87 (mahavõetud kattega).



Joon. 86. Magnetkäiviti П-222:

1 — kaas; 2 — ennistusnupp; 3 — releed PT-1; 4 — südamiku liikuv osa; 5 — kaarekustutuskambrid; 6 — mähis



Joon. 87. Reversiivkäiviti П-324 (kestast väljavõetuna):

1 — releed PT-2; 2 — kaarekustutuskaambrid; 3 — südamik; 4 — mähis; 5 — mehaaniline blokeering

Peale juhitava mootori peavooluringi ühendatava kolme kontakti on П-tüüpi käivitel tavaliselt veel üks normaalset avatud blokk-kontakt. Vajaduse korral võib aga blokk-kontaktide arvu suurendada teise kuni neljanda suuruse käivites kaheni ja viienda suuruse käivites kolmeni.

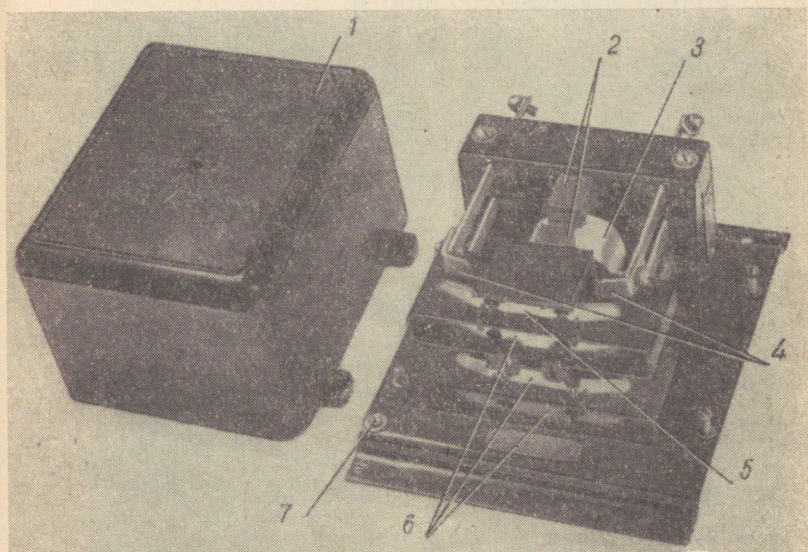
Üheks magnetkäivite juures sageli esinevaks rikkeks on hoidepooli mähise läbipõlemine. Selle põhjuseks võib olla mähise lülitamine ebaõigele pingele, liikuva osa mittesisselülitumine mehaanilise kinniilumise tõttu jne. Kuigi poolil on tavaliselt andmed mähisetraadi ja keerdude arvu kohta olemas, esineb küllalt sageli juhtumeid, kus need on kas liigkuumenemise tõttu mitteloetavaks muutunud või mõnel muul põhjusel kadunud, mistõttu on otstarbekohane need ka siinjuures ära tuua. Andmed П-tüüpi käivite mähiste traadi läbimõõdu ja keerdude arvu kohta on toodud tabelis 24.

Üsna laialdaselt, eriti põllumajanduses kasutatakse käiviteid ПИМ. Neid valmistatakse kahes suuruses (gabarii-dis): ПИМ-0-3 ja ПИМ-1-3. Nullsuuruse käiviti kontaktide

Tüüp	Traadi läbimõõt (mm) pingel V				Keerdude arv pingel V			
	127	220	380	500	127	220	380	500
П-100	0,25	0,18	0,14	0,12	1800	3150	5400	7100
П-200М	0,25	0,2	0,15	0,13	1500	2500	4350	5650
П-300М	0,38	0,29	0,23	0,2	1130	1950	3380	4450
П-400	0,83	0,64	0,47	0,44	490	850	1470	1935
П-500	0,93	0,69	0,53	0,47	640	1100	1910	2510

nimivool on 15 A, esimesel suurusel 25 A. Nullsuuruse käiviteid toodetakse ka reversiivsetena ja selle tüübi tähiseks on ППМР-0-3. Käivitid on kaitstud ehitusviisiga, ilma termoreleedeta ja nende juurde kuuluvad lülituspupud РК-2 (РПК-2) või РПК-3.

Nullsuuruse käivite mähisel on pingel 220 V 3200 kerdu emailtraati läbimõõduga 0,18 mm, pingel 380 V aga 5500 kerdu emailtraati läbimõõduga 0,14 mm.



Joon. 88. Magnetkäiviti ППМ-1-3:

1 — kaas; 2 — südamik; 3 — mähis; 4 — liikumatud blokk-kontaktid; 5 — blokk-kontaktide liikuv sild; 6 — liikuvad peakontaktid; 7 — maanduskruvi

Esimese suuruse käivitite mähisel on 220 V korral 2100 keerdu (traadi läbimõõt 0,29 mm) ja 380 V korral 3600 keerdu (traadi läbimõõt 0,22 mm).

ППМ-tüüpi käiviti on kujutatud joonisel 88. Kontaktori ehituselt on ППМ-tüüpi käivitiga sarnased käivitid МПК. Nende suurused ja nimivoolud on samad kui eelmistel, nimelt nullsuuruse käivitid МПК0 nimivoolule 15 A ja esimese suuruse käivitid МПК1 nimivoolule 25 A. Reversiivkäiviteid tähistatakse vastavalt МПКР0 ja МПКР1. Tüübi tähisele järgneb veel kolmekohaline arv, mille esimene number tähendab ehitusviisi (1 — lahtine, 2 — kaitsitud) ja kolmas blokk-kontaktide arvu. Käiviteid normaalselt kaitsereleedega ei komplekteerita, kuid nendega soovitatakse kasutada eraldi paigaldatavaid kahefaasilisi termoreleesid PT-1. Ka käivitite МПК tootmine lõpetatakse.

Eespool vaadeldud vanemate käivititüüpide põhiliseks puuduseks on vähene mehaaniline ja elektriline vastupidavus, suured mõõtmed ning veel mõned konstruktiivsed puudused, millest tuleb juttu edaspidi. Käivitid МПК ja ППМ taluvad ainult 200 000 lülitust.

Uuematest käivititüüpidest asuvad eespool vaadeldute asemele põhiliselt käivitid ПМЕ (0...2 suurus) ja ПА (3...6 suurus).

Võrreldes eespool vaadeldutega on käivitite ПМЕ kontaktsüsteem kergem ja elastsem. Andmed nende käivitite nimivoolude ning lülitatavate mootorite võimsuse kohta on toodud tabelis 25 [56].

Tabel 25

Suurus	Käiviti tüüp	Nimivool pingel 380 V A	Lülitatava elektrimootori suurim võimsus (kW) pingel V				Käivitis kasutatav kaitserelee
			127	220	380	500	
0	ПМЕ-000	3	0,27	0,6	1,1	0,6	TPH
1	ПМЕ-100	10	1,1	2,2	4	4	TPH
2	ПМЕ-200	23 (25)*	3	5,5	10	10	TPH

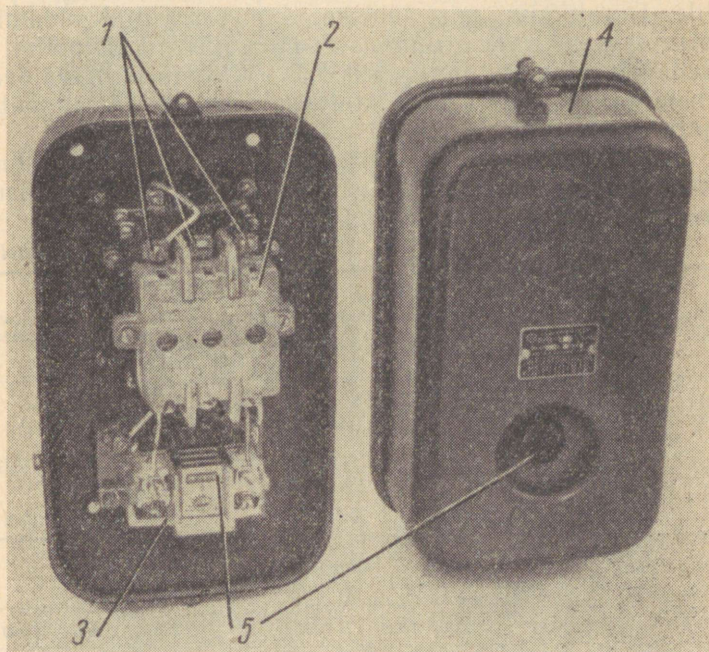
* Sulgudes antud andmed lahtise ehitusviisiga käiviti kohta.

Tüübitähises sisalduvate numbrite tähendus on esimese ja teise suuruse käivititel samad kui П-tüüpi käivititel. Nullsuuruse käivitel on esimese ja kolmanda numbri tähendus

dus sama. Erineb teise numbri tähendus. Nimelt on käivitid ПМЕ-011, ПМЕ-012, ПМЕ-021, ПМЕ-022, ПМЕ-031 ja ПМЕ-032 ühe sulguva blokk-kontaktiga. Käivititel ПМЕ-041, ПМЕ-042, ПМЕ-051, ПМЕ-052, ПМЕ-061 ja ПМЕ-062 on üks sulguv ja kaks avanevat blokk-kontakti ning käivititel ПМЕ-071, ПМЕ-072, ПМЕ-081, ПМЕ-082, ПМЕ-091 ja ПМЕ-092 üks sulguv ja neli avanevat blokk-kontakti. Kõigil ПМЕ-tüüpi käivititel on kolm sulguvat peakontakti.

Esimese ja teise suuruse käivitid võivad olla varustatud kas kahe sulguva või kahe sulguva ning kahe avaneva blokk-kontaktiga.

Käiviteid ПМЕ-000 valmistatakse Kašini Elektriaparaatide Tehases, ПМЕ-100 — Moskva Madalpingeaparaatide



Joon. 89. Käiviti ПМЕ-222:

1 — sisendklemmid; 2 — kate (kaarekustutuskamber); 3 — rele TPH; 4 — kaas; 5 — ennistusnupp

Tehases (HBA) ja ПМЕ-200 — Riia Elektrimasinaehitus-
tehases [56]. Käiviti ПМЕ-222 on näidatud joonisel 89.

Käivitiid ПА asuvad suuremate П-tüüpi käivitite ase-
mele. Nende mehaaniline vastupidavus ulatub 10 miljoni,
elektriline aga 2 miljoni lülituseni.

Erinevalt eespool vaadeldud käivititest, kus südamiku
liikuva osa ja sellega ühendatud kontaktsildade teekond on
sirgjooneline, toimub nende liikumine ПА-tüüpi käivitis
mööda kaart. Et aga magnetsüdamiku õlg on kontaktide
õlast umbes 2,5 korda pikem, siis vastavalt väiksem on ka
kontaktide sulgemiskiirus, mis tingib nende tunduvalt
väiksema vibreerimise sulgumisel (kestus umbes 0,3 milli-
sekundit). Seetõttu on kontaktide põlemine nendel tundu-
valt väiksem kui П-tüüpi käivitel. Südamiku liikumatu
osa on kinnitatud amortisaatoritele, mis vähendavad lööki
sisselülitamisel. Pool ei ole kinnitatud mitte südamikule,
vaid eraldi, mistõttu on välditud igasugused löögid poo-
lile. Duralumiiniumist lühiskeerd on pressitud südamiku
otsa sees asuvaisse uurdeisse, mis viib miinimumini ka
selle vigastusest tingitud rikked. Peavooluringi iga faasi
metallokeraamilised kontaktid asuvad tulekindlast mater-
jalist kambris.

