A. ZLATKOVSKI

MAAELEKTRIJAAMAD, -ALAJAAMAD JA -VÕRGUD

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS

B-1746 II

A. P. ZLATKOVSKI
TEHNILISTE TEADUSTE KANDIDAAT

MAAELEKTRIJAAMAD, -ALAJAAMAD JA -VÕRGUD

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1956

kvaliteet, tagatakse nende pidev töötamine ning tarbijate katkestamatu varustamine elektrienergiaga.

Seoses elektrijaamade võimsuse suurendamise ja nende ühendamisega kohalikesse energiasüsteemidesse omab erilist tähtsust juhtimise automatiseerimise juurutamine, mis tagab maaelektrijaamade stabiilse, häireteta, ökonoomse ja ratsionaalse ekspluatatsiooni.

Kuigi maaelektrijaamad ja -alajaamad lähenevad oma varustuse osas samm-sammult tööstuslike elektrijaamade ja alajaamade tasemele, erineb põllumajanduse elektrifitseerimine tööstuse ja linnade elektrifitseerimisest terve rea tehniliste ja majanduslike erinevuste poolest. Nendeks on põllumajanduslike tarbijate suhteline killustatus, tarbimise hooajalisus ning põllumajandusliku tootmistehnoloogia spetsiifika.

Maaelektrijaamadele, -alajaamadele ja -kõrgepinge-ülekandeliinidele tuleb luua elektriliste ühenduste skeeme ja mitmesuguste elementide konstruktsioone, mis erineksid tööstuslikes ja kommunaal-elektrijaamades ning -alajaamades kasutatavatest lahendustest.

Maaelektriseadmete spetsiifilised iseärasused tingivad real juhtudel erinõudeid energeetiliste seadmete, aparaatide ja materjalide suhtes (hüdroturbiinid, soojusjõumasinad, elektrigeneraatorid, aparaadid, trafod, paiksed ja kantavad juhtmed ja kaablid, loomakasvatusruumide installatsioonimaterjalid jne.).

Relvastatuna vene ja nõukogude elektrotehnikute suurte avastustega, on nõukogude teadus ja praktika põllumajanduse elektrifitseerimise alal kõrgel tasemel. Elektrienergia tootmise, jaotamise ja kasutamise kõige keerukamad ülesanded põllumajanduses on edukalt lahendatud ja lahendatakse meie teadlaste ja inseneride poolt.

Maaelektrijaamade, -alajaamade ja -võrkude töötajate tähtsamaks ülesandeks on uue, eesrindliku tehnika rakendamine põllumajanduse elektrifitseerimisel.

Käesoleva raamatu ülesandeks on abistada insenere ja tehnikuid igapäevases töös elektrijaamade, alajaamade ja võrkude projekteerimisel, ehitamisel, monteerimisel ning ekspluateerimisel.

ESIMENE PEATÜKK

KOORMUSED JA KOORMUSGRAAFIKUD

PÕLLUMAJANDUSLIKE ELEKTRIENERGIA TARBIJATE NOMENKLATUUR

Maaelektrijaamad, -alajaamad ja -võrgud on ette nähtud põllumajanduslike tarbijate varustamiseks elektrienergiaga. Selliste tarbijate hulka kuuluvad kolhoosid, sovhoosid, masina-traktorijaamad, masina-loomakasvatusjaamad, haudelinnukasvatusjaamad, rajoonidevahelised kapitaalremonditöökojad ja mootoriremonditehased, maarajoonikeskused, samuti ka kohaliku ning kooperatiivtööstuse ettevõtted, mis asuvad maa asustatud punktides.

Elektrienergia kasutusalad põllumajanduses võib jaotada nelja põhirühma: 1) tööprotsesside elektrifitseerimine põllunduses; 2) tööprotsesside elektrifitseerimine loomakasvatuses; 3) töökodade ja põllumajandussaaduste töötlemise ettevõtete elektriajamid; 4) valgustus ja majapidamisriistad.

Tööprotsesside elektrifitseerimine põllunduses. Sellesse rühma kuuluvad järgmised põhilised tootmisprotsessid: elektriviljapeks ulatuses, kuivõrd see pole haaratud kombainide abil koristamisega, teravilja puhastamine, sorteerimine, triöörimine, puhtimine ja kuivatamine (tavaliselt kasutatakse kuivatusagregaatides elektrienergiat ainult agregaadi käitamiseks, kuna soojendamine toimub küttekolde abil). Elektrifitseeritavateks tööprotsessideks põllunduses on ka juur- ja köögiviljakultuuride niisutamise pumbaseadmete elektriajamid. Samasse rühma kuuluvad ka elektritraktorid.

Odava elektrienergia küllaldaste varude olemasolul on elektrienergia tarbijateks ka kasvuhooned ja lavad, peamiselt istikute kasvatamisel.

Tehniliste kultuuride viljelemise piirkondades kuuluvad põllunduskoormuste hulka lina, puuvilla, kanepi jne. esmase töötlemise protsessid.

Tööprotsesside elektrifitseerimine loomakasvatuses. Sellesse rühma kuulub peamiselt söötade ettevalmistamine ja nimelt: juurvilja ja kartulite pesemine, põhu, juur- ja mugulvilja ning rohelise massi lõikamine, aurutatud kartuli pudrustamine, õlikookide, teravilja, maisi ja heina jahvatamine, söötade segamine, silo valmistamine ning söötade transportimine. Laialdaselt on elektrifitseeritavad ka farmide vesivarustus ja virtsa väljapumpamine.

Väga efektiivne ja ökonoomne on elektrilüps, lammaste elektromehaaniline pügamine ning loomade elektromehaaniline puhastus. Linnukasvatuses kasutatakse elektrienergiat inkubaatorites ja kunstemades ning lindlate lisavalgustuseks.

Söötade aurutamiseks ja vee soojendamiseks kasutatakse elektrienergiat peamiselt ainult hüdroenergia küllaldaste ressursside olemasolu korral.

Suur tähtsus on ka loomakasvatusruumides ratsionaalse valgustuse kasutamisel.

Põllumajandussaaduste töötlemise ettevõtete ja töökodade elektriajamid. Siia kuuluvad veskid, või- ja juustutööstused, köögi- ja puuvilja esmase töötlemise ettevõtted, remondi- ja puidutöötlemistöökojad, sepikojad ja teised.

Valgustus ja majapidamisriistad. Siia rühma kuuluvad kõik elektrivalgutuse liigid, s. o. elamute, ühiskondlike, administratiivsete ja kultuurhariduslike hoonete, tänavate ja väljakute valgustus, samuti ka majapidamises laialdaselt kasutatavad elektrisoojendusriistad, nagu pliidid, triikrauad, teekannud, kastrulid.

ELEKTRIFITSEERITAVATE OBJEKTIDE UURIMINE JA KOORMUSTE VÄLJASELGITAMINE

Elektriliste koormuste väljaselgitamisel ja kokkuvõtmisel on oluline tähtsus projekteeritava või töötava maaelektrijaama, -alajaama ja

-võrgu ratsionaalsele töötamisele. Koormuste arvutuse alusel koostatakse elektrijaama või alajaama koormusgraafikud, valitakse sobivad agregaadid, määratakse ekspluatatsioonilised tegurid ja koostatakse rajooni elektrienergiaga varustamise skeem.

Projekteeritava elektrijaama või alajaama koormuse kokkuvõtmiseks tuleb uurida elektrifitseeritavat põllumajanduslikku rajooni. Uurimise ülesandeks on välja selgitada kolhooside, sovhooside, maarajoonikeskuste, masina-traktorijaamade ja muude põllumajanduslikkude tarbijate majanduslik-ökonoomilised näitajad. Juba enne uurimist määrab projekteerimisorganisatsioon orienteeruvalt projekteeritava elektrijaama või suure alajaama poolt elektrienergiaga varustatava piirkonna. Seejuures ei tule mingil juhul piirduda antud administratiivse rajooni piiridega. Ei ole näiteks lubatav, et mõned asustatud punktid ei loeta elektrienergia tarbijate hulka ainult sellepärast, et nad asetsevad teises administratiivses rajoonis.

Elektrifitseeritav piirkond märgitakse kaardile. Kaardile kantakse kõik kolhoosid, sovhoosid ja muud suured elektrienergia tarbijad, mida tuleb uurida. Samal kaardil jaotatakse tarbijad esialgselt projekteeritavast elektrijaamast väljuvate kõrgepingeliinide vahel. Edaspidi, pärast uurimist, seda jaotust täpsustatakse elektrifitseeritava põllumajandusliku rajooni elektrienergiaga varustamise projekti koostamisel.

Iga kolhoosi ja sovhoosi uurimisel selgitatakse välja elanikkude ja perede arv, kolhoosi või sovhoosi üldpindala ja künnimaa pindala, kultuurid, sealhulgas jahvatatava teravilja kogusaak, iga liiki põllumajanduslike loomade arv, administratiiv-majanduslike, ühiskondlike, tootmis-, loomakasvatus-, lao- jm. ruumide pindala. Kõik uurimisandmed koondatakse pärast vastavat ümbertöötamist ülevaatlikesse koondtabelitesse. Viimaste vormid on kindlaks määratud «Põllumajanduse Elektrifitseerimise Peavalitsuse» (Glavselelektro) «Maaelektriseadmete projekteerimise juhendites» (lüh. «PJ») [1] [1].

Enne kui siirduda maal kasutatavate elektriseadmete elektriliste koormuste kokkuvõtmise metoodikale, on vajalik tuua põllumajanduse elektrifitseerimise praktikas kasutatavate põhiliste energeetiliste näitajate ja tegurite definitsioonid ning omavahelised seosed.

MAAELEKTRISEADMETE PÕHILISED TEGURID JA NÄITAJAD

Töömasina käitamiseks vajalik võimsus (P_t) arvutatakse tavaliselt hobujõududes. Selleks et selgitada, missuguse võimsusega elektrimootor tuleb valida antud töömasina jaoks, s. o. et leida mootori vajalik võimsus (P_m), tuleb hobujõududes avaldatud masina võimsus üle viia kilovattidesse ning jagada elektrimootori ja masina vahelise ülekande kasuteguriga ($\eta_{ü}$).

Seega:

$$P_m = \frac{0{,}736\,P_t}{\eta_{ü}}.$$

Vajalikule võimsusele (P_m) täpselt vastavat elektrimootorit alati kataloogist ei leia, mistõttu mootori installeeritud võimsus (P_{inst}) erineb vajalikust võimsusest.

P_{inst} peab olema suurem kui P_m ning suhet

$$\frac{P_m}{P_{inst}} = k_{nk}$$

nimetatakse normaalseks koormusteguriks ehk kataloogile mittevastavuse teguriks.

Mootori installeeritud võimsus, s. t. võimsus mootori võllil, on väiksem võrgust nimikoormusel tarbivast võimsusest, mida nimetatakse ühendusvõimsuseks $P_{üh}$.

Neid kadusid iseloomustatakse nimikoormusel mootori kasuteguriga (η_m). Seega

$$P_{üh} = \frac{P_{inst}}{\eta_m}.$$

Elektrivalgustuse ja elektrisoojendusriistade puhul on tarbija installeeritud võimsuseks tarbija ühendusvõimsus.

Uute elektrijaamade, alajaamade ja võrkude projekteerimisel, samuti juba töötavate ratsionaliseerimisel on oluline tähtsus maksimaalse võimsuse (P_{maks}) määramisel kõikidele lülidele, alates ühisest sisestusest toidetava väikese tarbijate rühmaga ja lõpetades ülekandemagistraalliini ja kogu elektrijaama P_{maks}-ga. Iga lüli maksimaalne võimsus on alati väiksem ühendusvõimsusest, sest antud lüli kõik tarbijad ei tööta oma installeeritud võimsusega. Seega:

$$P_{maks} < P_{üh}.$$

P_{maks} suurust mõjutavad kaks tegurit — koormustegur (k_{nk}) ja üheaegsustegur ($k_{üa}$). Esimene neist tegureist, nagu eespool nimetatud,

[1] Nurksulgudes antakse viide kirjandusele, mille nimekiri on raamatu lõpus.

on «kataloogile mittevastavuse» tulemuseks või on seotud liigselt suure võimsusega elektrimootori olemasoluga, võrreldes käivitatava masina võimsusega. Seega isegi ühe elektrimootori puhul projekteeritavas liinis võib tema maksimaalne võimsus olla väiksem ühendusvõimsusest, kui $k_{nk} < 1$, ja nimelt:

$$P_{maks} = P_{üh}\, k_{nk}.$$

Üheaegsustegur $k_{üa}$, mis iseloomustab antud rühma üksikute tarbijate sisselülitamise eriaegsust või ka nende täie võimsusega töötamise eriaegsust, määratakse kogemuslike andmete põhjal. Üheaegsustegurite väärtused terve rea seadmete kohta on normeeritud «Maaelektriseadmete projekteerimise juhendites».

Tabelis 1 on toodud üheaegsustegurid elektrifitseeritava hoone valgustustarbijatele.

Et määrata maksimaalset arvutuslikku võimsust teatud hoone sisestuses, tuleb hoone pindala ja erinormide alusel arvutatud ühendusvõimsus korrutada antud ruumile vastava üheaegsusteguriga. Olles määranud objekti, näiteks kolhoosi kõikide ruumide maksimaalsed arvutuslikud võimsused, meie ei ole siiski õigustatud kogu kolhoosi maksimaalse võimsuse määramiseks liitma kõiki tippkoormusi (maksimaalseid koormusi) aritmeetiliselt, vaid ka siin tuleb sisse viia üheaegsustegur, millega tuleb korrutada üksikute tarbijate tippkoormuste aritmeetilist summat. Tihti nimetatakse seda teist üheaegsustegurit praktikas e r i a e g s u s t e g u r i k s. Oma olemuselt on see tegur siiski sarnane üksikute tarbijate rühma üheaegsusteguriga. Seepärast on soovitav ka seda nimetada üheaegsusteguriks, omistades talle järjekorranumbri, näiteks $k_{2üa}$, kuna üksikute tarbijate rühma üheaegsustegurit tähistame $k_{1üa}$.

Tabel 1

Valgustuskoormuste üheaegsustegurid üksikute hoonete kohta

Hoone nimetus	Üheaegsustegur
Kontorid	0,8
Kauplused, ühiselamud, elamud	0,8
Leivatehased	0,9
Koolid, haiglad, laboratooriumid	0,6
Töökojad	0,7
Autogaraažid	0,7
Tuletõrjekuurid	0,8
Materjalide ja varustuse laod	0,3—0,7
Tera- ja juurviljahoidlad	0,7
Katusealused (kuurid)	0,4
Sööklad	0,8
Saunad-pesumajad	0,8
Lastesõimed	0,7
Klubid	0,5
Laudad	0,8
Sealaudad	0,6
Lambalaudad	0,5
Välisvalgustus	1,0

Üheaegsustegurid $k_{2üa}$ normeeritakse sõltuvalt tarbijate või elektrifitseeritavate objektide arvust.

Tabelis 1 on toodud üheaegsustegurid maksimaalse võimsuse määramiseks sisestuses ühesuguse otstarbega hoonete rühmade viisi.

Nagu oli nimetatud eespool, määratakse maksimaalne võimsus iga ruumi sisestuses järgmiselt: koormuste normatiivide alusel arvutatud ühendusvõimsus korrutatakse üheaegsusteguriga $k_{1üa}$. Et määrata ühe kolhoosi (asustatud punkti) valgustuskoormuste maksimaalne võimsus otstarbelt sarnaste hoonete rühmade kaupa, korrutatakse ühendusvõimsus mitte teguriga $k_{1üa}$ vaid rühma üheaegsusteguriga $k_{2üa}$.

Teguri $k_{2üa}$ valikul soovitatakse kasutada järgmisi suurusi: ühiskondlikud ja administratiivhooned — 0,5; tootmisruumid — 0,6; loomakasvatushooned — 0,7; laoruumid — 0,4 (vaata allpool tabel 15). Et määrata maksimaalne võimsus kogu asustatud punkti või kolhoosi alajaama kogumislattidel, tuleb maksimaalsete võimsuste summa üksikute ruumide kohta korrutada üheaegusteguriga $k_{3üa}$ (tabel 2).

Tabel 2

Üheaegsustegurid $k_{3üa}$ ühe kolhoosi (asustatud punkti) kõikidele valgustuskoormustele

Majandite arv kolhoosis (asustatud punktis)	kuni 50	50—500	üle 500
Üheaegsustegur	1—0,95	0,95—0,90	0,90—0,85

Et aga määrata maksimaalne võimsus toitealajaama või elektrijaama kogumislattidel, tuleb sisse viia veel üks üheaegsustegur $k_{4üa}$ (tabel 3).

Tabel 3

Üheaegsustegurid $k_{4üa}$ elektrifitseeritava rajooni valgustuskoormustele

Tarbijad (ruumid)	Kolhooside arv kuni			
	10	25	40	60
Elamud ja ühiselamud	0,9	0,85	0,8	0,75
Ühiskondlikud hooned	0,85	0,8	0,75	0,7
Tootmishooned	0,7	0,65	0,6	0,55
Loomakasvatushooned	0,9	0,85	0,8	0,75
Laohooned	0,6	0,55	0,5	0,46
Tänavavalgustus	1	1	1	1
Majapidamiskoormus	0,9	0,85	0,8	0,75

Mõnedel juhtudel võib võimsamate elektrijaamade ja alajaamade projekteerimisel esineda vajadus täiendavate üheaegsustegurite sisseviimiseks (kui näiteks elektrijaamast toidetakse tervet rida vahepealseid 35/10 kV alajaamu). Selle teguriga korrutatakse üksikute alajaamade tippkoormuste summat, saades korrutisena maksimaalse võimsuse elektrijaama kogumislattidel (arvestamata kadusid).

Maaelektrijaamade ja -alajaamade projekteerimise praktikas võib esineda juhte, kus mingi rühma tarbijate ühendusvõimsuse alusel tuleb kohe määrata antud rühma tarbijatele vastav maksimaalne võimsus alajaama või elektrijaama kogumislattidel, arvesse võtmata vahelülisid. Selleks korrutatakse antud rühma tarbijate ühendusvõimsus koondüheaegsusteguriga (nõudetegur), mis kujutab endast kõikide vahepealsete üheaegsustegurite korrutist.

KOORMUSGRAAFIKUD

Maaelektrijaamade ja -alajaamade töötamine peab olema täielikult kooskõlastatud elektrienergia tarbijate töörežiimiga.

Ööpäeva ja aasta koormusgraafikutes peegeldub maaelanikkonna elutarbeliste vajaduste ja põllumajandusliku tootmise töörežiimi mitmekesisus.

Kui kommunaalelektrijaamadele ja -alajaamadele on tavaliselt küllaldane koostada ööpäeva koormusgraafik kahe aastaaja (suvi ja talv) kohta, siis maaelektrijaamadele tuleb koostada koormusgraafikud kolme või isegi kõigi nelja aastaaja — kevade, suve, sügise ja talve — kohta [1, 2]. Igal aastaajal on oma iseärasused ning see tingibki hooajast sõltuvaid erinevaid nõudeid elektrijaamale ja elektrijaama koormusgraafikutele. Maahüdroelektrijaamadele koostatakse tavaliselt ka igakuised elektrienergia tarbimise graafikud koos võimaliku toodanguga veehulga alusel.

Et välja joonestada ööpäeva koormusgraafikuid, tuleb esmalt koostada koormuse jagunemise tabelid tundide kaupa kilovattides. Valgustuskoormused jaotatakse tundide kaupa sõltuvalt maakoha geograafilisest asendist (laiusest) ning tarbijate iseloomust. Tootmiskoormuste (jõu- ja elektrisoojenduskoormuste) jagunemine tundide kaupa peab vastama tarbijate töörežiimile, vahetuste arvule, töö intensiivsusele ja lõunavaheajale. Koormustabelite koostamisel tundide kaupa tuleb projekteerimise käigus tugineda juba töötavate sarnanevate seadmete töötamise kogemustele. Graafikute alusel valitakse põhilised elektrijaama agregaadid ja jõutrafod. Seepärast tuleb projekti sellele osale pühendada erilist tähelepanu, viies miinimumini võimalikud ebatäpsused ja juhuslikud lahendused.

Ööpäeva ja aasta koormusgraafikud võimaldavad lahendada elektrijaama projekteerimisel ning ekspluateerimisel terve rea tähtsaimaid energeetilisi küsimusi.

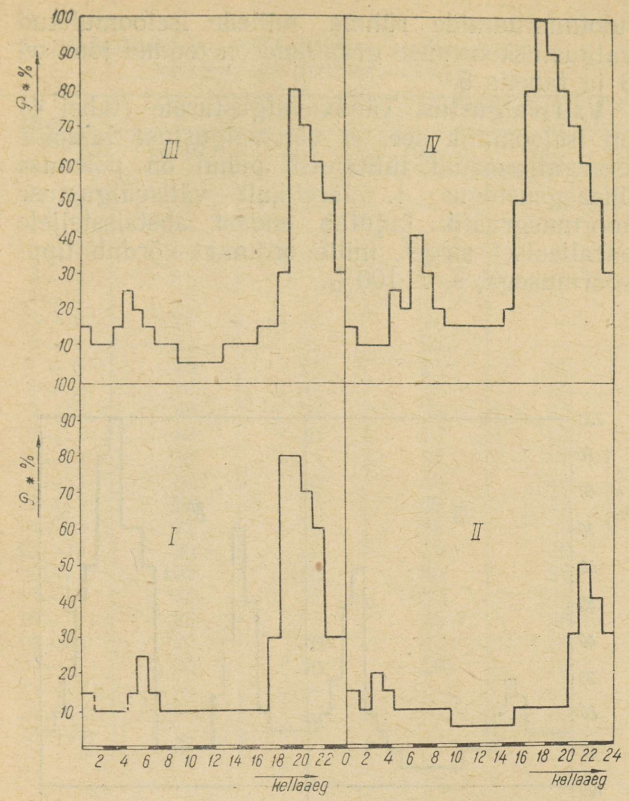
Iga graafiku pindala teatud mõõtkavas annab elektrienergia toodangu või tarbimise antud ajavahemikus. Nii on kerge määrata ööpäeva koormusgraafiku alusel, arvesse võttes mõningaid parandustegureid, toodangut või tarbimist ööpäevas, aasta koormusgraafiku alusel — aastas. Koormusgraafikute alusel määratakse veekulu hüdroelektrijaamades ja kütusekulu soojuselektrijaamades, võttes aluseks antud koormusele vastava energiatoodangu ja agregaatide kasuteguri.

Koormusgraafikud võimaldavad kasutada mitte agregaatide keskmisi, vaid täpsustatud kasutegureid, mis määratakse vastavalt koormuste suurusele ja kestusele. Koormusgraafikute alusel on võimalik kindlaks määrata üksikute elektrijaama agregaatide ja samuti süsteemi üksikute jaamade töörežiimi. Samade graafikute alusel valitakse üksikute agregaatide võimsus ja nende arv.

Koormusgraafikute olemasolu võimaldab ajaliselt ühtlustada koormusi ning vähendada ajutisi tippkoormusi. Need abinõud võimaldavad paremini ära kasutada jaamade installeeritud võimsust, tagavad elektrienergia omahinna alandamise ja tõstavad ehitamiseks kulutatud vahendite efektiivsust. Graafikute alusel planeeritakse agregaatide jooksev ning kapitaalremont ja selgitatakse jaama võimsuse vajaliku reservi küsimused.

Elektrijaamade, alajaamade, ülekandeliinide ja tarbijaseadmete projekteerimise ja ekspluateerimise alal kogutud mitmeaastased kogemused võimaldavad anda valgustus- ja majapidamiskoormuste kohta koormuse jaotuse tundide kaupa protsentides tippkoormusest. Tabelite 4, 5 ja 6 alusel koostatud joonistel 1—5 on antud suhteliste koormuste jaotus tundide kaupa protsentides tippkoormusest nelja aastaaja kohta, vastavalt NSV Liidu keskvööndi tingimustele ja mitmesugustele tarbijate rühmadele. Projekteerimisorganisatsioonid teevad parandusi soovitatavasse koormuste jaotusse, vastavalt antud maakoha geograafilistele tingimustele ning põllumajandusliku tootmise iseärasustele konkreetsetes piirkondades.

Elamute valgustus. Joonisel 1 ning tabelis 4 on näidatud koormuste suhteline jaotus elamute ja ühiselamute valgustamisel protsentides aasta



Joon. 1. Elamute valgustuse koormusgraafikud: *I* — kevad; *II* — suvi; *III* — sügis; *IV* — talv.

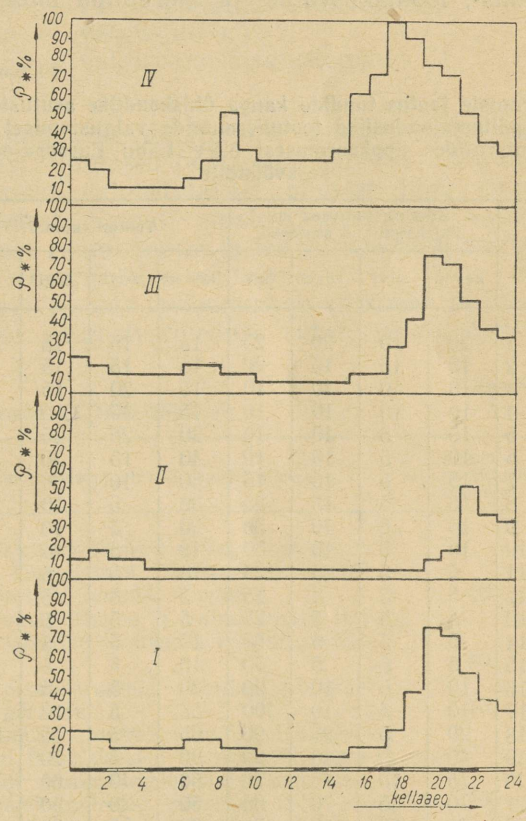
Tabel 4

Koormuste jaotus tundide kaupa elamute ja välisvalgustuse kohta protsentides tippkoormusest NSV Liidu Euroopa-osa keskvööndile

Ööpäeva tunnid	Elamud				Välisvalgustus			
	kevad	suvi	sügis	talv	kevad	suvi	sügis	talv
0— 1	15	15	15	15	100	100	100	100
1— 2	10	10	10	10	100	100	100	100
2— 3	10	20	10	10	100	100	100	100
3— 4	10	15	15	10	100	—	100	100
4— 5	15	10	25	25	100	—	100	100
5— 6	25	10	20	20	100	—	—	100
6— 7	15	10	15	40	100	—	—	100
7— 8	10	10	10	30	—	—	—	100
8— 9	10	10	10	20	—	—	—	—
9—10	10	5	5	15	—	—	—	—
10—11	10	5	5	15	—	—	—	—
11—12	10	5	5	15	—	—	—	—
12—13	10	5	5	15	—	—	—	—
13—14	10	5	5	15	—	—	—	—
14—15	10	5	10	20	—	—	—	—
15—16	10	10	10	50	—	—	—	—
16—17	10	10	15	80	—	—	—	100
17—18	30	10	15	100	—	—	—	100
18—19	80	10	30	90	100	—	—	100
19—20	80	10	80	80	100	—	—	100
20—21	70	30	70	70	100	—	100	100
21—22	60	50	60	60	100	100	100	100
22—23	30	40	50	50	100	100	100	100
23—24	30	30	30	30	100	100	100	100

jooksul esinevast tippkoormusest (tavaliselt talvise ööpäeva õhtutundidel). Need tüüpkoormusgraafikud kehtivad NSV Liidu Euroopa-osa keskvööndi kohta ning vajavad täpsustamist sõltuvalt elektrifitseeritava piirkonna tingimustest.

Suurema võimsusega kolhoosidevahelistele elektrijaamadele on iseloomulik, et valgustuskoormus pimedate ja poolpimedate ruumide olemasolu tõttu elamutes ning ühiselamutes ei vähene kunagi nullini. Selliste, loomuliku valgusega halvasti valgustatud ruumide hulka kuuluvad esikud, köögid, koridorid, karjalaudad ja teised. Tüüpkoormusgraafikud suhtelistes ühikutes koostatakse kõigi nelja aastaaja — kevade, suve, sügise ja talve — iseloomulike ööpäevade kohta. Kõige enam on koormatud detsembrikuu kõige lühema päevaga ööpäev. Küllalt suur on koormus ka varajastel hommikutundidel, kui veel on pime, kuid enamus elanikkonnast juba ärkab, ja ulatub 6—7 ajal 40%-ni tippkoormusest. Ööpäeva päevastel tundidel moodustab koormus 15—20% tippkoormusest, tõustes järsult päeval kella 4 paiku kuni 80%-ni. Mõne



Joon. 2. Ühiskondlike, kultuurhariduslike ja muude asutuste valgustuse koormusgraafikud: *I* — kevad; *II* — suvi; *III* — sügis; *IV* — talv.

tunni kestel pärast õhtust tippkoormuse saabumist koormus järk-järgult väheneb.

Kõige vähem on koormatud muidugi suvine ööpäev (juuni), mil päev on kõige pikem. Õhtune tippkoormus esineb hilistel õhtutundidel, kella 9 ja 10 vahel, ja ulatub vaevalt 50%-ni talvise õhtu tippkoormusest. Kevadised ja sügisesed koormused on oma iseloomult suviste ja talviste ööpäevade koormuste vahepealsed. Tuleb arvesse võtta seda, et sügisese ööpäeva koormusgraafiku koostamisel lähtutakse koormustest augusti teisel poolel, mil teostatakse sügisesi põllumajanduslikke töid, nagu viljapeks, künd jt.

Administratiiv-majanduslikud ruumid, ühiskondlikud ja kultuurhariduslikud asutused. Administratiivsete ja kultuurhariduslike asutuste rühma koormused võib ühendada ühisesse koormusgraafikusse. Joonisel 2 ja tabelis 5 on antud suhteliste koormuste jaotus tundide kaupa kõigi nelja aastaaja kohta. Koormusgraafik sarnaneb vastavate koormusgraafikutega elamute kohta, omades siiski erinevusi, mis sõltuvad valgustusseadmete töötamise iseloomust administratiiv- ja ühiskondlikes asutustes.

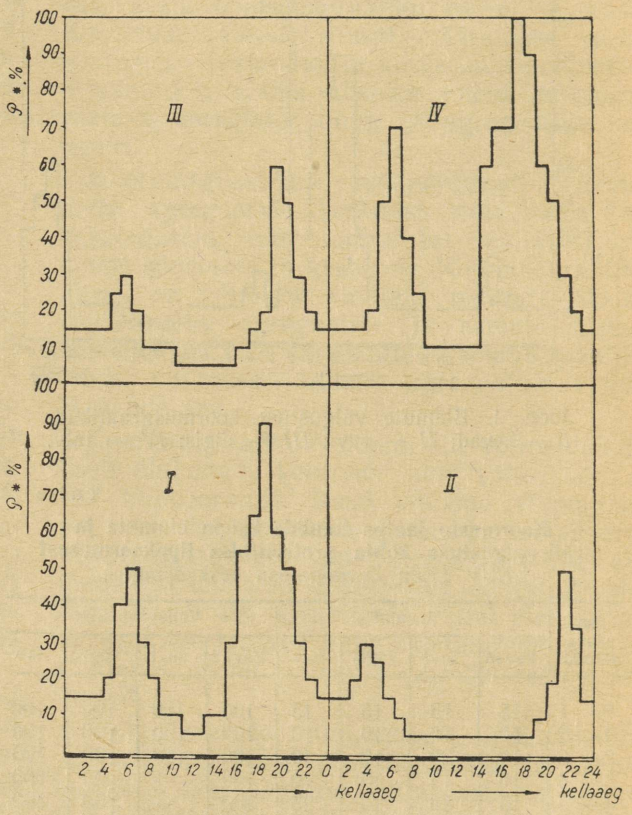
Tootmisruumide valgustus. Et lihtsustada koormusgraafikute koostamist, ühendatakse tihti tootmis-, loomakasvatus- ja laoruumid ühisesse tootmisruumide rühma, millede iseloomulikud valgustuskoormuse graafikud on toodud joonisel 3 ja tabelis 5.

Välisvalgustus. Tänavavalgustusele (tabel 4) on iseloomulik see, et välisvalgustuse lampide tsentraliseeritud lülitamise puhul on põlemise üheaegsustegur 1. Järelikult välisvalgustuse koormusgraafik kujutab endast abstsissteljele paralleelset sirget, mille ordinaat võrdub tippkoormusega, s. o. 100%.

Tabel 5

Koormuste jaotus tundide kaupa ühiskondlike asutuste ja põllumajanduslike tootmisruumide valgustamisel protsentides tippkoormusest NSV Liidu Euroopa-osa keskvööndile

Ööpäeva tunnid	Administratiivsed ja ühiskondlikud asutused				Tootmisruumid			
	kevad	suvi	sügis	talv	kevad	suvi	sügis	talv
0— 1	20	10	20	25	15	15	15	15
1— 2	15	15	15	20	15	15	15	15
2— 3	10	10	10	10	15	20	15	15
3— 4	10	10	10	10	15	30	15	15
4— 5	10	5	10	10	20	25	25	20
5— 6	10	5	10	10	40	15	30	50
6— 7	15	5	15	15	50	10	20	70
7— 8	15	5	15	25	30	5	10	40
8— 9	10	5	10	50	20	5	10	25
9—10	10	5	10	30	10	5	10	10
10—11	5	5	5	25	10	5	5	10
11—12	5	5	5	25	5	5	5	10
12—13	5	5	5	25	5	5	5	10
13—14	5	5	5	25	10	5	5	10
14—15	5	5	5	30	10	5	5	60
15—16	10	5	10	60	30	5	5	70
16—17	10	5	10	100	55	5	10	70
17—18	20	5	25	90	65	5	15	100
18—19	40	5	40	80	90	5	20	90
19—20	75	10	75	70	60	10	60	60
20—21	70	15	70	60	50	20	50	50
21—22	50	50	50	50	30	50	30	30
22—23	35	35	35	35	20	35	20	20
23—24	30	30	30	30	15	15	15	15



Joon. 3. Tootmisruumide valgustuse koormusgraafikud: *I* — kevad; *II* — suvi; *III* — sügis; *IV* — talv.

Lampide põlemise ajad on keskmistes tingimustes järgmised: kevadine ööpäev — kella 6-st õhtul kuni kella 7-ni hommikul; suvine ööpäev — kella 9-st õhtul kuni kella 3-ni hommikul; sügisene ööpäev — kella 8-st õhtul kuni kella 5-ni hommikul; talvine ööpäev — kella 4-st õhtul kuni kella 9-ni hommikul.

Majapidamise soojenduskoormused. Majapidamiskoormuse jaotus tundide kaupa mitmesugustel aastaaegadel protsentides tippkoormusest on antud tabelis 6.

Tabel 6

Majapidamiskoormuste jaotus tundide kaupa protsentides tippkoormusest

Ööpäeva tunnid	Aastaajad			
	kevad	suvi	sügis	talv
0— 1	—	—	—	—
1— 2	—	—	—	—
2— 3	—	—	—	—
3— 4	—	—	—	—
4— 5	—	—	—	—
5— 6	25	25	—	—
6— 7	25	25	25	—
7— 8	25	25	25	25
8— 9	30	30	30	30
9—10	30	30	30	30
10—11	40	40	40	40
11—12	50	50	50	50
12—13	40	40	40	40
13—14	25	25	25	25
14—15	25	25	25	25
15—16	30	30	30	30
16—17	100	100	80	80
17—18	35	35	100	100
18—19	25	25	35	30
19—20	20	20	20	20
20—21	20	20	20	20
21—22	—	—	—	—
22—23	—	—	—	—
23—24	—	—	—	—

VALGUSTUSKOORMUSED

Põllumajanduslike ruumide valgustuse projekteerimisel kasutatakse tavaliselt ühtlase üldise valgustuse erivõimsuse normatiive antud ruumi pinnaühiku kohta (1 m²).

Erivõimsuse normatiivide kindlaksmääramisel on lähtematerjaliks tööstusettevõtete valgustustiheduse normid ГОСТ 3825-47 järgi (tabel 7), kuna elamute ja ühiskondlike hoonete normid on kindlaks määratud NSV Liidu Elektrijaamade Ministeeriumi Tööstusenergeetika ja Energiavalve Inspektsiooni ja Sanitaarinspektsiooni poolt (tabel 8).

Toodud tabelites on antud vaid niisugused tööde ja ruumide liigid, mis kõige sagedamini esinevad projekteerimisel.

Neil juhtudel, kui projekteeritavas objektis on mittetüüpilised enam või vähem keerukad hooned, ühendusvõimsusega alates 4 kW ja enam, tuleb valgustustiheduse arvutamisel juhinduda valgusvoo kasutusteguri meetodist. Nõutav minimaalne valgustustihedus valitakse tabelites 7 ja 8 toodud andmete alusel, kuna aga valgustite arv määratakse lähtudes ruumi plaanist. Arvutus teostatakse valemi järgi:

$$F = \frac{EkZS}{n\eta},$$

kus: F — ühe lambi valgusvoog luumenites;
E — minimaalne valgustustihedus normide järgi luksides;
k — varutegur;
Z — keskmise ja minimaalse valgustustiheduse suhe;
S — ruumi pindala ruutmeetrites;
n — valgustite arv;
η — valgusvoo kasutustegur.

Kasutustegur määratakse sõltuvalt ruumi näitajatest. Viimased omakorda sõltuvad armatuuri kõrgusest valgustatavast pinnast ning ruumi mõõdetest. Samuti omab kasutusteguri valikul tähtsust ruumi seinte ja lae värvus ning valitud valgustusarmatuuri näitajad.

Tegur Z, mis iseloomustab keskmise ja minimaalse valgustustiheduse suhet, võtab arvesse

Tabel 7

Tööstusettevõtete valgustustiheduse normid (ГОСТ 3825-47)

Tööde iseloomustus või ruumi nimetus	Vähim valgustustihedus (luksides)	Tööde iseloomustus või ruumi nimetus	Vähim valgustustihedus (luksides)
Tööd, mis vajavad alla 0,2 mm suuruste detailide eraldamist	75—125	Administratiiv-kontoriruumid, punanurgad, lugemistoad, ühiskondlike organisatsioonide ruumid, laudadel	50
Sama, detailidele mõõdetega 0,2 kuni 1 mm	30—125	Toidu vastuvõtmise ja valmistamise ruumid (sööklad, puhvetid, köögid), laudadel	50
Sama, detailidele mõõdetega 1 kuni 10 mm	20— 50	Duši-, pesemisruumid, käimlad, garderoobid, põrandal	15
Tööd isekiirgavate esemetega (näiteks valutsehhides)	50	Pealäbikäigud tootmisruumides, läbisõidukohad tsehhisisesele transpordile, agregaatide teenindamise platvormid, peakoridorid ja trepid, põrandal	10
Tööd, mis vajavad detailide eraldamist suurusega 10 kuni 100 mm	20	Muud vahekäigud, koridorid, trepid ja esikud, põrandal	5
Tööd, mis vajavad üle 100 mm suuruste esemete või detailide eraldamist, samuti ka üldine tootmisprotsessi jälgimine .	10		
Tööd kogukate esemete ja puisteainete ladudes	5		

Tabel 8

Elamute ja ühiskondlike hoonete valgustustiheduse normid

(Elektrijaamade Ministeeriumi Tööstusenergeetika ja Energiavalve Inspektsiooni ja Sanitaarinspektsiooni poolt 1950. a. kinnitatud normide alusel)

Ruumide nimetus	Vähim valgustustihedus (luksides)
Ühiselamud	
Magamistuba	50
Punanurk ja puhketuba	75
Garderoob, pesemisruum, käimla	25
Koridor	15
Trepp	10
Elumajad	
Elutuba, köök	25
Pesemisruum, käimla, esik	15
Trepp, sahver	5
Raviasutused	
Sidumis-, eeloperatsiooni-, operatsiooni-, vaatlus-, protseduuri-, sünnitusruumid, stomatoloogi, uroloogi, nahahaiguste, nakkushaiguste, lastehaiguste, kõrva- ja ninahaiguste kabinetid	100
Vastuvõturuum, sise- ja vaimuhaiguste kabinetid	75
Boks ja isolaator	50
Palatid, koridor	20
Peapalat	10
Ravimite valmistamise laboratoorium	75
Apteek, ravimite väljaandmine	50
Pesukoda, pesuruum	30
Vestibüül, pesemisruum, käimla, garderoob	25
Lasteasutused	
Ülevaatuse ruum	100
Mängutuba, söögituba	75
Magamistuba, vastuvõturuum, söögiruum, isolaator	50
Pesupesemise ruum	50
Õppeasutused	
Klass, laboratoorium, auditoorium, raamatukogu, lugemissaal	75
Spordisaal	50
Joonestamise, joonistamise, käsitöö kabinetid	150
Vestibüül, garderoob, koridor, pesemisruum, käimla	15
Kaubandusruumid	
Raamatukauplused, valmisriietekauplused	75
Toiduainete, jalanõude, pesu-, kirjutusmaterjali ruumid	50
Sisse- ja väljakäigud, läbikäigud	15
Kommunaalettevõtted	
Juuksuri töötuba	75
Juuksuri töötoa vestibüül	50
Pesukoda	30
Saunad: pesemisruum, vihtlemisruum, riietusruum	25
Administratiiv-kontoriruumid	
Kabinetid ja kantseleid	75
Masinakirjabüroo	100
Arhiiv	50
Vestibüül, garderoob, käimla, pesemisruum	15
Ühiskondliku toitlustamise ruumid	
Söökla, puhvet, kohvikute ja restoranide saalid	75

asjaolu, et normides on toodud minimaalselt lubatavad valgustustihedused.