ПА-tüüpi käiviteid valmistatakse neli suurust. Andmed
nende nimivoolude ning lülitatavate mootorite võimsuse
kohta on toodud tabelis 26.

Tabel 26

Suu- rus	Käiviti tüüp	Nimi- vool A	Lülitatava mootori suurim võimsus (kW) pingel V				Kasutatav termorelee
			127	220	380	500	
III	ПА-300	40	5,5	10	17	17	ТРН
IV	ПА-400	63	10	17	30	30	ТРП-60
V	ПА-500	110	17	30	55	55	ТРП-150
VI	ПА-600	150	22	40	75	75	

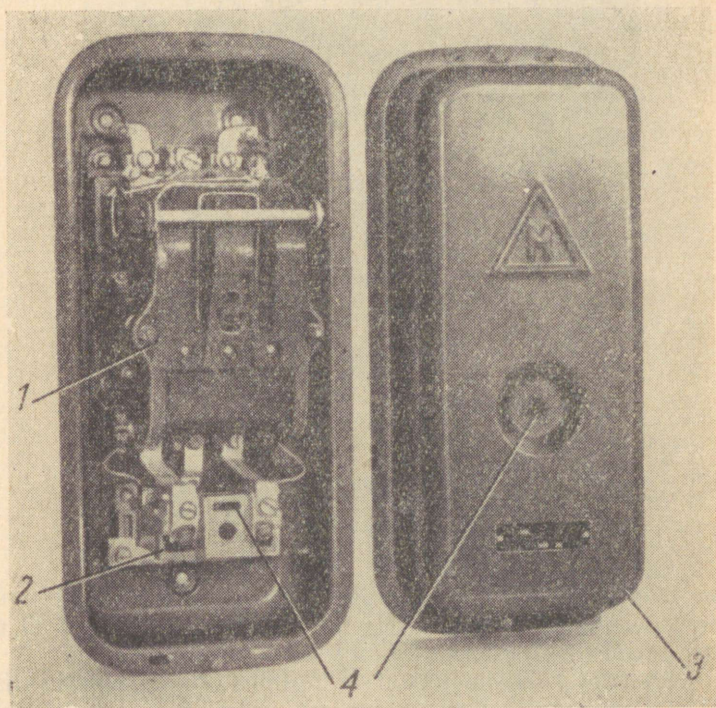
Tabel 27

Tüüp	Traadi läbimõõt (mm) pingel V				Keerdude arv pingel V			
	127	220	380	500	127	220	380	500
ПА-300	0,31	0,25	0,19	0,16	1330	2280	3800	5180
ПА-400	0,47	0,35	0,27	0,23	920	1600	2760	3640
ПА-500	0,64	0,49	0,35	0,31	700	1200	2070	2730
ПА-600	0,83	0,62	0,47	0,41	516	890	1540	2020

Käivite PA tüübitähises sisalduva kolmekohalise arvu numbrite tähendused on samad kui vanadel П-tüüpi käivititel.

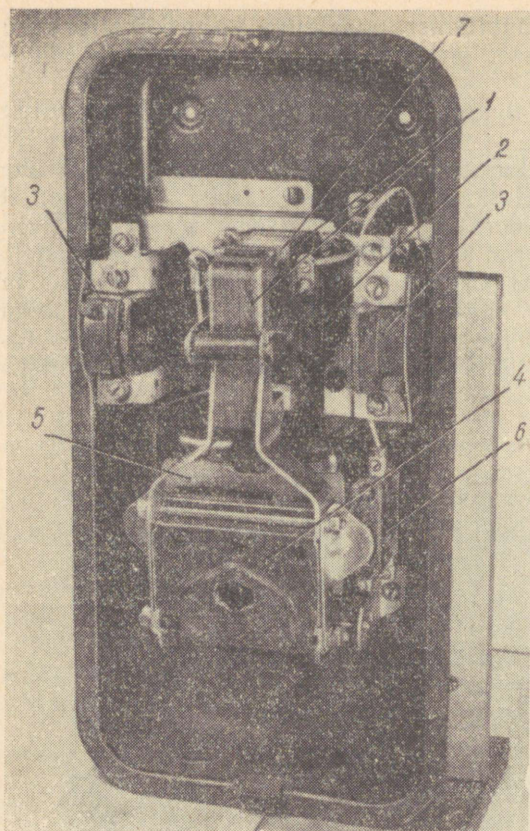
Tabelis 27 on toodud veel andmed PA-tüüpi käivite mähiste kohta.

Joonisel 90 on kujutatud käiviti PA-322, varustatud ühe kaitserelega ТРН-32; joonisel 91 — käiviti PA-422, millel on kaks ТРП-60-tüüpi kaitsereled. Reversiivkäiviti PA-424 on kujutatud joonisel 92. Väiksematele võimsustele valmistatakse veel käiviteid ПМИ-0, ПМИ-1, ПМИ-2 ja П-6. ПМИ-tüüpi käiviteid valmistatakse nii lahtistena (kontaktorid) kui ka kaitsekestas. Viimasel juhul kasutatakse neil sama tähistust kui П-tüüpi käivititel. Näiteks



Joon. 90. Käiviti PA-322:

1 — kontaktor; 2 — kaitserелеe ТРН-32; 3 — kaas; 4 — ennistusnupp



Joon. 91. Magnetkäiviti ПА-422:

1 — südamik; 2 — mähis; 3 — termoreleed ТРП-60;
 4 — liikuva kontaktsüsteemi kate; 5 — liikumatu
 kontaktsüsteemi karp ja kaarekustutuskambrid;
 6 — blokk-kontaktid; 7 — lühiskeerd

on käiviti ПМИ-222 kaitsitud ehitusviisiga, käivitis paik-
 neva termokaitsmega teise suuruse käiviti. Joonisel 93 on
 kujutatud lahtine käiviti (kontaktor) ПМИ-1.

Käivititel П-6 kasutatakse mitmesugust tähistusviisi.
 Tbilisi tehas «Электропускатель» valmistab telferite juh-
 timiseks reversiivseid käiviteid П6-2Т (uus tähis П6-123Т)
 ning mittereversiivseid П6-3Т (П6-122). Nende käivite

peakontaktide nimivool on 10 A. Käivitites П6-3Т kasutatakse soojusreleesid РТ. Uuemates seda tüüpi käivitites võetakse kasutusele releed ТРН-8. Mähise traadi läbimõõt on 220 V pingel 0,14 mm, 380 V korral 0,1 mm. Keerdude arv vastavalt 4700 ja 8100.

Kuni 10 A nimivoolu taluvad ka Kedaini tehases toodetavad П6-tüüpi käivitid:

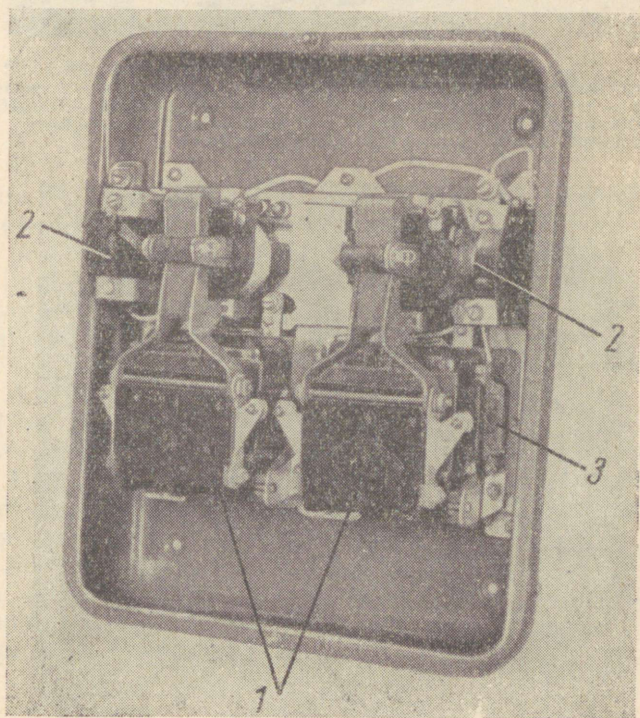
П6-111 (П6) — lahtised mittereverssiivsed,

П6-121 (П61) — kaitstud mittereverssiivsed,

П6-113 (П63ТА) — lahtised reverssiivsed,

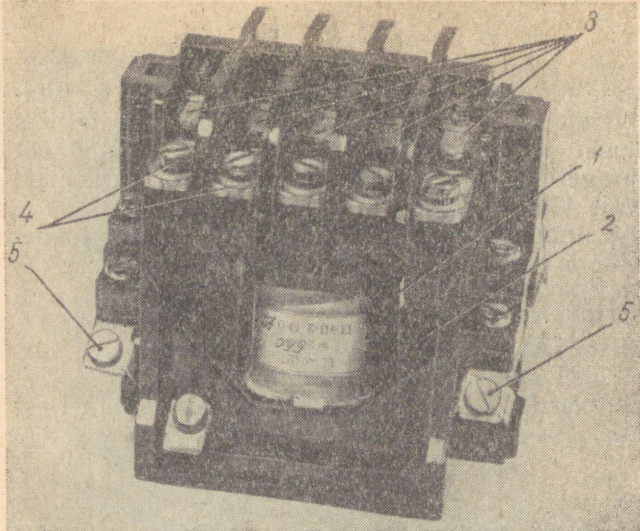
П6-123 (П62ТА) — kaitstud reverssiivsed ja

П6-115 lahtised topelt reverssiivsed (koosnevad neljast üksikkäivitist П6-111) [59].



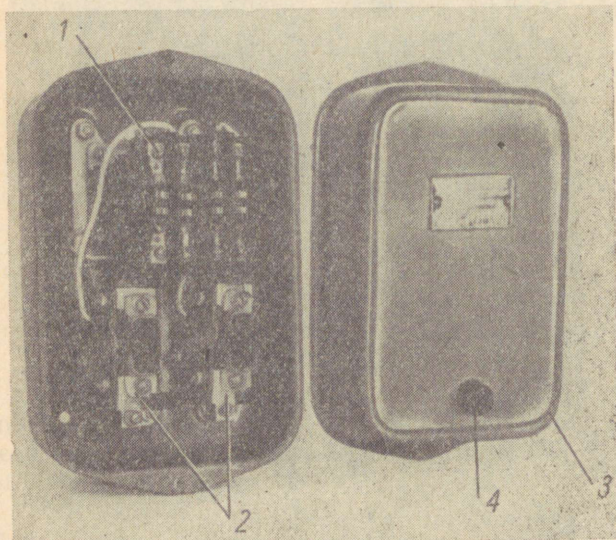
Joon. 92. Käiviti ПА-424:

1 — kontaktorid; 2 — kaitserleed ТРП-60; 3 — blokk-kontaktid



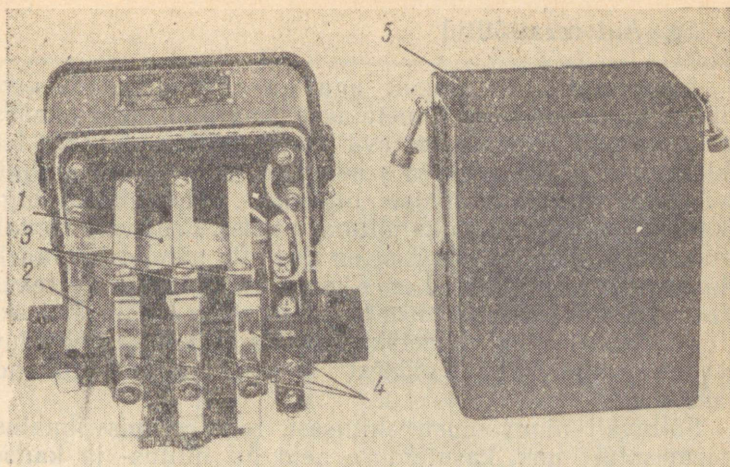
Joon. 93. Käiviti (kontaktor) ПМИ-1:

1 — mähis; 2 — südamik; 3 — liikuvad kontaktisillad; 4 — liikumatute kontaktide liistud ja ühendusklemmid; 5 — normaalselt suletud kontaktide ühendusklemmid



Joon. 94. Käiviti П6-3Т:

1 — kontaktor; 2 — kaitsereleed ПТ; 3 — kaas; 4 — ennistusnupp



Joon. 95. Olis paiknevate kontaktidega käiviti MMΠ-2:

1 — mähis; 2 — südamik; 3 — liikumatud kontaktid; 4 — liikuvad kontaktisillad; 5 — õlipaak

Käiviti П6-3Т on kujutatud joonisel 94.