Kasutusteguri η ja tegurite k ning Z määramiseks tuleb kasutada käsiraamatuid või erijuhendeid elektrivalgustuse projekteerimiseks.

Mitmesuguste põllumajanduslikkude ruumide erivõimsuse normatiivide kindlakstegemiseks võib kasutada järgnevat meetodit.

Kõigepealt tuleb ГОСТ 3825-47 või NSV Liidu Elektrijaamade Ministeeriumi Tööstusenergeetika ja Energiavalve Inspektsiooni andmeil kindlaks teha, kui suured erivõimsused vattides 1 ruutmeetrile vastavad kõige levinumate valgustite ja põllumajanduslike ruumide iseloomulike näitajate ühele või teisele normile luksides.

Valgustustiheduse üleviimist erivõimsustele võib teostada G. M. Knorringi poolt väljatöötatud materjalide alusel [3].

Tabelis 9 on toodud erivõimsuse normatiivid üldise ühtlase valgustuse korral mitmesuguste ruumide seinte ja lae mistahes värvuse puhul, kui kasutatakse armatuuri «Universaal» ilma varjuta ja kui valgustite kõrgus põrandast on 2 kuni 3 m. Selgitame tabeli kasutamise meetodit. Oletame, et tuleb projekteerida töökoja montaažitsehhi valgustus, kus on vaja eraldada detaile mõõdetega 1 kuni 10 mm. Tsehhi ruumi pindala on 200 m², ГОСТ 3825-47 (tabel 7) kindlaksmääratud normide alusel tuleb valgustustihedus võtta piirides 20 kuni 50 luksi. Võtame antud juhul 30 luksi. Erivõimsus üldise valgustuse korral $p = 8\ W/m^2$ (tabel 9), kui $S = 200$ m² ja $E = 30$ lx. Tsehhi valgustamiseks vajalik üldine võimsus $P = pS = 8 \cdot 200 = 1600$ W.

Võib valida 8 200 W-st lampi.

Tabel 9

Erivõimsuse normatiivid üldise ühtlase valgustuse puhul, kui kasutatakse armatuuri «Universaal» ilma varjuta 2—3 m kõrgusel põrandast

Ruumi pindala S m²	Valgustustihedus E lx					
	5	10	20	30	50	75
10— 15	3,3	6,2	11	15	22	30
15— 25	2,7	5	9	12	18	25
25— 50	2,3	4,3	7,5	10	15	21
50—150	2	3,8	6,7	9	13	18
150—300	1,8	3,4	6	8	12	17
üle 300	1,7	3,2	5,8	7,5	11	16

Tabelites 10, 11 ja 12 on toodud erivõimsuse normatiivid ühtlase valgustuse puhul teistele põllumajanduses levinud valgustusarmatuuridele ja nimelt: terviklikust piimklaasist lütsett (tabel 10), poolhermeetiline portselanarmatuur (tabel 11) ja piimklaasist ühe lambiga plafoon või piimklaasist kera (tabel 12).

Kui on olemas andmed erivõimsuse kohta mitmesuguste ruumide üldise ühtlase valgustuse puhul sõltuvalt ruumide pindalast, tarvilikust valgustustihedusest, valgusti tüübist ja ülesriputamise kõrgusest, võib tuletada erivõimsuse normatiivid, mis on nõutavad kogu hoone valgustamiseks, sõltuvalt antud hoone välise mõõtmise alusel saadud pindalast.

Tabel 10

Erivõimsuse normatiivid üldise ühtlase valgustuse puhul, kui kasutatakse terviklikust piimklaasist lütsetti 2—3 m kõrgusel

Ruumi pindala S m²	Valgustustihedus E lx						
	5	10	15	20	30	50	75
10— 15	3,7	6,5	9,2	11	15	23	32
15— 25	3,1	5,4	7,8	9,5	13	19	27
25— 50	2,5	4,6	6,6	8,2	11	16	22
50—150	2,1	3,8	5,7	6,9	9,3	14	18
150—300	1,9	3,4	4,9	6,1	8	12	16
üle 300	1,8	3,2	4,6	5,7	7,5	11	15

Tabel 11

Erivõimsuse normatiivid üldise ühtlase valgustuse puhul, kui kasutatakse poolhermeetilist portselanarmatuuriga valgustit 1,5—2 m kõrgusel

Ruumi pindala S m²	Valgustustihedus E lx				
	5	10	15	20	30
10— 15	4,6	8,5	12	15,5	21
15— 25	4	7,5	10,4	12,7	18
25— 50	3,4	6,4	8,6	10,5	15
50—150	2,8	5,2	7	8,7	12,6
150—300	2,3	4,3	6	7,2	11
üle 300	2,1	4	5,5	6,8	10

Tabel 12

Erivõimsuse normatiivid üldise ühtlase valgustuse puhul, kui kasutatakse ühelambilist piimklaasist plafooni või piimklaasist kera 2—3 m kõrgusel

Valgustatav pindala S m²	Valgustustihedus E lx					
	5	10	15	20	30	50
10— 15	4,3	7,9	11,2	14,5	20	33
15— 25	3,9	7	10	12,7	18	29
25— 50	3,3	6	8,5	10,7	15	25
50—150	2,7	5	7	8,7	12,2	21
150—300	2,4	4,4	6,2	7,6	10,8	18
üle 300	2,2	4,1	5,8	6,8	10	17

Selline valgustuseks vajaliku võimsuse arvutamise meetod pinna alusel, mis haarab kõik projekteeritava objekti (elektrijaama või alajaama poolt teenindatava kolhoosi või rajooni) teatud ülesandega hooned tervikuna, on kõige otstarbekam ja lihtsam.

Erivõimsuse normatiivide määramiseks elektrifitseeritava hoone välise mõõtmise alusel võib soovitada järgmist meetodit.

Antud tüüphoone kõik ruumid ja üksikud toad jaotatakse nende otstarbe järgi mitmesse rühma. Iga sellise rühma kohta, lähtudes plaanist või ehitusülesandest, määratakse pindala, mis väljendatakse antud hoone kõikide ruumide rühmade üldpindala suhtena. Tähistame suhtelise pindala tähega s.

Iga ruumide rühma kohta valitakse ГОСТ 3825-47 normide või NSV Liidu Elektrijaamade Ministeeriumi Tööstusenergeetika ja Energiavalve Inspektsiooni poolt kindlaksmääratud normide alusel minimaalne valgustustihedus E lx. Viimane arvutatakse ümber üldise ühtlase valgustuse erivõimsusele p W/m² (tabelid 9, 10, 11 ja 12). Edasi arvutatakse iga ruumide rühma kohta korrutised ps.

Nende korrutiste summa Σps annab erivõimsuse normatiivi kogu ruumi kohta. Kui see suurus jagada teguriga, mis iseloomustab välise mõõtmise alusel saadud hoone pindala suhet antud hoone kõikide ruumide pindalade summasse ($k = 1{,}2 \div 1{,}25$), siis saame ühendusvõimsuse erinormatiivi välise mõõtmise alusel saadud hoone pindala kohta.

Tabelis 13 on toodud näide koolihoone valgustuse erivõimsuse normatiivi arvutamise kohta.

Jagades hoone välise mõõtmise alusel saadud pindala teguriga k, saame $19{,}24 : 1{,}25 = 15{,}4$ W/m².

1952. aastal välja antud «PJ-s» esitatud metoodika põhjal on koostatud elektrivalgustuse erivõimsuse normatiivid vattides 1 ruutmeetri kohta (tabel 14).

Tabel 13

Näide erivõimsuse normatiivi arvutamise kohta koolihoone välise mõõtmise alusel

Ruumide rühm	Pindala suhtelistes ühikutes s	Minimaalne valgustustihedus E lx	Erivõimsus p W/m²	Korrutis ps
Kantselei, õpetajatetuba, majahoidjakorter, laborantide ruum . . .	0,16	25	13	2,08
Klassid, auditooriumid .	0,43	75	27	11,6
Puhvet, ühiskondlikkude organisatsioonide tuba, direktori korter . . .	0,16	50	19	3,04
Vestibüül, trepp . . .	0,13	15	8,5	1,1
Käimlad	0,09	15	12	1,08
Raamatuhoidla	0,03	15	11,2	0,34
	1,00	—	—	19,24

Kolhoosi elamute valgustuskoormused normeeritakse tavaliselt mitte ruumide pindala järgi, vaid ühe hoone suhtes. Normatiivina võib võtta 85—150 W ühe pere kohta.

Peale valgustuse peab ette nägema ka majapidamis-soojendusriistade kasutamist. Ühele perele soovitatav keskmine normatiiv on 150—250 W, kusjuures selle koormuse üheaegsustegur õhtuse tippkoormuse ajal on 0,25.

Tänavate valgustamise normatiivina võetakse 1 W tänava 1 jooksva meetri kohta.

Tihti lähtutakse välisvalgustuse projekteerimisel erivõimsuse normatiivist 20—30 W ühele perele.

Valgustuskoormuste kokkuvõtmisel erivõimsuse normatiivide meetodil tuleb arvesse võtta, et mitmekorruselistele hoonetele võetakse arvutuslikuks pindalaks kõikide korruste summaarne pindala.

Lampide üldise arvu (valguspunktide arvu) määramiseks tuleb arvutuse teel saadud ühendusvõimsus jagada ühe valgustuspunkti keskmise võimsusega (tabel 14).

Hoone pindalaühikule antud erivõimsuse normatiivide meetodit võib kasutada nii tarbijaseadmete elektrivalgustuse projekteerimisel kui ka mõnevõrra lihtsustatud kujul elektrijaamade, alajaamade ja ülekandeliinide omatarbevalgustuse projekteerimisel.

Omatarbevalgustuse projektides arvutatakse valgustuskoormuste kokkuvõtmise tulemusena ühendus- ja maksimaalne võimsus, üldine valguspunktide arv ning aastane elektrienergia tarbimine. Mis aga puutub tarbijaseadmeisse, siis täiendavalt ülalmainitud suurustele valitakse siseinstallatsiooni liik, milleks on vaja andmeid elektrifitseeritava asustatud punkti ehitiste ehitusmaterjali kohta.

Nagu näha tabelist 14, erinevad erivõimsuste normatiivid sarnaste ruumide rühmade kohta üksteisest vähe. Kõikide üksikute ruumide väljaselgitamine kogu rajooni kohta ning koormuste individuaalne kokkuvõtmine vajab suurt ajakulu ning ei õigusta end praktikas. Sellepärast on soovitav ühendada ruumid järgmistesse rühmadesse: 1) elamud, 2) ühiskondlikud hooned, 3) tootmisruumid, 4) loomakasvatusruumid ja 5) laoruumid.

Hoone kuuluvus ühte või teise rühma määratakse tabeli 14 alusel.

Koormuste kompleksi hulka võib lugeda tänavavalgustus (välisvalgustus) ja majapidamis-soojendusriistad. Tabelis 15 on antud normatiivid tarbijate rühmade kaupa. Võttes arvesse, et maarajoonide elektrienergiaga varustamise projekteerimisel suurtest elektrijaamadest tuleb opereerida suurte arvudega, on selles tabelis normatiivid antud 50—100 tavalise ühiku

Tabel 14

Võimsuse erikulu üksikute ruumide elektrivalgustuseks vattides välise mõõtmise alusel saadud 1 m² pindala kohta

Valgustatavad hooned	Erivõimsus W/m²	Valgustuspunkti keskmine võimsus W	Üheaegsustegur ruumi sisestusel k_1	Installeeritud võimsuse kasutustundide arv aastas
Elamud				
Kolhoosniku elamu	ühele perele			
a) valgustus . .	85—150 W	40	0,8	1500
b) majapidamis-koormus . . .	150—250 W	—	0,25	500
Ühiselamud ja paljukorterilised elamud	7,0	70	0,8	1500
Tänavavalgustus .	1 W tänava jooksva meetri kohta	150—200	1	2400
Ühiskondlikud hooned				
Kontor	13,7	100	0,8	800
Kauplus	8,6	70	0,8	800
Söökla	11,5	90	0,8	700
Leivatehas . . .	8,4	80	0,9	1000
Lasteaed	13,9	100	0,7	700
Kool	15,4	120	0,6	800
Lastesõim . . .	10,0	100	0,7	700
Klubi	9,0	80	0,5	800
Haigla	10,0	100	0,6	1000
Saun-pesumaja . .	12,0	60	0,8	700

Tabeli 14 järg

Valgustatavad hooned	Erivõimsus W/m²	Valgustuspunkti keskmine võimsus W	Üheaegsustegur ruumi sisestusel k_1	Installeeritud võimsuse kasutustundide arv aastas
Tootmisruumid				
Garaaž	3,6	80	0,7	700
Tuletõrjekuur	2,8	50	0,8	500
Tuletõrjedepoo	3,8	60	0,8	700
Piimaköök	7,8	50	0,8	800
Laboratoorium	14,2	120	0,6	800
Pumbajaam	5,0	60	0,8	800
Veski	8,4	80	0,8	700
Abitsehhid (rakmete ja sadulsepa töökoda)	3,8	50	0,8	800
Töökoda	7,5	100	0,7	1200
Laudsepa töökoda	4,5	80	0,8	1200
Sepikoda	8,0	100	0,8	800
Loomakasvatusruumid				
Loomalaut	1,9	60	0,8	700
Vasikalaut	1,7	60	0,8	700
Sealaut	1,4	60	0,6	600
Hobusetall	1,8	60	0,8	700
Lambalaut	2,2	60	0,5	500
Lindla	2,9	60	0,5	500
Kanala lisavalgustusega	5,0	60	0,8	700
Veterinaarhaigla	10,0	100	0,8	800
Laoruumid				
Tagavaraosade ladu	2,5	40	0,3—0,7	600
Teravilja- ja juurviljahoidla	0,5	40	0,7	700
Katusealused veokitele	0,5	60	0,4	600
Katusealune põllumajandusmasinatele	1,2	60	0,4	600
Kütuseladu	2,5	40	0,7	600
Kaaluruum	4,5	80	0,8	700
Saeraami katusealune	3,3	80	0,8	800
Söödaladu	0,5	40	0,7	600

Märkus: Välise mõõtmise alusel saadud pindala ja kasuliku valgustatava pindala (seina paksusi jne. maha arvates) suhe on keskmiselt 1,2—1,25.

(50—100 peret, 100 m² pindala) kohta ning normatiivid on väljendatud kilovattides.

Samas on toodud $k_{2üa}$ väärtused sarnaste ruumide rühmadele.

Uurimismaterjalide, tarbijate suurendatud rühmade koormuste normatiivide ja soovitatavate üheaegsustegurite alusel arvutatakse valgustus- ja majapidamiskoormused ja määratakse maksi-

Tabel 15

Valgustuse ja majapidamis-soojendusriistade võimsuse normatiivid tarbijate suurendatud rühmadele

Ruumide rühmade nimetus	Mõõtühik	Hulk	Installeeritud võimsus kW	Üheaegsustegur k_2 ü a ruumide rühmale	Installeeritud võimsuse kasutustundide arv aastas
Kolhoos (asustatud punkt) majade arvuga:					
a) kuni 50	maja	50	4,25—7,5	0,64	1500
b) 50—500	„	500	42,5 —75	0,6	1500
c) üle 500	„	—	—	0,56	1500
Majapidamiskoormus	„	100	15—25	0,25	500
Tänavavalgustus	„	100	2,0	1	2400
Ühiskondlikud hooned	m² välise mõõtmise järgi	100	1,0	0,5	800
Tootmisruumid	sama	100	0,7	0,6	900
Loomakasvatusruumid	„	100	0.18	0.7	700
Laoruumid	„	100	0,75	0,4	650

maalsed võimsused kogu rajooni ja samuti üksikute tarbijate kohta.

Kolhoosnikute elamute valgustuse, tänavavalgustuse ja majapidamis-soojendusriistade koormuste arvutamisel on aluseks uurimismaterjalide alusel saadud kolhoosiperede arv.

Teiste ruumide ühendusvõimsus saadakse antud rühma ruumide pindala ja erinormatiivide korrutisena.

Üleminekuks ühendusvõimsuselt maksimaalsele võimsusele kasutatakse iga tarbijate rühma ning üksikute kolhooside kohta vastavates tabelites toodud üheaegsustegureid.

Kogu rajooni üksikute tarbijate rühmade kohta sel teel saadud maksimaalsed võimsused (P_{maks}) on tarvilikud ka ööpäeva koormusgraafikute koostamiseks.

Valgustuse ühine tippkoormus määratakse koormusgraafikute alusel iga aastaaja kohta.

Kõik näitajad antud kolhoosi kohta (üldine ühendusvõimsus ja maksimaalsete võimsuste summad) liidetakse. Need näitajad on vajalikud pingetmadaldavate alajaamade valikuks, samuti ka üksikute kolhooside energeetiliste näitajate määramiseks, et välja selgitada iga kolhoosi osavõtu suurust kolhoosidevahelise elektrijaama ehitamisel.

Näitajate määramiseks kogu elektrifitseeritava rajooni kohta liidetakse üksikute kolhooside kõik põhilised näitajad. Seejuures elektrijaama kogumislattidele tuleva tippkoormuse (ilma ka-

dudeta) määramiseks korrutatakse üksikute tarbijate rühmade tippkoormuste summad vastavate üheaegsusteguritega.

JÕU- NING ELEKTRISOOJENDUSKOORMUSED

Põllumajandusmasinate elektriajamite ning tootmises kasutatavate elektrisoojendusaparaatide projekteerimisel kasutatakse nõukogude teadlaste ja inseneride poolt väljatöötatud erijuhendeid ning meetodeid [4, 5, 6, 7]. Tootmiskoormuste arvutamiseks elektrijaama, alajaama ja võrkude projekteerimisel juhindutakse normatiivsetest andmetest ning kogemuslikkudest tegu-ritest, mis on saadud projekteerimisasutuste praktika põhjal ja samuti põllumajandusmasinaid tootvate tehaste andmetel.

1952. a. välja antud «PJ-s» on toodud levinumate põllumajandusmasinate ja pumpade põhilised energeetilised näitajad ning samuti soovitused nendele elektrimootorite valikuks. Võimsuse määramise ja elektrienergia tarbimise arvutuste aluseks antud tootmisprotsesside puhul on elektrifitseeritavasse piirkonda kuuluvate tarbijate uurimise materjalid.

Üleminekumeetodeid masina vajalikult võimsuselt elektrimootorite ühendus- ja maksimaalsele võimsusele kirjeldati eelpool. Üheaegsustegurid masinate rühmale kolhoosis võetakse sõltuvalt elektrifitseeritavate mehhanismide töörežiimist ja hulgast; üheaegsustegurid rajoonile leitakse sõltuvalt antud energiaallikast elektrifitseeritavate kolhooside arvust.

Tabelis 16 on toodud üldise üheaegsusteguri $k_{üld}$ väärtused. See tegur arvestab koormustegurit (kataloogile mittevastavuse tegurit), elektrimootorite keskmist alakoormust ja töötamise üheaegsust üksikute tootmisprotsesside kaupa, sõltuvalt tarbijate (kolhooside) arvust elektrifitseeritavas rajoonis [1].

Jõu- ja soojenduskoormuste kokkuvõtmisel kasutatakse «PJ» normatiivide tabelites või käsiraamatutes toodud andmeid.

Arvutuste tulemused tuleb kanda koondtabelisse, jaotades tarbijad rühmadesse.

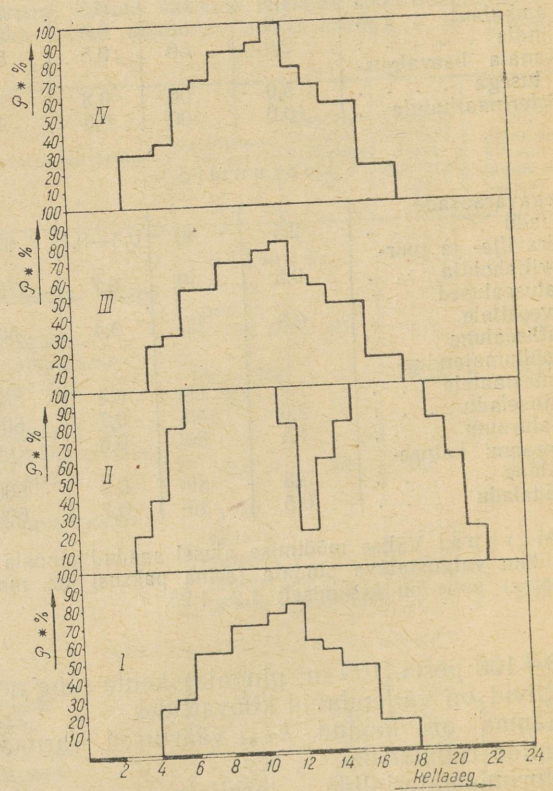
Tootmiskoormuste jaotus tundide kaupa mitmesuguste aastaaegade järgi peab vastama tarbijate elektriajamite üksikasjalistele projektidele.

Üksikasjaliste projektide puudumisel kasutavad projekteerimisorganisatsioonid mõnede sagedamini esinevate koormusliikide kohta suhtelistes ühikutes antud tüüpkoormusgraafikuid. Neid koormusgraafikuid võib kasutada maaelektrijaamade, -alajaamade ja -võrkude projekteerimisel.

Tabel 16

Teguri $k_{üld}$ väärtus, mis arvestab elektrimootorite koormust ja sisselülitamise üheaegsust üksikute protsesside kaupa, sõltuvalt tarbijate (kolhooside) arvust

Protsessi liik	$k_{üld}$			
	Kolhooside arv kuni			
	10	25	40	60 ja enam
Söötade ettevalmistamine	0,5	0,4	0,3	0,25
Elektrilüps	0,8	0,6	0,5	0,4
Virtsa pumpamine	0,4	0,3	0,2	0,2
Loomakasvatusruumide ventilatsioon	0,5	0,4	0,3	0,3
Lammaste pügamine	0,5	0,4	0,3	0,3
Vesivarustus	0,6	0,5	0,4	0,3
Elektriviljapeks	0,8	0,75	0,7	0,65
Viljakuivatamine	0,8	0,75	0,7	0,65
Viljapuhastamine	0,8	0,75	0,7	0,65
Viljapuhtimine	0,6	0,5	0,4	0,4
Mehaanikatöökoda	0,4	0,3	0,2	0,15
Vilja jahvatamine ja kroovimine	0,6	0,5	0,4	0,3
Ketassaed	0,3	0,25	0,2	0,15
Piima separeerimine ja või valmistamine	0,7	0,6	0,6	0,5



Joon. 4. Koormusgraafik sööda ettevalmistamisel loomakasvatusfarmides:
I — kevad; *II* — suvi; *III* — sügis; *IV* — talv.

Joonistel 4, 5 ja 6 on toodud Riikliku Põllumajanduse Elektrifitseerimise Projekteerimise Instituudi (Giproselelektro) Ukraina filiaali projekteerimise praktikas kasutusel olevad tüüpkoormusgraafikud.

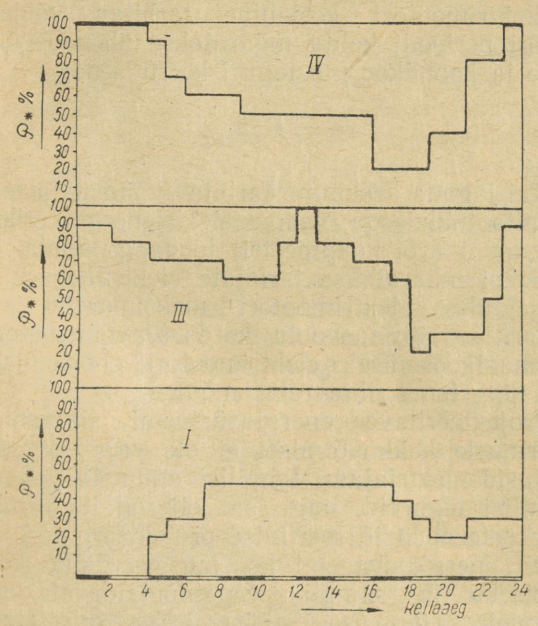
Joonisel 4 on antud koormuste ligikaudne jaotus tundide kaupa (protsentides tippkoormusest) söötade ettevalmistamisel loomakasvatusfarmides nelja aastaaja iseloomulikule ööpäevale. Seda tüüpkoormusgraafikut võib kasutada projekteerimisel siis, kui ei ole täpsemaid andmeid söödaettevalmistamismasinate töörežiimist.

Nagu nähtub koormusgraafikust, on eriti koormatud suvise ööpäeva tunnid, mil söödaettevalmistamismasinad töötavad täie koormusega.

Lehmade lüpsmise ja piima separeerimise elektriseadmed lülitatakse tööle kevadel ja suvel tavaliselt kella 3—4 ajal hommikul, sügisel ja talvel aga kella 4—5 ajal. Nende seadmete töötamine lõpeb kell 8—9 õhtul.

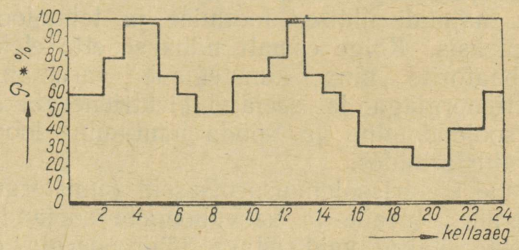
Põllumajandussaadusi ümbertöötavatest ettevõtetest vajavad erilist tähelepanu jahuveskid kui suure võimsusega tarbijad. Nad töötavad tavaliselt peaaegu kogu aasta, välja arvatud kaks-kolm suvekuud. Veskite tööd reguleeritakse ajaliselt nii, et oleks võimalik täita koormusgraafikute tühikuid. Joonisel 5 toodud ligikaudsel koormuste jaotamisel veskitele on arvestatud eelmainitud asjaolu.

Kolhoosi töökojad töötavad kogu aasta päevastel tundidel ühes vahetuses, mida võetaksegi arvesse koormusgraafikute koostamisel.



Joon. 5. Jahuveski koormusgraafik:
I — kevad; *II* — suvi; *III* — sügis; *IV* — talv.

Elektrienergia abil vee soojendamine, sööda hautamine jt. elektrisoojendusprotsessid on väga suure energiamahuga koormused. Enamik neist koormustest on seotud reguleerivate tarbijatega, mis lülitatakse sisse väikese koormusega tundidel.



Joon. 6. Talvise ööpäeva soojenduskoormuste graafik.

Joonisel 6 on toodud elektrisoojenduskoormuste ligikaudne jaotus talvise ööpäeva jooksul. Kevadel ja sügisel elektrisoojenduskoormus väheneb nii suuruselt kui ka kestuselt, sest suvel ei lülitata neid seadmeid mõnikord üldse sisse.

Nende teraviljade elektriviljapeks, mis ei toimu kombainidega, osutub üheks tähtsamaks hooajaliseks põllumajanduslikuks koormuseks. Viljakoristamisperioodil töötavad elektriviljapeksuseadmed kogu ööpäeva, kasutades öötundidel ka elektrivalgustust.

Varajastel sügiskuudel toimub elektriviljapeks päeval alates kella 5-st hommikul kuni kella 6-ni õhtul.

Vesivarustusseadmete töötamine sõltub antud majandis tarvituselevõetud veepumpamissüsteemist, vee kogumise paakide ja basseinide suurusest ning automatiseeritud seadmete tüübist.

Hooajaliste liikuvate põllundusprotsesside elektrifitseerimine elektritraktorite kasutamise näol ning samuti ka niisutusseadmete elektrifitseerimine vajavad palju elektrienergiat.

Üleliidulise Põllumajanduse Elektrifitseerimise Teadusliku Uurimise Instituudi (ВИЭСХ) soovitusel tuleb kolhooside liikuvate põllundusprotsesside elektrifitseerimise projekteerimisel arvestada mitte üksikute elektrifitseeritud agregaatide kasutamise, vaid elektritraktorijaamade loomisega, kooskõlastades eelnevalt seda küsimust vastavate organisatsioonidega. Elektritraktorijaamas peab elektrifitseeritud masinate arv olema mitte alla 50% üldisest traktorite pargist. Mõne üksiku elektrifitseeritud põllutööagregaadi kasutamine ei ole küllalt efektiivne.

«PJ» andmeil peab liikuvaid elektrifitseeritud põllutööagregaate toitva elektrijaama võimsus olema mitte alla 2—3 tuhande kW.

Põhiliste statsionaarsete põllumajanduslike tootmisprotsesside elektrifitseerimise kõrval tuleb

esimeses järjekorras elektrifitseerida niisutus juurviljaaias.

Vastavalt «Maaelektriseadmete projekteerimise juhenditele» tuleb projektides ette näha elektrisoojenduskoormused sõltuvalt antud rajooni kohalikest energeetilistest varudest ja antud soojusliku protsessi tähtsusest elektrifitseeritava majandi üldises tootmise ja tehnoloogia kompleksis. Kõige esmalt nähakse ette elektriinkubaatorite ning kunstemade varustamine elektrienergiaga ja seejärel elektrienergia abil vee soojendamine ja sööda hautamine loomakasvatusfarmides.

Muud elektrisoojendusprotsessid (emisteruumi soojendus, lavade ja kasvuhoonete soojendus) projekteeritakse vaid odava hüdroenergia olemasolu korral.

Soojuselektrijaamade projekteerimisel on soovitav ette näha elektrijaama agregaatide heitesoojuse ärakasutamine põllumajanduslike tarbijate varustamiseks soojusenergiaga. Soojuselektrijaamadest ja samuti vähese veega hüdroelektrijaamadest saadava elektrienergia kasutamine soojenduseks on lubatud vaid linnufarmide inkubaatorites.

Ülalkirjeldatud elektriliste koormuste kokkuvõtmise meetodid võimaldavad määrata erinormatiivide, teatmeliste andmete ja elektrifitseeritavate majandite näitajate alusel, ühendus- ja maksimaalsed võimsused nii üksikute tarbijate kui ka tarbijate rühmade kohta. Selliste arvutuste alusel koostatakse ühendus- ja maksimaalsete võimsuste koondtabelid. Koormuste koondtabeli iga üksik rida (ööpäeva koormusgraafiku kõver, ööpäeva koormustabeli rida) vastab ühele tootmisprotsessile (tarbijale), või protsesside kompleksile (tarbijatele).

Peale selle saab ühendus- ja maksimaalsete võimsuste koondtabelite alusel arvutada võimsuskaod kõikides elektrienergia ülekandmise ja jaotamise lülides ning samuti võimsuse kulu elektrijaama omatarbeks.

Nende samade lähteandmete alusel teostatakse aktiiv- ja reaktiivvõimsuse tarbimise arvutus elektrijaama tippkoormuse ajal ning määratakse projekteeritava jaama võimsustegur ($\cos\varphi$) (vt. teine peatükk, tabel 26).

Jõukoormuste kokkuvõtmise metoodika tarbijaseadmete (kolhooside, sovhooside) elektrifitseerimise projekteerimisel erineb elektrienergiaga varustava seadme (elektrijaama, alajaama, ülekandeliini) jõukoormuste kokkuvõtmise metoodikast.

Tarbijate elektrifitseerimise projekteerimisel koostab projekteerija arvutustabeli väga üksikasjalikult. Ta kannab sinna töömasina andmed, tema tunnitootlikkuse, vajaliku võimsuse võllil, pöörlemiskiiruse ja masina rihmaratta mõõted, elektrimootoriga sidurdamise viisi. Edasi, võttes aluseks ajami kasuteguri, määrab elektrimootori vajaliku võimsuse ning valib kataloogist konkreetse mootori, märkides ära installeeritud võimsuse. Edasi määrab projekteerija elektrimootori vajaliku ja installeeritud võimsuse alusel normaalse koormusteguri (kataloogile mittevastavuse teguri), jagades elektrimootori vajaliku võimsuse installeeritud võimsusele.

Elektrimootori ühendusvõimsuse määramiseks jagatakse installeeritud võimsus mootori kasuteguriga.

Kui tähistada masina võllil vajalik võimsus kilovattides P_1, elektrimootori vajalik, installeeritud ja ühendusvõimsus vastavalt P_2, P_3 ja P_4, mootori normaalne koormustegur (kataloogile mittevastavuse tegur) k_{nk}, ajami kasutegur η_a ja elektrimootori kasutegur η_m, siis saame järgmised seosed:

$$P_2 = \frac{P_1}{\eta_a}\ ;\ \frac{P_2}{P_3} = k_{nk}\ ;\ P_4 = \frac{P_3}{\eta_m}\ .$$

Elektrimootori poolt tarbitava keskmise võimsuse määramiseks tuleb peale normaalse koormusteguri valida mootori poolt tarbitava võimsuse keskmine koormustegur k_k. Viimane sõltub töömasina keskmisest koormusest, mis määratakse käsiraamatuist.

Normaalse ja keskmise koormusteguri korrutis annab koondkoormusteguri antud ajavahemikus:

$$k_{kk} = k_{nk}\, k_k\ .$$

Elektrimootori keskmine tarbitav võimsus mingi perioodi kohta määratakse ühendusvõimsuse ja koondkoormusteguri korrutisena:

$$P_5 = P_4\, k_{kk}\ .$$

Kui jagada keskmine tarbitav võimsus masina tunnitootlikkusega, saame elektrienergia erikulu ühe tonni (või kuupmeetri) toodangu kohta.

Edasi määratakse tarbijate elektrifitseerimise projektides elektrimootori maksimaalne vool amprites, käivitusvoolu kordsus, võimsustegur normaalkoormusel, elektrimootori pöörlemiskiirus ning tema rihmaratta mõõted.

Projekteeritava energiasüsteemi alajaamade koormuste kokkuvõtmisel ei ole vaja selgitada paljusid elektriajami tehnilisi andmeid ja energeetilisi tegureid, nagu see oli vajalik tarbijaseadmete elektrifitseerimise projekteerimisel. Sel juhul energiasüsteemi koormusgraafikute koostamiseks ja samuti pingetmadaldavate alajaamade võimsuse määramiseks selgitatakse ja arvutatakse iga kolhoosi kohta igasse tootmisprotsessi puutuvad järgmised elemendid:

1) elektrifitseeritava tootmisprotsessi nimetus, 2) valitud töömasinad ning nende tootlikkus s (tonni tunnis), 3) elektrienergia erikulu toodanguühiku kohta e (kWh tonni kohta) ümberarvutatult elektrimootori klemmidele, 4) elektrimootori keskmine vajalik võimsus tunnis P (kW), kusjuures $P = es$.

Kui tähistada energia tarbimist mingi perioodi, näiteks iseloomuliku aastaaja ööpäeva vältel E (kWh), elektrifitseeritud masinate poolt töödeldava toodangu hulk sama perioodi vältel S, siis antud masina või masinate rühma töötundide arv vastava aastaaja ööpäeva graafiku järgi avaldub valemiga:

$$T = \frac{E}{P} \text{ ehk } T = \frac{S}{s}.$$

Kui käsiraamatutes või tehaste kataloogides puuduvad andmed elektrienergia erikulu kohta masina toodanguühikule, siis see määratakse masina vajaliku võimsuse P jagamisel masina tunnitootlikkusega samades toodanguühikutes, s. o.:

$$e = \frac{P}{s}.$$

Saadud e väärtus tuleb suurendada 10—15% võrra, sest ekspluatatsioonis masina mittetäielikul koormusel elektrienergia erikulu suureneb. Avaldades elektrienergia erikulu toodanguühiku kohta, tuleb kontrollida, kas on arvesse võetud energiakaod ülekandes ja elektrimootoris endas.

KAOD JA OMATARBEVÕIMSUS

Pärast jõu- ja valgustuskoormuste kokkuvõtmist koostatakse iseloomulikud ööpäeva koormusgraafikud kõigi elektrifitseeritavate põhiprotsesside kohta. Seejärel need liidetakse koondkoormusgraafikutes või -tabelites, kus iseseisvate tulpadena esinevad valgustus- ja tootmiskoormused, kaod (kaasa arvatud elektrijaama omatarbevõimsus) ja summaarsed koormused.

Tabelites 17, 18, 19, 20 ja joonistel 7, 8, 9 ja 10 on näitena toodud viiest kolhoosist koosnevat põllumajanduslikku rajooni teenindava väikese elektrijaama koondkoormusgraafikud.

Tabelid ja graafikud on antud selleks, et selgitada nende koostamise metoodikat. Tuleb märkida, et need ei ole tüüpilised igale rajoonile.

Nagu näha toodud graafikutest, esineb aasta absoluutne tippkoormus kõigis elektrienergia tootmise, ülekandmise ja jaotamise elementides, arvestamata võimsuskadusid, sügisese ööpäeva päevastel tundidel ja moodustab 250 kW. Aasta tippkoormuse esinemine sügisel on tingitud sellest, et sel aastaajal on väga suured hooajalised koormused.