Seni oleme kirjeldanud ainult levinumaid ja perspektiivsemaks peetavaid uuemaid käivitustüüpe. Üldse toodetakse NSV Liidus praegu väga mitmesuguse ehituse ja otstarbega magnetkäiviteid. Nii näiteks valmistatakse Leningradis käiviteid MM-2 kuni 20-kilovatistele mootoritele, Klintsõ tekstiilmasinatehas õlis asuvate kontaktidega käiviteid MMΠ-2 kuni 10-kilovatistele mootoritele pingel 380 V (joon. 95). Tehas «Кузбассэлектромотор» toodab söekaevandustele plahvatusohutuid käiviteid PMB (reversiivsed ПМБР) nimivooludele 60...240 A, tehas «Илмарине» reversiivseid käiviteid МКР-0-58 kuni 1 kW mootoritele (pingel 220/380 V) jne.

Igal uuel käivitel on tavaliselt kaasas informatsioonileht, kus leiduvad tema kohta kõik põhilised andmed. Isegi selle puudumisel võib sildilt alati leida andmed lubatava pingele ja voolu kohta.

29. Automaatlülitid

Automaatlülitiks, sageli aga ka õhkautomaadiks või lihtsalt automaadiks nimetatakse aparati, mis temasse paigutatud kaitsmele vastava ebanormaalse olukorra tekkimisel lahutab kaitstava seadme võrgust. Automaatlüliti võib olla varustatud lühise-, liigvoolu-, või minimaalpingekaitsmega, sageli aga ka mitmega neist. Erinevalt kontaktoritest ja magnetkäivititest on nad ette nähtud harvadeks lülitusteks ning sobivad oma kontaktüsteemi ja kaarekus-tutusseadmete ehituse tõttu ka lühisevoolu katkestamiseks.

Automaatlüliteid toodetakse nii alalis- kui ka vahelduvvoolule tugevusega mõnest amprist mitme tuhande amprini.

Sõltuvalt nimivoolust, ehitusest, reguleerimisvõimaluse olemasolust jms. kasutatakse neid nii lülitus- ja kaitseaparadina jaotusseadmeis kui ka üksikute seadmete — muuhulgas ka elektrimootorite kaitseks ning harvadeks lülitusteks. Nende eeliseks kaitseaparadina sulavkaitsmetega võrreldes on võimaluse puudumine ühe faasi katkemiseks ning toite kiire taastamise võimalus sisselülitamise teel. Kui likvideerida ühe faasi eraldi katkemise võimalus, peaks tunduvalt vähenema ka elektrimootorite rikete tõenäosus, kuna, nagu selgub eespool toodud statistikast, on faasi katkemine peamiseks kolmefaasiliste mootorite rikete põhjuseks. Tugevamatele nimivooludele (400...2000 A) kasutatakse AB-tüüpi automaate. Neist AB4 on maksimaalsele nimivoolule 400 A (maksimaalvoolukaitsme nimivool võib olla 100, 150, 200 ja 400 A), AB10 — 1000 A, AB15 — 1500 A ning AB20 — 2000 A.

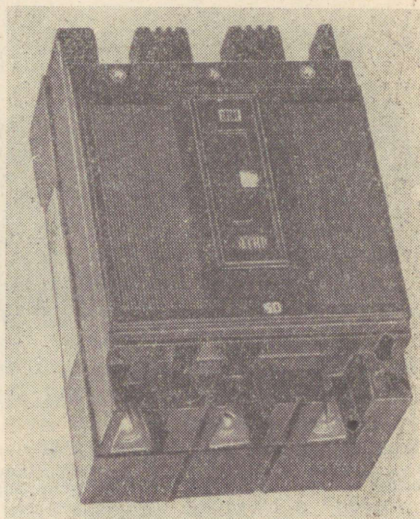
Väiksemates jaotusseadmetes kasutatakse A-3100-tüüpi automaatlüliteid. Neid valmistatakse nimivoolule 50...600 amprit ühe-, kahe- ja kolmepooluselistena. Kaitsmetest võib automaat A-3100 olla varustatud termokaitsmega liigkoormuse vastu, elektromagnetilise lühisekaitsmega või ka mõlemaga (nn. kombineeritud kaitseseadmega). Ka toodetakse neid veel hoopis ilma kaitseseadmega, s. t. mitteautomaatseina. Automaatide A-3100 tähistus on võrdlemisi komplitseeritud, kuna selles puudub rangelt välja-peatud süsteem.

Mõningal määral aitab selles orienteerida kirjanduses [10] toodud tabel, millises leiduvad andmed on toodud allpool tabelis 28.

Tüübi tähis	3. ja 4. numbri tähendus		Seletus
	3. number	4. number	
A-3100			Tüübi tähis
	1		Kontaktide nimivool 100 A
	2		Sama, suurema lühisekindlusega
	3		Kontaktide nimivool 200 A
	4		Kontaktide nimivool 600 A
	6		Kontaktide nimivool 50 A
		1	Ühepooluseline
		2	Kahepooluseline
		3	Kolmepooluseline (A-3163) või kahepooluseline (ülejäanud suurused)
		4	Kolmepooluseline (A-3114, A-3124, A-3134, A-3144)

Automaatlüliteid A-3161 võib kasutada alalispingel 110 V ja vahelduvpingel 220 V, ülejäanud sobivad kasutamiseks 220 V alalispinge ja 380 ... 500 V vahelduvpinge korral.

Automaatide A-3160 kaitseseadmed on nimivooludele 15, 20, 25, 30, 40 või 50 A. Automaatidel A-3110 — 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 85 või 100 A (lühisekaitse rakendusvool on soojuskaitse omast 10 korda suurem).



Joon. 96. Automaatlüliti A-3163

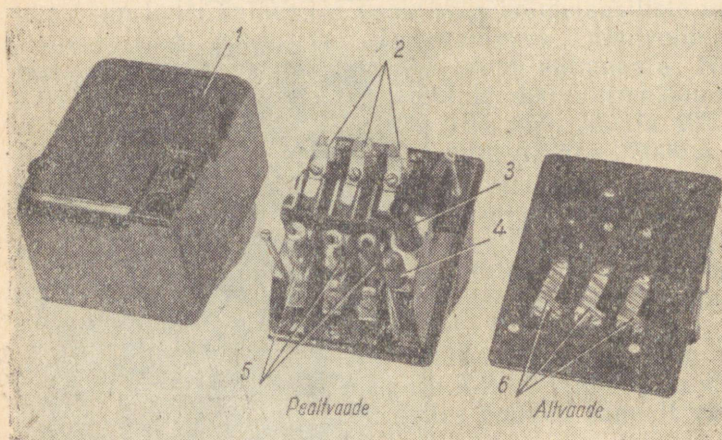
Elektrimootorite kaitseks A-3100-tüüpi automaatlüliteid üldjuhul ei kasutata, sest puudub võimalus nende soojuskaitse rakendusvoolu reguleerimiseks. Automaatlüliti A-3163 välisvaade on toodud joonisel 96.

Põllumajanduses ja tööstuses kasutatavate väiksemate elektrimootorite kaitseülititena tuleksid kõne alla peamiselt АП-50-tüüpi automaadid. Varem toodeti nõrgematele vooludele ka automaate АП-25Т, mis on nüüd tootmisest kõrvaldatud.

Automaadid АП-50 on ette nähtud nimivoolule kuni 50 А.

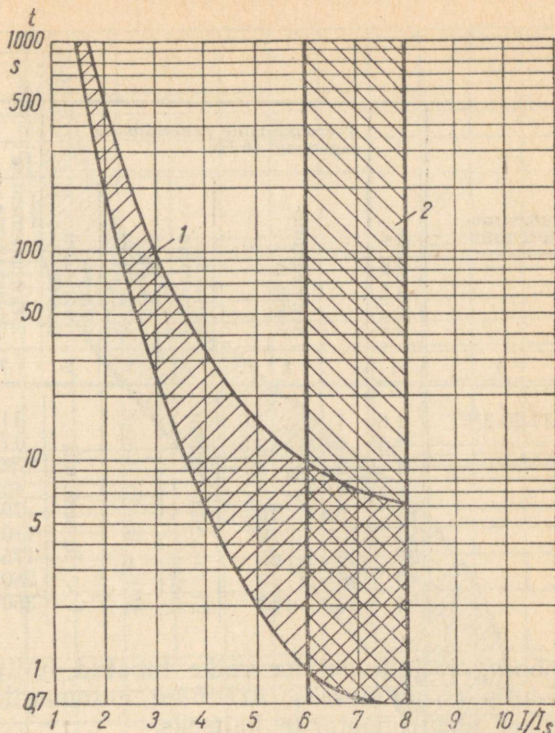
Peale tüübi üldtähise on automaatlülite АП-50 tähises veel näidatud pooluste arv ja kasutatav kaitseseade. Täht М näitab elektromagnetilise lühisekaitse ja täht Т termokaitse olemasolu. Näiteks tähendab АП-50-3МТ elektromagnetilise ja termokaitsemega kolmepooluselist АП-50-tüüpi automaatlüliti. Eritellimisel valmistatakse automaatlüliteid АП-50 veel minimaalpingekaitsemega (Н), distantse väljalülitusseadmega (Д) ja maksimaalvoolukaitsmega nulljuhtmes (0).

Peale peavooluringi kontaktide võib automaatlüliti olla varustatud veel ühe kuni kahe normaalselt avatud ja sama arvu normaalselt suletud blokk-kontaktidega.



Joon. 97. Automaatlüliti АП-50-3МТ:

1 — kaas; 2 — kontaktid; 3 — sisselülitamisnupp; 4 — väljalülitamisnupp; 5 — elektromagnetiline lühisekaitse; 6 — termokaitse.



Joon. 98. Automaatlüliti AP-50 kaitseseadmete tunnusjooned:
 1 — termokaitsme tunnusjoone punktide hajumispiirkond; 2 — elektromagnetilise lühisekaitsme tunnusjoone punktide hajumispiirkond

Tabelis 29 on toodud andmed kombineeritud kaitseseadmega automaatlülite AP-50-3MT kohta.

Toodud rakendumisaeg kehtib termokaitsme kohta. Elektromagnetilise lühisekaitsme lahutusaeg on 0,017 sekundit.