Tabel 17

Ööpäeva koondkoormustabel

Kevadine ööpäev

Ööpäeva tunnid	Koormuste liigid					
	valgustuskoormus	jõu- ja elektrisoojenduskoormus	kokku	muutuvad kaod	püsivad kaod	üldse
0— 1	28,9	54,7	83,6	5,4	11,3	103,3
1— 2	24,1	54,7	78,8	4,8	11,3	96,9
2— 3	23,3	58,2	81,5	5,1	11,3	97,9
3— 4	23,3	76,1	99,4	7,5	11,3	118,2
4— 5	28,8	119,5	148,3	16,4	11,3	176,0
5— 6	49,8	117,0	166,8	20,6	11,3	198,7
6— 7	46,0	126,5	172,5	22,4	11,3	206,2
7— 8	26,8	147,6	174,4	23,2	11,3	208,9
8— 9	24,1	147,1	173,2	23,0	11,3	207,5
9—10	20,9	153,5	174,4	23,2	11,3	208,9
10—11	22,9	161,8	184,7	25,8	11,3	221,8
11—12	32,1	166,8	198,9	30,5	11,3	240,7
12—13	29,4	95,1	124,5	11,8	11,3	147,6
13—14	26,9	128,3	155,2	18,4	11,3	184,9
14—15	18,8	154,0	172,8	22,4	11,3	206,5
15—16	27,3	157,7	185,0	25,8	11,3	222,1
16—17	54,5	151,3	205,8	31,5	11,3	248,6
17—18	55,4	142,6	198,0	29,8	11,3	239,1
18—19	101,5	111,6	213,1	34,5	11,3	258,9
19—20	110,3	96,9	207,2	33,0	11,3	251,5
20—21	113,8	87,1	200,9	30,5	11,3	242,7
21—22	73,9	75,8	149,7	17,0	11,3	178,0
22—23	44,8	74,2	119,0	10,8	11,3	141,1
23—24	42,3	74,2	116,5	10,0	11,3	137,8

Tabel 18

Ööpäeva koondkoormustabel

Suvine ööpäev

Ööpäeva tunnid	Koormuste liigid					
	valgustuskoormus	jõu- ja elektrisoojenduskoormus	kokku	muutuvad kaod	püsivad kaod	üldse
0— 1	27,2	64,5	91,7	6,8	11,3	109,8
1— 2	24,2	64,5	88,7	5,6	11,3	105,6
2— 3	32,7	66,2	98,9	7,5	11,3	117,7
3— 4	23,4	87,6	111,0	9,4	11,3	131,7
4— 5	16,6	96,0	112,6	9,7	11,3	133,6
5— 6	28,4	96,3	124,7	11,8	11,3	147,8
6— 7	26,9	83,8	110,7	9,4	11,3	131,4
7— 8	25,3	75,0	100,3	7,6	11,3	119,2
8— 9	26,6	76,5	103,1	8,0	11,3	122,4
9—10	14,6	111,6	126,2	12,0	11,3	149,5
10—11	17,4	119,4	136,8	13,7	11,3	161,8
11—12	20,1	121,2	141,3	14,9	11,3	167,5
12—13	17,4	82,3	99,7	7,5	11,3	118,5
13—14	13,3	62,4	75,7	4,3	11,3	91,4
14—15	13,3	77,9	91,2	6,2	11,3	108,7
15—16	18,5	106,6	125,1	11,9	11,3	148,3
16—17	37,8	111,5	149,3	17,0	11,3	177,6
17—18	19,9	110,7	130,6	13,0	11,3	154,9
18—19	17,2	98,1	115,3	10,0	11,3	136,6
19—20	18,2	102,9	121,1	11,2	11,3	143,6
20—21	37,9	82,8	120,7	10,9	11,3	142,9
21—22	57,4	38,8	96,2	7,0	11,3	114,5
22—23	72,4	35,9	108,3	8,9	11,3	128,5
23—24	42,3	54,9	97,2	7,2	11,3	115,7

Tabel 19

Ööpäeva koondkoormustabel

Sügisene ööpäev

Ööpäeva tunnid	Koormuste liigid					
	valgustus-koormus	jõu- ja elektri-soojendus-koormus	kokku	muutuvad kaod	püsivad kaod	üldse
0— 1	28,9	82,6	111,5	9,5	11,3	132,3
1— 2	24,2	82,6	106,8	8,5	11,3	126,6
2— 3	23,3	96,7	120,0	10,8	11,3	142,1
3— 4	27,2	102,8	130,0	13,0	11,3	154,3
4— 5	38,1	124,4	162,5	20,0	11,3	193,8
5— 6	26,9	171,8	198,7	30,0	11,3	240,0
6— 7	27,6	175,5	203,1	31,0	11,3	245,4
7— 8	20,5	187,7	208,2	33,0	11,3	252,5
8— 9	20,9	187,8	208,7	33,5	11,3	253,5
9—10	17,0	190,7	207,7	33,0	11,3	252,0
10—11	17,4	212,5	229,9	40,0	11,3	281,2
11—12	20,1	229,9	250,0	47,7	11,8	309,0
12—13	17,4	172,3	189,7	26,8	11,3	227,5
13—14	17,2	185,3	202,5	31,0	11,3	244,8
14—15	17,2	203,3	220,5	37,0	11,3	268,8
15—16	19,3	188,8	208,1	33,0	11,3	252,4
16—17	38,6	164,5	203,1	31,0	11,3	245,4
17—18	48,2	158,0	206,2	32,0	11,3	249,5
18—19	60,4	105,7	166,1	21,0	11,3	198,4
19—20	70,4	115,5	185,9	26,0	11,3	223,2
20—21	96,8	94,8	191,6	27,5	11,3	230,4
21—22	102,9	62,4	165,3	21,0	11,3	197,5
22—23	60,4	70,3	130,7	13,0	11,3	155,0
23—24	42,3	86,4	128,7	12,5	11,3	152,5

Tabel 20

Ööpäeva koondkoormustabel

Talvine ööpäev

Ööpäeva tunnid	Koormuste liigid					
	valgustus koormus	jõu- ja elektri-soojendus-koormus	kokku	muutuvad kaod	püsivad kaod	üldse
0— 1	28,9	48,9	77,8	4,6	11,3	93,4
1— 2	25,0	48,9	73,9	4,1	11,3	89,3
2— 3	23,3	51,7	75,0	4,3	11,3	90,6
3— 4	23,3	64,4	87,7	5,8	11,3	104,8
4— 5	36,6	73,3	109,9	9,0	11,3	130,2
5— 6	42,2	63,8	106,0	8,5	11,3	125,8
6— 7	65,0	47,7	112,7	9,7	11,3	131,7
7— 8	56,3	48,5	104,8	8,2	11,3	124,3
8— 9	40,3	65,9	106,2	8,5	11,3	126,0
9—10	28,2	67,3	95,5	6,9	11,3	113,7
10—11	30,2	78,1	108,3	8,9	11,3	128,5
11—12	32,9	78,1	121,0	11,2	11,3	143,5
12—13	30,2	56,0	86,2	5,8	11,3	103,3
13—14	26,1	64,9	91,0	6,2	11,2	108,5
14—15	46,6	69,8	116,4	10,1	11,3	137,8
15—16	79,7	56,9	136,6	13,6	11,3	161,5
16—17	104,8	39,1	143,9	15,5	11,3	170,7
17—18	136,1	33,5	169,6	22,0	11,3	202,9
18—19	163,3	31,9	195,2	29,0	11,3	235,5
19—20	106,1	26,5	132,6	13,3	11,3	157,2
20—21	93,5	22,8	116,3	10,1	11,5	137,7
21—22	80,2	38,1	118,3	10,5	11,3	140,1
22—23	57,8	38,1	95,9	7,0	11,3	114,2
23—24	40,6	48,9	89,5	6,0	11,3	106,8

Talvel esinev õhtune tippkoormus on tingitud kommunaal-majapidamis- ning valgustuskoormusest.

Tõsist tähelepanu tuleb pöörata jaama omatarbevõimsuse ja kõikides elektrienergia ülekandmise ning jaotamise elementides esinevate võimsuskadude arvutamise metoodikale.

Põllumajanduse elektrifitseerimise projekteerimisorganisatsioonide praktikas võetakse kaoja omatarbevõimsuseks teatud protsent iga tunni koormusest. Seejuures protsendi suurus on sama kõigil ööpäeva tundidel. Näiteks projekteerija arvestas kadudeks ja omatarbeks 10% tunnikoormustest. Oletame, et õhtuse tippkoormuse tundidel on kadudeta koormus 100 kW, aga öötundidel ainult 5 kW. Siit saame, et õhtul oleks võimsuskadu (koos omatarbevõimsusega) 10 kW, aga öötundidel ainult 0,5 kW. On ilmne, et kui öösel on töös pingettõstev alajaam ja ligi kümme pingetmadaldavat alajaama, siis on kaoja omatarbe-aktiivvõimsus ilmselt üle 0,5 kW.

Hüdroelektrijaamade korral, mis töötavad koos pingettõstvate alajaamadega, on soovitav kasutada praktikas kontrollitud muutuvate ja püsivate kadude arvestamise meetodit.

Koondkoormustabelite alusel määratakse aasta absoluutne tippkoormus. Meie poolt vaadeldavas näites on see 250 kW. Kõik püsivate ja muutuvate võimsuskadude ning omatarbevõimsuse lähteandmed arvutatakse selle suuruse suhtena, korrektiividega muutuvate kadude osas iga aastaaja ööpäeva kõigi tundide kohta.

Kõik võimsuskaod, kaasa arvatud omatarbevõimsus, jaotatakse koormusest sõltuvateks muutuvateks kadudeks ja koormusest täiesti või vähesel määral sõltumatuteks püsivateks kadudeks.

Muutuvate kadude hulka kuuluvad kaod kõrge- ja madalpingeliinide juhtmetes ja trafode mähistes; püsivate kadude hulka — trafode rauaskaod ja elektrijaama omatarbevõimsus.

Muutuvate kadude määramisel lähtutakse elektrivõrgu skeemist ning õhuliinides ja trafodes esineva suhtelise pingekao ligikaudsetest arvutuslikkudest suurustest lubatavate pingemuutuste tabelite alusel (vt. neljateistkümnes peatükk). Oletame, et projekteeritavast hüdroelektrijaamast on ette nähtud elektrifitseerida antud rajoon kahe pingeastmega ja nimelt: generaator 0,4 kV — pingettõstev trafo 0,4/10 kV — liin 10 kV — alajaam 10/0,4 kV — madalpinge-

liin. Kõrge- ja madalpingeliinide juhtmetes on maksimaalne pingekadu kõige kaugemates liinipunktides 17,5%, pingekadu trafode kahes astmes on 10%. Kokku 27,5%.

Arvestades asjaolu, et mitte kõik tarbijad ja pingetmadaldavad alajaamad ei tööta maksimaalsel kaugusel kõrge- ja madalpingeliinide toitepunktidest, soovitatakse pingekaolt võimsuskaole ülemineku kasutada tegurit $a = 1{,}4 \div 1{,}5$.

Võtame meie juhul $a = 1{,}45$.

Siit

$$P_{maks} = \frac{\Delta U_{maks}}{a},$$

kus: P_{maks} — võimsuskaod tippkoormusel õhuliinide juhtmetes ja trafode mähistes %;

a — tegur (1,4÷1,5);

ΔU_{maks} — summaarne pingekadu juhtmetes ja trafo mähistes maksimaalsel koormusel protsentides.

Meie näite puhul:

$$P_{maks} = \frac{27{,}5}{1{,}45} = 19\%.$$

Olles määranud maksimaalsete kadude suuruse suhtelistes ühikutes, läheme üle «jooksvate» kadude määramisele.

Tähistame: P_1 — jooksev koormus, s. o. koormus ööpäeva mistahes tunnil mistahes aastaajal kW;

$\Delta P_1\%$ — koormusele P_1 vastavad suhteliselt jooksvad võimsuskaod protsentides;

ΔP_1 — koormusele P_1 vastavad jooksvad võimsuskaod kW.

Vastavad suurused maksimaalsel koormusel tähistame

$$P_{maks},\ \Delta P_{maks}\%,\ \Delta P_{maks}.$$

Võttes arvesse, et võimsuskaod võrkude juhtmetes ja trafode mähistes on võrdelised võimsuse ruuduga, saame:

$$\frac{\Delta P_1}{\Delta P_{maks}} = \frac{P_1^2}{P_{maks}^2}; \text{ ehk } \Delta P_1 = \frac{\Delta P_{maks} P_1^2}{P_{maks}^2}.$$

Asendades sellesse valemisse

$$\Delta P_{maks} = \frac{\Delta P_{maks}\% \, P_{maks}}{100},$$

saame:

$$\Delta P_1 = \frac{\Delta P_{maks}\% \, P_{maks} P_1^2}{100 P_{maks}^2}.$$

Jooksvate kadude suhtelised väärtused avalduvad järgmiselt:

$$\Delta P_1\% = \frac{100 \Delta P_1}{P_1} = \frac{100 \Delta P_{maks}\% \, P_{maks} P_1^2}{100 P_{maks}^2 P_1} =$$

$$= \Delta P_{maks}\% \frac{P_1}{P_{maks}} \quad \text{ehk} \quad \frac{\Delta P_1\%}{\Delta P_{maks}\%} = \frac{P_1}{P_{maks}},$$

s. o. jooksva kao suhtelised väärtused on võrdelised jooksva võimsuse väärtustele.

Praktiliselt tuleb kadudeta koondkoormusgraafiku iga ordinaat avaldada maksimaalse võimsuse P_{maks} osades ning korrutada siis need eelpool aluseks võetud maksimaalsele võimsuskaole protsentides $\Delta P_{maks}\%$. Nii saab leida jooksvad kaod suhtelistes ühikutes, millede alusel määrataksegi jooksvad kaod kilovattides.

Näide. Määrame muutuvad võimsuskaod suvisele ööpäevale kella 17—18 ajal.

Jooksev võimsus on 130,6 kW, ehk absoluutse tippkoormuse osades $\frac{130{,}6}{250{,}0} = 0{,}52$; jooksvate kadude protsent $0{,}52 \cdot 19 = 9{,}9\%$. Jooksev võimsuskadu — $\frac{9{,}9 \cdot 130{,}6}{100} = 13$ kW (tabel 18).

Maaelektrijaamade, -alajaamade ja -võrkude projekteerimise praktikas võetakse muutuvad kaod võrdeliseks mitte võimsuse ruuduga, vaid esimese astmega — suhtelistes ühikutes 12—20%, püsivad kaod aga (kaasa arvatud ka omatarbevõimsus) 4—6%.

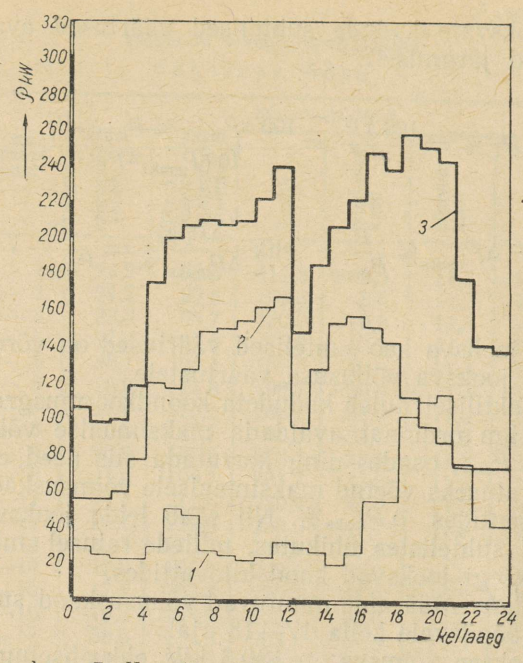
Jooksvate muutuvate kadude väärtused on arvutatud esitatud metoodika järgi ja kantud tabelitesse 17—20.

Trafode püsivad rauaskaod võetakse protsentides maksimaalsest võimsusest, sõltuvalt pingeastmete arvust. Igale pingeastmele võib võtta $\Delta P_{püs} = 1 \div 1{,}5\%$.

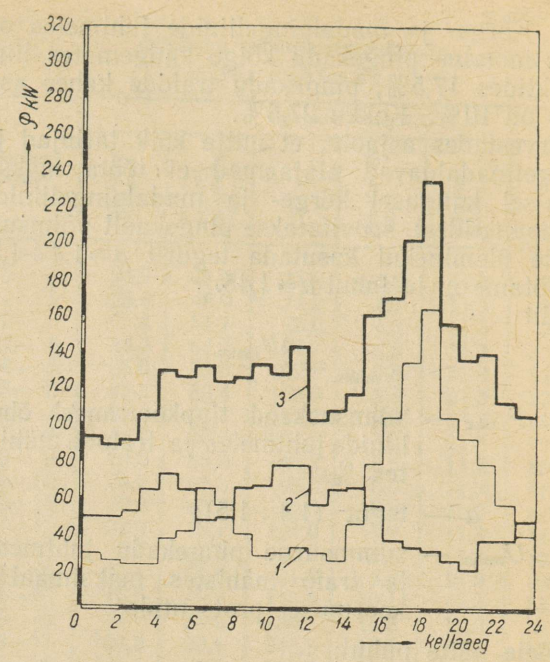
Levinuimate maaelektrijaamade puhul generaatoritega 0,4 või 6,3 kV, pinge tõstmisega 10 kV-le, energia ülekandmisega rajooni pingel 10 kV ning edasise pinge madaldamisega 10 kV-lt 0,4 kV-le, s. t. kahe pingeastmega, võib $\Delta P_{püs}\%$ võtta 2—3%.

Omatarbevõimsus võetakse samuti püsivana ja maaelektrijaamades on ta 2—3% maksimaalsest võimsusest. Võtame näiteks $P_{ot}\% = 2{,}5\%$. Püsivad kaod ja omatarbevõimsus moodustavad seega kokku $4{,}5\% P_{maks}$-st ehk $0{,}045 \cdot 250 = 11{,}3$ kW.

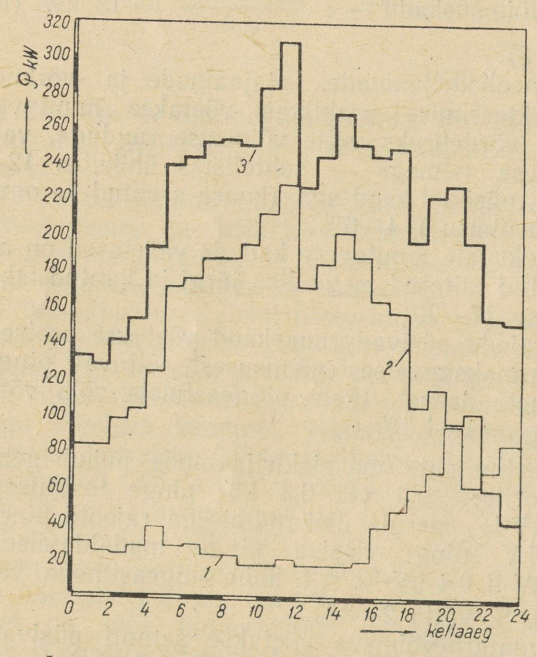
Selle suuruse kanname samuti koondtabelitesse (tabelid 17—20), mille alusel saame lõpli-



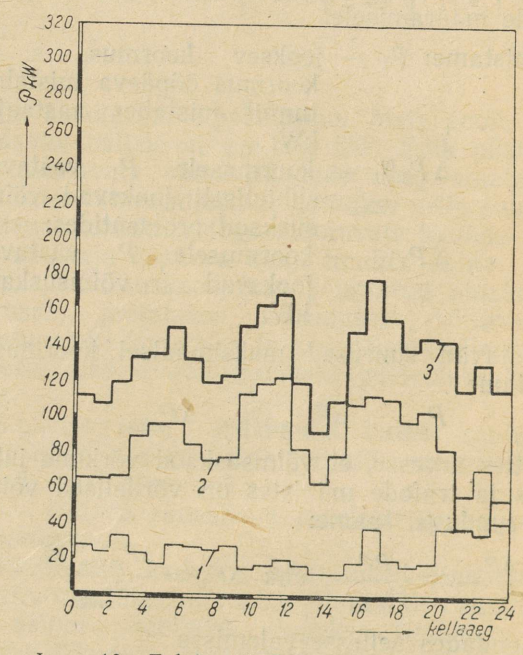
Joon. 7. Kevadise ööpäeva koormusgraafik:
1 — valgustus, *2* — tootmiskoormused, *3* — summaarsed koormused koos kadudega.



Joon. 8. Suvise ööpäeva koormusgraafik (tähistused samad, mis joon. 7).



Joon. 9. Sügisese ööpäeva koormusgraafik (tähistused samad, mis joon. 7).



Joon. 10. Talvise ööpäeva koormusgraafik (tähistused samad, mis joon. 7).

kud koormustabelid kõikide aastaaegade kohta, mis võimaldavad välja joonestada iseloomulikud ööpäeva koormusgraafikud.

Elektrijaama aasta tippkoormus on seega 309 kW ning esineb sügisese ööpäeva päevastel tundidel (kell 11—12).

Joonistel 7, 8, 9 ja 10 on toodud ööpäeva koormusgraafikud neljale aastaajale.

Toodangut väljendav pindala, s. o. pindala, mis on piiratud koordinaattelgedega ja koormuskõveraga, väljendab elektrienergia toodangut ööpäeva jooksul. Ööpäeva keskmise koormuse P_{kesk} saame, jagades toodangu pindala 24-ga.

Kui koostatakse graafik tarbijaseadmele, siis tuleb kõnelda mitte energia toodangust, vaid tema tarbimisest, ning koordinaattelgedega ja graafiku koormuskõveraga piiratud pindala väljendab elektrienergia ööpäevast tarbimist.

Toodangut (või tarbimist) väljendava pindala ja graafiku üldise pindala suhet nimetatakse koormusgraafiku täiteteguriks α.

Võttes arvesse, et toodangut väljendav pindala on 24 P_{kesk} ja koormusgraafiku üldine pindala on 24 P_{maks}, siis

$$\alpha = \frac{24\,P_{kesk}}{24\,P_{maks}} = \frac{P_{kesk}}{P_{maks}},$$

s. o. koormusgraafiku täitetegur võrdub keskmise ja maksimaalse võimsuse suhtega antud ajavahemikus (ööpäev).

Tabelis 21 on toodud iseloomulikud α väärtused näites vaadeldava maaelektrijaama jaoks.

Tabel 21

Ööpäeva koormusgraafiku täiteteguri

Näitaja \ Aastaaeg	Kevad	Suvi	Sügis	Talv
Maksimaalne võimsus P_{maks} kW	258,9	177,6	309,0	235,5
Ööpäevane toodang A kWh	4543,8	3179,2	5231,2	3181,0
Keskmine võimsus P_{kesk} kW	188,0	132,0	218,0	133,0
Koormusgraafiku täitetegur α	0,73	0,75	0,7	0,57

Tuleb püüda graafiku täiteteguri maksimaalse suurendamise poole, sest sel juhul suureneb jaama agregaatide kasutegur ning installeeritud võimsust kasutatakse siis paremini ära.

Üks kõige efektiivsematest abinõudest põllumajanduse elektrifitseerimisel, kui elektrienergiaga varustamine toimub hüdroelektrijaamadest, on elektrisoojenduskoormuste juurutamine, peamiselt loomakasvatusse, mis lülitatakse sisse väikese koormuse tundidel ja töötavad soojuse akumuleerimise põhimõttel.

AASTA KOORMUSGRAAFIKUD

Eristatakse kahte liiki aasta koormusgraafikuid: aasta kestusgraafik ja igakuiste tippkoormuste koormusgraafik.

Mõlemat liiki koormusgraafikute ehitamine ja analüüs on vajalik maaelektrijaamade projekteerimis- ja ekspluateerimistöö ratsionaliseerimiseks.

Aasta kestusgraafik võimaldab: 1) täpsustada elektrienergia aastatoodangut, 2) kavandada ja õigesti valida elektrijaama agregaatide ja alajaama jõutrafode arvu, 3) määrata iga agregaadi üldist masinatundide arvu ja tööreziimi.

Aasta kestusgraafiku koostamiseks soovitatakse ligikaudset meetodit, mis annab põllumajanduse eletrifitseerimise otstarbeks küllaldase täpsuse.

Nelja aastaaja ööpäeva koormusgraafikute alusel koostatakse aastagraafikule abitabel (tabel 22).

Tabel 22

Näitlik abitabel aasta kestusgraafiku juurde

Tippkoormused on võrdsed või suuremad kui kW	Kevad	Suvi	Sügis	Talv	Tundide arv aastas
309	—	—	1	—	91
280	—	—	2	—	182
260	—	—	3	—	273
240	5	—	12	—	1547
220	8	—	15	1	2184
200	13	—	15	2	2730
180	15	—	18	2	3185
160	17	3	18	4	3822
140	19	9	22	8	5278
120	20	15	24	16	6825
100	22	23	24	21	8190
80	24	24	24	24	8760

Esimeses tulbas on toodud summaarsed koormused kogu objekti kohta, alates absoluutsest tippkoormusest (meie juhul 309 kW), mis esineb sügisel kella 11 ja 12 vahel päeval ja siis vastavad võimsused kindlate vahemikkude järel. Meie poolt vaadeldavas maaelektrijaama näites, mille ööpäeva koormusgraafikud neljale aastaajale on toodud tabelites 17—20 ja joonistel 7—10, on sobiv võtta vahemikuks 20 kW alates 280 kuni 80 kW-ni.

Võimsusi alla 80 kW ei ole vaja koondtabelisse kanda, sest ööpäeva koormusgraafikutes koormusi alla 80 kW ei esine.

Järgnevas neljas tulbas näidatakse tundide arv ööpäevas, mille jooksul esineb antud suurusega või seda ületav koormus, kõigi nelja aas-

taaja kohta. Viimasesse tulpa kantakse üldine tundide arv aastas, mille jooksul esineb antud koormus.

Selgitame aasta kestusgraafiku tabeli tulpade täitmise meetodit.

Kõigepealt lepime kokku, et iga aastaaja kestus on 91 päeva. Maksimaalne koormus 309 kW esineb ainult sügisel ühe tunni jooksul, ja et selliseid ööpäevi on sügisel umbes 91, siis kogu aasta jooksul esineb koormus 309 kW 91 tundi, mis ongi kantud viimasesse kokkuvõttetulpa koormuse 309 kW kohale.

Selgitame, missugustel tundidel igal aastaajal võib esineda koormus 280 kW ja rohkem.

Nagu näha koormusgraafikute koondtabelitest (tabelid 17—20), puuduvad niisugused koormused kevadel, suvel ja talvel, kuna sügisel nad esinevad vaid kahe tunni jooksul (10—11 ja 11—12), kaasa arvatud ka see tund (11—12), mis oli näidatud koormuse 309 kW kohal. Niisiis koormuse 280 kW kohale kanname sügise tulpa 2 tundi, aga üldkokkuvõttesse $2 \times 91 = 182$ tundi.

Edasi järgneb 260 kW ja suurem koormus. Vaadeldes koondtabeleid, leiame:

Kevadine ööpäev	— ei ole
Suvine ööpäev	— ei ole
Sügisene ööpäev	— 3 tundi (kella 10—11, 11—12 ja 14—15)
Talvine ööpäev	— ei ole.

200 kW ja suurem koormus:

Kevadine ööpäev	— 5 tundi (kella 11—12, 16—17, 18—19, 19—20, 20—21)
Suvine ööpäev	— ei ole
Sügisene ööpäev	— 12 tundi (kella 5—6, 6—7, 7—8, 8—9, 9—10, 10—11, 11—12, 13—14, 14—15, 15—16, 16—17, 17—18)
Talvine ööpäev	— ei ole.

Tehes samasuguse kokkuvõtte ka ülejäänud koormustele, saame kõik tabelis 22 toodud andmed.

Kokkuvõtete õigsuse kontrolliks on asjaolu, et viimase, minimaalse koormuse kohta peab tulema ööpäevas 24 tundi igal aastaajal. Viimase rea kokkuvõtte tegemisel ümmardame summaarse tundide arvu aastas 8760 tunnini, s. o. liidame kõigi nelja aastaaja tundide summale 24 tundi, s. o. ühe ööpäeva, sest et neli aastaaega 91 päeva kaupa annavad mitte 365, vaid 364 päeva.

Vastavalt tabelis 22 toodud andmeile on joonestatud aasta kestusgraafik (joonis 11).

Pindala, mis on piiratud aasta kestusgraafikuga ja koordinaattelgedega, väljendab antud elektrijaama aastast elektrienergia toodangut A_t kWh-des.

Teine graafiku liik — aasta koormusgraafik kuude tippkoormuste järgi — on toodud joonisel 12.

Abstsissteljel on märgitud aasta kuud, ordinaatteljel aga vastavate kuude tippkoormused kilovattides. Aasta koormusgraafik kuude tippkoormuste järgi koostatakse peamiselt hüdroelektrijaamadele. Selle graafiku alusel seostatakse vajalik võimsus veehulga võimsusega, lahendatakse aastaajast sõltuvad reguleerimisküsimused, määratakse, milliseks tähtajaks ja millisel perioodil võib toimuda jaama selle või teise agregaadi plaaniline remont. Mitme jaama paralleelsel töötamisel ühises energiasüsteemis tehakse kindlaks, millal ja missuguseks tähtajaks võib vajaduse korral määrata kogu elektrijaama või tema põhiliste hüdrotehniliste ehitiste plaanilist remonti.

Maaelektrijaamade projekteerijatele ja ekspluateerijatele pakub huvi üldine nõudetegur k_n ($k_{üld}$), s. o. antud tarbijate rühma maksimaalse võimsuse (koos kõigi kadudega ülekandeelementides) ja ühendusvõimsuse suhe. Näiteks nõudetegur elektrijaama kohta, mille graafikud on toodud joonistel 7—10, on:

$$k_n = \frac{P_{maks}}{P_{üh}} = \frac{309}{690{,}8} = 0{,}445.$$

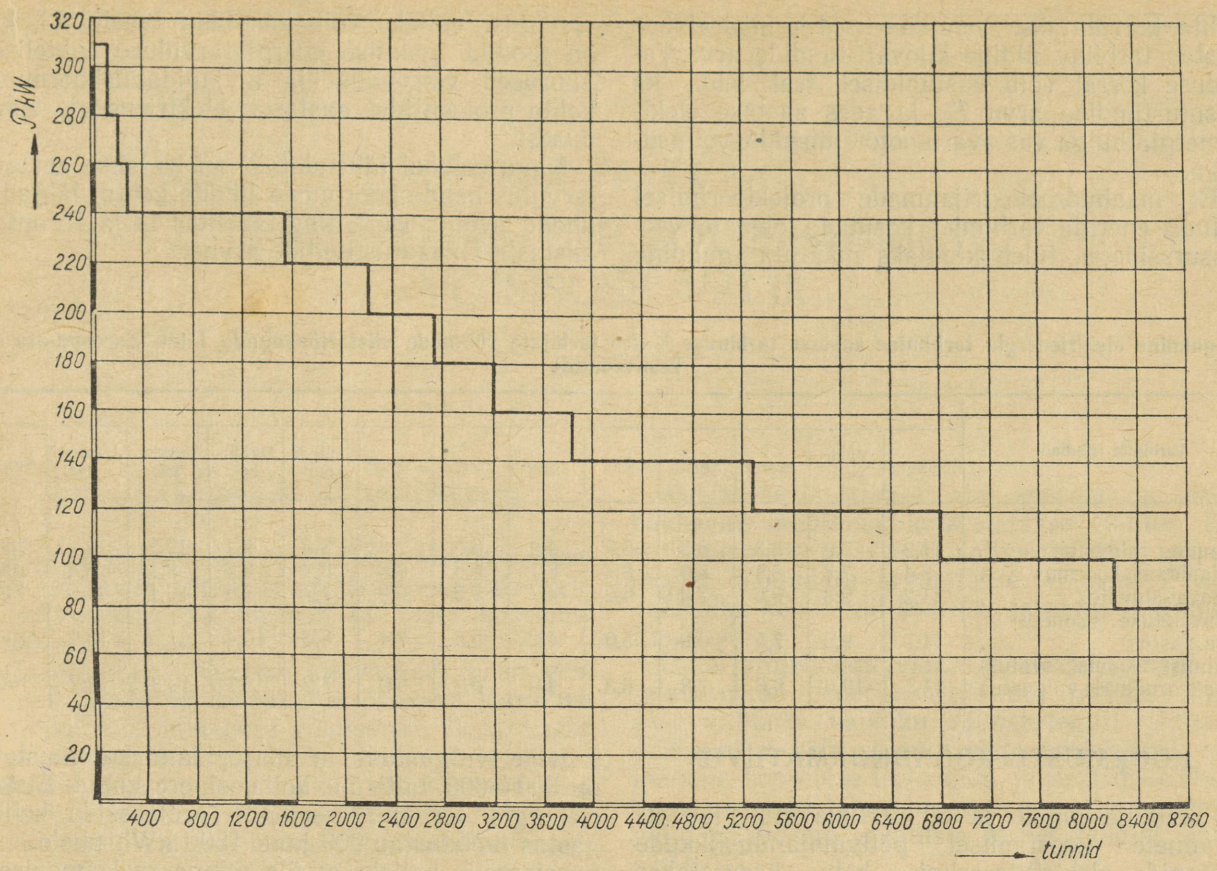
Peale toodetava elektrienergia hulga määramist tuleb maaelektrijaamade projekteerimisel ja ekspluateerimisel aasta kestusgraafikute põhjal kindlaks teha elektrienergia tarvidus tarbijate üksikute rühmade ja kogu objekti poolt.

Andmed elektrienergia tarviduse kohta kogu objekti ulatuses kõrvutatakse elektrienergia toodanguga, mis on arvutatud aasta kestusgraafiku põhjal. Nende suuruste võrdlemine, arvesse võttes elektrienergia kadusid kõikides elektrienergia tootmise, ülekandmise ja jaotamise lülides, võimaldab otsustada teostatud arvutuste õigsuse ja projekteeritava elektrijaama majanduslikkuse üle.

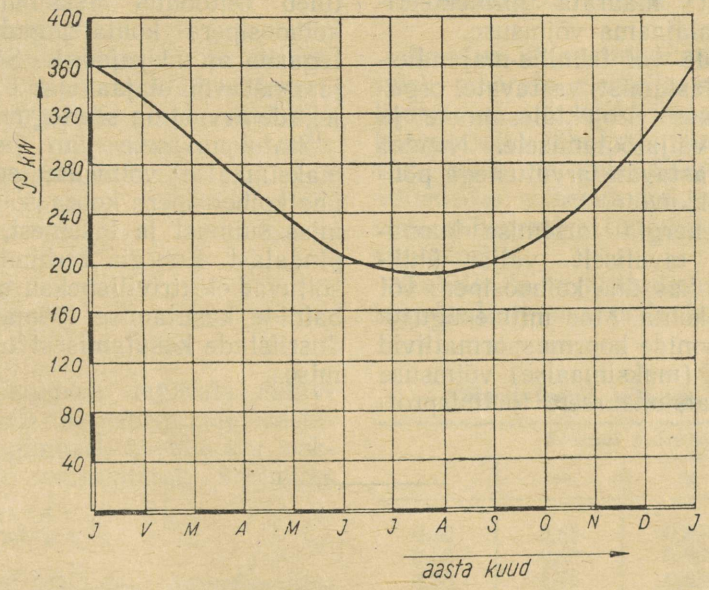
Elektrienergia tarviduse A_t määramiseks korrutatakse tarbija ühendusvõimsus $P_{üh}$ aastase ühendusvõimsuse kasutustundide arvuga T_k. Seega $A_t = P_{üh}\, T_k$.

Ühendusvõimsuse määramise metoodika on käsitletud eelpool. Tabelites 14 ja 15 on Glavselelektro poolt toodud töötavate elektrijaamade ja alajaamade ekspluateerimise kogemuste põhjal normeeritud T_k suurused põhilistele valgustuskoormustele ja neid soovitatakse kasutada maaelektrijaamade ja -alajaamade projekteerimisel.

Jõutarbijate elektrienergia aastase tarviduse võib kindlaks määrata nii üksikute elektrimootorite kohta kui ka elektrimootorite rühma kohta,



Joon. 11. Aasta kestusgraafik.



Joon. 12. Tippkoormuste graafik.

lähtudes ühendusvõimsusest ning ühendusvõimsuse kasutustundide arvust. Nagu eelpool näidatud, võib määrata jõutarbijate elektrienergia kulu ka toodangu alusel. Teades toodangu hulka, mida põllumajandusmasin aastas töötleb ning elektrienergia erikulu kWh-des toodanguüksuse

kohta, korrutatakse need suurused ja määratakse aastas tarbitav üldine kilovatt-tundide arv. Vajaduse korral võib vastupidisel teel leida ka kasutustundide arvu T_k, jagades aastase elektrienergia hulga vastava mootori ühendusvõimsusega.

Et maahüdroelektrijaamade projekteerimisel siduda energia tarbimist kasutada olevate veeressurssidega, tuleb kindlaks määrata igakuine tarvidus. Selleks võib kasutada tabelit 23, kus on toodud igakuise energiatarviduse suhtelised suurused valgustus- ja majapidamiskoormuste kohta protsentides aastasest elektrienergia tarvidusest.

Nagu eelpool tähendatud, määratakse aastane tarvidus nende koormuste liikide kohta, lähtudes ühendusvõimsusest ning tabelites 14 ja 15 antud aastastest kasutustundide arvust.

Tabel 23

Igakuine elektrienergia tarbimine aastase tarbimise %-des tarbijate rühmade viisi Nõukogude Liidu Euroopa-osa keskvööndile

Tarbijate rühmad	Kuud												
	Jaanuar	Veebruar	Märts	Aprill	Mai	Juuni	Juuli	August	Septembber	Oktoober	Novembber	Detsembber	Kokku
Elamute valgustus . . .	11,2	9,0	8,3	6,8	5,9	4,9	6,0	7,4	8,3	9,7	10,5	12	100
Majapidamiskoormus . .	8,4	7,8	8,4	8,0	8,4	8,1	8,6	8,8	8,4	8,6	8,1	8,4	100
Tänavavalgustus . . .	11,2	9,8	9,6	7,8	6,2	4,7	5,5	6,6	7,7	9,2	10,1	11,6	100
Ühiskondlike hoonete valgustus	11,7	9,0	7,5	6,0	5,0	4,2	5,5	7,4	8,6	10,4	11,5	13,2	100
Tootmis-, loomakasvatus- ja laoruumide valgustus	11,7	10,0	9,6	7,8	6,3	4,6	5,2	6,0	7,2	9.1	10,3	12,2	100

KOORMUSTE KOONDNORMATIIVID

Plaaniülesannete ja tehnilis-majanduslike ettekannete koostamisel põllumajanduslikkude rajoonide elektrifitseerimise kohta kasutatakse elektrikoormuste koondnormatiive. Need võimaldavad ligikaudselt määrata projekteeritava elektrijaama või alajaama võimsuse.

Pärast plaaniülesande või tehnilis-majandusliku ettekande kooskõlastamist vastavate organisatsioonidega asutakse projektülesannete ja tehniliste projektide väljatöötamisele. Nendes antakse detailsem ja vastavate arvutustega põhjendatud koormuste kokkuvõte.

Võimsuse ja elektrienergia tarbimise koondnormatiivid tuuakse tavaliselt välja ühiknäitaja suhtes, näiteks kas ühe kolhoosipere või ühe künnimaa hektari kohta. Maa mitmesuguste põllumajanduslike rajoonide koormusnormatiivid on erinevad. Tarbitava (maksimaalse) võimsuse normatiivid kõikide statsionaarsete tootmisprotsesside valgustus- ja majapidamiskoormustele on 300—600 vatti ühe kolhoosipere kohta. Elektrienergia tarbimine samade protsesside kohta aastas moodustab 900 kuni 1500 kWh ühele kolhoosiperele. Selleks et üle minna maksimaalselt võimsuselt tarbijate installeeritud võimsusele, tuleb eeltoodud maksimaalne erivõimsus ühe kolhoosipere kohta jagada keskmisele nõudetegurile antud rajoonis. Sõltuvalt antud elektrijaamast või alajaamast elektrifitseeritavate objektide arvust on see tegur 0,25—0,40.

Statsionaarsete jõu- ja valgustuskoormuste maksimaalse võimsuse erinormatiivide suurus ühe kolhoosipere kohta sõltub majanduse arenemise suunast ja tasemest, samuti ka künnimaa pindalast. Energia tarbimise piiride kõikumised sõltuvad elektriviljapeksu mahtu määravast kombainide kasutamise töömahust ja elektrisoojendusriistade kasutamisest tootmises ja majapidamises.

TEINE PEATÜKK

ELEKTRIJAAMADE PÕHISEADMETE VÕIMSUSE VALIK

GENERAATORITE NÄIVVÕIMSUS

Maaelektrijaamade põhilisteks elektriseadmeteks on generaatorid ning jõutrafod, mis valitakse iseloomulike ööpäeva ja aasta koormusgraafikute põhjal.

Generaatorite võimsus kilovattides peab vastama kõige enam koormatud ööpäeva koormusgraafiku maksimaalsele võimsusele P_{maks}, kaasa arvatud elektrienergia ülekandmise ja jaotamise kõikides elementides esinevad võimsuskaod ning elektrijaama omatarbevõimsus.

Generaatori näivvõimsus antakse kilovoltamprites — $S = \frac{P_{maks}}{\cos\varphi}$, kus $\cos\varphi$ on generaatori võimsustegur nimivõimsusel.

Töötavate elektrijaamade tingimusis määratakse $\cos\varphi$ kilbi- või kantavate võimsustegurimõõtjate näitude alusel, nende puudumisel aga arvutatakse vattmeetri, ampermeetri ja voltmeetri näitude alusel valemiga:

$$\cos\varphi = \frac{1000\,P}{\sqrt{3}\,UI},$$

kus: P — võimsus kW;
U — liinipinge V;
I — vool A.

Võimsust võib ligikaudselt määrata aktiivenergiaarvesti lühikesele ajavahemikule vastavate näitude alusel, tingimusel, et selle aja jooksul vool ja pinge on muutumatud. Seejuures

$$P = \frac{A}{t},$$

kus: A — energiakulu kWh-des kolmefaasilise arvesti näidu või kolme ühefaasilise arvesti näitude summa alusel aja t jooksul;
t — ajavahemik tundides (võetakse 0,1—0,2 tundi).