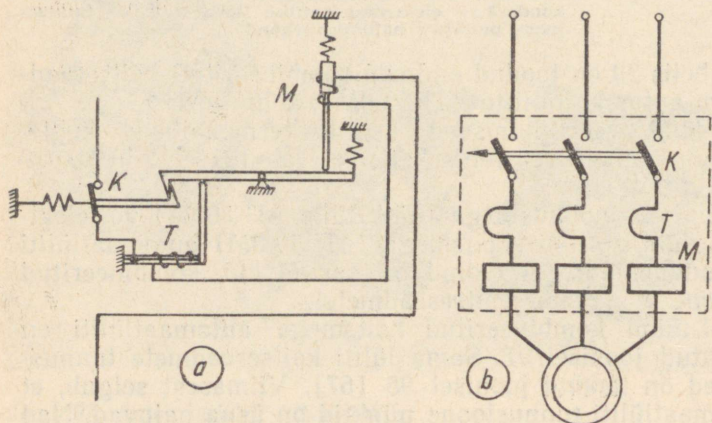
Ainult termokaitsmega (näit. tüüp AP-50-3T) või elektromagnetilise lühisekaitsmega (AP-50-3M) automaatlüliti rakendumisajad ja voolud on samad kui kombineeritud kaitsme vastavatel kaitseseadmetel.

AP-tüüpi kombineeritud kaitsmega automaatlüliti on näidatud joonisel 97. Sama lüliti kaitseseadmete tunnusjooned on toodud joonisel 98 [57]. Viimasest selgub, et automaatlüliti tunnusjoone punktid on üsna hajuvad. Nad asuvad nimelt viirutatud piirkondades. See asjaolu, samuti vajadus jõuvooluringide läbiviimiseks lülitamise kohast,

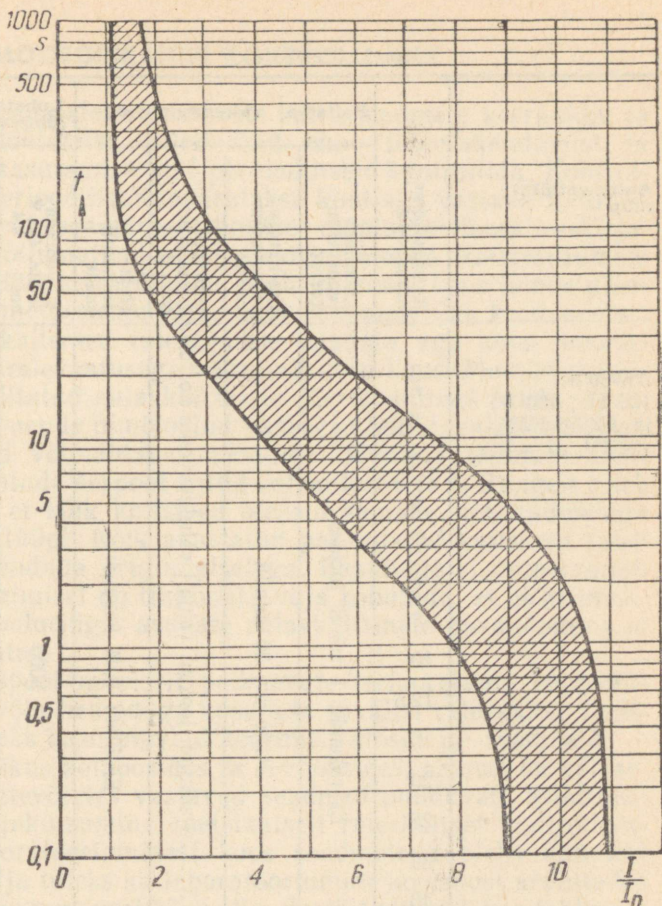
Automaatlüliti tüüp	Termokaitsme rakendusaeag sagedusel 50 Hz					Elektromagnetilise lühisekaitsme rakendusvool A	Lubatud lühisevool A	Ilma kontaktide puhastuseta lubatud lühisevoolu lubatavuste arv
	Kaitseseade nimivool A	Reguleerimispiirid A	1,1-kordse seadevoolu korral	1,35-kordse seadevoolu korral	6-kordse seadevoolu korral			
1	2	3	4	5	6	7	8	9
АП-50-3MT	1,6	1 ... 1,6	Ei rakendu 1 tunni jooksul	Mitte üle 30 minuti	1 ... 10 sekundit	11	300	35
	2,5	1,6 ... 2,5				17,5	400	25
	4	2,5 ... 4				28	600	15
	6,4	4 ... 6,4				45	800	10
	10	6,4 ... 10				70	1500	3
	16	10 ... 16				110	1500	3
	25	16 ... 25				175	2000	3
	40	25 ... 40				280	2000	3
	50	30 ... 50				350	2000	3

mõningail juhtudel ka väike lubatud lülitussagedus, on põhiliseks puuduseks АП-tüüpi automaatlülitite kasutamisel elektrimootorite kaitseks.

Kui on olemas termokaitsmeta magnetkäiviti või kontaktor, võib suurte lülitussageduste korral viimast kasutada



Joon. 99. Kombineeritud kaitseadmetega automaatlüliti skeemid: a — piltseem ühe faasi kohta; b — üldine elektriline skeem (K — kontaktid, M — elektromagnetiline lühisekaitse, T — termokaits)



Joon. 100. Automaatlüliti AK-50 MΓ rakenduspiirkond

juhtimislülitina, kuna kaitselülitiks on АП-tüüpi automaat.

Kaitseseadmete ehituspõhimõttest annab skemaatilise kujutuse joonis 99.

Kirjanduses [57] soovitatakse elektrimootorite kaitsmiseks kasutada veel AK-50-tüüpi automaatlüliteid. Neid automaate valmistatakse kahe- ja kolmepooluselistena ning neid kasutatakse vahelduvvooluseadmeis pingega kuni 400 V ja alalisvooluseadmeis kuni 320 V pingega. Automaatide AK-50 nimivool on 50 A. Neid valmistatakse ka hoopis ilma kaitseseadmeta AK-50-2 (kahepooluselised) ja

Automaatlüliti tüüp	Kaitseseadme nimivool A	Kaitsme rakendumisaeg				Lubatud lühisevool	
		1,1-kordse seadevoolu korral	1,35-kordse seadevoolu korral	6-kordse seadevoolu korral	Hetk-lülitamis-seade	V. vooluga 50 Hz, 400 V $\cos \varphi = 0,4$	Al. vooluga 320 V, vooluringi ajakons-tant 0,01 s
AK-50-MГ (50 Hz, 400 V) ja AK-50-2MГ (320 V, al. v.)	2	Ei rakendu 1 tunni jooksul	Mitte üle 30 minuti	Rakendub 3...30 sekundi jooksul (ainult vahelduvvoolu korral)	Ei ületa 0,04 sekundit	9000	4500
	2,5						
	3						
	4						
	5						
	6						
	8						
	10						
	12,5						
	15						
	20						
	25						
	30						
	40						
	45						
50							

AK-50-3 (kolmepooluselised), ainult elektromagnetilise lühisekaitsmega (AK-50-2M ja AK-50-3M) või elektromagnetilise kaitseseadmega ning hüdraulilise seadmega ajalise viivituse saavutamiseks väljalülitamisel (AK-50-2MГ ja AK-50-3MГ). Hüdrauliline viivitusseade tingib omapärase kaitsekarakteristiku (joon. 100).

Andmed AK-50-tüüpi automaatide kohta on toodud tabelis 30.

VII. MOOTORIKAITSE KONTROLLIMINE

Et tagada elektrimootorite kaitseseadmete korralikku ja täpset töötamist, tuleb neid enne tööerakendamist ja samuti kasutamise ajal perioodiliselt kontrollida. Kontrollimise perioodilisus määratakse kindlaks vastava tootmis-haru elektriseadmete tehnilise ekspluatatsiooni eeskirjadega. Põllumajanduslike elektrimootorite kaitseseadmete perioodiline kontrollimine peab toimuma koos nende plaanilise ennetusremondiga, kuid vähemalt üks kord aastas.

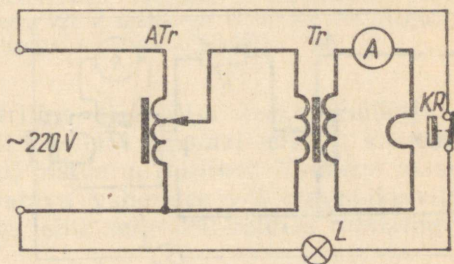
Sulavkaitsmed tuleb järele vaadata aga koos mootori välise järelevaatusega vähemalt kord kuus. Mootori vooluringi lülitatud sulavkaitsmete järelevaatusel tuleks veenduda, et nende nimivoolud vastavad kaitstavale liinilõigule ja et nad võimaldavad mootorit käivitada. Orienteeruvalt tuleb lähtuda eespool antud valemitest 6 ja 7. Rangelt tuleb jälgida, et kõik kaitsmed oleksid samade nimiaandmetega ja ühte tüüpi. Kõik avastatud parandatud kaitsmed tuleb kohe asendada originaalsetega. Ekspluatatsioonipersonali instrueerimisel on tingimata vaja rõhutada, et elektrimootorite vooluringis asuvate sulavkaitsmete parandamine ei ole lubatav.

Väljaspool mootorit paiknevate termoreleede kontrollimiseks võib hea eduga kasutada tavalisi releekaitse kontrollimiseks kasutatavaid koormustrafosid ja -seadmeid.

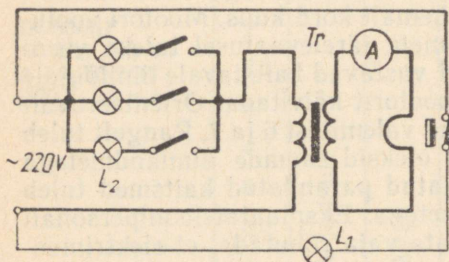
Enamikus kolhoosides ja sovhoosides, samuti ka väiksemates ettevõtetes vastavad seadmed puuduvad. Kontrollijate väljakutsumine spetsiaalselt releekaitset kontrollivatest laboratooriumidest koos seadmetega oleks küllaltki kulukas ja tuleks ka laboratooriumide koormust arvestades vaevalt praegu veel kõne alla. Seetõttu tuleb tahes-tahtmata püüda kontroll läbi viia lihtsamate, «koduste» vahenditega.

Joon. 101. Lülitusskeem termorelee kontrollimiseks reguleeritava JIATP-tüüpi autotrafo kasutamiseks:

*A*Tr — autotrafo; *K*R — termorelee; *L* — hõõglamp kontaktide avanemise kontrollimiseks; *T*r — väikepingetrafo

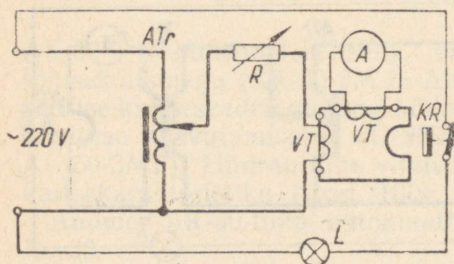


Kolmefaasilistel mootoritel nimivooluga alla 20...25 ampri võib relee kontrollimisel küttekeha toiteks üsna edukalt kasutada tavalisi 250-vatiseid väikepingetrafosid (näiteks OCO-tüüpi). Selle primaarmähist toidetakse autotrafo või mõnest muust reguleeritava sekundaarpingega trafost, kuna sekundaarmähisele on läbi ampermeetri (või ampermeetrit toitva voolutrafo primaarmähise) lülitatud termorelee küttekeha (joon. 101). Relee kontaktidega võib olla järjestikku ühendatud tavaline 15...25-vatine hõõglamp.



Joon. 102. Kontrollitava relee voolu reguleerimine hõõglampide abil:
 KR — termorelee; L_1 — hõõglamp kontaktide avanemise kontrollimiseks; L_2 — väikepingetrafo primaarringi lülitatavad hõõglambid; Tr — väikepingetrafo

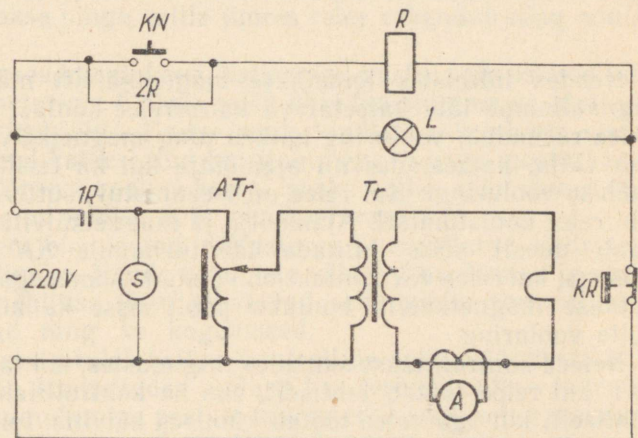
Autotrafo puudumisel võib väikepingetrafo primaarvooluringi lülitada reguleeritava takisti või äärmisel juhul tavalistest hõõglampidest koosneva lampreostaadi, millel on võimalus üksikuid lampe eraldi sisse ja välja lülitada (joon. 102). Taolise lülituse katsetamisel saadi järgmisi tulemusi: OCO-tüüpi väikepingetrafo (võimsus 250 W, pinge 220/12 V) sekundaarmähisega ühendatud ühefaasilise relee PT küttekehas nr. 21 tekkis primaarvooluringi lülitatud 82-vatise 220-voldise hõõglambi korral vool 5,5 A (võrgupinge oli 220 V); 150-vatine lamp andis küttekehas 10-amprise ja 200-vatine hõõglamp 11,8-amprise voolu



Joon. 103. Kontrollitava relee küttekeha toitmine voolutrafost:
 ATr — reguleeritav autotrafo; KR — termorelee; L — hõõglamp kontaktide avanemise kontrollimiseks; VT — voolutrafo

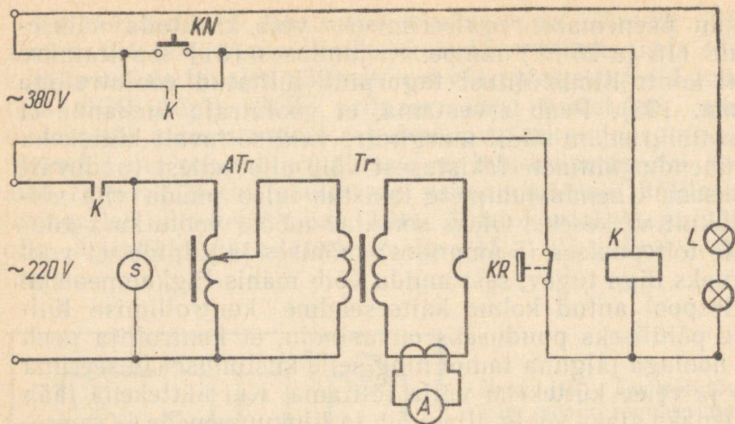
Voolu peenemaks reguleerimiseks võib kasutada väiksemaid (15 ja 25 W) lampe. Kirjanduses [31] soovitatakse veel kontrollimislülitust tagurpidi lülitatud voolutrafoaga (joon. 103). Peab arvestama, et voolutrafo ülekanne ei vasta siin enam sildil märgitule, vaid sõltuvalt küttekeha ja ühendusjuhtmete takistusest võib olla sellest tunduvalt väiksem. Ühendusjuhtmete takistus tuleb püüda viia võimalikult väikeseks. Oleks soovitatav mõõta voolu ka voolutrafo toitepooles (5-amprises) mähises ja jälgida, et vool ei oleks liiga tugev, sest muidu võib mähis liigkuumeneda.

Eespool antud kolme kaitseseadme kontrollimise lülituse põhiliseks puuduseks on asjaolu, et kontrollija peab ise hoolega jälgima lampi ning selle kustumisel fikseerima aja ja relee küttekeha välja lülitama. Kui küttekeha jääb pikemaks ajaks voolu alla, võib ta liigkuumeneda ja suuremate voolude korral isegi läbi põleda.



Joon. 104. Mootorikaitse bimetalrelee katsetamise poolautomaalne skeem 220 V mähisega vaherelee või magnetkäiviti kasutamiseks: s — sekundimõõtja

Kui on olemas elektriline ajamõõtja (sekundimõõtja), saab relee kontrollimist pooleldi automatiseerida, kasutades joonisel 104 või 105 näidatud lülitust. Esimene neist sobib juhul, kui kasutatava vaherelee või magnetkäiviti mähise pinge on 220 V, teine selle 380-voldise nimipinge korral.



Joon. 105. Mootorikaitse bimetallrele kaitsetamise poolautomaatne skeem 380 V mähisega magnetkäiviti kasutamisega

Nendes lülitustes toidetakse magnetkäiviti mähist ja signaallampe läbi katsetatava kaitserelle kontaktide. Kui rele rakendub, vooluring katkeb ning magnetkäiviti lülitub välja, katkestades nii ajamõõtja kui ka teistkordselt mähise vooluringi. Kui rele on iseennistuv, süttivad lambid rele ennistumisel. Ajamõõtja ja magnetkäiviti mähise saab uuesti sisse lülitada käivituspupule *KN* vajutamisega, kui rele *KR* kontakt on suletud. Samaaegselt lülitatakse magnetkäiviti kontakti poolt sisse ka küttekeha toite vooluring.

Releed kontrollitakse samades tingimustes, kui ta töötab, s. t. kui rele töötab lahtiselt, siis ka kontrollitakse teda lahtiselt; kui aga rele töötab kinnises käivitis, toimub ka kontrollimine samas. Normide kohaselt peab rele rakeduma vähemalt 20 minuti jooksul 1,2-kordsel koormusel töösoojas olukorras. Kontrollimisel soovitatakse eelsoojenduseks kütta rele küttekeha kahe tunni jooksul nimivooluga ja siis tõsta vool 1,2-kordseks (releedel TT-10 — 1,3-kordseks, releedel TT-20 ja TT-30 — 1,15-kordseks). Praktika näitab, et väiksematel releedel (PT-1, PT-2, TPA ja TPB nõrgematele vooludele) piisab eelsoojenduseks umbes 30...40 minutist.

Edasi tuleb rele kontrollimisel arvestada temperatuuri, mille juures kehtivad releele ja küttekehadele tabelites too-

dud andmed. Meenutagem siinjuures, et releedel TPA ja TPB on see näiteks $+20^{\circ}\text{C}$, releedel PT $+35^{\circ}\text{C}$ jne. Vastavad andmed vaadeldud releetüüpide kohta on toodud releesid käsitlevas paragrahvis. Samas on toodud ligikaudsed andmed ka keskkonna temperatuuri mõju kohta relee rakendusvoolule. Kirjanduses [31] soovitatakse veel kasutada releede PT ja TT rakendusvoolu määramiseks temperatuurist 35°C erineval temperatuuril alljärgnevat valemit:

$$I_{rc} = I_{rn} \sqrt{1,6 - 0,017\tau} \quad , \quad (9)$$

kus τ on keskkonna temperatuur $^{\circ}\text{C}$.

Mitmesuguste pingereleede, samuti magnetkäivitite ja kontaktorite rakendus- ja ennistuspinge kontrollimiseks lülitatakse relee paralleelselt voltmeetriga reguleeritava pingeallika (autotrafo JIATP, liugkontaktiga reostaat) ja määratakse pinge, mille juures relee rakendub ning ennistub.

Kaitseseadmeid faasi katkemise vastu võib kontrollida koos mootoriga. Selleks tuleb ühte faasijuhtmesse ajutiselt monteerida lüliti. Kaitse peab kindlalt rakenduma sisselülitamisel katkestatud faasijuhtmega (seisva mootori korral). Pöörleva rootori korral peaks kaitse rakenduma, kui koormus on umbes 60% nimikoormusest.

Raskem on mootori mähistesse sisseehitatud kaitsmete kontrollimine. Nende seadmete vähese kasutamise ja väga erineva ehituse tõttu puuduvad seni nende kontrollimise eeskirjad ning ka kogemused.

Tingimata tuleb kaitset kontrollida enne mähistes paigutamist, kuumutades andurit kas termostaadis või trafoõlis. Kuumutamine peab toimuma eriti aeglaselt rakendus- ja ennistustemperatuuri lähedal.

Temperatuuri tõusu kiirus sõltub anduri massist ja võiks rakenduspiirkonnas olla orienteeruvalt 1 kraad 1...3 minuti kestel (anduri suurema massi korral peab temperatuuri tõusu kiirus olema veelgi väiksem).

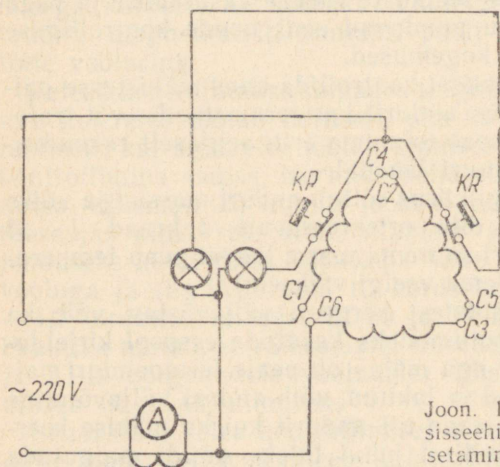
Kui andur on mähistest kergesti väljavõetav, võib ka perioodilisteks kontrollimisteks kasutada eespool kirjeldatud meetodikat. Kui aga mähis on peale termoanduri paigaldamist immutatud ja lakitud, võib anduri väljavõtmine kontrollimiseks vigastada nii andurit kui ka mähise keerdude isolatsiooni. Sellisel juhul tuleks püüda paigutada

mähisesse anduri ligidale (äärmisel juhul mähise pinnale) termopaar ja mähist toita faaside kaupa reguleeritava pingega vooluallikast. Võimaluse korral tuleb rootor kontrollimise ajaks välja võtta. Termopaari paigutamisel mähise pinnale tuleb ta väljastpoolt soojuslikult hästi isoleerida ja arvestada, et temperatuur mähise pinnal on siiski madalam kui keskel.

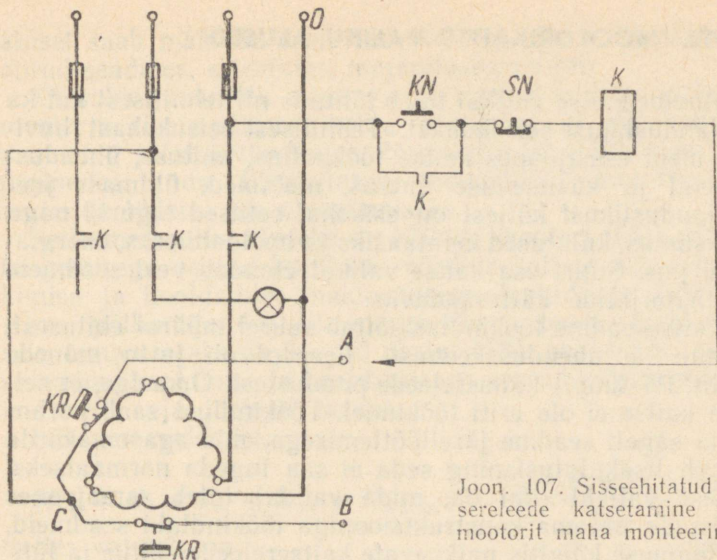
EPA elektrifitseerimiskateetri laboratooriumides katsetati 380/220 V mootorite mähistesse sisseehitatud kaitse-releesid joonisel 106 esitatud skeemi kohaselt.