Kui katse teostamise ajal koormus ja pinge hakkavad muutuma, katkestatakse vaatlus, fikseeritakse aeg ja arvesti, voltmeetri ning ampermeetri näidud ja arvutatakse võimsus P ajavahemiku kohta, mil koormus ja pinge olid muutumatud.

Uute projekteeritavate maaelektrijaamade ja -alajaamade generaatorite ning trafode võimsuse valikuks vajaliku võimsusteguri väärtuse määramisel võib aluseks võtta projekteeritavale jaamale koormuse iseloomult ja elektriliste ühenduste skeemilt lähedaste jaamade võimsusteguri või ligikaudsete arvutuste alusel saadud võimsusteguri.

VÕIMSUSTEGUR TIPPKOORMUSEL

Arvutus lihtsustub tunduvalt seetõttu, et $\cos\varphi$ tuleb määrata elektrijaama või alajaama tippkoormusel, s. o. elektrimootorite töötamisel nimikoormusele lähedasel koormusel, kus nende $\cos\varphi$ vähe muutub. Elektrimootorite koormuse vähenedes väheneb ka $\cos\varphi$, eriti tunduv on $\cos\varphi$ vähenemine tunduvalt alakoormatud elektrimootoritel.

Tabelis 24 on toodud $\cos\varphi$ väärtused sõltuvalt standardsete mootorite koormusest.

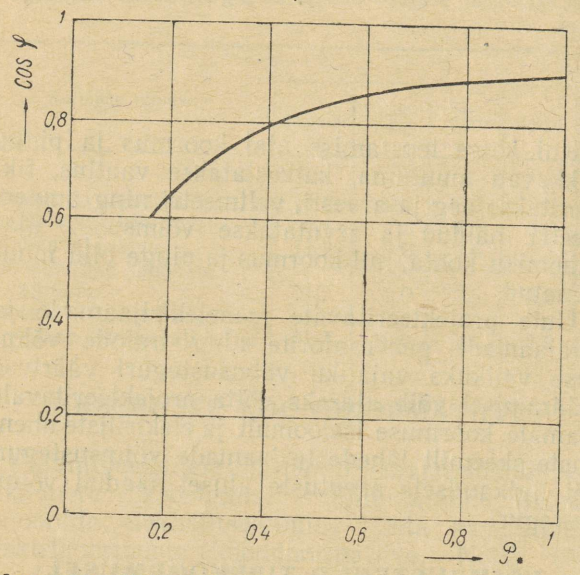
Tabel 24

Võimsusteguri sõltuvus mootori koormusest

Koormus %-des nimikoormusest				
25	50	75	100	125
0,70	0,85	0,89	0,90	0,90
0,60	0,80	0,86	0,88	0,88
0,55	0,76	0,83	0,86	0,87
0,52	0,72	0,81	0,84	0,85
0,48	0,69	0,78	0,82	0,83
0,46	0,67	0,76	0,80	0,81
0,43	0,63	0,73	0,78	0,80
0,40	0,60	0,70	0,76	0,78
0,36	0,55	0,67	0,74	0,76

Tabelist 24 selgub, et kui 100% koormusel mootori cos φ on 0,8, siis 75% koormusel cos φ väheneb 0,76-ni, s. o. kõigest 5% võrra. Suhteliselt palju enam väheneb cos φ väiksematel koormustel. Et aga jaama põhiseadmete valikul omab tähtsust cos φ väärtus nimikoormusel, võib jätta arvesse võtmata väikestel koormustel esinevat cos φ suurt vähenemist.

Joonisel 13 on näidatud cos φ sõltuvalt elektrimootori suhtelisest koormusest.



Joon. 13. Võimsusteguri sõltuvus asünkroonmootori koormusest.

Nagu teada, võib põllumajandusmasinate ajamina kasutatavate mitmesuguse võimsuse ja pöörlemiskiirusega lühisrootoriga elektrimootorite cos φ olla 0,7 kuni 0,9.

Arvutustel, mis on seotud jaama agregaatide võimsuse valikuga, võib cos φ võtta tabelist 25.

Tabel 25

Võimsusteguri ligikaudsed väärtused lühisrootoriga asünkroonmootoritele

Mootori võimsus (kW)	Sünkroonpöörlemiskiirus p/min	
	1500	1000
<1	0,75	0,7
1	0,81	0,75
4,5	0,86	0,81
10	0,87	0,83
20,5	0,88	0,84
40	0,9	0,85
55	0,9	0,87

Cos φ ligikaudset määramist projekteeritava elektrijaama maksimaalsel koormusel koos sellele järgneva arvutuste kontrollimisega pärast jaama kõikide parameetrite täpsustamist on võimalik läbi viia allpool toodud ettepanekute ja meetodite alusel (vt. näide tabelis 26).

AKTIIV- JA REAKTIIVVÕIMSUS

Kõik elektrienergia tarbijad liigitatakse rühmadesse, mis on loetletud nende ööpäevade koormusgraafikute juurde kuuluvates tabelites, millede vältel esinevad tippkoormused.

Iga tarbijate rühma kohale kirjutatakse võimsus kilovattides, mis iseloomustab rühma osavõttu jaama tippkoormusest ilma energiakadudeta võrkudes ja trafodes.

Vaadeldava näite puhul võetakse sügisese ööpäeva andmed kella 11—12.

Tabel 25 järgi valime igale tarbijate rühmale keskmise cos φ nimikoormusel. Kui mõne tarbijate rühma osavõtt tippkoormusest on tunduvalt väiksem nende ühendusvõimsusest ja kui seejuures tippkoormuse ajal alakoormatud mootoreid ei saa välja lülitada, tuleb antud tarbijate rühma keskmist cos φ vähendada mootori iseloomule vastava suuruseni.

Sel juhul võib kasutada andmeid, mis on toodud tabelis 24 ja joonisel 13.

Ekspluatatsioonipersonal peab taotlema seda, et osaliselt koormatud mootorid ei töötaks jaama tippkoormuse ajal, sest järgnevatel või eelnevatel tundidel toimuks nende mootorite töötamine maksimaalse kasuteguri ja cos φ juures.

Vaatleme konkreetse näite varal, kuidas tuleb valida arvutuslik cos φ tema nimiväärtuse alusel.

Näide. Söödaettevalmistusmasinate rühma elektrimootorite ühendusvõimsus (tab. 26) on 23,2 kW, kuna osavõtt elektrijaama tippkoormusest, arvestamata võimsuskadusid võrkudes ja trafodes, on 13,9 kW.

Ajamiteks valitakse elektrimootorid võimsusega 1—3 kW, pöörlemiskiirusega 1500 p/min, millede nimivõimsusteguriks võib võtta 0,83 (tabel 25).

Tegeliku ja ühendusvõimsuse suhe, tingimusel, et kõik selle rühma masinad töötavad tippkoormuse ajal, on 13,9 : 23,2 = 0,6. Seega elektrimootorite koormus moodustab 60% nimikoormusest. Sellele koormusele vastav cos φ on tabeli 24 andmetel 0,75.

Cos φ alusel määratakse nurk φ ja siis tg φ.

Reaktiivvõimsus

$$Q = P \operatorname{tg} \varphi,$$

kus: Q — reaktiivvõimsus kVAr;
P — aktiivvõimsus kW.

Samal viisil määratakse tg φ ja Q väärtused ka kõigi ülejäänud tarbijate kohta (tabel 26).

Arvutuste tulemusel saame summaarsed võimsuse väärtused (ilma kadudeta): $P = 250$ kW ja $Q = 146{,}5$ kVAr.

REAKTIIVVÕIMSUSKAOD

Järgnevalt käsitleme elektrienergia ülekandmise ja jaotamise elementides esinevate aktiiv- ja reaktiivvõimsuskadude ja omatarbevõimsuse määramist. Muutuvatest ja muutumatutest kadudest koosnev omatarbe-aktiivvõimsus määratakse vastavalt esimeses peatükis esitatud metoodikale. Vaadeldavas näites oli elektrijaama kadudeks ja omatarbeks kuluv summaarne aktiivvõimsus 59 kW.

Kui elektrienergia ülekanne toimub värvilistest metallidest juhtmetega, siis esineksid õhuliinides ainult aktiivvõimsuskaod. Et aga energia ülekandmine toimub peamiselt terasjuhtmetega ja et elektrijaama omatarbe hulgas on mitte ainult valgustus-, vaid ka jõukoormused, siis võtame cos φ = 0,98. Siit tg φ on 0,2 ja reaktiivvõimsuskadu neis elementides $Q = 11{,}8$ kVAr. Põhiliselt aga esinevad reaktiivvõimsuskaod pingettõstvates ja -madaldavates trafodes ja on võrdsed magneetimisest ja puistest tingitud kadude summaga.

Magneetimiskadude suuruse määrab trafo tühijooksuvool i_o, puistekadude suuruse aga trafo lühispinge u_k.

Magneetimisest ja puistest tingitud reaktiivkadusid trafodes võib arvutada valemiga:

$$Q = \frac{\Delta S_n}{100}(i_o + x^2 u_k), \qquad (1)$$

kus: Q — reaktiivvõimsuskaod trafodes kVAr;
S_n — trafo näivvõimsus kVA;
i_o — trafo tühijooksuvool %;
u_k — trafo lühispinge %;
x — trafo koormustegur tippkoormusel.

Võimsuskaod pingetmadaldavates trafodes arvutatakse samal viisil kui kaod pingettõstvates trafodes. Kuid elektrijaamade projekteerimise käigus, kui pingetmadaldavate alajaamade asetus ei ole veel täielikult selgitatud, võetakse summaarsed reaktiivvõimsuskaod pingetmadaldavates trafodes mõnevõrra suuremad, võrreldes jaamalähedaste pingettõstvate trafodega. See on tingitud sellest, et pingetmadaldavate alajaamade summaarne võimsus ületab tavaliselt 1,5—2-kordselt pingettõstva alajaama võimsuse.

Väiksema võimsusega pingetmadaldavate trafode suhteline tühijooksuvool on võimsamate pingettõstvate trafode tühijooksuvoolust suurem. Peale selle ei ole kõik pingetmadaldavad alajaamad tippkoormuse ajal täielikult koormatud, kuna aga pingettõstvad alajaamad on tippkoormuse ajal alati täielikult koormatud. Seepärast pingetmadaldavates trafodes esinevate reaktiivvõimsuskadude määramiseks korrutatakse pingettõstvates trafodes esinevate reaktiivvõimsuskadude väärtust teguriga $k = 1{,}2 \div 1{,}6$. Aluseks on asjaolu, et puistekaod trafodes ei ole püsivad ning on võrdelised trafo koormuse muutumise ruuduga.

Määrame meie poolt vaadeldavas näites (tabel 26) reaktiivvõimsuskaod trafodes.

Tippkoormus esineb sügisesel ööpäeval ja moodustab koos aktiivvõimsuskadudega 309 kW. Vastavalt sellele koormusele on pingettõstvas alajaamas kõige otstarbekam üles seada kaks jõutrafot, kumbki võimsusega 180 kVA, pingele 0,4/10 kV.

Nende trafode tühijooksuvool $i_o = 7\%$ ja lühispinge $u_k = 5{,}5\%$. Valemis (1), mis määrab reaktiivvõimsuskaod trafos, esineb muude suuruste seas ka trafo koormustegur tippkoormuse ajal x. See tegur väljendab trafode tippkoormuse ajal äraantava võimsuse S ja trafode nimivõimsuse S_n suhet:

$$x = \frac{S}{S_n}.$$

Trafost äraantav võimsus S kujutab endast trafosse saabuva võimsuse ja trafodes esinevate kadude vahet:

$$S = \frac{P_{maks} - n(P_k + P_o)}{\cos\varphi} \qquad (2)$$

kus: P_{maks} — trafodesse antav maksimaalne võimsus tippkoormuse ajal kW;
P_k — lühisekaod ehk vaseskaod ühes trafos kW;
P_o — tühijooksukaod ehk rauaskaod ühes trafos kW;
n — pingettõstvate trafode arv.

Meie poolt vaadeldavas näites on $P_{maks} = 309$ kW, $P_k = 4{,}1$ kW, $P_o = 1{,}2$ kW. Cos φ väärtuseks võib võtta 0,8, mis tagab kõikidel juhtudel küllaldase täpsuse.

Asendades valemisse (2) vastavate suuruste väärtused, saame:

$$S = \frac{309 - 2(4{,}1 + 1{,}2)}{0{,}8} = 374 \text{ kVA}.$$

Siis:

$$x = \frac{S}{S_n} = \frac{374}{2 \cdot 180} = 1{,}04.$$

Magneetimisest ja puistest tingitud reaktiivvõimsuskaod valemi (1) alusel:

$$Q_1 = \frac{S_n}{100}(i_o + x^2 u_k)$$

$$= \frac{2 \cdot 180}{100}(7 + 1{,}04^2 \cdot 5{,}5) = 46{,}5 \text{ kVAr.}$$

Pingetmadaldavates trafodes esinevaid reaktiivvõimsuskadusid arvestava teguri väärtuseks võtame 1,3. Siis reaktiivvõimsuskaod pingetmadaldavates trafodes:

$$Q_2 = 1{,}3\ Q_1 = 1{,}3 \cdot 46{,}5 = 60 \text{ kVAr.}$$

Summaarne reaktiivvõimsuskadu trafodes:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 46{,}5 + 60 = 106{,}5 \text{ kVAr.}$$

Kõik võimsusteguri arvutused on kantud tabelisse 26.

Seega summaarne reaktiivvõimsus $Q = 264{,}8$ kVAr.

Siis

$$\text{tg}\,\varphi = \frac{Q}{P} = \frac{264{,}8}{309} = 0{,}86.$$

$$\varphi = \text{arc tg}\,\frac{Q}{P} = 41° \text{ ja } \cos\varphi = 0{,}75.$$

Tabel 26

Aktiiv- ja reaktiivvõimsuse arvutamine elektrijaama tippkoormuse ajal

Tarbijate rühmad	$P_{üh}$ kW	P kW	Nimivõimsustegur	Arvutuslik võimsustegur	tg φ	Q kVAr
Valgustus	338,1	20,1	1	1	0	0
Sööda ettevalmistus	23,2	13,9	0,83	0,75	0,87	12,1
Veskid	54,0	32,5	0,9	0,82	0,67	21,6
Lüps ja separeerimine	22,56	11,3	0,85	0,78	0,78	8,9
Töökojad	40,8	18,6	0,86	0,76	0,83	15,5
Vesivarustus . . .	11,1	9,4	0,84	0,83	0,65	6,1
Soojendus	21,6	4,2	1	1	0	0
Viljapeks	65,44	56,0	0,87	0,84	0,64	36,0
Niisutus	94,0	84,0	0,9	0,87	0,55	46,3
	670,8	250,0	—	—	—	146,5
Võimsuskaod ja omatarbevõimsus	—	59,0	—	0,98	0,2	11,8
Reaktiivvõimsuskaod trafodes . .	—	0	—	0		106,5
Kokku .	—	309,0	—	0,75	0,86	264,8

GENERAATORI NÄIVVÕIMSUSE SÕLTUVUS VÕIMSUSTEGURIST

Analüüsides tabeli 26 andmete alusel võimsusteguri määramise tulemusi, võib järeldada, et pingettõstvate ja -madaldavate trafode olemasolu korral, kui puuduvad eriseadmed võimsusteguri kompenseerimiseks, on jaama generaatorite võimsustegur alati väiksem tarbijate keskmistest võimsusteguritest. Antud juhul on generaatorite võimsustegur 0,75, kuna tarbijate keskmine võimsustegur on 0,86. Keskmise võimsusteguri suurus määratakse valemiga:

$$\cos\varphi = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}.$$

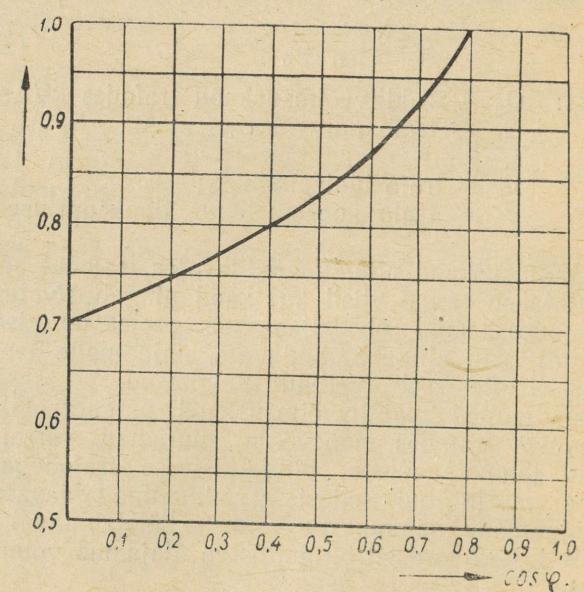
Generaatorid arvutatakse nii, et nad annavad oma niminäivvõimsuse nimivõimsusteguri juures, tavaliselt cos $\varphi = 0{,}8$ juures. Kui aga võimsustegur, mille juures generaator tegelikult töötama hakkab, on madalam nimivõimsustegurist, siis generaator ei ole võimeline andma võrku täit näivvõimsust. See seletub sellega, et väiksemate cos φ väärtuste puhul generaatori ergutusvool, kui näivvõimsus jääb muutumatuks, suureneb ja koormab ülemäära rootorimähist.

Selleks et väiksemate võimsustegurite korral säilitada nimipinget generaatori klemmidel, tuleb vähendada generaatori koormust. Järelikult madala cos φ juures ei saa generaatorist niminäivvõimsust.

Valmistava tehase andmeil arvutatakse generaatori lubatav näivvõimsus, kui cos $\varphi < 0{,}8$, järgmise valemiga:

$$S = S_n C,$$

kus: S — generaatori lubatav võimsus kVA, kui cos $\varphi < 0{,}8$;
S_n — generaatori nimivõimsus kVA, kui cos $\varphi = 0{,}8$;
C — parandustegur.



Joon. 14. Sõltuvus $C = f(\cos\varphi)$ MC-seeria sünkroongeneraatoritele.

Joonisel 14 on toodud teguri C sõltuvus $\cos\varphi$-st generaatori MC puhul.

Näide generaatori näivvõimsuse määramisest, kui $\cos\varphi < 0{,}8$. Maaelektrijaamas on üles seatud kaks hüdroturbiini, mis on vahetult ühendatud generaatoritega tüüp MC-323-7/20, nimivõimsusega 770 kVA ja pöörlemiskiirusega 300 p/min.

Tippkoormuse ajal on võimsustegur $\cos\varphi = 0{,}8$ ja generaatori võimsus vastab täiesti graafikus ettenähtud võimsusele, s. t. $P_{maks} = 2 \cdot 770 \cdot 0{,}8 = 1232$ kW. Et aga generaatoris esinevad kaod, siis turbiini poolt arendatava võimsuse määramiseks tuleb generaatori võimsus jagada generaatori kasuteguriga $\eta_{gen} = 0{,}925$:

$$P_{turb} = \frac{P_{gen}}{\eta_{gen}} = \frac{1232}{0{,}925} = 1330 \text{ kW}.$$

Vaatame, kuidas muutub generaatorite lubatav võimsus ja turbiinide koormus, kui $\cos\varphi$ väheneb 0,8-lt 0,65-ni.

Graafikust (joon. 14) leiame, et $\cos\varphi = 0{,}65$ korral $C = 0{,}9$. Järelikult näivvõimsus $S = 2 \cdot 770 \cdot 0{,}9 = 1390$ kVA.

Sellele näivvõimsusele vastab aktiivvõimsus:

$$P = S \cdot 0{,}65 = 1390 \cdot 0{,}65 = 905 \text{ kW}.$$

Eeldades, et $\eta_{gen} = 0{,}925$, on hüdroturbiinide poolt arendatav võimsus vaid $905 : 0{,}925 = 965$ kW, kuna elektrijaama nimivõimsus on 1330 kW, millele on arvutatud hüdroturbiinid ja kogu hüdroelektrijaama hüdrotehniline osa.

Alakoormus on seega

$$\frac{(1330-965)\ 100}{1330} = 30\,\%.$$

Kui hüdroelektrijaamas puudub reguleeriv veehoidla, tuleb tarbevee ülejääk juhtida üle hüdroehitiste. Toodud näitest selgub, et madala võimsusteguri korral halvenevad peale elektrienergia ülekandmise tingimuste (pinge- ja energiakao suurenemine) ka järsult elektrijaama enda töötingimused: primaarjõumasinate võimsust kasutatakse puudulikult, kuna samal ajal ergutussüsteemi ülekoormuse tõttu töötavad generaatorid lubatud koormuste piiril.

KOLMAS PEATÜKK

ELEKTRIGENERAATORID

GENERAATORITE TÜÜBID

Elektrigeneraator on elektrijaama masinasaali põhiseade.

Kasutatakse peamiselt kolmefaasilisi sünkroongeneraatoreid. Alalisvoolugeneraatoreid kasutatakse elektrijaamades sünkroongeneraatorite ergutajatena ja laadimisagregaatide elementidena.

Vahelduvvoolugeneraatoreid toodetakse peamiselt liikumatu ankru ja pöörleva induktoriga kolmefaasiliste masinatena. Voolu saadakse seejuures ankru liikumatust mähisest, kuna induktorite ergutusvool juhitakse ergutusmähisega ühendatud pöörlevatele rõngastele. Ergutusvoolu allikaks on väike alalisvoolugeneraator — ergutaja. Viimane monteeritakse tavaliselt generaatoriga ühisele võllile.

Mõnedes konstruktsioonides käitatakse ergutajat mitte otseselt, vaid kiilrihm-ülekande abil (Tehase «Uralelektroapparat» teise, kolmanda ja neljanda seeria vertikaalsed hüdrogeneraatorid).

Vahelduvvoolugeneraatorite standardseteks pingeteks on: 230, 400, 525, 3150 ja 6300 V.

Maaelektrijaamades kasutatakse kõige enam vahelduvvoolugeneraatoreid pingega 400/230 V alalisvooluergutajaga ja reostaadiga ergutaja ergutusahelas pinge reguleerimiseks.

Joonisel 15 on antud alalisvooluergutajaga sünkroongeneraatori elektriliste ühenduste skeem.

Kolmefaasilise generaatori liikumatul ankrul (staatoril) on kolm iseseisvat mähiste rühma. Mähiste algused ja lõpud on nihutatud üksteise suhtes 120 elektrilise kraadi võrra.

Kolme rühma mähiste kuus otsa ühendatakse omavahel nii, et energia juhtimiseks välisvõrku jätkub kolmest või neljast klemmist.

Generaatori klemmlauale on tavaliselt välja toodud kuus mähise otsa: kolm faasimähiste algust:

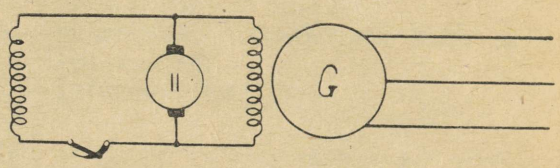
C_1 (H_1), C_2 (H_2) ja C_3 (H_3)

ja kolm faasimähiste lõppu:

C_4 (K_1), C_5 (K_2) ja C_6 (K_3).

Tähte ühendamine teostatakse nii, et kolm mähiste lõppu ühendatakse ühte nullpunkti, kolm mähiste algust aga on määratud energia juhtimiseks välisvõrku.

Ühendades nullpunkti neljanda juhtme, saame kolmefaasilise süsteemi nulljuhtmega. Kolmnurka ühendamisel ühendatakse esimese mähise lõpp teise algusega, teise lõpp — kolmanda algusega, kolmanda lõpp — esimese algusega. Välisvõrgu kolm juhet ühendatakse ülalmainitud faasimähiste alguste ja lõppude ühenduspunktidesse.



Joon. 15. Sünkroongeneraatori ergutuse skeem.

Joonisel 16, *a* on näidatud klemmide asetus, *b* — ühendamine tähte ja *c* — ühendamine kolmnurka.

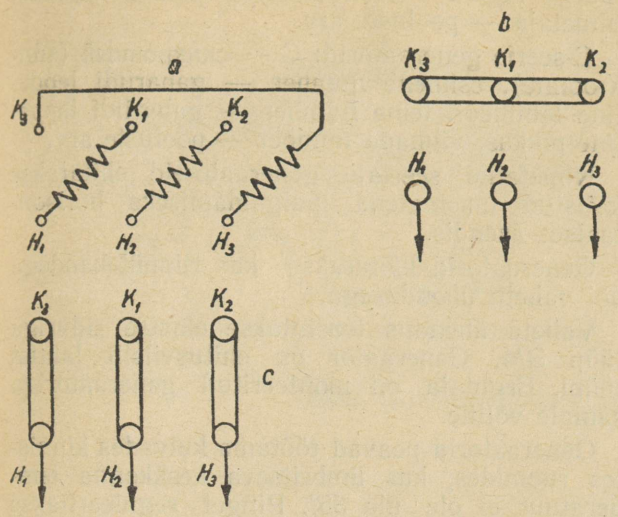
Tähtühenduse korral, kui nullpunkt on välja toodud, on pinge faasijuhtmete vahel 1,73 korda suurem kui faasi- ja nulljuhtme vahel.

Vahelduvvoolu sagedus sõltub pooluste arvust ja masina pöörlemiskiirusest ja määratakse valemiga:

$$f = \frac{pn}{60},$$

kus: f — vahelduvvoolu sagedus Hz;
n — generaatori pöörlemiskiirus p/min;
p — pooluspaaride arv.

Standardsagedusel 50 Hz avaldub sõltuvus pooluspaaride arvu ja masina pöörlemiskiiruse vahel järgmiselt:



Joon. 16. Kolmefaasilise generaatori väljumisklemmide skeem:
a — klemmide asetus; *b* — tähtühendus; *c* — koimnurkühendus.

$$pn = 3000;\ p = \frac{3000}{n};\quad n = \frac{3000}{p}.$$

Kolmefaasilise süsteemi võimsus P vattides avaldub valemiga:

$$P = 1{,}73\, U I \cos\varphi;$$

kus: U — liinipinge V;
I — liinivool A;
$\cos\varphi$ — võimsustegur.

Mistahes ehitusviisiga generaatorite tüüpide tähistustes tähendab viimane arv tavaliselt generaatori rootori pooluste arvu. Pooluste arvu alusel võib vajaduse korral määrata ka pöörlemiskiiruse, millele generaator arvutatud.

Näide. Kuzmini kolhoosidevahelises hüdroelektrijaamas Rjazani oblastis on üles seatud tehase «Uralelektroapparat» teise seeria generaatorid tüüp ВГС-2-325/29-46. Nagu generaatori tüübi tähistusest selgub, on tema rootoril 46 poolust ehk 23 pooluspaari. Generaatori pöörlemiskiirus:

$$n = \frac{3000}{23} = 130{,}5 \text{ p/min.}$$

Generaatorite tüübi tähiste seletus antakse mitmesuguse konstruktsiooniga elektrigeneraatorite käsitlemisel.

Sõltuvalt primaarjõumasina tüübist liigitatakse generaatoreid horisontaalseteks ja vertikaalseteks masinateks.

Horisontaalseid hüdrogeneraatoreid käitatakse lokomobiilide, auruturbiinide, diislite, generaatorgaasimootorite ja horisontaalsete hüdroturbiinidega.

Maahüdroelektrijaamade ehitamisel kasutatakse kõige sagedamini vertikaalseid hüdroturbiine, mis paigaldatakse lahtistesse kambritesse. Niisugused turbiinid võimaldavad peaaegu kõikide praktikas levinud väiksemate survete puhul tunduvalt kergendada jaamahoone konstruktsiooni ja vähendada tema ehituslikke mõõteid. See seletub sellega, et vertikaalsete turbiinide puhul on võimsuse ülekandmine turbiinikambrist generaatoriruumi palju lihtsam kui horisontaalsete turbiinide puhul. Võimsus antakse edasi vertikaalse turbiini enda võlli kaudu, kusjuures võlli läbiminek korrustevahelisest laest ei vaja mingeid erilisi tihendusi. Kui aga kasutatakse horisontaalset turbiini, viiakse võll läbi veekambri seina selleks ehitatud kuiva ruumi ning võimsus kantakse üle generaatoriruumi rihmülekande abil. Võlli läbiviimine kambri seinast nõuab spetsiaalseid keerukaid tihendeid. Seega on vertikaalsed turbiinid selles suhtes eelistatumad. Tekib küsimus: kuidas generaatoriruumis edasi anda võimsust turbiini vertikaalselt võllilt generaatori horisontaalsele võllile? Väikese võimsuse puhul kasutatakse praktikas sellisel juhul mõnikord ristuvate võllidega rihmülekannet. See on aga tehniliselt ja majanduslikult ebaotstarbekas, sest mitmes suunas painutatud rihmad kuluvad kiiresti ning tulevad tihti rihmaratastelt maha. Niisuguse ülekande kasutegur on väga madal. Spetsiaalsete kooniliste reduktorite kasutamine on samuti ebaratsionaalne, sest reduktorite ekspluateerimisel tekib terve rida lisaraskusi (hammaste kulumine, hammasrataste vahetamine, õlivannide hooldamine jms.). Vertikaalsete generaatorite laialdane juurutamine lahendab kõige ratsionaalsemat tüüpi maahüdroelektrijaamade ehitamise küsimuse.

Peale masinergutajaga generaatorite kasutatakse maaelektrijaamades seleenalaldajatega varustatud iseergutuvaid generaatoreid, mehaaniliste alaldajatega generaatoreid ning väikese võimsusega liikuvates elektrijaamades kaksikmähisega generaatoreid.

Hüdroturbiinide poolt käitatavatele hüdrogeneraatoritele esitatakse spetsiaalseid nõudeid, mis on tingitud hüdroturbiinide töötamise iseärasustest.

Koormuse järsul vähenemisel või selle ootamatul äralangemisel sulgeb töötama hakkav regulaator sõltuvalt turbiini ja torustiku konstruktsioonist ja mõõdetest juhtlabidad täielikult alles 2—4 sekundi pärast. On loomulik, et selle ajavahemiku jooksul hüdrogeneraatori pöörlemiskiirus võib tunduvalt suureneda.

Lahtistesse kambritesse paigaldatud turbiinide

sulgemisaeg on lühem kui kinnistesse kambritesse paigaldatud turbiinide sulgemisaeg, sest viimasel juhul võiksid liiga kiirel sulgemisel esinevad surve järsud muutused vigastada torustikku.

Et vähendada koormuse järsust vähenemisest tingitud pöörlemiskiiruse ja järelikult ka sageduse ning pinge kõikumisi, tuleb hüdrogeneraatorid varustada vastavate hoomassidega. See saavutatakse rootori kaalu suurendamise või lisahooratta abil.

Turbiini võllile taandatud summaarse hoomomendi GD^2 suurust võib arvutada ligikaudse valemiga:

$$GD^2 = 135 \frac{P_{maks}\, t}{n^2\, \delta}\, tm^2,$$

kus: P_{maks} — maksimaalne võimsus võllil HJ;
t — sulgemisaeg täielikul koormuse äralangemisel sec.;
n — turbiini nimipöörlemiskiirus p/min;
δ — pöörlemiskiiruse maksimaalse lubatud juurdekasvu ja nimipöörlemiskiiruse suhe.

Peale selle arvestatakse hüdrogeneraatorseadmeis pöörlemiskiiruse tõusu avariiolukorras nn. «kriitilise» suuruseni, mis võib juhtuda regulaatorite mittekorrasoleku tõttu.

Vastavalt ГОСТ-le 183—41 («Elektrimasinad») peavad kõik generaatorid taluma 2 minuti jooksul 1,2-kordset nimikiirust, hüdrogeneraatorid aga 1,8-kordset nimikiirust.

Vastavalt ГОСТ-le 183—41 peavad generaatorid võimsusega kuni 1000 kVA taluma ülekoormust voolu järgi 50% 15 sekundi jooksul ja turbo- ja hüdrogeneraatorid — 50% 2 minuti jooksul.

Generaatorite üksikute osade ületemperatuur klass A isolatsiooni puhul ei tohi olla üle 65°, kui keskkonna temperatuur ei ole üle 35°. Laagrite temperatuur ei tohi olla üle 45—50°.

Mõnedel juhtudel võib väikese võimsusega maaelektrijaamades kasutada ka asünkroongeneraatoreid.

СГ- JA C-SEERIA HORISONTAALSED SÜNKROONGENERAATORID

Väikese võimsusega maaelektrijaamades on laialt levinud СГ- ja C-seeria sünkroongeneraatorid.

Neisse seeriatesse kuulub kuus tüüpi generaatoreid: СГ-15/6, СГ-25/6, СГ-35/6, СГ-60/6, C-81-4 ja C-82-4.

Tähtede ja numbrite tähendused СГ-seeria generaatorite tähistustes: С — синхронный (sünkroonne), Г — генератор (generaator), murru lugeja — näivvõimsus kilovoltamprites, nimetaja — pooluste arv.

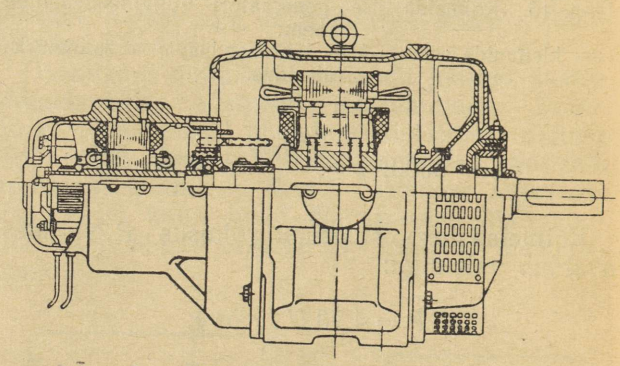
C-seeria generaatorid: С — синхронный (sünkroonne), esimene number — gabariidi leppeline läbimõõt, teine number — gabariidi leppeline pikkus, viimane number — pooluste arv.

Nimetatud seeriate generaatoreid ehitatakse kaitstud masinatena paigaldamiseks horisontaalses asendis.

Generaatorid käitatakse kas rihmülekandega või vahetu ühendusega.

Vahetu ühendus teostatakse elastse siduriga tüüp ЭМ. Generaator on ehitusviisilt lahtist tüüpi. Ergutaja on monteeritud generaatoriga samale võllile.

Generaatorid peavad töötama kuivades kinnistes ruumides, kus ümbritseva keskkonna temperatuur ei ole üle 35°. Pinget reguleeritakse

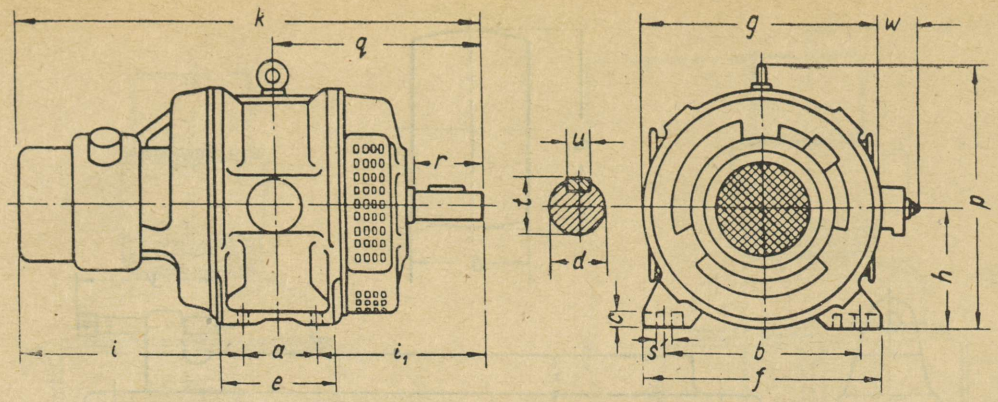


Joon. 17. СГ-seeria generaator.

Tabel 27

СГ- ja C-seeria sünkroongeneraatorite gabariitmõõted mm

Mõõte tähistus joonisel	Generaatori tüüp					
	СГ-15/6	СГ-25/6	СГ-35/6	СГ-60/6	C-81-4	C-82-4
a	150	220	140	260	150	220
b	410	410	500	500	410	410
c	25	25	30	30	25	25
d	60	60	75	75	60	60
e	240	310	252	372	240	310
f	490	490	600	600	490	490
g	490	490	600	600	490	490
h	250	250	280	280	250	250
i	438	438	532	532	438	438
i_1	349	349	390	390	349	349
k	937	1 007	1 062	1 182	937	1 007
r	140	140	140	140	140	140
p	543	543	620	620	543	543
q	424	459	460	520	424	459
s	22	22	27	27	22	22
t	65,5	65,5	81	81	65,5	65,5
u	18	18	20	20	18	18
w	48	48	56,5	56,5	48	48



Joon. 18. СГ- ja C-seeria generaatorite gabariitmõõted.

Tabel 28

СГ- ja C-seeria sünkroongeneraatorite tehnilised andmed

Näitajad	Generaatori tüüp					
	СГ-15/6	СГ-25/6	СГ-35/6	СГ-60/6	C-81-4	C-82-4
Võimsus kVA	15	25	35	60	15	30
Võimsus cos φ = 0,8 puhul kW	12	20	28	48	12	24
Pinge V	400	400	400	400	400	400
Pöörlemiskiirus p/min. .	1 000	1 000	1 000	1 000	1 500	1 500
Staatori vool A	21,7	36,5	50,5	87,0	21,7	43,4
Kasutegur nimikoormusel ja cos φ = 1 puhul %	87,1	89,9	90,7	92,5	84,8	88,8
Ergutaja vool A	17	19,5	23	22	22	24
Ergutaja pinge V . . .	24	31	38	52	20	28
Ergutaja võimsus kW .	0,41	0,60	0,88	1,15	0,44	0,67
Hoomoment kgm² . . .	3,2	4,2	9,1	14,3	3,2	4,2
Generaatori kaal koos ergutajaga kg	280	330	500	600	260	330

ergutaja ergutusreostaadiga. Generaatoritel on kuul- ja rull-laagrid. Generaatori lahtivõtmisel ei ole vaja maha võtta võlli väljaulatuval otsal asuvat ergutajat, sest ergutaja läbib täielikult generaatori ava, olles ühenduses võlli ja generaatori laagrikilbiga.

Maksimaalne proovipöörlemiskiirus on СГ-seeria generaatoritel 1800 p/min, s. o. 180% nimipöörlemiskiirusest, C-seeria generaatorite maksimaalne proovipöörlemiskiirus aga moodustab 120% nimipöörlemiskiirusest. Seega ei ole C-seeria generaatoreid soovitav kasutada generaatoritena hüdroelektrijaamades, kuid neid kasutatakse laialt liikuvates elektrijaamades, kus jõumasinaks on sisepõlemismootor.

Tabelis 27 ja joonisel 18 on toodud СГ- ja C-seeria generaatorite põhilised gabariitmõõted.

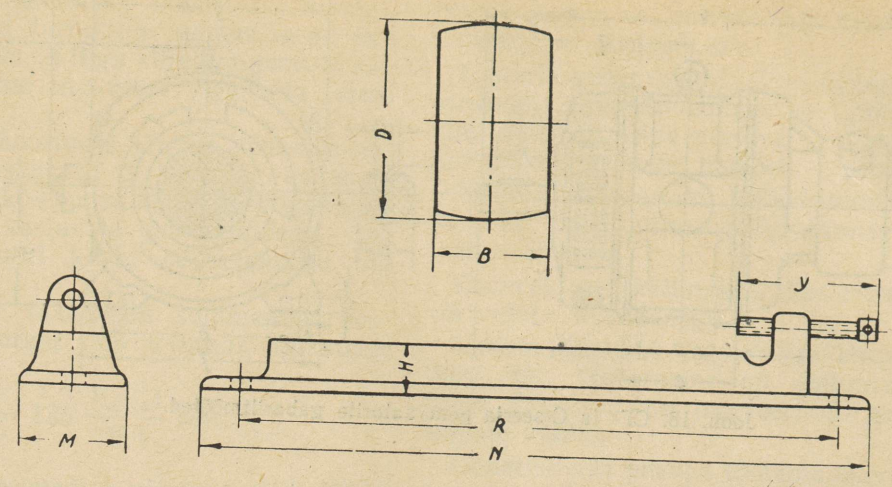
Tabelis 28 on toodud СГ- ja C-seeria generaatorite tehniline iseloomustus.

Tabelis 29 on toodud normaalsete rihmarataste ja seaderööbaste mõõted ja kaal СГ- ja C-seeria generaatoritele (joon. 19).

Tabel 29

СГ- ja C-seeria sünkroongeneraatorite rihmarataste ja seaderööbaste mõõted ja kaal

Generaatori tüüp	Mõõted mm		Rihmaratta kaal kg	Mõõted mm					Seaderööbaste kaal kg
	D	*B*		*N*	*M*	*R*	*H*	*Y*	
СГ-15/6	250	150	15	790	80	740	60	220	24
СГ-25/6	250	150	15	790	80	740	65	220	24
СГ-35/6	360	250	35	965	105	860	65	240	36
СГ-60/6	360	250	35	965	105	860	65	240	36
C-81-4	250	150	15	790	80	740	65	220	24
C-82-4	250	150	15	790	80	740	65	220	24



Joon. 19. СГ- ja С-seeria generaatorite rihmarattad ja seaderööpad.

СВ- JA СГВ-SEERIA VERTIKAALSED HÜDROGENERAATORID

Hüdroelektrijaamadele toodetakse väikese võimsusega masinate rühmast kolmefaasilisi vertikaalseid sünkroongeneraatoreid tüüp СВ-116-8.

Tüübi tähistuses: С — синхронный (sünkroonne), В — вертикальный (vertikaalne), 11. gabariit, 6 pakist koosnev staatorisüdamik, 8 poolust.

Hüdroturbiiniga ühendatakse generaator kiilrihm-ülekande abil või vahetult elastse siduriga (joon. 20).

Generaator on arvutatud liinipingele 230 või 400 V, tema võimsus on 105 kVA või 84 kW $\cos\varphi = 0{,}8$ puhul. Pöörlemiskiirus on vastavalt kaheksale poolusele 750 p/min.

Generaator on kaitstud ehitusviisiga, alumine vaba võlliots on kiilrihmaratta pealepanemiseks, ülemisel võlliotsal asetseb ergutaja.

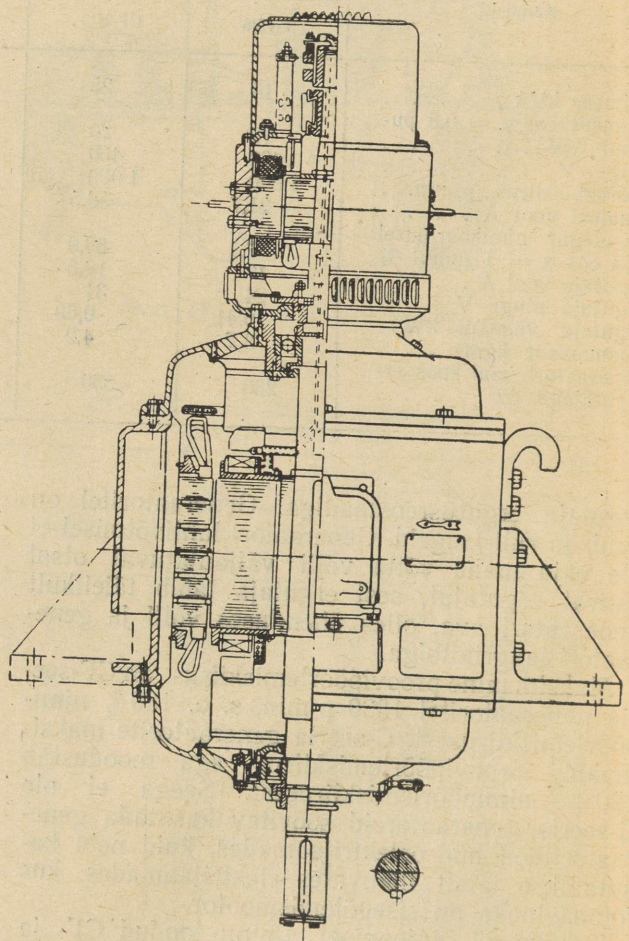
Ergutaja nimiparameetrid on: võimsus — 4,1 kW, pinge — 32 V, vool — 128 A.

Täiskoormusel sõltub generaatori kasutegur võimsustegurist: $\cos\varphi = 1$ korral on kasutegur 92% ja $\cos\varphi = 0{,}8$ korral väheneb kuni 90%-ni.

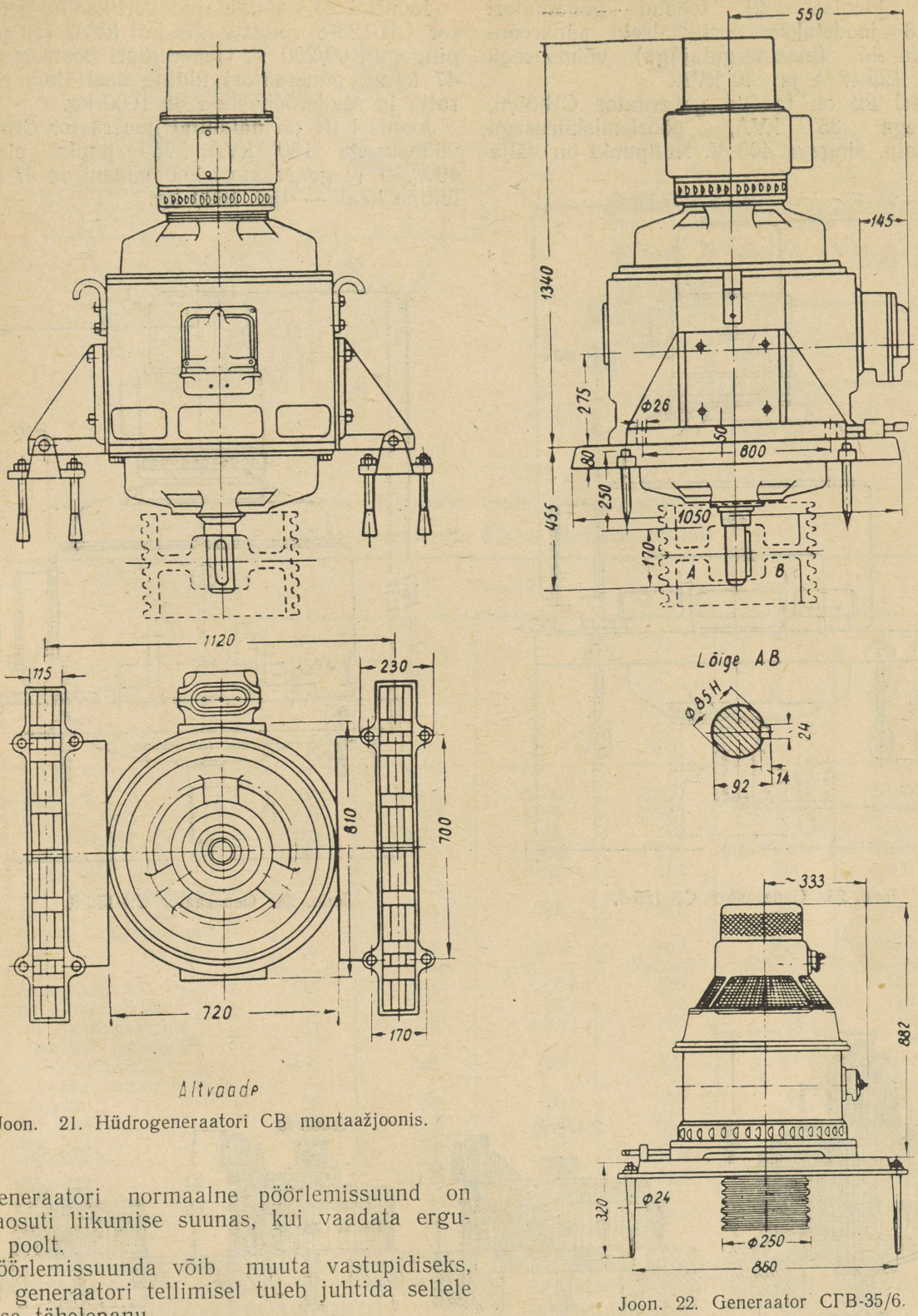
Generaatori kaal ilma rihmaratta ja seaderöö-basteta on 1520 kg, rootori hoomoment on 27 kgm^2.

Generaator asetatakse käppadega seaderöö-bastele, mis on varustatud rihma pingsuse reguleerimiseks vajaliku tugikruviga.

Generaatori maksimaalne proovipöörlemiskiirus moodustab 225% nimipöörlemiskiirusest, s. o. 1700 p/min. See on selle generaatori suureks eeliseks töötamisel propellerturbiinidega varustatud maahüdroelektrijaamas.



Joon. 20. Hüdrogeneraator СВ.



Joon. 21. Hüdrogeneraatori CB montaažjoonis.

Generaatori normaalne pöörlemissuund on kellaosuti liikumise suunas, kui vaadata ergutaja poolt.

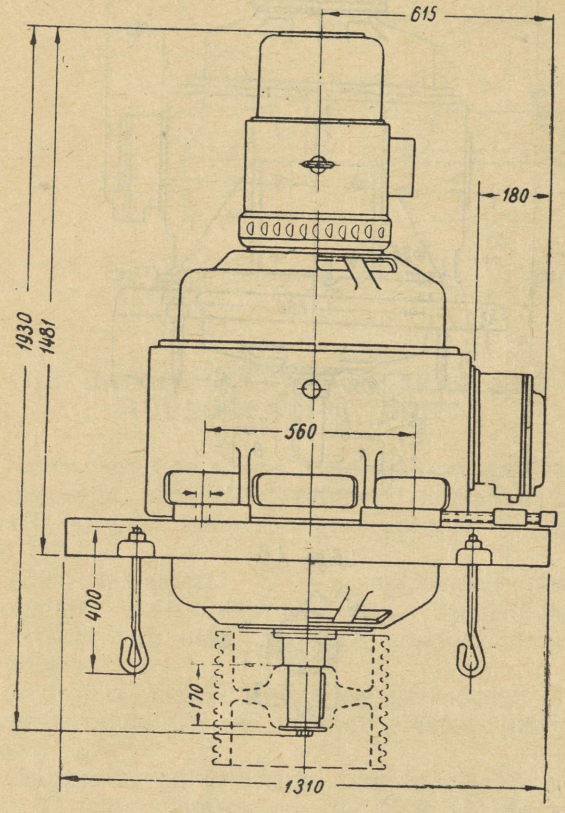
Pöörlemissuunda võib muuta vastupidiseks, kuid generaatori tellimisel tuleb juhtida sellele tehase tähelepanu.

Joonisel 21 on toodud generaatori CB-116-8 mõõted.

Joon. 22. Generaator СГВ-35/6.

Peale joonisel 21 toodud generaatori CB-116-8 toodetakse vertikaalseid sünkroon-generaatoreid (masinergutajaga) võimsusega 35 kVA, 125 kVA ja 150 kVA.

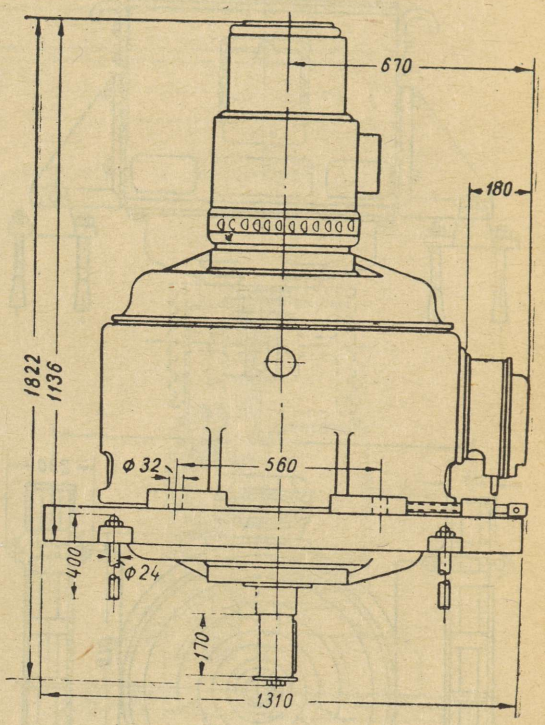
Joonisel 22 on toodud generaator CB-35/6, võimsusega 35 kVA, pöörlemiskiirusega 1000 p/min, pingega 400 V. Nullpunkt on välja toodud.



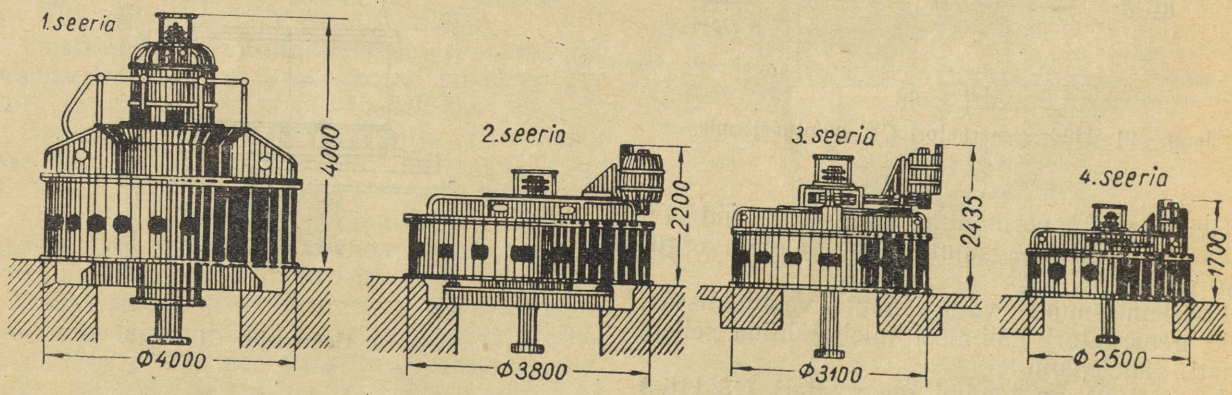
Joon. 23. Generaator CB-125-8.

Joonisel 23 on näidatud vertikaalne generaator CB-125-8 võimsusega 125 kVA, 750 p/min, pingega 400/230 V. Generaatori hoomoment on 47 kgm², generaatori üldine kaal ilma rihmaratta ja seaderööbasteta on 1600 kg.

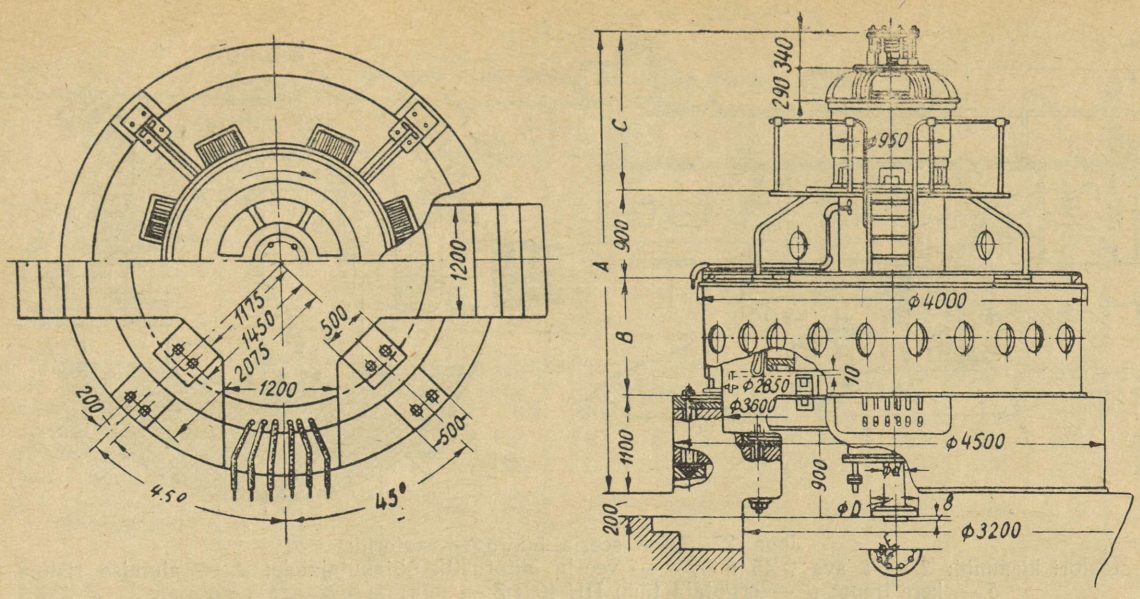
Joonisel 24 on näidatud generaator CB-150-8 võimsusega 150 kVA, 750 p/min, pingega 400/230 V; generaatori hoomoment on 57 kgm², üldine kaal — ligi 1620 kg.



Joon. 24. Generaator CB-150-8.



Joon. 25. Tehase «Uralelektroapparat» vertikaalsete hüdrogeneraatorite seeriad.



Joon. 26. Esimese seeria hüdrogeneraatorid.

Tabel 30

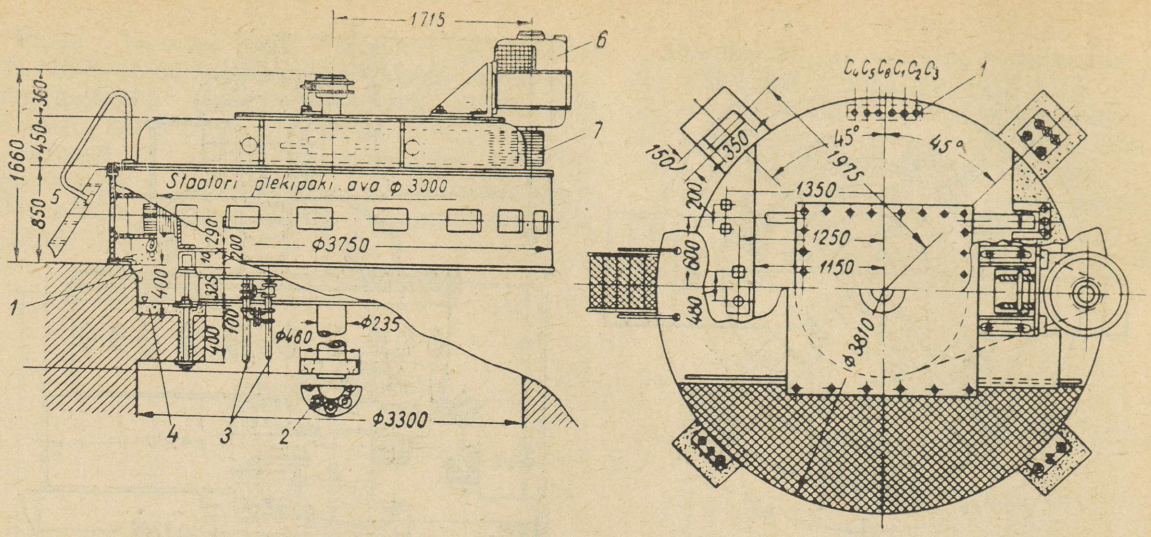
Hüdrogeneraatorite ВГС-1 tehnilised andmed

Näitajad	Generaatori tüüp						
	ВГС-1 325/29—40	ВГС-1 325/39—40	ВГС-1 325/49—32	ВГС-1 325/39—28	ВГС-1 325/29—20	ВГС-1 320/39—20	ВГС-1 325/39—16
Nimipinge V	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300
Nimivõimsus kVA	1 500	2 000	3 125	2 300	2 500	3 750	4 000
Nimivõimsustegur	0,8	0,75	0,8	0,8	0,8	0,8	0,75
Nimivõimsus kW	1 200	1 500	2 500	1 850	2 000	3 000	3 000
Pöörlemiskiirus p/min.	150	150	187	214	300	300	375
Staatori vool nimikoormusel A	138	184	288	212	230	344	366
Kasutegur nimikoormusel %	93	93,5	94,5	94,5	94,0	95,0	95,0
Ergutaja	ВВС—6	ВВС—6	ВВС—6	ВВС—6	ВВС—6	ВВС—6	ВВС—6
Ergutaja pinge V	115	140	160	120	120	130	130
Ergutaja võimsus kW	45	55	65	45	50	55	60
Rootori hoomoment tm²	65	75	115	105	75	85	80
Maksimaalne proovipöörlemiskiirus p/min.	380	340	405	420	590	680	750
Maksimaalne surve kandelaagrile t	56	57	76	60	61	67	63,5
Rootori kaal t	17,2	18,3	25,4	22,7	20,2	24,3	22,3
Staatori kaal t	7,9	9,5	11,5	9,5	7,9	9,5	9,5
Ergutaja kaal t	4,5	4,5	4,5	4,0	4,0	4,0	4,5
Üldine kaal t	41	42,5	50	45,5	41	41,5	45,5
Maksimaalne kaal montaažil ja transpordil t	13	14	21	18,4	16	20	18

URAALI TEHASE «URALELEKTRO-APPARAT» ВГС-SEERIA VERTIKAALSED HÜDROGENERAATORID

ВГС-seeria hüdrogeneraatorid on määratud vahetuks ühendamiseks hüdroturbiiniga. Nad sobivad kõige paremini kasutamiseks väikeste survetega madalikujõgedel asuvates maahüdroelektrijaamades.

Nimetatud generaatorid jaotatakse nelja seeriasse. Generaatorite võimsus on 200 kuni



Joon. 27. Teise seeria hüdrogeneraatorid:
1 — staatori klemmid; *2* — 8 ava ⌀ 45 mm; *3* — vee-ja õlitorustik õlijahutajatele; *4* — alumise risttoe tugi; *5* — kere trepp; *6* — ergutaja tüüp ПН-400; *7* — kiilrihm-ülekanne ergutajale.

Hüdrogeneraatorite ВГС-2 tehnilised andmed

Tabel 31

Näitajad	Generaatori tüüp				
	ВГС-2 325/24—60	ВГС-2 325/20—46	ВГС-2 325/34—46	ВГС-2 325/24—46	ВГС-2 325/24—40
Nimipinge V	6 300	6 300	6 300	400	6 300
Nimivõimsus kVA	375	375	625	625	750
Nimivõimsustegur	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Pöörlemiskiirus p/min.	100	130,5	130,5	130,5	150
Staatori vool nimikoormusel A	34,5	34,5	57,5	900,5	69
Kasutegur nimikoormusel %	87,5	87,5	88,0	89,0	89,5
Ergutaja tüüp	ПН-400	ПН-400	ПН-400	ПН-400	ПН-400
Ergutaja pinge V	80	100	100	100	180
Ergutaja võimsus kW	21	28,5	28,5	28,5	21
Rootori hoomoment tm²	35	28	35	32	35
Maksimaalne proovikiirus p/min.	280	275	360	360	370
Maksimaalne surve kandelaagrile t	29	35	35	35	35
Rootori kaal t	8,3	6,9	8,3	7,7	8,3
Staatori kaal t	5,3	5,1	6,2	5,3	5,3
Ergutaja kaal t	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
Üldine kaal t	19,6	18,0	20,5	19,6	20,0
Maksimaalne kaal montaažil ja transpordil t	6,0	4,6	6,0	5,3	6,0

4000 kVA, pöörlemiskiirus 100 kuni 375 p/min (joon. 25).

Iga seeria tähistus seletub järgmiselt:

ВГС — вертикальный генератор, синхронный (vertikaalne generaator, sünkroonne), millele järgneb seeria number. Murdarvu lugeja väljendab staatori plekkide välisläbimõõtu sentimeetrites, nimetaja — staatori südamiku pikkust. Viimane arv, nagu kõikides generaatori markides, tähistab pooluste arvu.

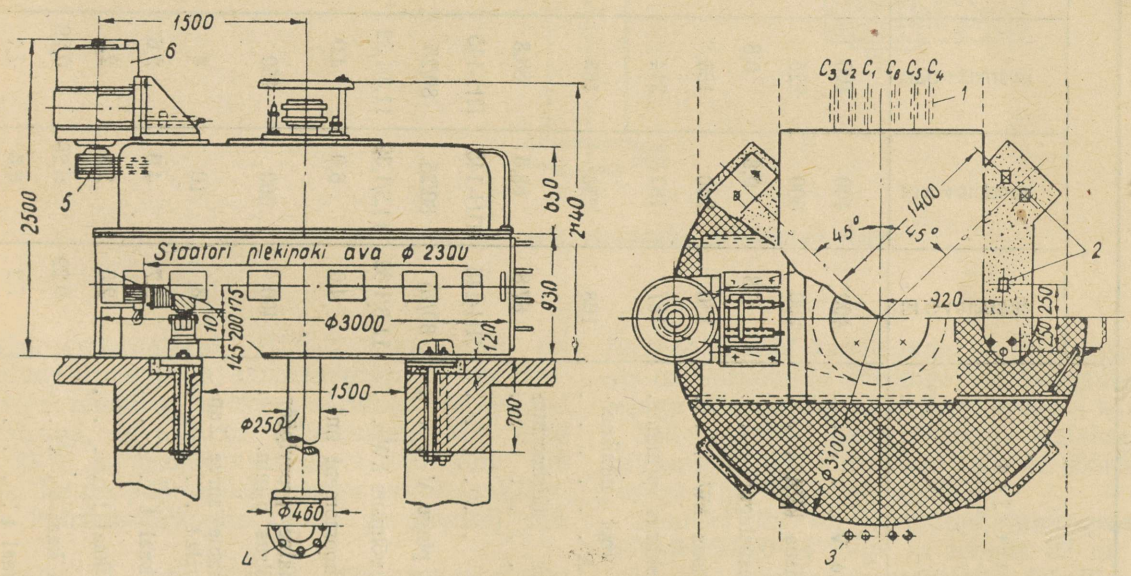
Generaatoreid ВГС-1 (joon. 26) lastakse välja võimsusega 1500 kuni 4000 kVA, pöörlemiskiirusega 150 kuni 375 p/min. Need generaatorid on kaitstud ehitusviisiga, rippuvat tüüpi, kandelaagriga ning ühe juhtlaagriga alumises risttoes. Ergutaja paikneb vahetult generaatori võllil. All lõpeb võll äärikuga, mille külge ühendatakse vertikaalse hüdroturbiini võll.

Tabelis 30 on toodud hüdrogeneraatori ВГС-1 põhilised tehnilised andmed.

Tabel 32

Hüdrogeneraatorite ВГС-3 tehnilised andmed

Näitaja	Generaatori tüüp											
	ВГС-3-260/20-40	ВГС-3-260/24-40	ВГС-3-260/29-40	ВГС-3-260/20-32	ВГС-3-260/24-32	ВГС-3-260/29-32	ВГС-3-260/29-28	ВГС-3-260/24-28	ВГС-3-260/29-28	ВГС-3-260/20-24	ВГС-3-260/24-24	ВГС-3-260/29-24
Nimipinge V	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300
Nimivõimsus kVA	450	600	750	550	800	1 000	700	950	1 250	850	1 200	1 500
Nimivõimsustegur	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Nimivõimsus kW	360	480	600	440	640	800	560	760	1 000	680	960	1 200
Pöörlemiskiirus p/min.	150	150	150	187	187	187	214	214	214	250	250	250
Staatori vool nimikoormusel A	41,5	55,5	69,5	50,5	73,5	92,0	64	87,5	115	78	110	138
Kasutegur nimikoormusel %	90,0	90,5	90,8	90,6	91,5	92,0	91,8	92,0	92,5	92,0	93,0	93,2
Ergutaja	ПН-290	ПН-290	ПН-290	ПН-290	ПН-290	ПН-290	ПН-290	ПН-290	ПН-290	ПН-290	ПН-290	ПН-290
Ergutaja pinge V	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115	115
Ergutaja võimsus kW	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Rootori hoomoment tm²	15	17	20	15	17	20	15	17	20	15	17	20
Maksimaalne proovipöörlemiskiirus p/min.	350	350	350	425	425	425	475	475	475	550	550	550
Maksimaalne surve kandelaagrile t	20	22	25	20	22	25	20	22	25	20	22	25
Rootori kaal t	6	6,7	7,5	6	6,7	7,5	6	6,7	7,5	6	6,7	7,5
Staatori kaal t	5,6	5,9	6,2	5,6	5,9	6,2	5,6	5,9	6,2	5,6	5,9	6,2
Ergutaja kaal t	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
Üldine kaal t	16,5	17,5	18,5	16,5	17,5	18,5	16,5	17,5	18,5	16,5	17,5	18,5
Maksimaalne kaal montaažil ja transpordil t	6	6,7	7,5	6	6,7	7,5	6	6,7	7,5	6	6,7	7,5

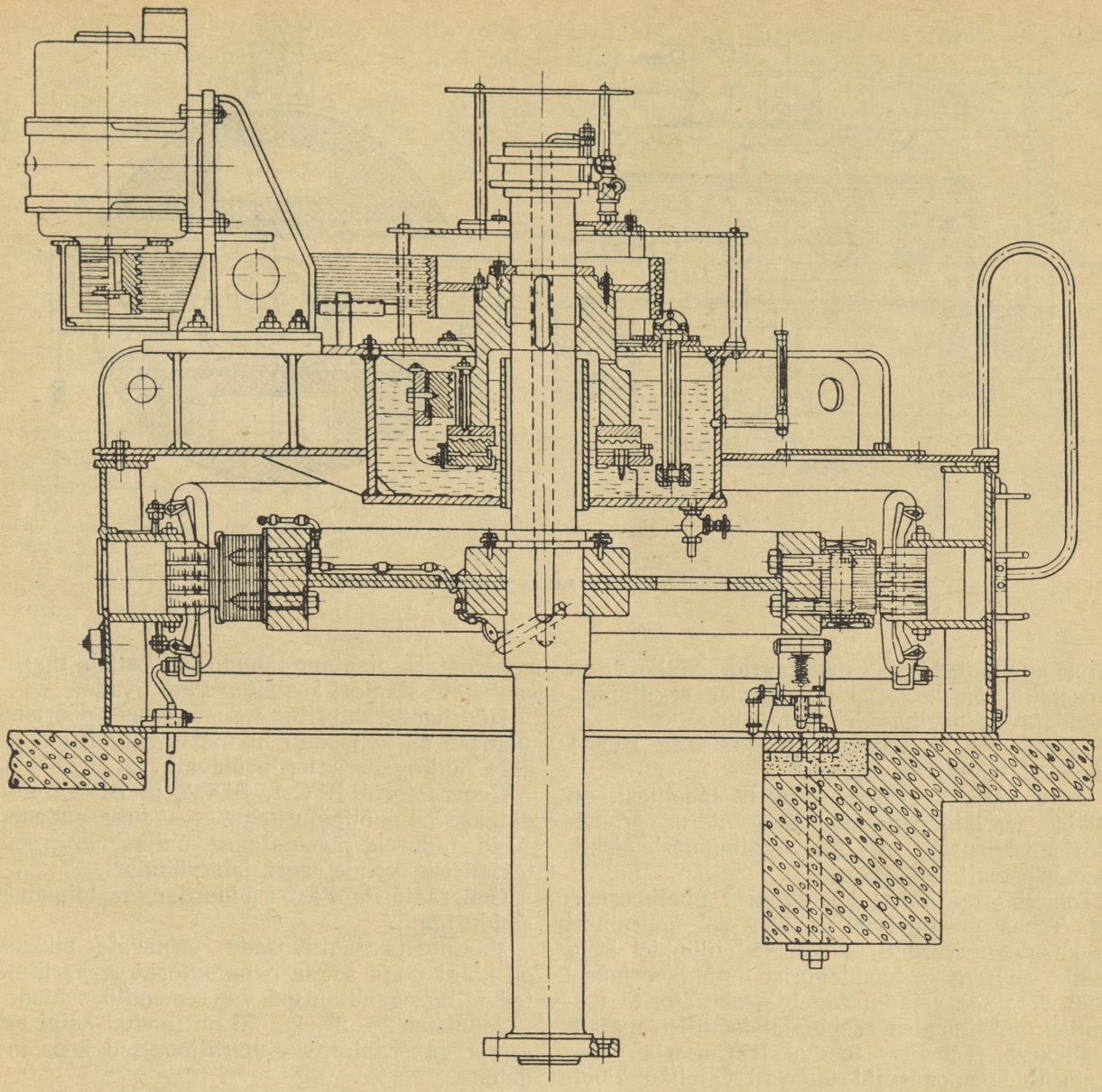


Joon. 28. Kolmanda seeria hüdrogeneraatorid:
1 — staatori klemmid; *2* — avad vundamendi poltidele; *3* — vee- ja õlitorustikud; *4* — 8 ava ∅ 45 mm; *5* — kiilrihm-ülekanne ergutajale; *6* — ergutaja ПН-290.

Tabel 33

Hüdrogeneraatorite ВГС-4 tehnilised andmed

Näitajad	Generaatori tüüp											
	ВГС-4-213/15-32	ВГС-4-213/20-32	ВГС-4-213/15-28	ВГС-4-213/20-28	ВГС-4-213/24-28	ВГС-4-213/11-24	ВГС-4-213/15-24	ВГС-4-213/20-24	ВГС-4-213/24-24	ВГС-4-213/11-20	ВГС-4-213/15-20	ВГС-4-213/20-20
Nimipinge V	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400
Nimivõimsus kVA . . .	200	300	225	325	450	200	275	375	500	250	375	500
Nimivõimsustegur . . .	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Nimivõimsus kW . . .	160	240	180	260	360	160	220	300	400	200	300	400
Pöörlemiskiirus p/min. .	187	187	214	214	214	250	250	250	250	300	300	300
Staatori vool nimikoormusel A	168	250	188	270	375	168	228	310	415	208	310	415
Kasutegur täiskoormusel %	87,8	88,6	88,8	89,6	90,0	88,0	88,5	89,6	90,5	89,0	89,8	90,8
Ergutaja	ПН-145	ПН-145	ПН-145	ПН-145	ПН-145	ПН-145	ПН-145	ПН-145	ПН-145	ПН-145	ПН-145	ПН-145
Ergutaja pinge V . . .	80/25	80/25	80/25	80/25	80/25	80/25	80/25	80/25	80/25	80/25	80/25	80/25
Ergutaja võimsus kW . .	11,3/1,32	11,3/1,32	11,3/1,32	11,3/1,32	11,3/1,32	11,3/1,32	11,3/1,32	11,3/1,32	11,3/1,32	11,3/1,32	11,3/1,32	11,3/1,32
Rootori hoomoment tm^2 .	4,0	6,0	4,0	5,8	7,0	3,2	3,8	4,8	6,5	3,4	3,7	4,6
Maksimaalne proovipöörlemiskiirus p/min. . .	400	400	450	450	450	525	525	525	525	625	625	625
Maksimaalne surve kandelaagrile t	8	10	8	10	12	7,5	9	10	12	7,5	10	12
Rootori kaal t	2,7	4,0	2,6	3,8	4,5	2,3	2,5	3,5	4,3	2,3	2,5	3,2
Staatori kaal t	2,5	2,8	2,5	2,7	3,0	2,2	2,5	2,7	3,0	2,2	2,5	2,7
Ergutaja kaal t	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29	0,29
Üldine kaal t	7,2	8,5	7,1	8,5	9,5	6,5	7,0	8,2	9,2	6,4	7,0	7,8
Maksimaalne kaal montaažil ja transpordil t.	2,7	4,0	2,6	3,8	4,5	2,3	2,5	3,5	4,3	2,3	2,5	3,2



Joon. 29. Kolmanda seeria vertikaalse generaatori lõige.

Hüdrogeneraatorid ВГС-2 (joon. 27) on kaitstud ehitusviisiga, kandelaagriga ja ühe juhtlaagriga alumises risttoes, äärikuga varustatud võlliotsaga, arvestatud võimsustele 375 kuni 750 kVA ja pöörlemiskiirusele 100 kuni 150 p/min. Suure pöörlemiskiirusega ergutaja käitatakse kiilrihm-ülekande kaudu generaatori võllilt.

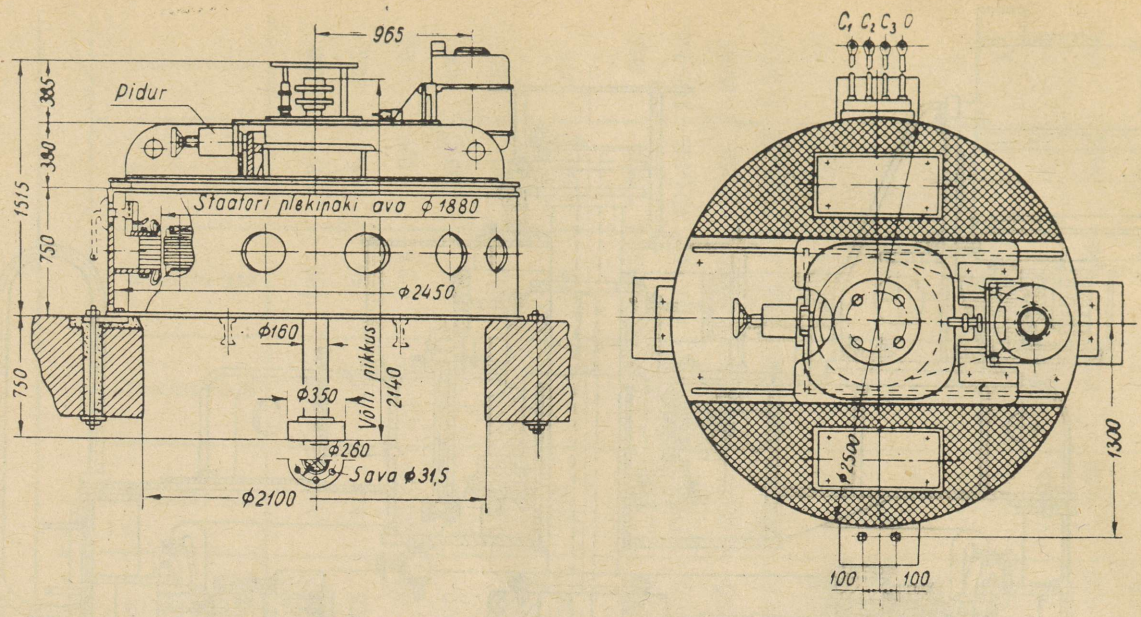
Tabelis 31 on toodud hüdrogeneraatorite ВГС-2 tehnilised andmed.

Hüdrogeneraatorid ВГС-3 (joon. 28) on kaitstud ehitusviisiga, rippuvat tüüpi; ülemises risttoes asuvad kandelaager ja juhtlaager; võlliots on varustatud äärikuga; kiirekäigulise ergutajaga ühendatakse kiilrihm-ülekande kaudu.

Selle seeria generaatoreid lastakse välja võimsusega 500 kuni 1500 kVA ja pöörlemiskiirusega 150 kuni 250 p/min.

Joonisel 29 on näidatud hüdrogeneraatori ВГС-3-260/20-24 lõige ja tabelis 32 on toodud kolmanda seeria generaatorite tehnilised andmed.

Hüdrogeneraatorid ВГС-4 (joon. 30) on rippuvat tüüpi masinad; ülemises risttoes asuvad



Joon. 30. Neljanda seeria hüdrogeneraatorid.

kande-kuullaagrid ja juhtlaagrid, võlliots on varustatud äärikuga; kiirekäigulise ergutajaga ühendatakse kiilrihm-ülekande kaudu.

Tabelis 33 on toodud generaatorite ВГС-4 põhilised tehnilised andmed.

Nagu näha tehniliste andmete tabelitest, on kõikide seeriate generaatorid arvutatud proovipöörlemiskiirusele, mis ületab nimipöörlemiskiiruse vähemalt kaks korda.

Tabelites on antud kasutegurid nimikoormusel. Tehas garanteerib, et 75%-sel koormusel on kasutegur võrdne ja mõnedel tüüpidel isegi veidi suurem kasutegurist nimikoormusel (100 %). See asjaolu tagab generaatorite töötamise maksimaalse ekspluatatsioonilise majanduslikkuse. Tabelites toodud ВГС-seeria generaatorite hoomomendid tagavad vajaliku käivitusaja, s. t. aja, mille vältel hüdrogeneraator saavutab nimipöörlemiskiiruse tema käitamisel nimimomendiga (generaatoritel võimsusega kuni 1500 kVA mitte üle 2 sekundi ja suurema võimsusega generaatoritel mitte üle 3 sekundi). Käivitusaeg määratakse valemiga [9]:

$$T_a = \left(\frac{\pi}{60}\right)^2 \cdot \frac{GD^2 n^2}{P_n \cos\varphi},$$

kus: T_a — käivitusaeg (inertsikonstant) sec;
GD^2 — rootori hoomoment tm²;
φ_n — generaatori nimivõimsus kVA;
n — pöörlemiskiirus p/min.