Mootori mähised ühendati kõik järjestikku nn. «lahtisse kolmnurka» ning toideti 220 V pingega. Katsetatavatel 1...4,5 kW mootoritel tõusis mähiste temperatuur kaitse rakendustemperatuurini (100...105 °C) 10...20 minuti jooksul. Mähiste temperatuuri mõõdeti termopaari abil.

Põhimõtteliselt on võimalik kontrollida sisseehitatud kaitset ka mootorit maha võtmata, kasutades joonisel 107 toodud lülitust. Tavaliselt paigutatakse kaitserелеed mootoril vähemalt kahte mähiseharusse ning ühendatakse need omavahel järjestikku, nii et kaitse töötab ükskõik kumma rele või ka mõlemate releede üheaegsel rakendumisel. Katsetamisel aga on vajalik kontrollida iga releed eraldi. Selleks on vajalik, et väljaspool mootorit oleks kättesaadav releede vahelise ühenduse üks punkt (punkt C joonisel 107). Magnetkäiviti mähise vooluringi ühendatakse



Joon. 106. Mootori mähistesse sisseehitatud kaitsereleede katsetamine



Joon. 107. Sisseehitatud kaitseleede katsetamine ilma mootorit maha monteerimata

siis iga rele üsikut ja korratakse katset nii mitu korda, kui mitu releed on mähistes. Kui üks rele on joonisel 107 toodud lülituse kohaselt kontrollitud, aitab tavaliselt mõneminutilisest jahtumisest, et järgmisena kontrollimisele tulev rele, mis samuti võis olla rakendunud, ennistuks ja oleks valmis kontrollimiseks. Kui mähised on kord soojenenud, piisab sisseehitatava kaitsme uuesti rakendumiseks samuti ainult mõneminutilisest soojendamisest joonisel 107 (või 106) toodud skeemi kohaselt.

Mootorite kaitsmisel mähistesse paigutatud termistoridel töötavate kaitseseadmetega (näiteks ATB-229) on kontrollimine võrdlemisi lihtne. Olgu seade ATB-229 lülitatud joonisel 75 toodud skeemi kohaselt. Kaitseseadme jaoks tulevad ainult staatori mähised ühendada nii, nagu on näidatud joonisel 107. Kaitseseadme lülitus katsetamisel ei muutu. Ainult termotakistid, millised on ühendatud (joonisel 75 klemmidele 4 ja 5) rööbiti, ühendatakse ühekaupa ning kontrollitakse kaitsme rakendumist iga kaitsitava punkti osas eraldi.

VIII. MOOTORIKAITSE VALIKU ALUSED

Mootorikaitse valikul tuleb lähtuda nii tehnilisest kui ka majanduslikust seisukohast. Tehnilisest seisukohast huvitab meid esmajoones kaitse töökindlus, ehituse, ühendusskeemi ja käsitlemise lihtsus, mõõtmed, üldmass jne. Majanduslikust küljest on esikohal sellised tegurid nagu maksumus, kulutused montaažiks ja hooldamiseks, energia-kulu jms. Suurt osa kaitse valikul etendab veel seadmete ja materjalide kättesaadavus.

Kaitseseadme töökindlus sõltub suurel määral ehitusest, samuti ka ühendusskeemist. Eespool oli juttu mõnede (näit. PT-tüüpi) kaitseleede puudustest. On selge, et selline kaitse ei ole eriti töökindel. Töökindlust saab parandada sageli seadme järeltöötlemisega, mis aga omakorda nõuab lisakulutusi ning seda ei saa lugeda normaalseks. Kaitse valikul (kui on, mida valida) tuleb esmajoones eelistada parema konstruktsiooniga töökindlaid seadmeid.

Enamuse käivitis paiknevate kaitseleede ehitus ja lülitusskeem on küllalt lihtsad, samuti on lihtsad ka mähistesse paigutatavate bimetalloreede ehitus ja lülitusskeem. Keerukamad on näiteks kaitseseadme ATB-229 ehitus ja lülitus. Kaasaegsetes küllaltki keerukates ajamite juhtimis- ja automaatikaskeemides aga ei mängi viimane erilist osa, peamine on otstarbekus ja töökindlus.

Väljaspool mootorit paiknevate kaitseseadmete korral ei kujune nende mõõtmed ja mass tavaliselt piiravaks. Küll on need olulise tähtsusega mootorisse sisseehitatavate kaitseseadmete või nende andurite puhul.

Eespool vaatlesime mitut liiki kaitseseadmeid. Mõned neist (näiteks kaitse faasi katkemise juhaks) kaitsevad mootorit ainult teatud kindla rikke korral, mõned on universaalseadmed. Kaitset aga, mis kaitseks täiesti kindlalt kõikvõimalike rikete korral, ei ole olemas. Näiteks mähiste niiskumist, samuti keemiliselt aktiivse keskkonna mõjust tekkivate rikete vastu ei aita tavalised kaitseseadmed. Siin on õigeks kaitsemooduseks keskkonnale vastava isolatsiooni kasutamine. Nagu juba eespool mainitud, saab mõnikord nendest põhjustest tingitud avariisid ennetada õigeaegsete profülaktiliste mõõtmiste ning mähiste kuivatamisega.

Ühe või teise kaitsmeliigi majanduslikkuse üle otsustamiseks on eelkõige vajalikud statistilised andmed, mille

alusel saab määrata erinevate rikete põhjuste tõenäosust antud seadmes, ettevõttes, majandusharus jne.

Käesoleva raamatu alguses ongi toodud andmed elektrimootorite rikete põhjuste kohta reas vabariigi põllumajandus- ning tööstusettevõtetes. Järgnevalt on püütud sellele tuginedes anda lihtsustatud metoodika mootorikaitse majanduslikkuse üle otsustamiseks.

Selle metoodika aluseks on kõikide mootori tööst väljalangemisega seotud kulutuste võrdlus kaitseseadme hankimise ja hooldamise maksumusega teatud aja jooksul. Kuna põllumajanduslike energeetikaseadmete optimaalseks tasuvusajaks on 8...10 aastat [58], peaksid ka kaitseseadme hankimise ja hooldamisega seotud väljaminekud end selle aja jooksul tasuma.

Lähtume valemist:

$$(K_r + K_t + K_l + K_m + K_k)k_a \geq \frac{M_k + M_p + M_e + M_h}{k_k} \quad (10)$$

Selles valemis on

K_r — mootori remondi maksumus;

K_t — mootori transport remonditöökotta või vastuvõutepunkti;

K_l — mootori avariiga seotud lisakulutused;

K_m — kulutused mootori montaažiks ja demontaažiks;

K_k — mootori avariist põhjustatud kahjum tootmises;

k_a — avariilisustegur tasuvusaja jooksul;

M_k — kaitseseadme maksumus;

M_p — kaitseseadme paigaldamise maksumus;

M_e — kaitseseadme töötamisel kulutatava elektrienergia maksumus;

M_h — kaitseseadme hooldamise maksumus tasuvusaja jooksul;

k_k — kaitsetegur (s. o. osa üldisest avariide arvust, mis võib olla välditud antud kaitseseadme poolt).

Kui valemis 10

$$(K_r + K_t + K_l + K_m + K_k)k_a > \frac{M_k + M_p + M_e + M_h}{k_k},$$

siis on selle kaitsme kasutamine antud seadmes majanduslikult õigustatud.

Vaatleme selle valemi üksikuid liikmeid pisut lähemalt. Remondi maksumus K_r on määratud kas vastava üleliidulise hinnakirjaga [59] või kohaliku kalkulatsiooni alusel koostatud hinnakirjadega (näiteks mõnedes remondiettevõtetes meie vabariigis).

Kulutused transpordiks K_t sõltuvad kaugusest ettevõtte ja remonditöökoja või vastuvõtupunkti vahel, transpordi liigist, vedude organiseerimisest jne.

Lisakulutuste K_l hulka kuulub mootori tööst väljalangemisest tingitud inimeste, veoloomade, masinate jm. täiendav töö (näiteks veevedu pumbamootori avarii korral) jne.

Mootori demontaaži ja montaažiga seotud kulutused K_m on tavaliselt väikesed, kuid juhul, kui on näiteks vajalik asendada ühe suuruse mootor teise suuruse mootoriga (kui puudub vastava suurusega varumootor), võivad need olla üsna märgatavad.

Mootori tööst väljalangemisest tingitud kahjum K_k sõltub olukorrast ja võib mõningatel juhtudel moodustada üsna suure summa, mis võib märgatavalt ületada isegi mootori maksumuse.

Vaatleksime näidet loomakasvatuse valdkonnast. Nagu näitavad majandite kogemused, võib juba poolepäevane joogivee puudumine põhjustada 10...20% päevase piimatoodangu vähenemise. Lauda kohta, kus on 200 lehma, kes annavad igaüks keskmiselt kaheksa liitrit piima päevas, saame seega kahjumi (piima müügihind 14 kopikat liiter): $K_k = 200 \times 8 \times 0,15 \times 0,14 = 33 \text{ rbl. } 60 \text{ kop.} \approx 35 \text{ rbl.}$, mis tunduvalt ületab näiteks 2,8 kW pumbamootori hinna.

Avariilisustegur k_a on statistiline suurus. See näitab, mitu korda on keskmiselt iga mootor antud seadmes käinud kapitaalremondis. Näiteks kui mingis seadmes läheb avariide tõttu kapitaalremonti 20% töötavatest elektrimootoritest ning tasuvusaeg on 10 aastat, siis $k_a = 2$. Kui aga mingil konkreetsetel ajamil põleb mootor läbi igal aastal ühe korra, on selle ajami avariilisustegur võrdne tasuvusajaga, s. o. $k_a = 10$.

Kaitseseadme maksumus M_k , samuti kaitseseadme paigaldamise maksumus M_p kujutavad endast tavaliselt ühekordset kulutust.

Elektrienergia kulu kaitseseadme töötamisel sõltub antud ajami töötundide arvust tasuvusaja jooksul, ning selle maksumuse saab arvutada valemiga:

$$M_e = t_t \cdot p \cdot m_e \cdot 10^{-5} \text{ rubla}, \quad (11)$$

siin t_t — ajami töötundide arv tasuvusaja jooksul,
 p — kaitsme poolt tarbitav võimsus W,
 m_e — elektrienergia hind kop/kWh.

Mootorikaitsereleede kaovõimsused on eespool antud. Illustreerime siingi asja näitega. Olgu meil releed kaovõimsusega 5 W. Elektrienergia hinnaks põllumajanduses on teatavasti 1 kop/kWh. Olgu ajami aastane tööaeg 1000 tundi (tasuvusaja — 10 aasta jooksul seega 10 000 tundi). Magnetkäivitis asub kaks releed.

$$M_e = 10\,000 \times 2 \times 5 \times 1 \times 10^{-5} = 1 \text{ rubla}.$$

Seega antud juhul on elektrienergia maksumus muude teguritega võrreldes väike ja selle võib jätta arvestamata.

Suuremate mootorikaitsereleede kaovõimsus aga ulatub 10 vatini ja isegi üle selle. Ka mõnede elektriajamite tööaeg võib olla tunduvat pikem, mistõttu kontrollarvutustel tuleb elektrienergia maksumust igal juhul kontrollida.

Mootorikaitse hooldamise maksumus:

$$M_h = T \cdot m_h,$$

kus T — tasuvusaeg, m_h — aastased hooldamiskulud rublades.

Hooldamiskulude hulka kuuluvad kulutused (näit. tööaeg, elektrienergia kulu) kaitsereleede iga-aastaseks kontrollimiseks.