Generaatorite ventilatsioon toimub lahtise tsükli järgi, pöörleva rootori poolt õhu kaasahaaramise teel. Külm õhk siseneb masinasse generaatori otspinna kaudu ja väljub masinasaali läbi staatori kestas olevate avade.

Hüdrogeneraatorite normaalseks pöörlemissuunaks on kellaosuti liikumise suund, kui vaadata hüdrogeneraatorile ülevalt.

Generaatorid ВГС-1, ВГС-2 ja ВГС-3 pidurdatakse õhk-õlipiduritega — tungraudadega. Neid pidureid kasutatakse ühtlasi ka rootori tõstmiseks kandelaagri lahtivõtmisel.

Generaatorite ВГС-4 pidurdamine toimub käsipiduriga.

Vaatamata aktiivosade erinevale pikkusele on kõigi nelja seeria generaatorite gabariitmõõted ja agregaadialused vundamendid samad.

Joonistel 26, 27, 28, 30 on toodud kõigi nelja seeria generaatorite gabariitjoonised koos mõõdetega.

ГС-SEERIA HORISONTAALSED HÜDROGENERAATORID

ГС-seeria hüdrogeneraatorid on ette nähtud käitamiseks horisontaalse võlliga hüdroturbiinide poolt.

Sellesse seeriasse kuulub 6 generaatorite tüüpi, mis jagunevad kolme gabariiti: ГС-140, ГС-213 ja ГС-325 võimsusega 300 kuni 1375 kVA.

Generaatorite margi tähistuses: Г — генератор (generaator), С — синхронный (sünkroonne), arvud märgivad staatori plekkide läbimõõtu, südamikkude pikkust ja pooluste arvu.

Näiteks generaatori ГС-213/15-24 staatori plekkide väline läbimõõt on 213 cm, südamiku pikkus 15 cm, pooluste arv 24.

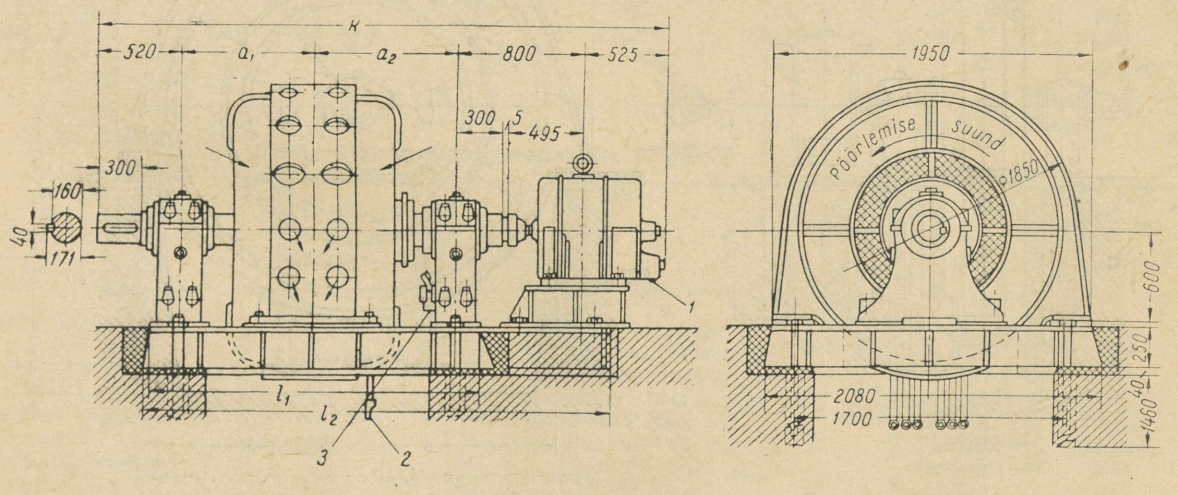
Generaatorite ГС-140 ja ГС-325 ergutajad paiknevad generaatoriga ühisel võllil, generaatorite ГС-213 kiirekäigulised ergutajad käitatakse aga kiilrihm-ülekande abil.

Tabelis 34 on toodud ГС-seeria hüdrogeneraatorite põhilised tehnilised andmed ja joonistel 31—33 nende gabariitmõõted.

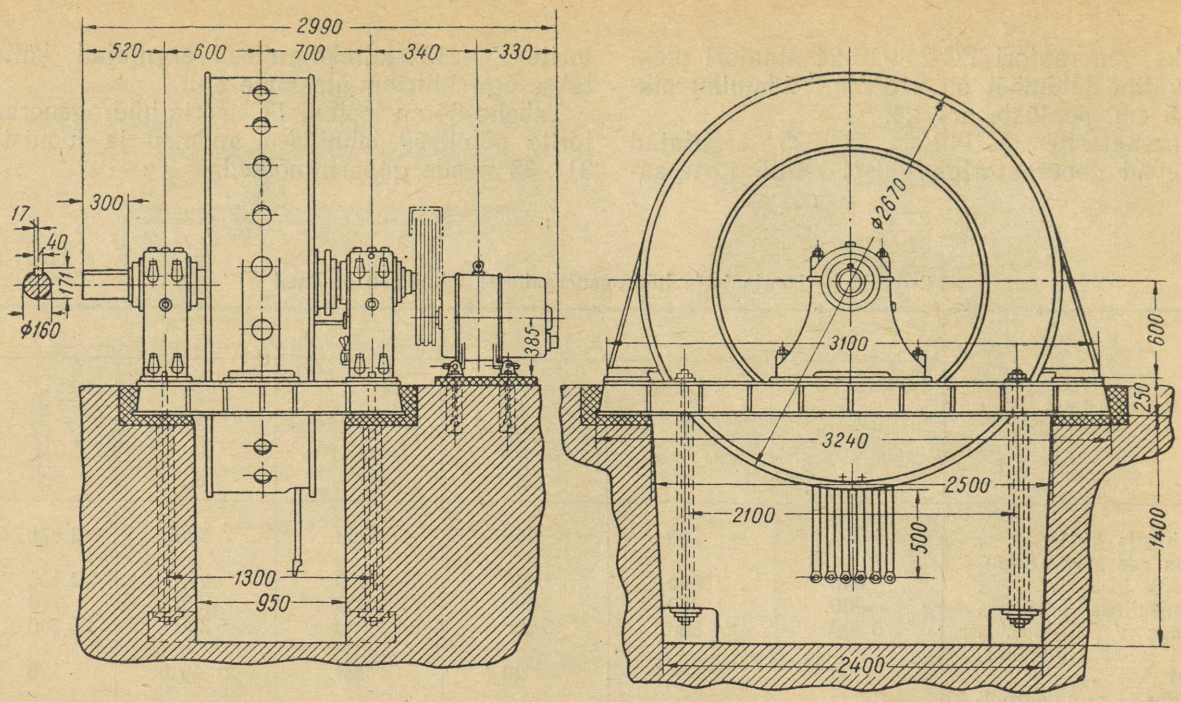
Tabel 34

ГС-seeria horisontaalsete hüdrogeneraatorite tehnilised andmed

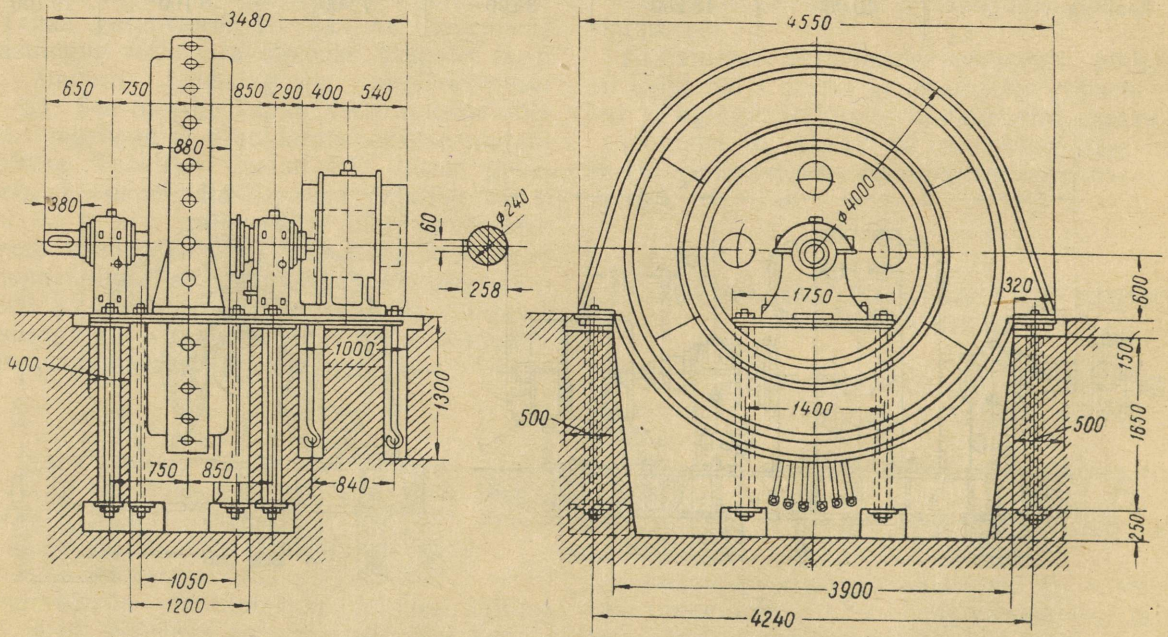
Näitajad	Generaatori tüüp					
	ГС-140/49-10	ГС-140/49-12	ГС-140/29-12	ГС-213/15-24	ГС-213/15-24	ГС-325/24-28
Nimivõimsus kVA . . .	1 050	700	440	250	300	1 375
Võimsus cos $\varphi = 0{,}8$ puhul kW	840	560	340	200	240	1 100
Pöörlemiskiirus p/min. .	600	500	500	250	250	214
Nimipinge V	6 300	6 300	6 300	400	6 300	6 300
Staatori vool nimikoormusel A	96	64	40	208	27,6	126
Kasutegur nimikoormusel %	92,5	92,0	91,4	85,9	87,6	91,0
Nimiergutusvool A . . .	250	180	260	112	124	225
Ergutaja tüüp	ПН-400	ПН-400	ПН-400	ПН-205	ПН-205	ВС-72/24-6
Ergutaja pinge V . . .	60	50	50	108	108	120
Ergutaja võimsus kW . .	15,6	11,0	11,0	15,7	15,7	36,0
Ergutaja pöörlemiskiirus p/min.	600	500	500	1 000	1 000	214
Rootori hoomoment tm² .	1,9	2,2	1,5	3,8	3,8	30,0
Maksimaalne proovipöörlemiskiirus p/min. . .	1 100	1 000	1 000	550	550	440
Rootori kaal kg	4 450	4 700	3 300	2 550	2 550	6 900
Staatori kaal kg	3 050	2 950	2 200	2 900	2 900	6 200
Ergutaja kaal kg . . .	810	810	810	470	470	3 850
Üldine kaal kg	10 000	10 250	8 200	7 900	8 100	19 700



Joon. 31. Hüdrogeneraator ГС-140:
1 — ergutaja klemmid; *2* — staatori klemmid; *3* — rootori klemmid.



Joon. 32. Hüdrogeneraator ГС-213/15-24.



Joon. 33. Hüdrogeneraator ГС-325.

HORISONTAALSED GENERAATORID DIISEL- JA LOKOMOBIILELEKTRIJAAMADELE

Diisel- ja lokomobiilelektrijaamade jaoks lastakse välja ГД- ja ГЛУ-seeria horisontaalseid sünkroongeneraatoreid.

Tüübi tähistus seletub järgmiselt: Г — генератор (generaator), Д — дизельный (diisel) või Л — локомобильный (lokomobiil), У — утяжеленным ротором (raskemaks tehtud rootoriga). Ülejäänud numbrid, nagu teisteski generaatoritüüpides, tähistavad staatori plekkide välist läbimõõtu, staatori südamiku pikkust ja pooluste arvu.

Näiteks ГЛУ-213/20-32 tähendab: lokomobiiligeneraator raskemaks tehtud rootoriga, staatori plekkide väline läbimõõt 213 cm, staatori südamiku pikkus 20 cm, pooluste arv 32.

ГД- ja ГЛУ-seeria generaatoreid ergutatakse kiirekäiguliste ergutajatega, mida käitatakse kiilrihm-ülekande abil. Ergutusvoolu reguleerimine, nagu kõigis sünkroongeneraatorites, toimub ergutaja ergutusahelasse lülitatud regulaatoriga.

Generaatori pöörlemissuunaks on kellaosuti liikumise suund, kui vaadata vaba võlliotsa poolt.

Tabelites 35 ja 36 on toodud ГД- ja ГЛУ-seeria sünkroongeneraatorite tehnilised andmed.

Tabel 35

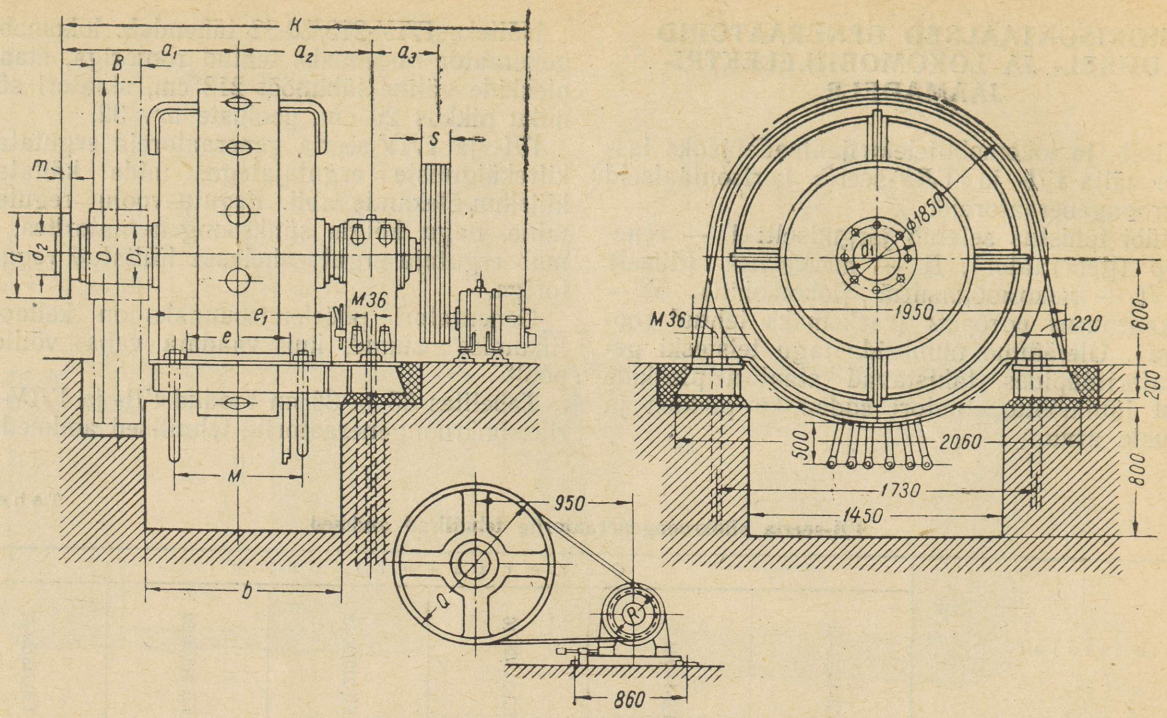
ГД-seeria sünkroongeneraatorite tehnilised andmed

Näitajad	Generaatori tüüp					
	ГД-140/20-20	ГД-140/34-20	ГД-213/20-16	ГД-213/20-32	ГД-213/20-32	ГД-213/29-32
Nimivõimsus kVA	270	375	750	560	400	550
Võimsus $\cos\varphi = 0{,}8$ puhul kW	216	300	600	450	320	440
Nimipinge V	400	6 300	6 300	400	6 300	6 300
Pöörlemiskiirus p/min.	300	300	375	187	187	187
Staatori vool nimikoormusel A	390	34,4	69	810	37	50,5
Kasutegur nimikoormusel %	90	90	92,5	90,5	88	91,5
Nimiergutusvool A	333	110	360	160	155	125
Ergutaja tüüp	ПН-205	ПН-290	ПН-205	ПН-290	ПН-290	ПН-290
Ergutaja pinge V	35	115	50	115	115	115
Ergutaja võimsus kW	12,5	20	20	20	20	20
Ergutaja pöörlemiskiirus p/min.	1 000	1 000	1 500	980	980	980
Rootori kaal kg	1 750	2 350	3 250	4 350	4 350	3 750
Staatori kaal kg	1 650	2 200	4 500	2 800	2 750	3 700
Ergutaja kaal kg	700	770	660	850	850	850
Üldine kaal kg	4 800	5 500	9 250	10 450	10 400	9 350
Hoomoment tm^2	1,0	1,4	4,1	7,5	7,5	8,0

Tabel 36

ГЛУ-seeria sünkroongeneraatorite tehnilised andmed

Näitajad	Generaatori tüüp	
	ГЛУ-213/20-32	ГЛУ-213/24-32
Nimivõimsus kVA	500	500
Võimsus $\cos\varphi = 0{,}8$ puhul kW	400	400
Nimipinge V	400	6 300
Pöörlemiskiirus p/min.	187	187
Staatori nimivool A	722	46
Kasutegur nimikoormusel %	90	89
Nimiergutusvool A	170	155
Ergutaja tüüp	ПН-290	ПН-290
Ergutaja pinge V	115	115
Ergutaja võimsus kW	20	20
Pöörlemiskiirus p/min.	980	980
Rootori hoomoment tm^2	15,0	16,0
Rootori kaal kg	12 150	12 400
Staatori kaal kg	3 000	3 100
Ergutaja kaal kg	850	850
Üldkaal kg	17 700	18 050



Joon. 34. Generaator ГД-213.

Joonistel 34, 35 ja 36 ning tabelites 37 ja 38 on toodud ГД- ja ГЛУ-seeria generaatorite gabariitmõõted mm.

Tabel 37

Generaatorite ГД-213 ja ГД-140 gabariitmõõted mm

(vastavalt joonistele 34 ja 35)

Mõõdete tähistus joonistel	Generaatori tüüp					
	ГД-213/20-16 (joon. 34)	ГД-213/20-32 (joon. 34)	ГД-213/20-32 (joon. 34)	ГД-213/29-32 (joon. 34)	ГД-140/19-20 (joon. 35)	ГД-140/34-20 (joon. 35)
a_1	1 065	1 220	1 220	—	920	600
a_2	750	725	725	1 420	650	750
a_3	325	400	400	400	300	300
b	1 015	1 485	1 485	1 985	920	1 150
e	610	610	610	700	520	670
e_1	900	900	900	700	800	1 000
e_2	355	435	435	—	—	—
k	2 990	3 265	3 265	—	2 700	2 550
M	700	700	700	700	660	770
d	600	500	500	—	350	420
d_1	—	420	420	—	290	350
d_2	570	180	180	—	210	200
m	90	70	70	—	40	50
Q	814	1 217	1 217	1 217	798	798
R	214	257	257	257	250	250
S	120	230	230	230	170	170
D	1 600	3 200	3 200	3 200	1 900	1 704
D_1	290	370	350	380	220	—
B	310	400	400	530	280	150
Kaal kg . . .	—	9 300	7 500	11 200	2 010	1 250
Hoomoment tm²	2,5	55	50	80	3,65	2,8

Tabel 38

Generaatorite ГЛУ-213 gabariitmõõted mm

(vastavalt joonisele 36)

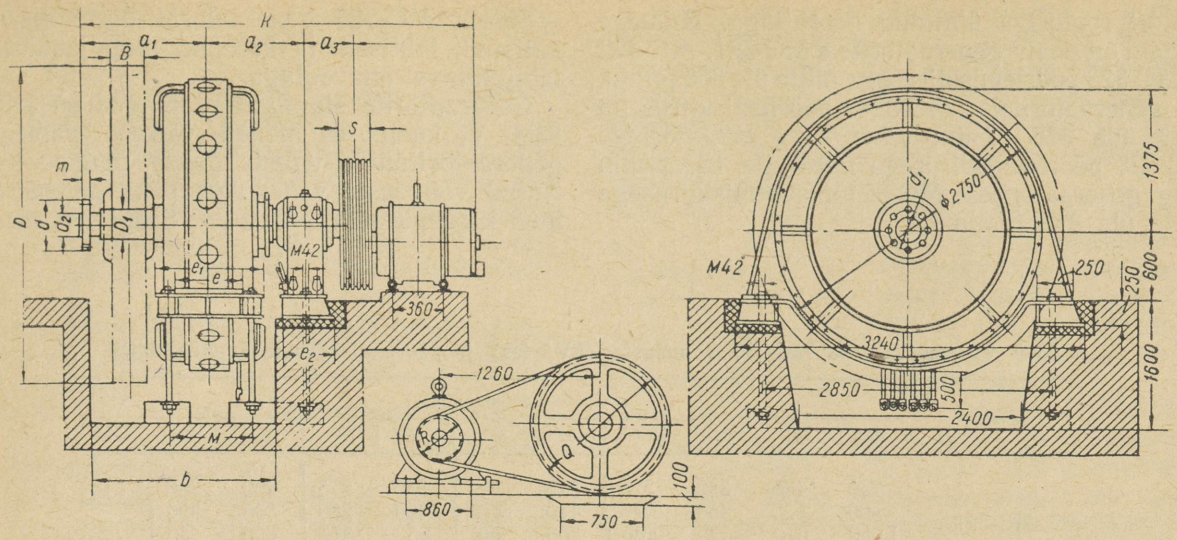
Mõõdete tähistus joonisel	Generaatori tüüp	
	ГЛУ-213/20-32	ГЛУ-213/24-32
a_1	770	770
a_2	630	630
a_3	400	400
b	1 080	1 080
e	610	650
e_1	1 000	1 000
l	600	600
k	2 720	2 720
M	800	800
p	1 450	1 450
d	600	600
d_1	510	510
d_2	310	310
m	600	60
D	2 900	2 900
B	330	330
Q	1 217	1 217
R	257	257
S	220	220

SÜNKROONGENERAATORID MC-320

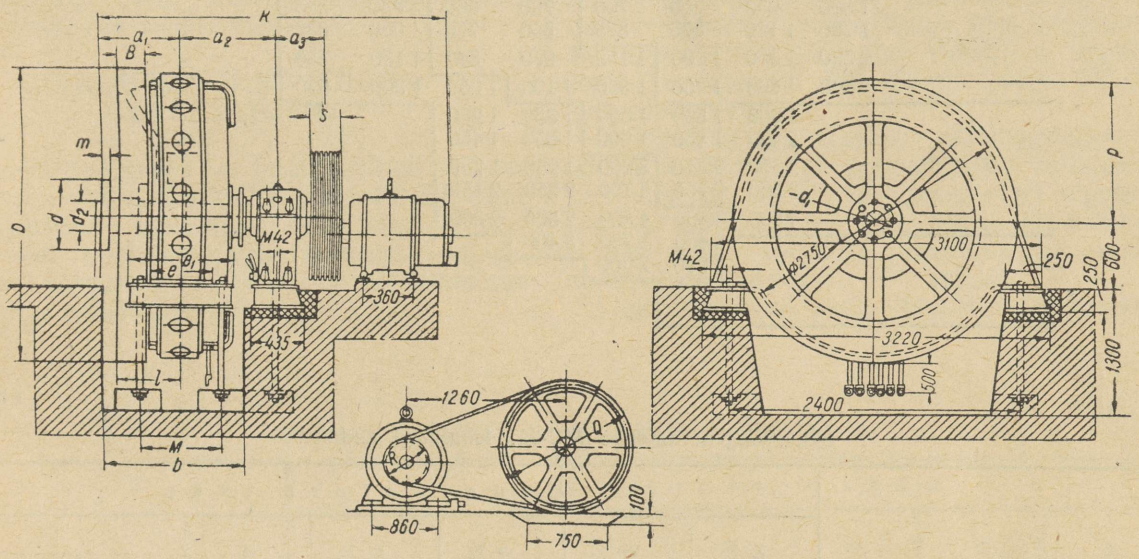
Generaatorid MC-320 on ette nähtud käitamiseks hüdroturbiinide ja sisepõlemismootorite poolt.

Seeria MC-320 haarab põhiliselt neli gabariiti:

MC-321 (16. gabariit), MC-322 (17. gabariit), MC-323 (18. gabariit) ja MC-324 (19. gaba-



Joon. 35. Generaator ГД-140.



Joon. 36. Generaator ГЛУ.

riit). Gabariidid erinevad üksteisest staatori plekkide välisläbimõõdult.

Antud seeria iga generaatoritüüp märgistatakse peale üldise seeria ja gabariidi veel murdarvuga, mille lugeja tähendab staatori südamiku pakkide arvu ja nimetaja rootori pooluste arvu.

Näiteks tähistus MC-323-8/10 seletub järgmiselt: МС — машина синхронная (masin, sünkroonne), 18. gabariit, 8 pakist koosneva südamikuga, 10 poolust. Sellise masina tehnilised andmed ja gabariitmõõted on toodud vastavates teatmeliste andmete tabelites.

Generaatorid MC-320 on ehitusviisilt lahtised, horisontaalse võlliga kahel pukklaagril ning vahetult ühendatud ergutajaga. Üks võlliots on vaba ja on ette nähtud muhvi kinnitamiseks; võlli teisele otsale on kinnitatud ergutaja ankur.

Elektrijaamadele, kus primaarjõumasinateks on sisepõlemismootorid, tuleb generaatorid valmistada suurendatud inertsmomendiga rootoriga. See tagab agregaatide töö stabiilsuse töötamisel paralleelselt teiste agregaatidega kohalikes energiasüsteemides. MC-seeria generaatorid on arvutatud hoomasside suurendatud inertsmomendile ja kannavad «hooratta tüüpi» generaatorite nimetust. Sellised generaatorid võivad olla kahte liiki: 1) rootori võlli otsa asetatud lisahoorattaga, ilma vahelaagrita ja 2) gene-

raatori rootoriga ühitatud hoorattaga. Esimene variant on sobiv generaatoritele MC-321, MC-322 ja MC-323 pöörlemiskiirusega mitte üle 600 p/min, ja generaatoritele MC-324 pöörlemiskiirusega mitte üle 375 p/min; teine — generaatoritele MC-323 pöörlemiskiirusega mitte üle 187 p/min ning generaatoritele MC-324 pöörlemiskiirusega mitte üle 375 p/min.

Seeria MC-320 generaatorid on ehitusviisilt kaitstud, lahtised ja kaitstud ning jahutatavad läbijuhitava õhuvooluga.

Generaatorite standardsed pinged on 3150 ja 6300 V, kusjuures mõned väikese võimsusega generaatoritüübid valmistatakse pingele 400 V. Antud võimsuste vahemikus pakuvad suuremat huvi kõrgepingegeneraatorid. Seepärast edaspidi

Tabel 39

6300 V generaatorite MC-320 võimsuste (kVA-tes) ja pöörlemiskiiruste koondandmed

Seeria	Pöörete arv minutis										
	1000	750	600	500	375	300	250	187	167	150	125
MC-321	750	435	385	375	315	300	330	225	400	300	310
	900	525	450	440	410	370	440	280	500	390	
	1 050	610	520	500	500	440	530	340	600	480	
	1 300	700	625	650	600	550	625	425	700		
MC-322	1 500	950	750	700	700	660	850	825			
	1 700	1 100	875	875	850	770	1 000	630			
	2 500	1 300	1 000	1 150	970	880	1 150	750			
	3 400	1 600	1 250	1 350	1 100	1 050	1 300	850			
MC-323		1 900	1 550	1 550	1 350	1 250					
		2 400	1 850	1 900	1 650	1 450					
		2 850	2 300	3 000	1 950	1 700					
		3 800	2 700	3 750	2 250	2 150					
		4 800	3 500	4 500	2 800	2 500					
MC-324			4 400	5 750	3 400						
			5 250	7 000							
			7 000								
			8 500								

Tabel 40

Sünkroongeneraatorite MC-321 tehnilised andmed

Näitajad	Generaatori tüüp						
	MC-321-5/10	MC-321-6/10	MC-321-7/10	MC-321-8/10	MC-321-6/12	MC-321-7/12	MC-321-8/12
Nimivõimsus kVA	385	450	520	625	375	440	500
Võimsus cos $\varphi = 0{,}8$ puhul kW	310	360	415	500	300	350	400
Nimipinge V	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300
Pöörlemiskiirus p/min	600	600	600	600	500	500	500
Staatori vool nimikoormusel A	35,3	41,3	47,8	57,5	34,4	40,4	45,9
Kasutegur nimikoormusel %	91,6	92,2	92,7	93,1	91,5	92,0	92,4
Nimiergutusvool A	213	217	226	240	195	206	244
Ergutaja tüüp	МП-543-2/4	МП-543-2/4	МП-543-2/4	МП-543-2/4	МП-544-1/2	МП-544-1/2	МП-544-1/2
Ergutaja pinge V	55	55	55	55	55	55	55
Ergutaja võimsus kW	11,7	11,9	12,4	13,2	10,7	11,4	13,4
Rootori kaal kg	1 610	1 810	2 010	2 150	1 440	1 650	1 760
Staatori kaal kg	1 550	1 700	1 880	2 030	1 700	1 880	2 030
Ergutaja kaal kg	517	517	517	517	600	600	600
Üldine kaal kg	5 300	5 630	6 030	6 320	5 240	5 680	5 950
Hoomoment tm^2	0,468	0,54	0,60	0,665	0,46	0,53	0,58

tuuakse ainult nende antud seeria generaatorite tehnilised andmed ja gabariitmõõted, mis on pingega 6300 V.

Kui generaatorite tehasele ei esitata erinõudeid, ühendatakse staatorimähis alati tähte ja klemmilauale tuuakse välja kolm staatorimähise otsa, mõnikord ka nullväljaviik. See asjaolu tihti takistab ratsionaalse releekaitse teostamist, sest enamasti tuleb voolutrafod üles seada staatori mähiste lõppudele (nullväljaviikude poole).

Tabelis 39 on toodud kõigi 6300 V-ste generaatorite MC-320 võimsuse ja pöörlemiskiiruse koondandmed.

Tabelites 40—43 on toodud maaelektrijaamades kõige enam kasutatavate generaatorite MC-320 tehnilised andmed.

Elektrijaamade projekteerimisel tuleb juhinduda generaatorite tehase joonistest. Joonisel 37 on toodud 17. gabariidi generaatorite MC-322 montaažjoonis ning tabelis 44 on antud mõõted vastavalt sellele joonisele.

ISEERGUTUVAD SÜNKROONGENERAATORID

Maaelektrijaamades on laialt levinud väikese võimsusega (kuni 100 kVA) generaatorid, mille ergutussüsteemi toidetakse mitte masinergutajatest, vaid kuivalaldajatest (seleenalaldajad). Viimaseid omakorda toidetakse vahelduvvooluga generaatori staatoriahelast.

Iseergutuvate generaatorite skeemid ja konstruktiivne lahendus on välja töötatud S. B. Juditski poolt (ВЭИ) [8]. Niisuguseid generaatoreid toodetakse statsionaarsetele ning liikuvatele väikese võimsusega elektrijaamadele.

Iseergutuva sünkroongeneraatori põhimõtteskeem on antud joonisel 38.

Siin on toodud alaldamise skeemi kaks varianti: 1) kolmefaasiline skeem väljatoodud nullpunktiga ja 2) kolmefaasiline Larionovi sildskeem. Sildskeem omab kaheldamatuid paremusi võrreldes väljatoodud nullpunktiga skeemiga. Paremuste hulka kuulub muuseas alaldatud voolu väiksem pulsatsioon.

Iseergutuva generaatori töötamise põhimõte on järgmine. Rootori pöörlemisel indutseeritakse staatorimähises pooluste jääkmagnetvälja mõjul väga väike elektromotoorne jõud. Selle vahelduvpinge tõttu hakkab seleenalaldajast voolama alalisvool generaatori ergutusmähisesse, mistõttu magnetvoog suureneb ning pinge staatorimähistes tõuseb. Pinge tõus generaatori staatorimähistes põhjustab omakorda ergutusvoolu suurenemist. Nii tõuseb pinge järk-järgult nimiväärtuseni.

Iseergutuva generaatori jääkmagnetism ja ühtlasi ka jääkpinge peavad olema küllaldased, sest vastasel korral, kui generaatori ergutamiseks ei kasutata esimesel hetkel eriabinõusid, ei ole sageli võimalik saavutada generaatori normaalset töötamist.

Jääkmagnetismi suurendamiseks valmistatak-

Tabel 41

Sünkroongeneraatorite MC-322 tehnilised andmed

Näitajad	Generaatori tüüp						
	MC-322-6/12	MC-322-7/12	MC-322-8/12	MC-322-4/16	MC-322-5/16	MC-322-6/16	MC-322-7/16
Nimivõimsus kVA	650	700	875	315	410	500	600
Võimsus cos $\varphi = 0{,}8$ puhul kW	520	560	700	252	328	400	480
Nimipinge V	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300
Pöörlemiskiirus p/min	500	500	500	375	375	375	375
Staatori vool nimikoormusel A	59,5	64,5	80,5	29	37,6	45,9	55
Kasutegur nimikoormusel %	93,0	93,5	93,9	90,2	91,4	91,8	92,4
Nimiergutusvool A	134	138	145	102	115	123	136
Ergutaja tüüp	МП-544-1/2	МП-544-1/2	МП-544-1/2	МП-544-2/2	МП-544-2/2	МП-544-2/2	МП-544-2/2
Ergutaja pinge V	110	110	110	110	110	110	110
Ergutaja võimsus kW	14,7	15,2	15,9	11,2	12,6	13,5	15,0
Rootori kaal kg	2 690	3 040	3 290	2 420	2 760	3 100	3 590
Staatori kaal kg	2 200	2 430	2 650	1 550	1 720	1 900	2 080
Ergutaja kaal kg	600	600	600	696	696	696	696
Üldine kaal kg	7 450	8 150	8 630	6 730	7 300	7 800	8 600
Hoomoment tm^2	1,33	1,545	1,72	1,21	1,425	1,64	1,855

TRÜ Raamatukogu

Tabel 42

Sünkroongeneraatorite MC-323 tehnilised andmed

Näitajad	Generaatori tüüp						
	MC-323-5/16	MC-323-6/16	MC-323-7/16	MC-323-5/20	MC-323-6/20	MC-323-7/20	MC-323-8/20
Nimivõimsus kVA	700	850	970	550	660	770	880
Võimsus cos $\varphi = 0{,}8$ puhul kW	560	680	775	440	528	616	704
Nimipinge V	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300
Pöörlemiskiirus p/min	375	375	375	300	300	300	300
Staatori vool nimikoormusel A	64	78	89	50,5	60,5	70,5	80,6
Kasutegur nimikoormusel %	92,6	93,4	93,7	91,4	92,1	92,5	92,8
Nimiergutusvool A	157	162	169	155	182	191	200
Ergutaja tüüp	МП-545-1/2	МП-545-1/2	МП-545-1/2	МП-545-1/2	МП-545-2/2	МП-545-2/2	МП-545-2/2
Ergutaja pinge V	110	110	110	110	110	110	110
Ergutaja võimsus kW	17,3	17,8	18,6	17,0	20,0	21,0	22,0
Rootori kaal kg	4 415	4 815	5 230	3 215	3 515	4 030	4 330
Staatori kaal kg	2 420	2 670	2 930	2 320	2 560	2 800	3 050
Ergutaja kaal kg	902	902	902	902	1 087	1 087	1 087
Üldine kaal kg	10 170	10 820	11 630	8 960	9 690	10 590	11 140
Hoomoment tm²	3,10	3,55	4,00	2,80	3,10	3,70	4,00

Tabel 43

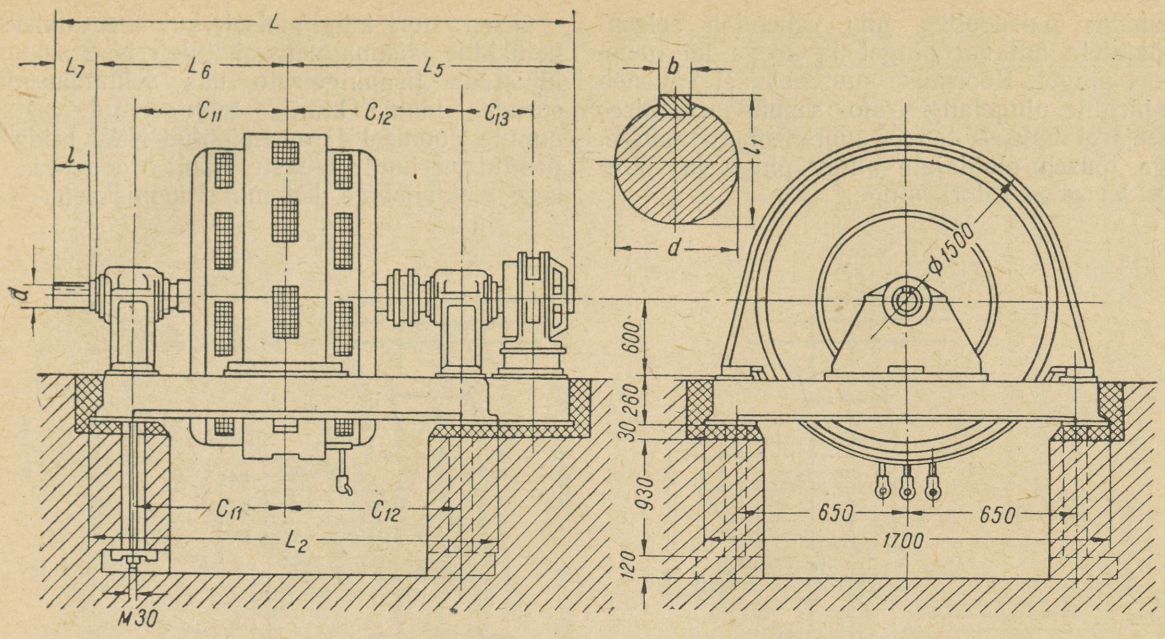
Sünkroongeneraatorite MC-324 tehnilised andmed

Näitajad	Generaatori tüüp						
	MC-324-5/24	MC-324-6/24	MC-324-4/32	MC-324-5/32	MC-324-6/32	MC-324-7/32	MC-324-8/32
Nimivõimsus kVA	850	1 000	425	525	630	750	850
Võimsus cos $\varphi = 0{,}8$ puhul kW	680	800	340	420	504	600	680
Nimipinge V	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300	6 300
Pöörlemiskiirus p/min	250	250	187	187	187	187	187
Staatori vool nimikoormusel A	78	91,6	39	48,2	58	69	78
Kasutegur nimikoormusel %	92,2	92,4	88,9	89,9	90,7	91,2	91,9
Nimiergutusvool A	240	283	190	222	235	274	294
Ergutaja tüüp	МП-11-11/2	МП-11-11/2	МП-11-11/2	МП-11-11/2	МП-11-12/2	МП-11-12/2	МП-11-12/2
Ergutaja pinge V	110	110	110	110	110	110	110
Ergutaja võimsus kW	26,4	31,2	20,9	24,4	25,8	30,2	32,3
Rootori kaal kg	4 960	5 500	3 930	4 450	4 960	5 440	5 910
Staatori kaal kg	3 300	3 800	2 500	2 800	3 100	3 400	3 800
Ergutaja kaal kg	1 540	1 540	1 540	1 540	1 820	1 820	1 820
Üldine kaal kg	12 680	13 670	10 490	11 670	12 750	14 120	15 020
Hoomoment tm²	7,53	8,67	7,46	7,60	8,78	9,92	11,08

se sünkroongeneraatorite magnetahelas poolus-te südamikkude vahetükid ning rootori puks eri-terasest.

Peale selle kasutatakse iseergutuvate gene-raatorite kõikides tööstuslikkudes tüüpides sta-biliseerivaid trafosid, milledel on spetsiaalne lühistamisseadis või kaitsmega surunupp. Selle seadise abil lühistatakse käivitamise ajaks jär-jestikku ühendatud mähiste kaks faasi, mistõttu pinge kuivalaldaja sisestuses tõuseb ning üht-lasi suureneb generaatori ergutusvool vajaliku väärtuseni.

Joonisel 38 toodud lihtsaimal iseergutumis-skeemil ei ole ette nähtud generaatori klemmi-

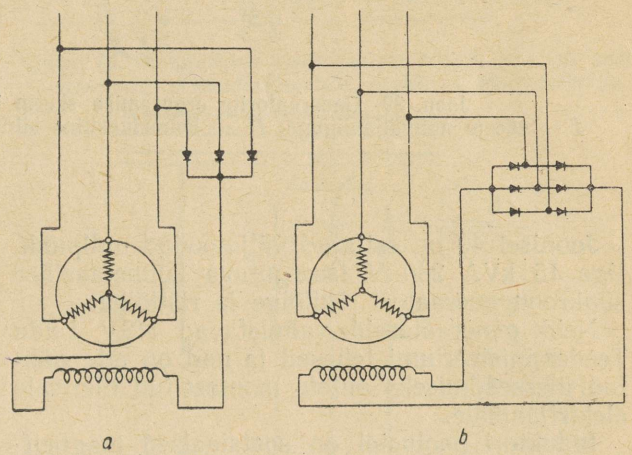


Joon. 37. Sünkroongeneraator MC-322.

Tabel 44

Sünkroongeneraatorite MC-322 mõõted mm
(vastavalt joonisele 37)

Mõõdete tähistus joonisel	Generaatori tüüp						
	MC-322-6/12	MC-322-7/12	MC-322-8/12	MC-322-4/16	MC-322-5/16	MC-322-6/16	MC-322-7/16
b	36	40	40	36	36	36	40
C_{11}	650	700	700	600	600	650	700
C_{12}	700	750	750	650	700	700	750
C_{13}	470	480	480	470	490	490	490
d	140	150	150	130	140	140	150
L	2 585	2 735	2 735	2 485	2 625	2 625	2 765
L_2	1 770	1 870	1 870	1 650	1 770	1 770	1 870
L_5	1 475	1 535	1 535	1 445	1 515	1 515	1 565
L_6	835	895	895	765	835	835	895
L_7	275	305	305	275	275	275	305
l	250	280	280	250	250	250	280
t_1	150	161	161	140	150	150	161



Joon. 38. Iseergutuva sünkroongeneraatori skeem: *a* — kolmefaasiline skeem nullväljaviiguga; *b* — kolmefaasiline Larionovi sildskeem.

pinge automaatset stabiliseerimist. Pinge stabiliseerimine on aga väga vajalik väikeste elektrijaamade normaalseks töötamiseks, eriti kui nad toidavad ligikaudu sama suure võimsusega lühisrootoriga asünkroonmootoreid.

Joonisel 39 on näidatud lihtsamad iseergutuvate generaatorite skeemid automaatse pinge reguleerimisega kahemähiseliste lisapingetrafode abil.

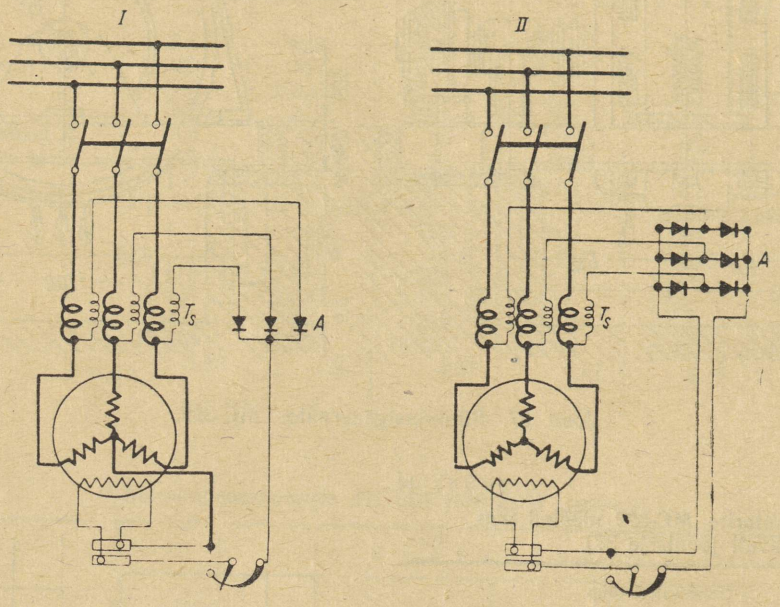
Trafo primaar- ja sekundaarmähised ühendatakse ahelasse nii, et nende magnetomotoorsed jõud oleksid vastassuunalised. Alaldajad on ühendatud väljatoodud nullpunktiga skeemi (joonis 39, *I*) või sildskeemi järgi (joonis 39, *II*).

Lisapingetrafo primaarmähis ühendatakse järjestikku generaatori peavooluahelasse.

Sekundaarmähise algus ühendatakse vastavate faasijuhtmetega või generaatori klemmidega, lõpud aga alaldajaga. Generaatori tühijooksul või väga väikesel koormusel on sekun-

daarmähis paispooliks, mis vähendab seleenalaldajatele antavat pinget ja seega ka generaatori pinget. Koormuse suurenemisel väheneb järk-järgult pingelang trafo sekundaarmähises ja seejärel hakkab temas suurenema lisapinge. Seega tõuseb alaldajale antav pinge ja järelikult ka generaatori pinge.

Generaatori käivitamisel, kui kasutatakse vahetükkide jääkmagnetismi, tuleb 1—2 sekundiks lühistada lisapingetrafo üks sekundaarmähis, surudes jaama kilbile monteeritud vastavale nupule. Joonisel 41 on näidatud NSV Liidu Teedeministeeriumi tehaste poolt toodetava väikese elektrijaama kommutatsiooniskeem.



Joon. 39. Generaatorite ergutamise skeem kuivalaldajate ja pingestabilisaatoritega:
I — skeem nullväljaviiguga; *II* — kolmefaasiline sildskeem; *A* — alaldaja; T_s — stabiliseeriv trafo.

Joonisel 40 on esitatud väljatoodud nullpunktiga 15 kVA 230 V iseergutuva kolmefaasilise sünkroongeneraatori pikilõige ja ristlõige.

Neid generaatoreid valmistavad NSV Liidu Teedeministeeriumi tehased ja nad on ette nähtud ülesseadmiseks autole monteeritud liikuvale elektrijaamale.

Induktori poolustel on spetsiaalsed magnetilised vahetükid, mis tugevdavad generaatori iseergutumiseks vajalikku jääkmagnetismi. Seleenalaldaja koosneb kahest alaldajate rühmast, igas rühmas on 22 järjestikku ühendatud elementi.

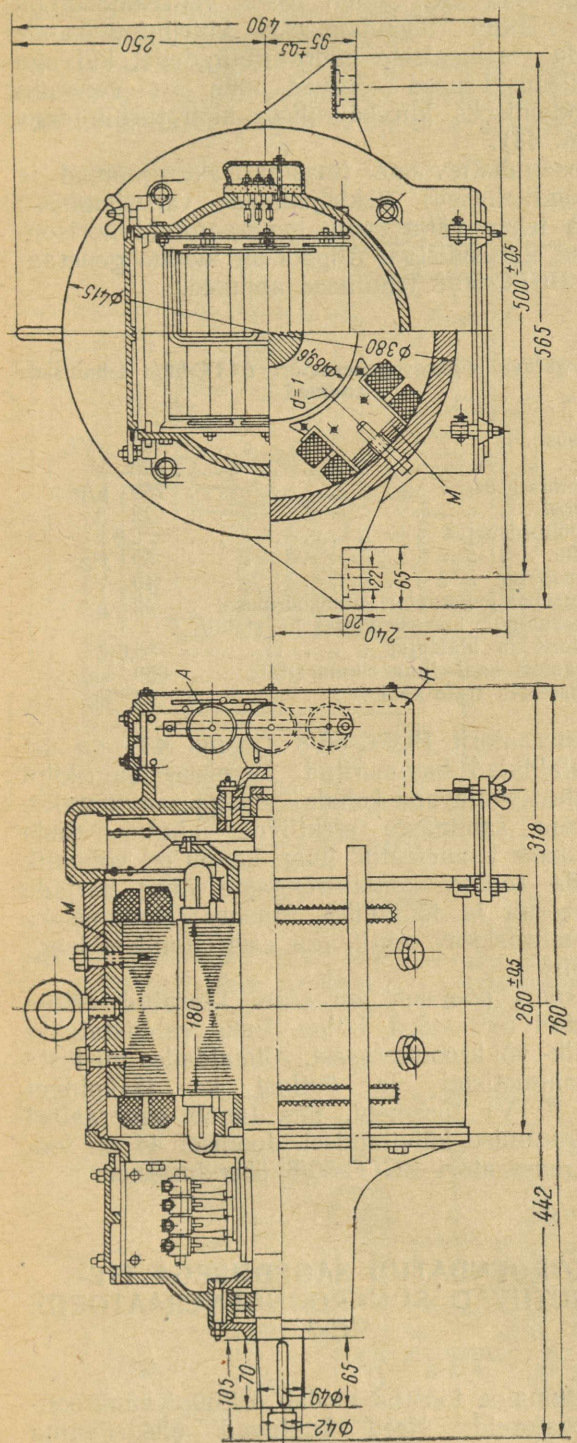
Samba läbimõõt on 45 mm; kogu alaldaja kaal on 1,2 kg. Alaldajat tuleb hoida ülekuumenemise eest, seepärast on ta asetatud spetsiaalsesse kesta *K*, mis on generaatori laagrikilbi pikenduseks. Ventilaatori poolt sisseimetud õhujuga voolab intensiivselt üle alaldaja. Õhk imetakse sisse ventilaatori abil seleenalaldaja ja kontaktrõngaste kohal olevatest avadest ning surutakse välja alumise ava kaudu. Pinget reguleeritakse automaatselt lisapingetrafo abil.

Joonisel 39 esitatud iseergutumisskeemi korral on ergutuspinge ligikaudu võrdne võrgupingega, sõltumatult sellest, kas alaldajad on ühendatud nulljuhtmega skeemi või sildskeemi kohaselt. Sellise skeemiga iseergutuva generaatori hind on kõrge, sest sel puhul tuleb ergutusmähis valmistada suure keerdude arvuga. See raskendab mähise äramahutamist generaatori rootori poolustele. Kolmemähiselise järjestikku lülitatava stabiliseeriva trafo kasutamine kahemähiselise asemel kõrvaldab selle skeemi ülalnimetatud puudused.

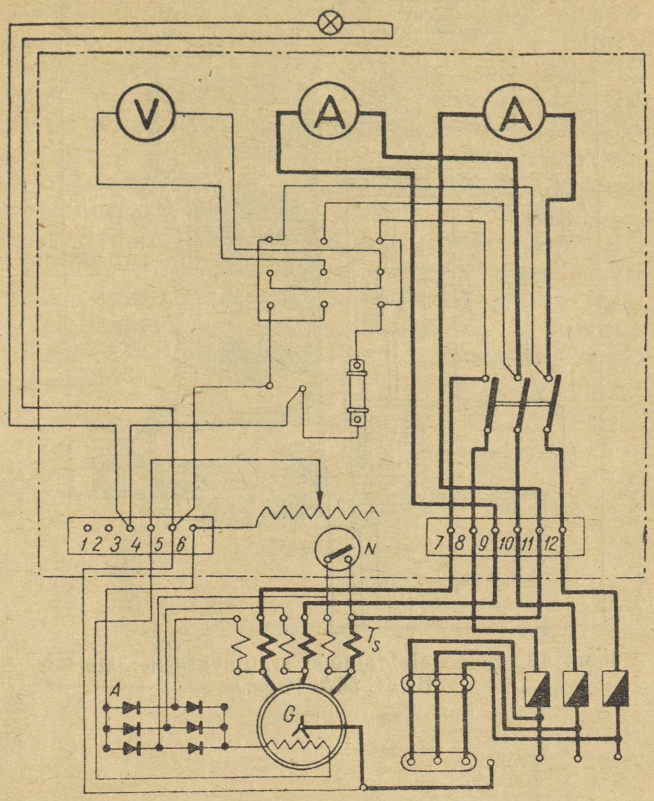
Joonisel 42 on toodud iseergutuva sünkroongeneraatori ühendusskeem seleenalaldajate ja kolmemähiselise stabiliseeriva trafoga.

Nagu skeemilt näha, ühendatakse stabiliseeriva trafo kõrgepingemähis *I* koormusega paralleelselt, järjestikune mähis *III* — koormusega järjestikku, madalpingemähis *II* (sekundaarmähis) toidab alaldajat madaldatud pingega vahelduvvooluga.

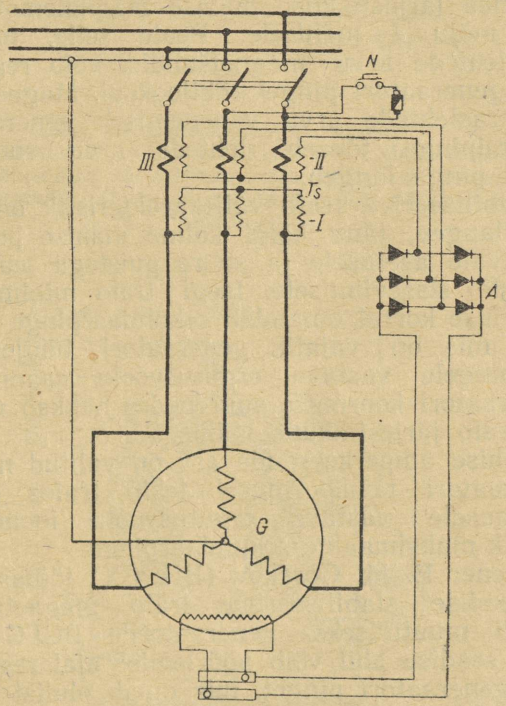
Kolmemähiselises stabiliseerivas trafos asub kõrgepingemähise ja kahe ülejäänud mähise



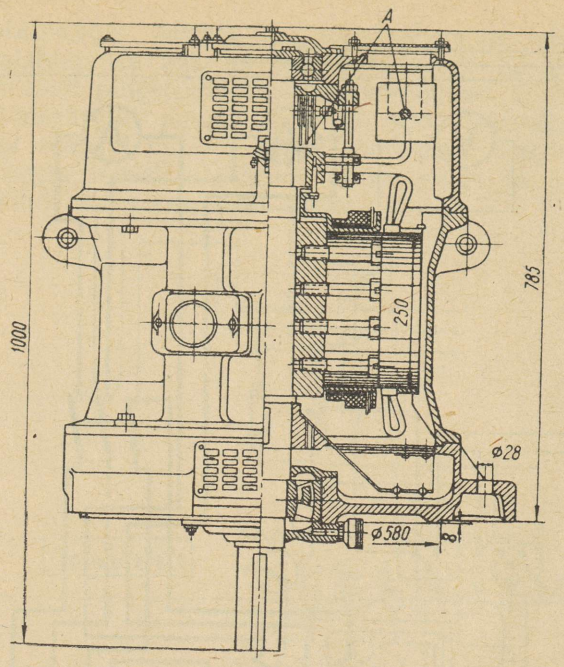
Joon. 40. Iseergutuv generaator kuivaldajatega: *A* — seleenalaldaja; *M* — magnetilised vahelehed.



Joon. 41. Komplektse elektrijaama skeem, mis on seadmestatud seleenalaldajatest ergutuva generaatoriga.



Joon. 42. Kolmemähiselise stabilisaatoriga generaatori ühendusskeem.



Joon. 43. Seleenalaldajatest ergutuva generaatori BCГC-50/8 lõige.

(järjestikkuse ning sekundaarmähise) vahel teraslehtedest koosnev magnetšunt. Seetõttu väheneb järjestikkuse mähise magnetomotoorse jõu mõju *I* mähisele. Peale selle, muutes teraslehtede arvu magnetšundis, võib reguleerida generaatori pinget tühijooksul. Magnetšundi teraslehtede arvu vähenemisel generaatori klemmipinge tõuseb, lehtede arvu suurenemisel pinge langeb.

Stabiliseeriva trafo väliskarakteristik on järsult langev, tänu kõigi kolme mähise poolide vastavale asetusele ja suure puistega magnetšuntide sisseviimisele. Isegi trafo minimaalse koormuse korral omandab sekundaarpinge väärtuse, mis on vajalik generaatori tühijooksul nimipingele vastava ergutusvoolu saamiseks. Generaatori koormuse suurenedes hakkab mõjuma trafo järjestikkune mähis.

Mähise amperkeerdude arv on valitud nii, et generaatori täiskoormusel tekib trafos nimikoormusele vastava ergutusvoolu loomiseks vajalik maksimaalne sekundaarpinge.

Insener E. M. Gorškov (ВИЭСХ) töötas välja seadise stabiliseeriva trafo magnetšundi asendi muutmiseks generaatorile BCГC-50/8. Selle seadise abil võib pöörlemise ajal reguleerida generaatori pinget, mis omab olulist tähtsust mitte ainult generaatori isoleeritult töötamisel, vaid ka tema paralleeltöö korral teiste generaatoritega. NSV Liidu Põllumajanduse Ministeeriumi tehased lasevad välja S. B. Juditski süsteemi vertikaalseid iseergutuvaid generaatoreid BCГC-50/8. Need generaatorid on ette nähtud ühendamiseks kiilrihm-ülekande kaudu vertikaalsete hüdroturbiinidega, kui aga pöörlemiskiirused ühtivad, siis ka vahetuks ühendamiseks kiirekäiguliste hüdroturbiinidega (joon. 43).

Remondiettevõtete (masina-traktorijaamad ja remonditehased) elektrijaamade varustamiseks laseb tehas välja samu generaatoreid horisontaalse ehitusviisiga. Allpool on toodud generaatori BCГC-50/8 tehnilised andmed.

Iseergutuva sünkroongeneraatori BCГC-50/8 tehnilised andmed

Võimsus	50 kVA
Pinge	400 V
Pöörlemiskiirus	750 p/min
Nimivool	72 A
Nimivõimsustegur	0,8
Sagedus	50 Hz
Ergutuspinge	40 V
Ergutusvool generaatori nimikoormusel	42 A
Nimikasutegur, arvesse võttes ka stabilisaatorit ja alaldajat	86,6%
Generaatori kaal ilma rihmarattata	650 kg
Stabiliseeriva trafo kaal	43 kg.

Generaatoril BCГC-50/8 (joonis 43) on seleenalaldajad monteeritud ülemisse laagrikilpi ventilatsiooniavade kohale. Sellega saavutatakse alaldaja sammaste efektiivne jahutus. Selle kilbi kahe kaanestatud luugi kaudu on võimalik jälgida rootori kontaktrõngaste ning harjade seisukorda ja töötamist. Masina jahutamiseks õhuvoolu tekitav ventilaator asub alumises laagrikilbis.

Rootori poolused on kinni keeratud võllile asetatud teraspuksi külge. Puks valmistatakse süsinik- või kroomterasest, võimaldades nii tõsta jääkmagnetismi ja ühtlasi ka jääkpinget (16—20 V) tasemeni, mis tagab generaatori iseergutumise käivitamisel. Joonisel 44 on toodud generaatori BCГC-50/8 ühendusskeem.

KÕRGENDATUD SAGEDUSEGA ISEERGUTUVAD SÜNKROONGENERAATORID ЧС-7.

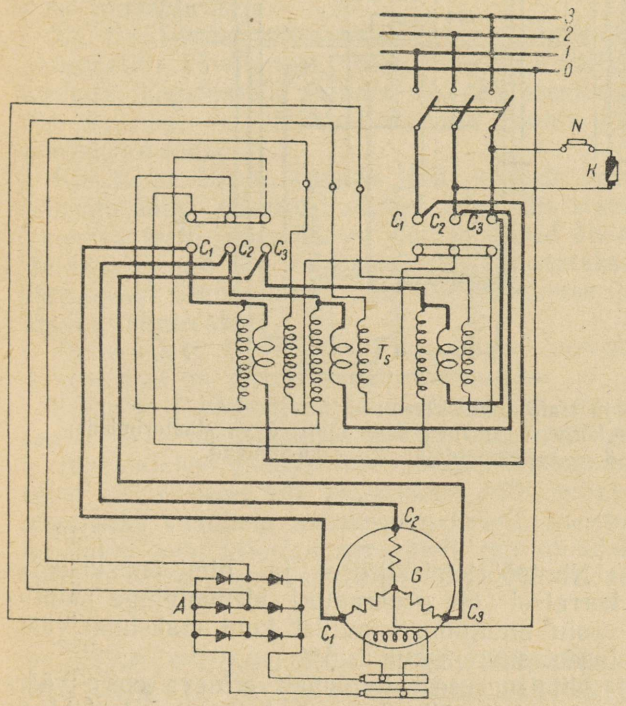
Kodumaine tööstus toodab eritüüpi sünkroongeneraatoreid. Need kuuluvad elektrijaama komplekti, mille ülesandeks on toita kolmefaasilise kõrgendatud sagedusega (200 Hz) vooluga elektritööriistasse sisseehitatud või sellega sidurdatud mootoreid (näiteks kiirekäigulised

elektrisaed). Nimetatud generaatorit võib kasutada põllumajanduse elektrifitseerimisel lammaste niisuguste elektromehaaniliste pügamisseadmete toitmiseks, kus elektrimootor on vahetult ehitatud pügamismasinasse.

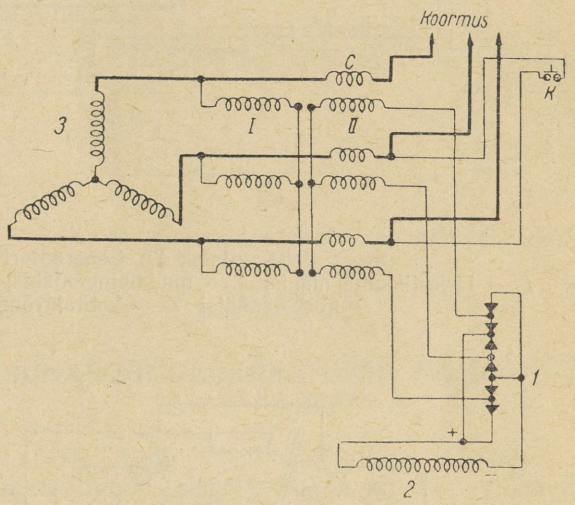
Personali ohutuse eesmärgil tuleb elektromehaaniliste pügamisseadmete toitmiseks kasutada madaldatud pinget. Väljalastavad elektromehaaniliste pügamismasinate mudelid on varustatud sisseehitatud kolmefaasiliste elektrimootoritega pingele 36 V, sagedusele 200 Hz. Seepärast generaatorid ЧС ja neile analoogilist tüüpi generaatorid tuleb tellida liinipingega 36 V.

Täht Ч generaatori tähistuses osutab kõrgendatud sagedusele, С — синхронный (sünkroonne), number 7 tähistab masina gabariiti.

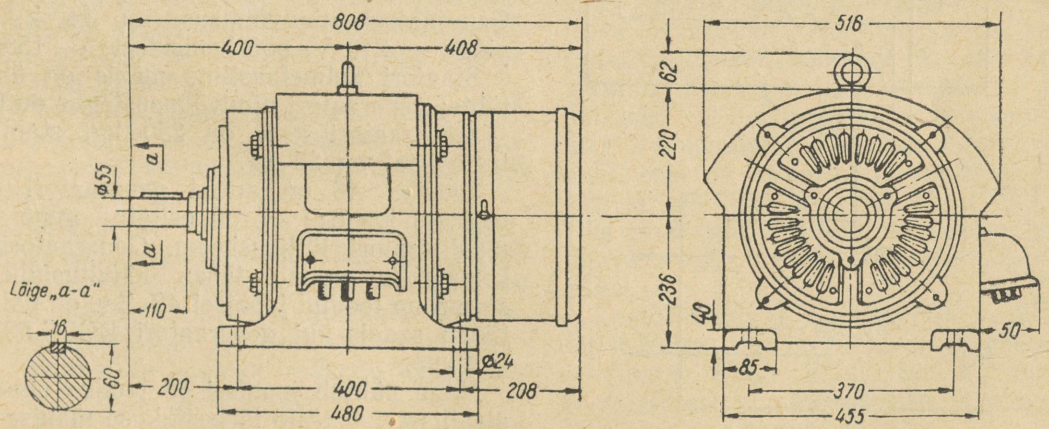
Generaatoril ei ole masinergutajat. Ergutusmähist toidetakse samuti nagu generaatori ВСГС-50/8 korralgi S. B. Inditski skeemi järgi seleenalaldajast saadava alaldatud vooluga (joon. 45) kolmemähiselise stabiliseeriva trafo kaudu.



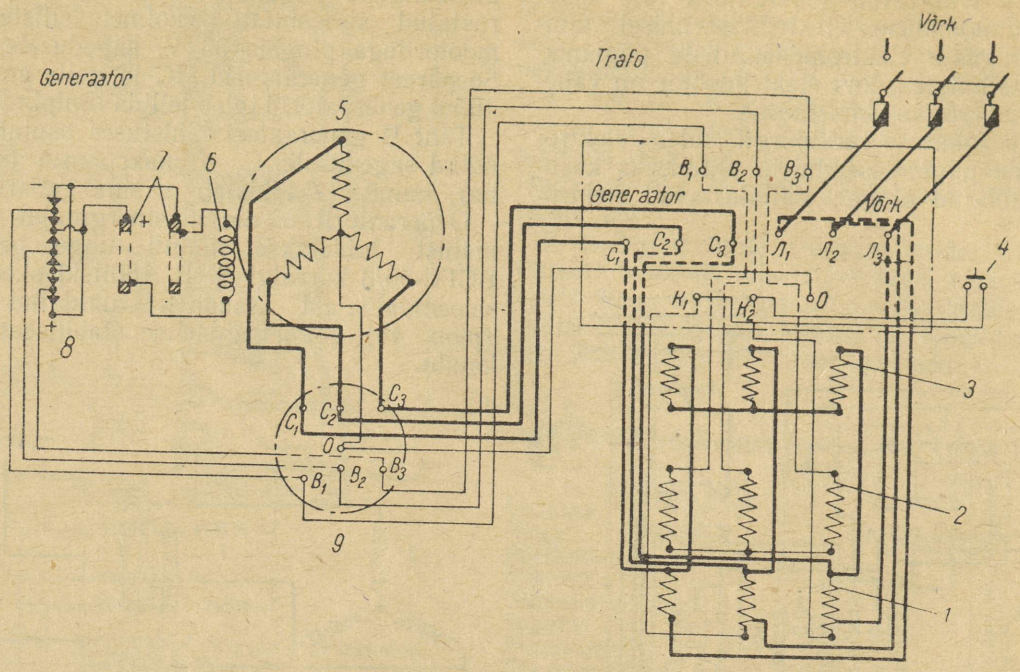
Joon. 44. Generaatori ВСГС-50/8 ühenduste skeem: *G* — generaator; *A* — alaldaja; T_s — stabilisaator; *V* — võrk; *N* — käivitusnupp; *K* — kaitse.



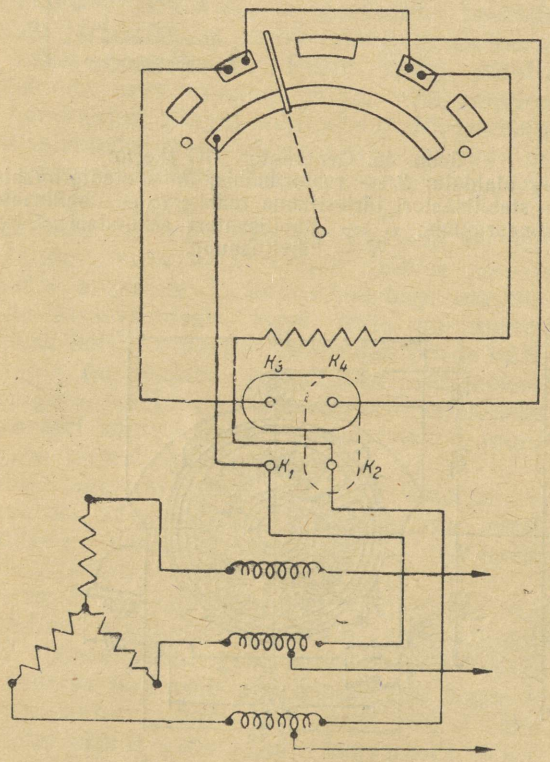
Joon. 45. Generaatori ЧС skeem: *1* — alaldaja; *2* — rootorimähis; *3* — staatorimähis; *J* — stabilisaatori järjestikune mähis; *I* — stabilisaatori primaarmähis; *II* — stabilisaatori sekundaarmähis; *N* — käivitusnupp.



Joon. 46. Generaator ЧС.



Joon. 47. Generaatori ЧС ja trafo lülitusskeem:
1 — järjestikkune mähis; *2* — madalpingemähis; *3* — kõrgepingemähis; *4* — lüliti; *5* — staatorimähis; *6* — rootorimähis; *7* — kontaktrõngas; *8* — seleenalaldaja; *9* — klemmlaud.



Joon. 48. Lüliti skeem generaatorile ЧС.

Nimipöörlemiskiiruse ja nimivõimsusteguri korral ei ole generaatori klemmipinge muutus voolu muutumisel nullist kuni maksimaalväärtuseni suurem kui ± 5%.

Nimisuurusest tunduvalt erineva cos φ väärtuste puhul võib pinge muutus generaatori klemmidel ulatuda kuni ± 10%-ni nimiväärtusest.

Pöörlemiskiiruse kõikumised mõjutavad tunduval määral pinget. Seepärast tuleb taotleda, et primaarjõumasina pöörlemiskiiruse kõikumised ei ulatuks üle ± 5% nimipöörlemiskiirusest. Generaatori nimivõimsus on 14 kVA, liinipinge — 240 V, pöörlemiskiirus — 1500 p/min.

Staatori kolmefaasiline mähis on ühendatud tähte; generaatori nimivõimsustegur on 0,8.

Generaatori kaal on 250 kg, stabiliseeriva trafo kaal on 25 kg.

Joonisel 46 on antud generaatori gabariitmõõted, joonisel 47 on esitatud generaatori ja stabilisaatori lülitusskeem. Generaatoriga ühes komplektis annab tehas käivituslüliti, mille skeem on toodud joonisel 48. See on palju täiuslikum seadis kui generaatori ВСГС-50/8 käivitusnupp.

Nagu nähtub joonisel 48 toodud skeemist, on stabiliseeriva trafo järjestikkuse mähise üks faasidest ühendatud lüliti alumise metall-liistu külge, teine faas läbi takistuse ülemise liistu külge.

Kui lüliti käepidemega ühendatud liikuv hari asetseb ühes äärmistest asenditest (paremal või vasemal), siis on järjestikkused mähised normaalses asendis.

Harja üleviimisel ühele keskmistest kontaktidest ühendatakse mõlemad faasid üle takistuse. Stabiliseeriva trafo kahe faasi järjestikkuseid mähiseid läbib tunduv vool, pinge sekundaarmähises tõuseb, seleenalaldajate toitevool suureneb ja seega tõuseb ka generaatori ergutusvool nimisuuruseni.

Et tugevdada lüliti mõju ning kiirendada generaatori käivitamist, tuleb mõnikord ümber asetada ühendusriba asendist K_3—K_4 asendisse K_4—K_2, nagu on näidatud skeemil (joonis 48) punktiirjoonega.

Kui nüüd ümber asetada lüliti käepide koos harjaga ühest äärmisest seisust teise, siis stabiliseeriva trafo järjestikkuse mähise faasid ühendatakse esmalt üle takistuse, siis lühistatakse, järgnevalt ühendatakse jälle üle takistuse ja lõpuks lahutatakse.

Generaatori käivitamise ja esialgse iseergutumise ajal on välisvõrk välja lülitatud.

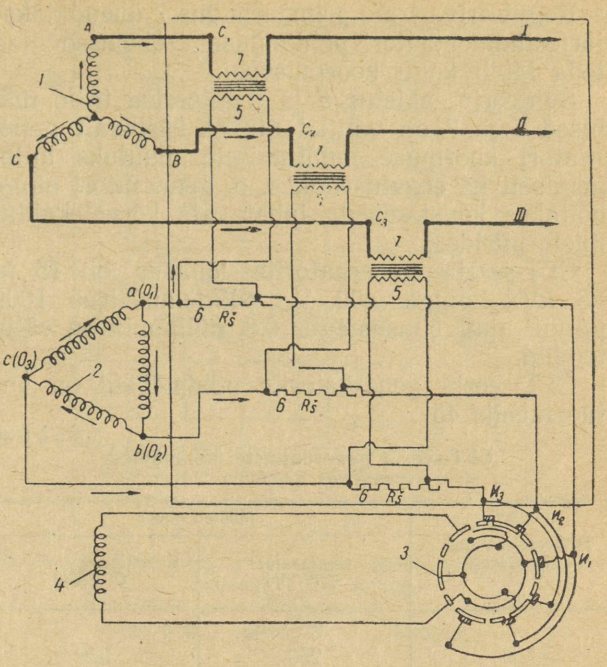
Liikuvates elektrijaamades käitatakse generaator ЧС-7 sisepõlemismootoriga, mille võlliga ta ühendatakse elastse siduri abil. Statsionaarsetes elektrifitseeritud majandites võib selleks otstarbeks kasutada asünkroonmootorit, koostades koos generaatoriga agregaadi, mis muudab kolmefaasilise voolu sagedust 50-lt 250 Hz-ni.

VÄIKESE VÕIMSUSEGA KAHE MÄHISEGA aПНТ-SEERIA SÜNKROONGENERAATORID

Kodumaiste tehaste poolt toodetavad kolmefaasilised sünkroongeneraatorid aПНТ-85, võimsusega 9 kVA, 1500 p/min, pingega 230 V, leiavad kasutamist liikuvates elektrijaamades ning mõnedel juhtudel väikeste hüdroelektrijaamade ehitusplatside varustamiseks elektrienergiaga. Niisuguse generaatori kaal on 175 kg, hoomoment — 0,65 kg m^2.

aПНТ-seeria generaator, samuti temaga ehituselt sarnased väikesed aПН-seeria ühefaasilised generaatorid võimsusega 0,83 ja 2,35 kVA on iseergutuvad.

Generaatori ankrul on kaks mähist: vahelduvvoolumähis on põhimähiseks, olles ühendatud pöörlevate kontaktrõngastega, millede kaudu vool suundub välisvõrku; alalisvoolumähis ühendatakse kommutaatoriga ning on määratud generaatori liikumatute pooluste mähiste toitmiseks.



Joon. 49. Mehaanilise alaldajaga generaatori СГТ ühenduste skeem.

SÜNKROONGENERAATORID MEHAANILISE ALALDAJAGA

NSV Liidu Elektrotehnilise Tööstuse Ministeeriumi tehased toodavad 15 ja 25 kVA võimsusega СГТ-seeria elektrigeneraatoreid (S. G. Tamantsevi süsteemi sünkroongeneraatorid).

Erinevalt eelpool kirjeldatud tavalistest sünkroongeneraatoritest puudub selle seeria generaatoritel masinergutaja või kuivalaldaja. Generaatori ergutusmähise toitmiseks (joonis 49) on ette nähtud lihtsaim mehaaniline alaldaja *3*, mida toidetakse vahelduvvooluga spetsiaalsest kolmefaasilisest mähisest *2*, mis on asetatud staatori uuretesse ning ühendatud kolmnurka. Juhtmed väljuvad välisvõrku staatori põhimähise *1* klemmidelt. Alaldaja *3* koosneb vaskrõngast, mis on asetatud generaatori rootori võllile ja on lahti lõigatud 12 isoleeritud osaks. Üks pool neist osadest on mehaanilise alaldaja töösektoriteks, teine pool aga tühjadeks sektoriteks.

Rootorimähis *4* ühendatakse vahetult töösektorite külge, mis on elektriliselt ühendatud kahte rühma. Kõigi kolme faasi pinge juhitakse spetsiaalsest staatorimähisest *2* pinget reguleeriva trafo sekundaarmähise *5* ja šunteeriva takistuse *6* kaudu alaldamisrõngal asuvatele harjadele.

Reguleeriva trafo primaarmähis *7* ühendatakse järjestikku staatori põhimähise *1* ahelasse ning teda läbib kogu koormusvool.

Šunteeriv takistus *6* ja reguleeriva trafo mähised *5* ja *7* on valitud nii, et vastavalt generaatori koormuse muutumisele muutuks automaatselt ka ergutusvool, s. o. generaatori pinge hoitakse konstantsena lubatavate kõrvalekaldumiste piirides.

СГТ-seeria generaatorite võimsus on 15 ja 25 kVA, pinge 400 V, pöörlemiskiirus 1000 p/min, nimivõimsustegur 0,8, nullpunkt on välja toodud.

СГТ-seeria generaatorite põhimõõted on antud tabelis 45.

Tabel 45

СГТ-seeria generaatorite põhimõõted
(vastavalt joonisele 50)

Mõõdete tähistus joonisel	Mõõted (mm)	
	Generaator СГТ-15/6	Generaator СГТ-25/6
a	250	320
g	476	476
h	250	250
k	850	920
o	382	417
p	520	520
q	468	503
w	52	52
B	176	176
D	250	255
E	170	240
N	790	790
R	740	740
Y	220	220
H	65	60

ASÜNKROONGENERAATORID

Asünkroonmootorite ja sealhulgas ka laialt levinud lühisrootoriga elektrimootorite kasutamise küsimus generaatoritena on Üleliidulise Põllumajanduse Elektrifitseerimise Instituudi poolt läbi uuritud ja positiivselt lahendatud ning praktiliselt teostatud mõningates seadmetes.

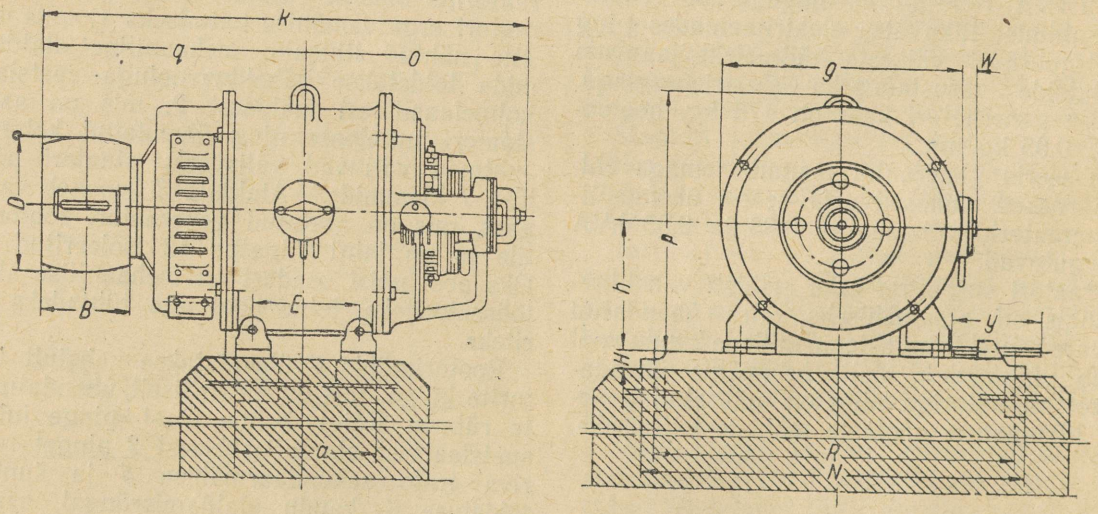
Mingi primaarjõumasina abil käitatava mistahes asünkroonmootori staatori klemmidel tekib sünkroonpöörlemiskiirusel väike pinge (jääkmagnetismist), sagedusega 50 Hz. Kui staatori klemmidele ühendada kolmefaasiline staatiline kondensaator, nagu näha joonisel 51, siis kondensaatorit läbiv vool on generaatorile magneetimisvooluks. Asünkroongeneraatori klemmipinge tõuseb järk-järgult piirini, mis sõltub masina karakteristikutest ning kondensaatorite mahtuvuse suurusest. Mahtuvus tuleb valida nii suur, et asünkroongeneraatori nimipinge ja aktiivvõimsus võrduksid elektrimootorina töötamisel esineva pinge ja võimsusega.