Kaitseteguri k_k määramiseks on vaja teada avariide põhjusi ja ka seda, millistest põhjustest tingitud avariisid võib antud kaitseseadmega vältida.

Tabelist 2 selgub näiteks, et faasijuhtme katkemisest tingitud avariisid oli 41,7%. Seega kui kaitseseadme töötaks säja-protsendilise kindlusega, oleks faasi katkemise kaitsme kaitsetegur 0,417. Kuna aga absoluutselt kindlat kaitset siiski pole, tuleb statistilistel andmetel saadud tegur korrutada töökindlusteguriga k_t .

Seega kaitsetegur faasikatkestuse kaitsmele tabeli 2 andmetel

$$k_k = 0,417 k_t,$$

kus töökindlustegur k_t sõltub ehitusest, lülitusskeemist ning faasi katkemise kaitsme puhul veel toitepinge ebasümmeetriast.

Orienteeruvalt võiks põllumajanduses võtta faasikatkestuse kaitsme töökindlusteguriks $k_t = 0,3 \dots 0,8$. Väiksemad suurused kehtivad näiteks joonisel 50 toodud kaitselülituse kohta.

Kaitsetegur kaitsmele käivitis paiknevate releedega, eeldades, et see kaitseb faasi katkestuse, liigkoormuse ja töomasina ning laagrite rikete korral:

$$k_k = (0,417 + 0,203 + 0,079) k_t = 0,699 k_t.$$

Töökindlusteguriks võib võtta PT-tüüpi releedele 0,6...0,8, uuematele releedele 0,8...0,95. Kuna sisseehitatav kaitse kaitseb peale eelmainitute veel mähiste mustumisest tingitud rikete korral, on siin kaitsetegur

$$k_k = 0,767 k_t.$$

Töökindlusteguriks võiks sisseehitatud kaitsmele olla 0,9...0,98.

Korralik ja õigesti valitud ning reguleeritud soojuskaitsmega (automaatlüliti peaks kaitseomadustelt vastama umbes käivitis paiknevatele termoreleedele, kusjuures lühisekaitsmega automaatlüliti kasutamisel kaob vajadus ka sulavkaitsmete järele. Teisest küljest aga tuleb automaatlüliti kasutamisel juhtimiskohast läbi viia kogu mootori peavooluring ning puudub võimalus mootori automaatseks juhtimiseks. Mõnikord soovitatakse kaitserleede ning sulavkaitsmete asemel kasutada soojus- ja lühisekaitsmega varustatud automaatlüliti, automaatseks juhtimiseks aga ilma termoreleedeta magnetkäiviti.

Käivitis paiknev termorelee tuleb tingimata varustada mootori voolule vastava küttekehaga (valitakse toodud tabelite alusel). Seejuures tuleb arvesse võtta nii mootori

kui ka termorelee töö temperatuuri. Kui need on samad, on valik lihtne; kui aga erinevad, siis tuleb arvestada relee rakendusvoolu muutust sõltuvalt keskkonna temperatuurist. Seda tuleb arvestada ka relee katsetamisel. Näiteks olgu meil teada, et relee rakendusvool muutub 5% keskkonna temperatuuri muutumisel 10 kraadi võrra. Eeldame, et nii mootori kui ka kaitserelee töö temperatuur on 35°C, katsetamisel aga on keskkonna temperatuur +20°C, siis võib relee rakendusvool katsetamisel olla 7,5% võrra suurem kui +35°C juures.

Mootori mähistes paigutatava kaitserelee rakendustemperatuur peaks olema tavaliselt võrdne mootori mähiste isolatsioonile lubatava temperatuuriga või sellest pisut väiksem. Selgub, et selle kaitsme valik on teistega võrreldes tunduvalt lihtsam. On ju isolatsiooniklasse ainult seitse, neist igapäevases praktikas on laialdasemalt levinud kõigest kolm (A, B, E). Asja õigel organiseerimisel on võimalik varustada iga tehase väljalastav mootor tema isolatsioonile vastava kaitsmega.

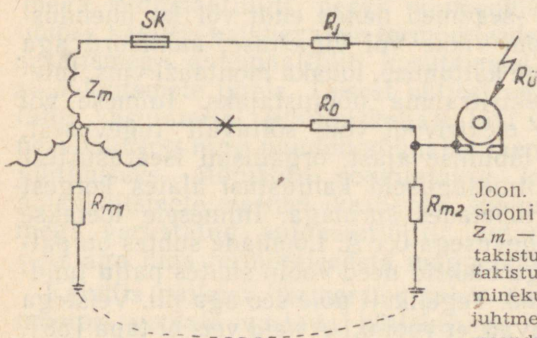
IX. MÕNINGAID OHUTUSTEHNILISI KÜSIMUSI

Elektrimootorid pole ebanormaalses olukordades mitte ainult ise ohustatud, vaid teatud juhtudel võivad kujuneda ohtlikuks ka inimestele ja loomadele. Eespool oli juba juttu, et kõik ajami pöörlevad ja liikuvad ning seejuures kergesti ligipääsetavad osad peavad olema varustatud vastavate kaitsepiiretega, et vältida lähedalviibijate juhuslikku mehaanilist vigastamist. Teisest küljest aga võivad elektrimootorid ja -seadmed nende endi või ka ühendusjuhtmete isolatsiooni rikke või vigastuse, mõnikord aga ka personali ebaõige käitumise, lohaka montaaži vms. tulemusena saada elektritrauma põhjustajaks. Inimese või looma keha läbiv elektrivool võib sõltuvalt tugevusest, teekonnast, voolu läbimise ajast, organismi iseärasustest jne. põhjustada mitmesuguseid kahjustusi alates kergest ehmatuses ning lõpetades surmaga. Inimesele loetakse surmavaks vool tugevusega 0,1 A. Loomade suhtes on paljudel arvamus, nagu oleksid need voolu suhtes palju tundlikumad kui nimesed. Tegelikult pole see aga nii. Veistega tehtud katsed näitavad, et vool 0,1 A neid veel ei tapa [58]. Et loomad võivad hukkuda juba võrdlemisi väikese puute-

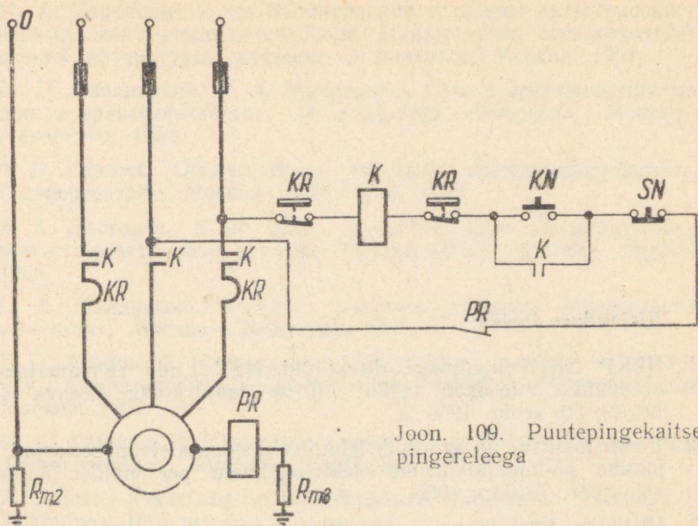
pinge (40 ... 50 V) korral, on tingitud nende keha väikesest takistusest, mistõttu neid läbiv vool kujuneb küllaltki tugevaks. Loomadel peetakse ohutuks pinget 24 V.

Meie vabariigis, kaasa arvatud põllumajandus, kasutatakse valgustus- ja väiksema võimsusega jõuseadmete toiteks enamuses pingesüsteemi 220/380 V maandatud nulljuhtmega. Vastavalt kehtivatele eeskirjadele tuleb sellises süsteemis kõik elektriseadmete normaalselt mittepingestatud voolujuhtivast materjalist osad, mis mingi rikke puhul võivad sattuda pinge alla, ühendada nulljuhtmega. Nulljuhe maandatakse toitepunkti (trafoalajaam) juures.

Peale selle on liinil ja tarbijate juures nõutavad nn. korduvmaandused maandustakistusega tavaliselt 10 ... 30 Ω . Vaatleme sellise süsteemi lihtsustatud aselülitust (joon. 108) ühe faasi kohta. Faasipingele on siin järjekorras ühendatud transformatori mähise näivtakistus Z_m , faasijuhtme takistus R_j , rikkekoha üleminekutakistus $R_{\bar{u}}$ ja nulljuhtme takistus R_0 . Viimasega rööbiti on ühendatud veel korduvmaanduse ja trafo maandustakistus, need on aga juhtmete takistusega võrreldes tunduvalt suuremad, mistõttu võib nad esialgu jätta arvestamata. Sulavkaitse SK peab olema valitud nii, et see rikke tekkimisel kiiresti läbi põleb. Vastasel korral võivad nulljuhtmega ühendatud seadmete kered sattuda maa suhtes kuni poole faasipinge alla. Kui sulavkaitsmete asemel kasutatakse automaatlülitit, peab sellise rikke korral töötama harilikult lühisekaitse. Hoopis halvem on olukord, kui nulljuhtmes on katkestus või halb kontakt. Sellisel juhul on punktiiriga märgitud vooluringis suur korduvmaanduse takistus ($R_{m2} \approx 10 \Omega$)



Joon. 108. Aselülitus isolatsiooni rikke juhuks:
 Z_m — trafo faasimähise näivtakistus; R_j — faasijuhtme takistus, $R_{\bar{u}}$ — rikkekoha üleminekutakistus; R_0 — nulljuhtmetakistus; R_{m1} — trafo maandustakistus; R_{m2} — korduvmaanduse takistus



Joon. 109. Puutepingekaitse pingereleega

ning sulavkaitse või automaatlüliti tavaliselt enam ei reageeri. Nulljuhtmega ühendatud seadme osad aga võivad maa suhtes saada tunduvalt kõrgema pinget kui eelmisel juhul. Seetõttu soovitavad mõned autorid loobuda põllumajanduses maandatud nulljuhtmega süsteemist. Igal juhul aga peaks maandatud nulljuhtmega süsteemides sellisel juhul olema nulljuhtme ristlõike võrdne faasijuhtme ristlõikega ning kindlustatud nulljuhtme head ühendused ja küllaldane tugevus.

Võiks katsetada ka joonisel 109 toodud lülitust. Siin on pingerelee PR, mis rakendub maksimaalselt lubatud puutepingega (näit. 24 V). Seejuures tuleb pingerelee jaoks ehitada eraldi maandus, mille maandustakistus R_{m3} ei tohiks orienteeruvalt ületada 100...150 Ω. Sellise maandustakistuse võiks keskmises pinnases saavutada 2...3 maasse löödud umbes meetripikkuse terasvarda või nurkraualatiga. Kui selliseid pingereleesid kasutatakse antud seadmes mitmel mootoril, võib nendel olla ühine maanduskontuur, kuid ikkagi eraldi võrgu kordumaandusest.

Kirjanduse loetelu

1. NLKP XXIII kongressi direktiivid NSV Liidu rahvamajanduse arendamise viie aasta (1966...1970) plaani kohta. «Rahva Hääл» nr. 43, 20. veebr. 1966. a.
2. Elektri jaamade ja -võrkude tehnilise eksploatatsiooni eeskirjad. Väljaanne põllumajanduslike elektriseadmete personalile. Kirjastus «Valgus», Tallinn, 1965.
3. Правила устройства электроустановок. Издательство «Энергия», 1964.
4. И. А. Тищенко. Проблема надежности электродвигателей. «Электричество», 1961, № 11, 12.
5. P. Tamkivi, V. Sarv. Vahelduvvoolu elektrimootorite soojuskaitse sisseehitatud termoanduritega. Eesti NSV Ministrite Nõukogu Riiklik Teaduslik-Tehniline Komitee, Tallinn, 1960.
6. A. Hansson. Elektrimootorite eksplateerimisest. «Sotsialistlik Põllumajandus», 1966, nr. 1.
7. I. Oja. Millest sõltuvad põllumajanduse elektrifitseerimise tempo ja tase. «Rahva Hääл» nr. 46 (7081), 24. veebr. 1966.
8. Г. Л. Карвовский и С. П. Огороков. Справочник по асинхронным двигателям и пускорегулирующей аппаратуре. Госэнергоиздат, Москва—Ленинград, 1962.
9. Асинхронные электродвигатели трехфазного тока мощностью от 0,6 до 100 квт. Новая единая серия А2 и АО2. ВНИИЭМ — отделение научно-технической информации, стандартизации и нормализации в электротехнике. Москва, 1965.
10. E. Kändler, H. Lind, E. Risthein. Elektriку käsiraamat. Kirjastus «Eesti Raamat», Tallinn, 1965.
11. U. Agur, H. Tiismus. Elektri ajamid. Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn, 1963.
12. Л. Б. Ривлин. Электродвигатели и их эксплуатация. Госэнергоиздат, Ленинград—Москва, 1950.
13. O. Karbe. Elektrimootori hooldamisest. «Tehnika ja Tootmine», 1959, nr. 1.

14. М. А. Ходорович и др. Эксплуатация и ремонт сельскохозяйственных электрических установок. Издательство сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов. Москва, 1961.
15. И. П. Алякрицкий, С. А. Мандрыкин. Сушка электрических машин и трансформаторов. Издательство «Энергия», Москва—Ленинград, 1964.
16. Л. Б. Ривлин. Обслуживание цехового электрооборудования. Госэнергоиздат, Москва—Ленинград, 1962.
17. А. А. Пястолов, Е. Л. Шац, В. А. Блюмберг. Эксплуатация и ремонт электрооборудования. Издательство «Колос», Москва, 1966.
18. С. А. Мандрыкин. Ремонт электродвигателей. Издательство «Энергия», Москва—Ленинград, 1965.
19. Г. П. Егоров, А. И. Коварский. Устройство, монтаж, эксплуатация и ремонт промышленных электроустановок. «Профтехиздат», Москва, 1961.
20. В. С. Каменев. Подшипники качения в электрических машинах. Госэнергоиздат, Москва—Ленинград, 1960.
21. A. Silluste. Veerelaagrite töökõlblikkuse määramine. «Tehnika ja Tootmine», 1965, nr. 5.
22. Асинхронные двигатели единой серии А и АО мощностью от 0,6 до 100 квт. Каталог-справочник ЦИНТИЭЛЕКТРОПРОМ, Москва, 1961.
23. М. Г. Чиликин. Общий курс электропривода. Госэнергоиздат, Москва—Ленинград, 1960.
24. H. R. Wörk. Elektrimasinad. RK «Teaduslik kirjandus», Tartu, 1947.
25. H. Blaschke. Motorschutz. VEB Verlag Technik, Berlin, 1954.
26. R. Wörk. Asünkroonmootorite kondensaatorpidurdusest. «Tehnika ja Tootmine», 1962, nr. 2.
27. H. Esop jt. Üldine elektrotehnika. Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn, 1954.
28. Р. С. Кузнецов. Аппараты распределительных устройств низкого напряжения. Госэнергоиздат, Москва—Ленинград, 1962.
29. Электротехнический справочник. Том II. Государственное энергетическое издательство, Москва—Ленинград, 1955.
30. Справочник электрика промышленных предприятий. Госэнергоиздат, Москва—Ленинград, 1954.
31. Е. Н. Зимин. Защита асинхронных электродвигателей напряжением до 500 в. Госэнергоиздат, Москва—Ленинград, 1962.
32. Межреспубликанские технические условия. Реле тепловые токовые однополюсные серии ТРП ВНИИЭМ, Отделение научно-технической информации, стандартизации в электротехнике. Москва, 1965.

33. М. А. Николаевская, А. Ф. Лопатина. Новая серия вибро- и тряскоустойчивых реле ТРМ. Научно-технический сборник «Электротехническая промышленность», 1962, № 3.
34. Междуреспубликанские технические условия. Реле тепловые токовые двухполюсные серии ТРН. ВНИИЭМ. Отделение научно-технической информации, стандартизации и нормализации в электротехнике. Москва, 1965.
35. Реле тепловые типа ТРА и ТРВ. Совет народного хозяйства Киевского экономического административного района, 1958.
36. Межреспубликанские технические условия. Реле тепловые токовые однополюсные серии ТРТП (Общепромышленное исполнение реле серии ТРТ). ВНИИЭМ. Отделение научно-технической информации, стандартизации и нормализации в электротехнике. Москва, 1965.
37. Р. М. Славин. Защита двигателей автоматизированных электроприводов от перегрузки при потере фазы. — «Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства», 1956, № 2.
38. СССР. Государственный стандарт ГОСТ-7624-62. Обозначения условные графические для электрических схем. Издание официальное. Москва, 1963.
39. Р. Славин и С. Кишечников. Потеря фазы и защита электродвигателей при неполнофазных режимах питания. — «Техника в сельском хозяйстве», 1962, № 7.
40. Г. Владимиров. Реле контроля фаз. — «Радио», 1962, № 2.
41. F. Mulin. Kaitse elektrimootoritele ühe faasi katkemise puhuks. — Põllumajanduse Mehhaniseerimine ja Elektrifitseerimine, 1962, nr. 1.
42. Р. М. Славин. Явления потери фазы в питающей сети и защита электродвигателей сельскохозяйственных электроприводов в неполнофазном режиме. — Научные труды по электрификации сельского хозяйства. Отдел технической информации ВИЭСХа. Москва, 1960.
43. И. Ф. Шишкин, Я. М. Смородинский, Ю. А. Михеев, Т. С. Шагагинова, Г. Т. Гимоян. Фильтровая защита электродвигателей. — «Электричество», 1957, № 12.
44. В. П. Бухгольц. О защите электродвигателей. — «Промышленная энергетика», 1961, № 11.
45. J. Lepa. Kolmefaasiliste asünkroonmootorite kaitsmisest ühe faasi katkemisel. — Eesti Põllumajanduse Akadeemia Teaduslike Tööde Kogumik nr. 21, Tartu, 1961.
46. В. Т. Нежданов, И. В. Нежданов. Аппараты низкого напряжения II. ЦИНТИЭЛЕКТРОПРОМ, Москва, 1961.
47. Е. Д. Зейлидзон. О защите электродвигателей от работы на двух фазах. — «Энергетик», 1962, № 2.
48. М. Н. Филатов, П. А. Васильев. Малоинерционное температурное реле ТМ-1. — Научно-технический сборник «Электротехническая промышленность», 1962, № 2.

49. М. Н. Филатов. К расчету рабочих элементов температурных реле. «Электротехника», 1966, № 6.
50. Г. К. Нечаев. Полупроводниковые термосопротивления в автоматике. Государственное издательство технической литературы УССР, Киев, 1962.
51. Аппаратура температурной встроенной защиты и сигнализации АТВ-229. Инструкция по монтажу и эксплуатации. Объединение «Севкавзлектроприбор», 1965.
52. М. П. Бабилов, А. А. Стрельчик. Защита электродвигателей от перегрузок с применением термосопротивлений. «Энергетик», 1963, № 4.
53. Herbert Stadler. Probleme des Überlastungsschutzes bei kleinen Drehstrommotoren, insbesondere in der Schutzart «Erhöhte Sicherheit» (Ex)e. ETZ-A, 1964, ns. 13.
54. ВНИИЭМ. Отделение научно-технической информации, стандартизации и нормализации в электротехнике. Аппараты низкого напряжения. Контактторы. Сводный каталог II. Москва, 1965.
55. И. Н. Ермолаев. Магнитные пускатели переменного тока. Госэнергоиздат, Москва—Ленинград, 1961.
56. Р. Е. Гельман. Магнитные пускатели. Издательство «Энергия», Москва—Ленинград, 1966.
57. Аппараты низкого напряжения. Сводный каталог I. ЦИНТИ-ЭЛЕКТРОПРОМ, Москва, 1962.
58. К. Ф. Исхаков. Вопросы электробезопасности на животноводческих фермах. Труды Московского института мех. и электриф. сельского хозяйства. Том III. Сельхозгиз, 1956.

Sisukord

I. Elektrimootorite rikked ja nende põhjused	3
1. Üldised alused	3
2. Elektrimootorite rikete põhjused	4
II. Elektrimootori valik	6
3. Elektrimootorite ehitus ja tüübid	6
4. Elektrimootori valik sõltuvalt töö iseloomust	11
5. Elektrimootori valik sõltuvalt keskkonnast	13
III. Elektrimootorite hooldamine	16
6. Elektrimootori sildiaandmed ja nende tähendus	16
7. Elektrimootorite mähised, nende otste tähistamine ja määramine	19
8. Elektrimootori isolatsioonitakistus ja selle kontrollimine	24
9. Elektrimootori mähiste kuivatamine	25
10. Kolmefaasilise lühisrootoriga asünkroonmootori põhiandmete määramine sildi puudumisel	28
11. Elektrimootorite perioodilised järelevaatused	31
12. Elektrimootorite remont	33
13. Elektrimootorite paigaldamine	41
IV. Elektrimootorite soojenemine	43
14. Isolatsiooniklassid ja neile lubatavad temperatuurid	43
15. Mootori soojenemine kestval talitlusel. Ajakonstandi mõiste	46
16. Mootori soojenemine lühiajalisel ja vaheajalisel talitlusel	49
17. Mootori töö ebänormaalsetes talitlusolukordades	51
18. Lühisrootoriga asünkroonmootori käivitamine	52
19. Mootori soojenemine käivitamisel ja pidurdamisel ning selle arvessevõtmine	54

V. Mootorite kaitsmine	55
20. Sulavkaitsmed mootori vooluringis	55
21. Mootori kaitse elektromagnetiliste maksimaalvoolureleedega	64
22. Termoreleed ja nende tunnusjooned	66
23. Mootorite kaitselülitusi termoreleedega	83
24. Kolmefaasiliste mootorite kaitseviise ühe faasi katkemisel	88
25. Minimaalpingekaitse	101
26. Kaitse masinasse sissepaigutatavate termoanduritega	103
27. Väiksemate elektrimootorite kaitsmine	126
VI. Mootorikaitselülitid	128
28. Kontaktorid ja magnetkäivitid	128
29. Automaatlülitid	144
VII. Mootorikaitse kontrollimine	151
VIII. Mootorikaitse valiku alused	158
IX. Mõningaid ohutustehnilisi küsimusi	163
Kirjanduse loetelu	166

Яан Лепа. ОБСЛУЖИВАНИЕ И ЗАЩИТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ. На эстонском языке. Оформление Э. Тали. Издательство «Валгус», Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

Toimetaja H. Wõrk. Kunstiline toimetaja R. Kelu. Tehniline toimetaja T. Linkvist. Korrektorid E. Talve ja M. Kristian.
Laduda antud 16. X 1967. Trükkida antud 31. V 1968. Paber 54×84/16. Trükipaber nr. 2 — Kohila Paberivabrik. Trükipoognaid 10,75. Tingtrükipoognaid 9,0. Arvestuspoognaid 9,29. Trükiarv 8000. MB-06002. Tellimise nr. 1098. Trükikoda «Komunist», Tallinn, Pikk t. 2. Hind 46 kop.

46 kop.

A-29204,,

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00428323 2