Tabelis 46 on toodud andmed kondensaatorite mahtuvuse kohta, mida vajatakse 380—400 V asünkroongeneraatorite ergutamiseks. Mahtuvus on antud summaarselt kolme faasi kohta. Reaktiivvõimsus arvutatakse valemiga:

$$Q = 0{,}314\ U^2C \cdot 10^{-6},$$

kus: Q — kondensaatori reaktiivvõimsus kVAr;
C — kolmnurka ühendatud kondensaatorite kõikide faaside summaarne mahtuvus μF.

Generaatori võimsusühikule vastav mahtuvus sõltub pingest, pöörlemiskiirusest, võimsusest ja koormuse võimsustegurist.

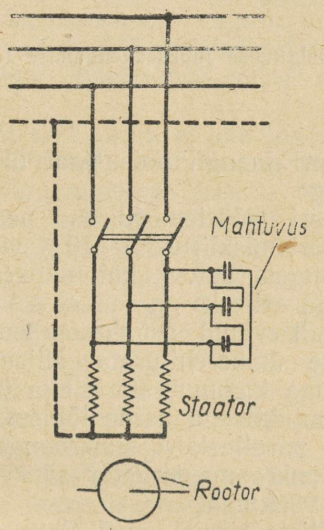


Joon. 50. Generaatorite СГТ-15 ja СГТ-25 gabariitjoonis.

Tabel 46

Vajalik kondensaatorite summaarne mahtuvus, et ergutada asünkroongeneraatorit pingega 380 V, pöörlemiskiirusega 750—1 500 p/min nimipöörlemiskiirusel

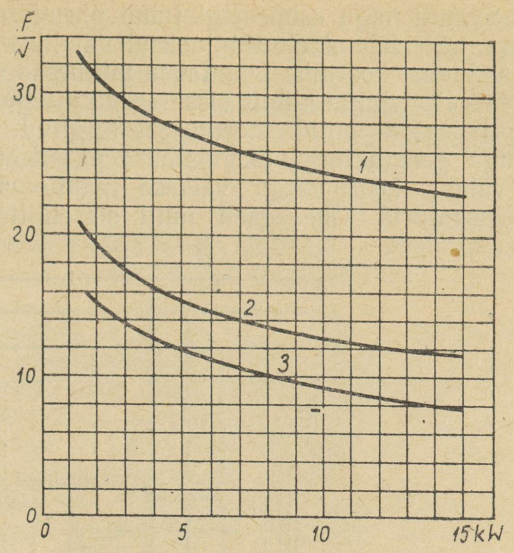
Generaatori võimsus kVA	Tühijooks		Täiskoormus, kui			
			cos φ = 1		cos φ = 0,8	
	mahtuvus µF	reaktiivvõimsus kVAr	mahtuvus µF	reaktiivvõimsus kVAr	mahtuvus µF	reaktiivvõimsus kVAr
1,0	16,0	0,73	20,5	0,93	32,0	1,45
1,5	22,5	1,04	28,5	1,29	46,5	2,11
2,0	28,0	1,27	36,0	1,63	60,0	2,72
2,5	34,0	1,54	43,0	1,95	74,0	3,34
3,0	40,0	1,81	48,0	2,18	87,0	3,94
3,5	45,0	2,04	56,0	2,54	100,0	4,53
4,0	50,0	2,26	62,0	2,81	112,0	5,08
4,5	54,0	2,44	70,0	3,18	124,0	5,62
5,0	60,0	2,72	75,0	3,40	138,0	6,25
6,0	69,0	3,14	87,0	3,94	159,0	7,21
7,0	74,0	3,36	98,0	4,44	182,0	8,25
8,0	80,0	3,62	108,0	4,90	204,0	9,25
10,0	92,0	4,18	130,0	5,90	245,0	11,10
12,0	102,0	4,62	144,0	6,53	282,0	12,80
15,0	120,0	5,44	172,0	7,80	342,0	15,50



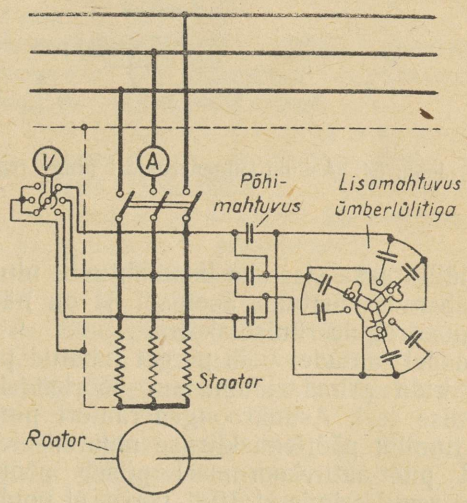
Joon. 51. Asünkroongeneraatori põhimõtteskeem.

Joonisel 52 on antud 380—400 V generaatori erimahtuvuse sõltuvus võimsusest normaalsel töötamisel kolmel režiimil: tühijooksul, täiskoormusel cos φ = 1 puhul ja täiskoormusel cos φ = =0,8 puhul.

Nagu nähtub toodud kõveratest, põhjustab võimsustegurit vähendav induktiivne koormus vajaliku mahtuvuse järsu suurenemise. Peale



Joon. 52. Erimahtuvuse kõverad asünkroongeneraatori võimsuse 1 kW kohta:
1 — koormus cos φ = 0,8 puhul; *2* — koormus cos φ = 1 puhul; *3* — tühijooks.

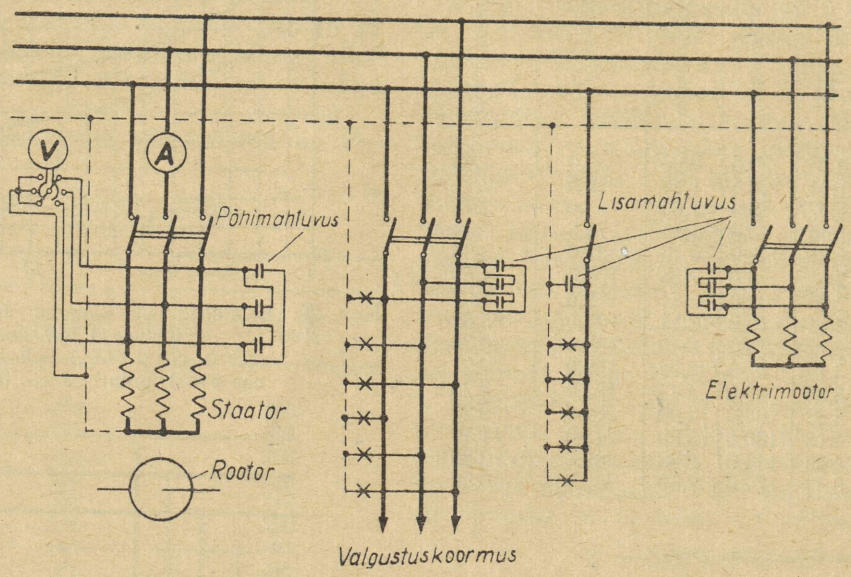


Joon. 53. Asünkroongeneraatori pinge reguleerimise skeem lisamahtuvuste ümberlülitamise teel.

selle tuleb asünkroongeneraatori klemmipinge konstantsuse tagamiseks pöörlemiskiiruse muutumatuks jäädes koormuse kasvades, eriti induktiivse koormuse kasvades, suurendada samuti ka mahtuvust. Seda saavutatakse kahel viisil.

1. Generaatoriga on alaliselt ühendatud mahtuvus, mis on vajalik tema ergutamiseks tühijooksul. Ülejääv osa mahtuvust väikeste kondensaatorite näol on ühendatav kolmefaasise ümberlüliti abil. Koormuse muutudes muutub vastavalt ka kondensaatorite summaarne mahtuvus ning sel viisil hoitakse generaatori klemmipinge püsivana. See reguleerimisviis on näidatud joonisel 53.

2. Samuti nagu esimeselgi juhul ühendatakse generaatori klemmidele tühijooksul vajalik mahtuvus. Jaama koormus jaotatakse mitmesse rühma, mis lülitatakse kilbilt sisse eri lülititega. Et kompenseerida antud koormusest tingitud pingelangu generaatoris, ühendatakse paralleelselt iga rühma koormusega väikese mahtuvusega kondensaatorid. Üheaegselt lüliti sisselülitamikondensaatoreid kasutatakse kas omaette või kombinatsioonis õlikondensaatoritega. Õlikondensaatoreid kasutatakse generaatori ergutamiseks tühijooksul, kuna parafiinkondensaatoreid lülitatakse juurde vastavalt koormuse suurenemisele. Kondensaatorite kasutamisel tuleb rangelt täita ohutuseeskirju seoses sellega, et teatud tingimustel ja võrgust väljalülitamisel võib



Joon. 54. Asünkroongeneraatori pinge reguleerimise skeem lisamahtuvuse juurdeühendamise teel.

sega lülitatakse sisse ka lisamahtuvus ning pinge jääb muutumatuks. Joonisel 54 on näidatud niisuguse reguleerimise skeem.

Mõnedel juhtudel võib pinget lubatud piirides reguleerida primaarjõumasina pöörlemiskiiruse muutmise teel. Asünkroongeneraatori pinge on väga tundlik pöörlemiskiiruse muutmisele. Seepärast puht-aktiivkoormusel piisab pöörlemiskiiruse reguleerimisest 10% võrra, et hoida pinge konstantsena, kuigi aktiivkoormus muutub seejuures tühijooksust maksimaalväärtuseni.

Asünkroongeneraatorite ergutamiseks võib kasutada mitmesugust tüüpi kondensaatoreid. Kõige kindlamad on kolmefaasilised õlikondensaatorid. Need 380 V pingele ettenähtud kondensaatorid koosnevad kolmest sektsioonist, mis on ühendatud kolmnurka ning asetatud õliga täidetud teraskesta. Niisuguse kondensaatori mahtuvus on tavaliselt 70—75 μF, s. t. üks kondensaator on kõlblik 4—5 kW asünkroongeneraatori ergutamiseks aktiivkoormuse korral. Väikese võimsusega asünkroongeneraatorite jaoks võib kasutada 1—2 μF mahtuvusega 220—380 V tööpingega parafineeritud raadiokondensaatoritest koosnevaid komplekte. Neid kondensaatori laengu potensiaal ületada generaatori pinge.

Generaatori pöörlemiskiirus peab ületama sünkroonpöörlemiskiiruse 5—10% võrra.

Asünkroongeneraatori kui sünkroongeneraatori asendaja eeliseks on see, et sel juhul kasutatakse laialtlevinud asünkroonmootoreid ilma mingisuguse ümberehituseta. Niisugune generaator ei oma kommutaatorit ega üldse mingit libisevat kontakti ega karda lühiseid.

Töötades paralleelselt sünkroongeneraatoriga ei vaja asünkroongeneraator sünkroniseerimist ega hakka võnkuma.

Nende eeliste kõrval on üksikus jaamas töötaval kondensaatorergutusega asünkroongeneraatoril terve rida puudusi. Need seisavad selles, et tema pinge sõltub suurel määral koormusest ja pöörlemiskiirusest ning generaatori ergutamiseks vajatakse kondensaatoreid, millede muretsemine kohalikkudes oludes ei ole alati võimalik. Induktiivsel koormusel suureneb vajalikkude kondensaatorite mahtuvus järsult. Seepärast kasutatakse asünkroongeneraatoreid elektrijaamas, mis toidab peamiselt valgustustarbijaid, kusjuures jõukoormus ei moodusta üle

25% üldisest koormusest. Suurima asünkroonmootori võimsus, mis ühendatakse asünkroongeneraatori võrku, ei tohi olla üle 10% viimase võimsusest. Kondensaatorergutusega asünkroongeneraatoreid ei tule kasutada võimsustel üle 15—20 kVA.

Asünkroongeneraatori töötamisel paralleelselt sünkroongeneraatoritega võib normaalsel töötamisel läbi saada kondensaatoriteta.

Kui kommutaatorita asünkroonmootori rootor panna pöörlema välja pöörlemise suunas kiirusega, mis ületab pöörleva magnetvälja kiiruse, staator aga ühendada kolmefaasilisesse võrku, siis hakkab asünkroonmootor töötama negatiivse libistusega ning muutub generaatoriks. See toimub sellepärast, et rootori elektromotoorne jõud ja seega ka rootori vool muudavad suunda ning transformatoorse mõju tõttu sunnivad muutma ka staatori voolu vektori suunda.

Asünkroongeneraatori võimsus sõltub libistusest: mida suurem on negatiivne libistus, seda suurem on ka generaatori poolt arendatav võimsus. Negatiivset libistust suurendatakse primaarjõumasina pöörlemiskiiruse suurendamise teel.

Kuid selline generaator ei saa töötada iseseisvalt, s. o. võrgust väljalülitatult, sest ta ei oma iseergutumisvõimet. Tõepoolest, pöörleva magnetvälja loomiseks on vajalik reaktiivvool, mis mootori puhul jääb staatori elektromotoorsest jõust maha, generaatori puhul aga tõttab ette.

Seda ettetõttavat voolu ei saa toota generaatoris endas, vaid teda peab saama paralleelselt töötavast sünkroongeneraatorist.

Oma lihtsuse tõttu võivad asünkroongeneraatorid levida väikese võimsusega kohalikes või rajooni energiasüsteemides.

Võib kasutada nii kõrge- kui ka madalpingelisi asünkroongeneraatoreid. Ergutamiseks tarbivad asünkroongeneraatorid energiasüsteemi võrgust reaktiivvõimsust samal hulgal, kui seda tarbiks vastava võimsusega elektrimootor vastava võimsusteguri korral.

Seega tuleb asünkroongeneraatori võimsus kooskõlastada energiasüsteemiga; see võimsus ei tohi olla suurem antud energiasüsteemi võrkudesse ühendatud sama konstruktsiooniga asünkroonmootori piirvõimsusest.

Oma äärmise lihtsuse tõttu on väikesed asünkroongeneraatoritega elektrijaamad, mis töötavad paralleelselt energiasüsteemiga, odavamad kui sünkroongeneraatoritega jaamad isegi siis, kui asünkroongeneraatoritega elektrijaamad on täielikult automatiseeritud. See seletub sellega, et niisugustes jaamades pole vaja kalleid ja keerukaid seadmeid, nagu hüdroturbiini pöörlemiskiiruse regulaator, generaatori pingeregulaator, alalisvooluergutaja, väljasummutusseadis, sünkroniseerimisseadis ja rida teisi sünkroongeneraatori normaalseks töötamiseks vajalikke kaitseabinõusid. Ekspluatatsioon lihtsustub seega tunduvalt, sest elektrijaama on võimalik täielikult automatiseerida.

SÜNKROONGENERAATORITE PÕHILISED KARAKTERISTIKUD

Maaelektrijaamade ja -võrkude projekteerimisel ja ekspluateerimisel tuleb lahendada selliseid küsimusi, nagu sünkroongeneraatorite paralleeltöö stabiilsus (vt. kuues peatükk), pinge reguleerimine ja kompaundeerimine (vt. seitsmes peatükk), lühisvoolude arvutus (vt. kümnes peatükk) jne. Sellega seoses tuleb selgitada generaatori iseloomulikke kõveraid ja määrata reaktiivtakistused ning lühisesuhted.

Põhilisteks karakteristikuteks, mida annavad valmistavad tehased või mida nende puudumisel võib üles võtta kohapeal ekspluatatsiooni tingimustes, on tühijooksukarakteristik ja lühisekarakteristik.

Tühijooksukarakteristik kujutab generaatori elektromotoorse jõu sõltuvust ergutusvoolust tühijooksul nimipöörlemiskiirusel, s. o.

$E_0 = U_0 = \mathrm{f}\ (i_e)$, kui $I = 0$ ja $n = \text{const}$,

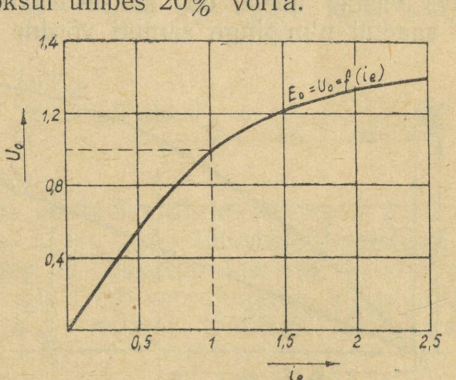
kus: E_0 — generaatori elektromotoorne jõud, mis tühijooksul, s. o. kui $I = 0$, on võrdne generaatori klemmipingega;

i_e — generaatori ergutusvool;

n — nimipöörlemiskiirus p/min.

Joonisel 55 on toodud sünkroongeneraatorite normaalne tühijooksukarakteristik (tühijooksukõver), kusjuures mõlemale koordinaatteljele on kantud mitte absoluutsed, vaid suhtelised suurused.

Sellest karakteristikust selgub näiteks, et suurendades ergutusvoolu nimivoolust kuni $i_e = 1{,}5\, i_{en}$, tõuseb generaatori klemmipinge tühijooksul umbes 20% võrra.

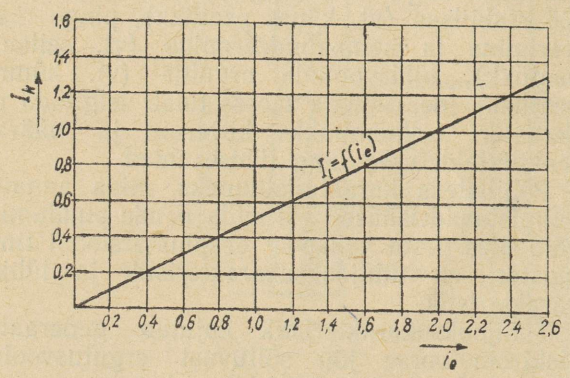


Joon. 55. Sünkroongeneraatori normaalne tühijooksukarakteristik.

Lühisekarakteristik (lühisekõver) kujutab seost $I_k = f(i_e)$, kui n = const, kus I_k on generaatori vool kolmefaasilisel lühisel.

Katse sooritamiseks lühistatakse omavahel generaatori staatori klemmid, pannakse rootor pöörlema nimikiirusega, kusjuures reostaadi takistus on täielikult sisse viidud rootori ahelasse. Seejärel, vähendades reostaadi takistust, ergutatakse järk-järgult generaatorit.

Sünkroongeneraatori lühisekarakteristik (joonis 56) kujutab endast abstsisstelje suhtes kaldu asetsevat sirget, sest lühisvool on võrdeline ergutusvooluga.

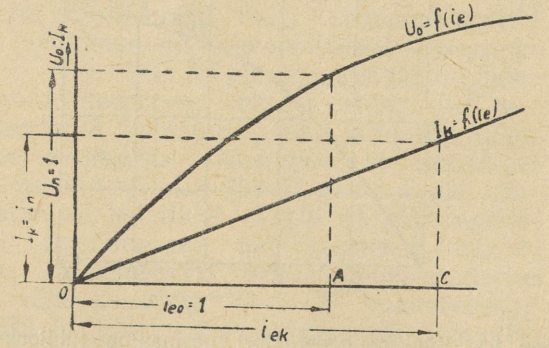


Joon. 56. Sünkroongeneraatori lühisekarakteristik.

Sirgjooneline karakteristik seletub sellega, et lühise puhul staatori klemmidel sünkroongeneraatori magnetsüsteem ei küllastu, sest seejuures esineb ainult masina induktiivne takistus ning ankrureaktsiooni magnetomotoorne jõud (magneetimisergutus) magneedib generaatori lahti.

Joonisele 57 on kantud üheaegselt tühijooksu- ja lühisekarakteristik suhtelistes ühikutes.

Nimiergutusvoolu OA korral, mis suhtelistes ühikutes vastab ühele, on lühisekarakteristiku alusel saadud nimipinge samuti võrdne ühega.



Joon. 57. Tühijooksu- ja lühisekarakteristikud.

Generaatori nimipingele tühijooksul vastava ergutusvoolu OA tähistame i_{e0}.

Edasi määrame kindlaks ergutusvoolu, mis on vajalik selleks, et kolmefaasilisel lühisel saada staatorimähises generaatori nimivoolule võrdne vool. Lühisediagrammil see suurus i_{ek} on võrdne lõigule OC.

Suhe $\frac{i_{e0}}{i_{ek}}$, mida nimetame generaatori lühisesuhteks (k_{LS}), omab olulist tähtsust sünkroongeneraatorite stabiilse töötamisega seoses olevate küsimuste lahendamisel.

Seega lühisesuhe k_{LS} on generaatori tühijooksul nimipingele vastava ergutusvoolu ja generaatori kolmefaasilisel lühisel staatori nimivoolule vastava ergutusvoolu suhe.

Nagu teada, on generaatori sünkroonne reaktiivtakistus pöördvõrdeline lühisesuhtega s. o.

$$X_d = \frac{1}{k_{LS}}.$$

Üleminekurežiimides, mida põhjustavad lühised sünkroongeneraatori staatoriahelas, tuleb ilmsiks mööduv reaktiivtakistus X'_d, mis on mitu korda väiksem sünkroonsest reaktiivtakistusest X_d.

Tabelis 47 on toodud põhiliste reaktiivtakistuste ja k_{LS} suhtelised väärtused tehase «Uralelektroapparat» vertikaalsete hüdrogeneraatorite kõigi nelja seeria kohta [9].

Mida suurem on k_{LS}, seda paremad ekspluatatsioonilised karakteristikud on generaatoril nii üksikult kui ka eriti just teiste generaatoritega paralleelselt töötamisel. Seejuures tuleb aga arvesse võtta, et k_{LS} suurendamine põhjustab ka sünkroonmasina gabariitide ja hinna tõusu.

k_{LS} väärtusel on oluline tähtsus generaatori töötamise stabiilsuse suhtes. Ta peab tagama voolu järsul suurenemisel, sealhulgas ka lühiste puhul staatoriahelas, vajaliku ergutuse forsseerimise ulatuse.

Mida suurem on k_{LS}, s. o. mida väiksem on generaatori sünkroonne reaktiivtakistus X_d, seda väiksemat ergutuse forsseerimise astet vajame, selleks et kindlustada generaatori ja tarbijate rahuldavat töötamist mistahes koormusrežiimil.

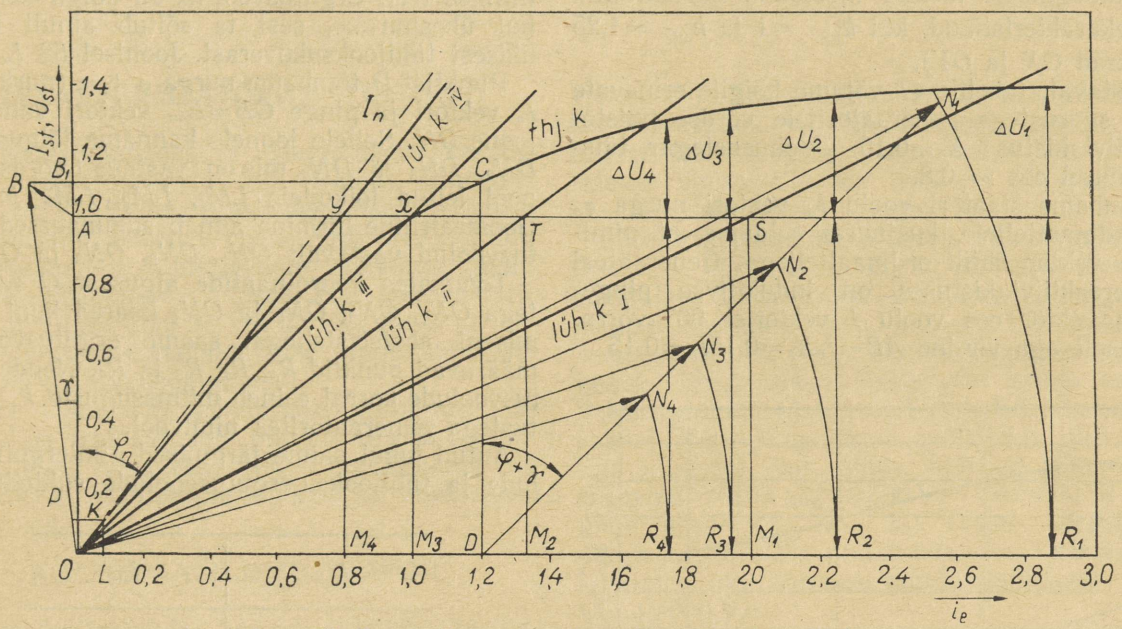
Ehitame elektromotoorsete ja magnetomotoorsete jõudude diagrammi ning jälgime näite varal lühisesuhte k_{LS} muutumise mõju generaatori klemmipinge muutumisele koormuse järsul äralangemisel ning ergutusreostaadi muutumatu asendi puhul [10, 11].

Näide. Leida ergutusvool generaatorite nimikoormusel ning pinge tõus koormuse järsul ära-

Tabel 47

Uraali tehase «Uralelektroapparat» hüdrogeneraatorite reaktiivtakistused ja k_{LS}

Seeria	Reaktiivtakistused			k_{LS}
	X_d	X'_d	X_s	
ВГС-1	1—1,4	0,25—0,4	0,12—0,15	0,71—1
ВГС-2	0,55—0,7	0,2—0,24	0,07—0,09	1,41—1,8
ВГС-3	1,2—1,4	0,25—0,4	0,13—0,16	0,71—0,83
ВГС-4	1—1,6	0,25—0,5	0,12—0,16	0,63—1



Joon. 58. Konstruktsioon ergutusvoolu määramise näitele.

langemisel mitmesuguste lühisesuhetega hüdrogeneraatoritele alates $k_{LS} = 0{,}5$ kuni $k_{LS} = 1{,}25$, vaheväärtustega $k_{LS} = 0{,}75$ ja $k_{LS} = 1{,}0$.

Hüdrogeneraatorite tühijooksukarakteristiku võib võtta tehase andmete alusel või nende puudumisel võib kasutada suhtelistes ühikutes antud normaalset tühijooksukarakteristikut (V. A. Tolvinski [10] järgi) (tabel 48).

Joonisel 58 on näidatud normaalne tühijooksukarakteristik. Samas on toodud ka lühisekarakteristik *OS* $k_{LS} = 0{,}5$ puhul. Abstsisstеljele on kantud ergutusvool, i_e ordinaatteljele

Tabel 48

Hüdrogeneraatorite normaalne tühijooksukarakteristik

i_e	0,5	1	1,5	2
U_0	0,53	1	1,23	1,3

aga staatori vool I_{st} ja pinge U_{st} suhtelistes ühikutes.

Ergutusvoolu $i_{eo} = 1$ puhul on staatori klemmipinge tühijooksul $U = 1$. Võttes arvesse, et $k_{LS} = \frac{i_{eo}}{i_{ek}}$, ja et meie juhul $k_{LS} = 0{,}5$, siis

$$\frac{i_{eo}}{i_{ek}} = 0{,}5 \text{ ehk } i_{ek} = \frac{i_{eo}}{0{,}5} = \frac{1}{0{,}5} = 2.$$

Seega punkt *S*, mille koordinaadid $i_e = 2$ (punkt M_1) ja $I_{st} = 1$, asub lühisekarakteristikul (lüh.-k.), ning et lühisekarakteristik kujutab endast sirget, mis läbib koordinaatide alguspunkti, siis antud k_{LS} määrab täielikult lühisekarakteristiku.

Analoogiliselt võib ehitada lühisekarakteristikud vastavalt $k_{LS} = 0{,}75$; $k_{LS} = 1$ ja $k_{LS} = 1{,}25$ kohta.

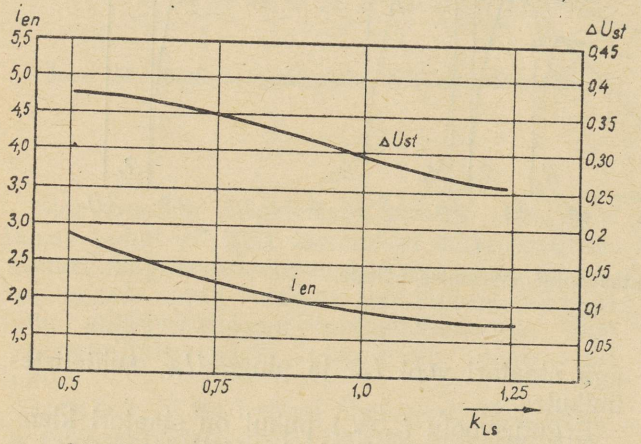
Joonisel 58 toodud koonddiagrammil on kõik neli lühisekarakteristikut: $OS-k_{LS}=0{,}5$; $OT-k_{LS}=0{,}75$; $OX-k_{LS}=1$ ja $OY-k_{LS}=1{,}25$.

Kui $k_{LS}=0{,}75$, siis $\frac{i_{eo}}{i_{ek}}=0{,}75$ ehk $i_{ek}=\frac{1}{0{,}75}=1{,}33$. Abstsissteljele kanname punkti M_2, kusjuures $OM_2=i_{ek}=1{,}33$. Punktist M_2 abstsissteljele tõmmatud ristjoone ja kaugusel $I_{st}=1$ paralleelselt abstsissteljele tõmmatud sirge lõikepunkt T määrab generaatori lühisekarakteristiku.

Analoogiliselt toodud meetodile on ehitatud lühisekarakteristikud, kui $k_{LS}=1$ ja $k_{LS}=1{,}25$ (kõverad OX ja OY).

Vastavalt tabelile 47 võtame kõigile erinevate k_{LS} suurustega generaatoritele võrdse puistereaktiivtakistuse $X_s=0{,}15$. Võimsustegur täiskoormusel $\cos\varphi=0{,}8$.

Tõmbame staatori voolu I_n vektori nurga φ_n all ordinaatteljele, kusjuures eeldame, et nimipinge vektor ühtib ordinaatteljega. Generaatori puistereaktiivtakistuses on induktiivse pingelangu vektor ees voolu I vektorist 90° võrra, suuruselt aga võrdne $AB=I_nX_s=0{,}15I_n=0{,}15$.



Joon. 59. Ergutusvoolu ja pinge tõusu sõltuvus lühisesuhtest koormuse ärajäämisel.

Kui liidame geomeetriliselt vektori $U_n=OA$ vektoriga $AB=I_nX_s$, siis saame vektori OB, mis kujutab endast elektromotoorset jõudu E_{on}. Kanname ordinaatteljele lõigu $OB_1=OB$ ja toome punkti B_1 generaatori tühijooksukarakteristikule. Saame punkti C ja sellele vastava punkti D abstsissteljel, kusjuures lõik OD määrab ergutusvoolu i_{eo}, mis on vajalik elektromotoorse jõu $E_{on}=OB_1=DC$ tekitamiseks.

Edasi kanname ordinaatteljele lõigu $OP=AB=E_s=I_nX_s$. Elektromotoorse jõu E_s tekitamiseks vajaliku ergutusvoolu leiame tühijooksukarakteristikult $i_{es}=OL$.

Lõikudest OM_1, OM_2, OM_3 ja OM_4, mis kujutavad endast lühisekarakteristikutest staatori nimivoolule nelja k_{LS} variandi kohta leitud ergutusvoolusid, tuleb lahutada saadud lõik $i_{es}=OL$. Nii saadud lõigud LM_1, LM_2, LM_3 ja LM_4 määravad vastavad ankrureaktsiooni magneetimisergutused generaatorite ergutusvoolu (i_{ea}) mõõtkavas.

Summaarsed ergutusvoolud mitmesuguste k_{LS} väärtustega generaatorite nimikoormusel leitakse ergutusvoolude i_{eo} ja i_{ea} geomeetrilise liitmise teel. Ergutusvool i_{eo} on kõigil neljal juhul ühesuurune, sest ta sõltub ainult kõigile ühisest tühijooksukõverast. Joonisel 58 $i_{eo}=OD$.

Punktist D tõmbame nurga $\varphi+\gamma$ (nurk voolu I_n vektori ja pinge $OB=E_{on}$ vektori vahel) all joone DN. Sellele joonele kanname lõigud DN_1, DN_2, DN_3 ja DN_4, mis on vastavalt võrdsed eelpool leitud lõikudele LM_1, LM_2, LM_3 *ja* LM_4. Geomeetriline liitmine annab summaarsed ergutusvoolud vastavalt ON_1, ON_2, ON_3 ja ON_4.

Tõmmates koordinaatide algusest O raadiustega ON_1, ON_2, ON_3 ja ON_4 kaared kuni lõikumiseni abstsissteljega, saame ergutusvoolusid määravad punktid R_1, R_2, R_3 ja R_4. Nende ergutusvoolude korral esineb mitmesuguste k_{LS} väärtustega generaatorites nimivool.

Antud juhul saime järgmised nimiergutusvoolude ja tühijooksu-ergutusvoolude suhted:

k_{LS}	i_{en}
0,5	2,88
0,75	2,24
1,0	1,94
1,25	1,75

Et määrata pinge tõusu staatori klemmidel koormuse äralangemisel, tuleb punktidest R_1, R_2, R_3 ja R_4 tõmmata ristjooned abstsissteljele. Lõigud $\triangle U_1$, $\triangle U_2$, $\triangle U_3$ ja $\triangle U_4$ kujutavad neid suurusi, mis meie näites on järgmised:

k_{LS}	ΔU
0,5	0,38
0,75	0,34
1,0	0,32
1,25	0,27

Joonisel 59 on toodud nimiergutusvoolu ja generaatori klemmipinge tõusu sõltuvus lühisesuhtest vaadeldava näite kohta.

NELJAS PEATÜKK

JÕUTRANSFORMAATORID

TRANSFORMAATORITE TÜÜBID

Maaelektrijaamades ja -alajaamades kasutatavad transformaatorid (lüh. trafod) valmistatakse NSV Liidu Elektrotehnilise Tööstuse Ministeeriumi tehaste poolt ning NSV Liidu Põllumajanduse Ministeeriumi ettevõtete poolt.

Maaelektrijaamades tõstetakse generaatoripinge tavaliselt kuni 10 või 35 kV. Vahe- ja tarbija-alajaamades madaldatakse pinge kuni tarbijate ekspluatatsioonipingeni.

Pinge tõstmiseks kasutatakse eranditult kolmefaasilisi trafosid; mis puutub aga pingetmadaldavatesse trafodesse, siis kolmefaasiliste trafode kõrval kasutatakse edukalt ka ühefaasilisi jõutrafosid.

KOLMEFAASILISED TRAFOD

Maaelektrijaamades ja -alajaamades kasutatavad kahemähiselised kolmefaasilised jõutrafod on varustatud loomuliku õlijahutusega. Nad on ette nähtud kasutamiseks nii kinnistes ruumides kui ka vabas õhus.

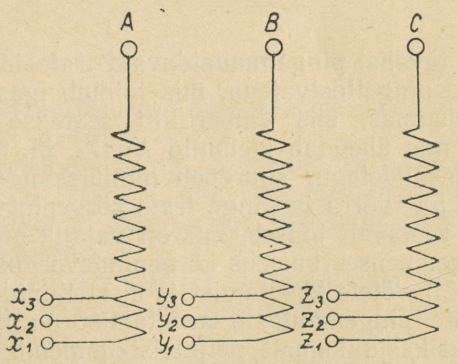
Trafode paagid valmistatakse lehtterasest keevitamise teel; pealtvaates on nad ovaalse kujuga.

Trafodel võimsusega 100—3200 kVA ja trafodel tüüp TM-50/6 on paakide seintesse keevitatud terastorud. Nende torude tõttu suureneb trafoõli jahutuspind. Väljaviigud (läbiviiguisolaatorid) asuvad trafodel võimsusega 10—50 kVA pingele 6 kV paagi külgseintel; kõikidel teistel juhtudel aga kaanel, kuhu on paigutatud ka õli sissevalamiseks, kuivatamiseks ja puhastamiseks vajalik armatuur. Kaas valmistatakse lehtterasest, ta kinnitatakse paagile poltide abil, kasutades õlikindlast kummist tihendust.

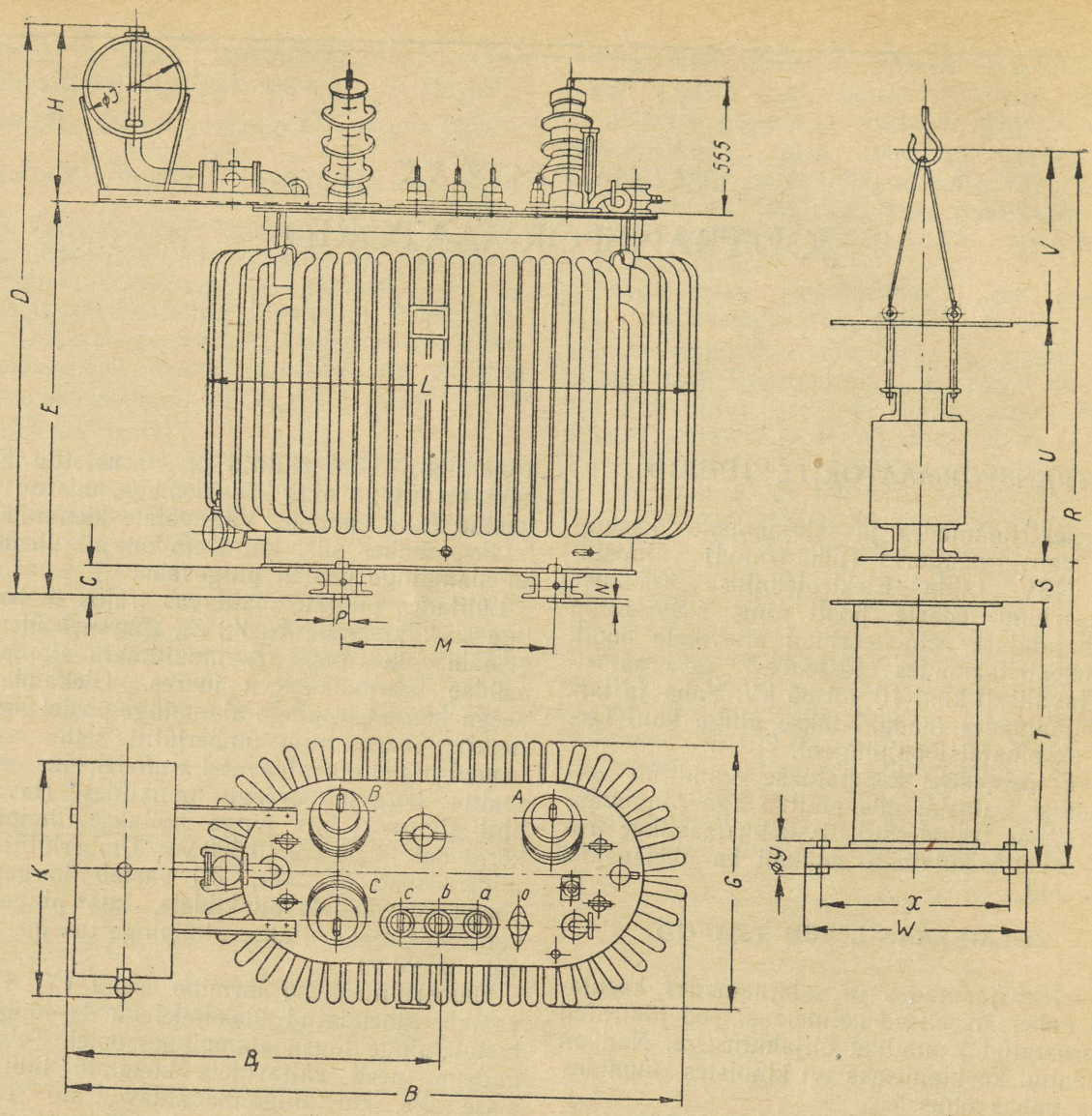
Kõikide jõutrafode ülempingemähistel on nullpunkti poolelt kaks täiendavat väljavõtet, mis võimaldavad muuta nimiülekandetegurit ±5% võrra. Igast faasist on ümberlülitisse toodud kolm haru — X_1, X_2, X_3, Y_1, Y_2, Y_3 ja Z_1, Z_2, Z_3 (joon. 60). Ümberlülitid on varustatud kolme kontaktvardaga ning käepidemega, mis on välja toodud trafo kaanele. Väljavõtete klemmid lülitatakse ümber siis, kui trafo on nii ülem- kui ka alampinge poolelt pingevaba.

Lülitades pingetmadaldavas trafos ümberlülitiga sisse klemmid X_1, Y_1, Z_1, suureneb ülempingemähise keerdude arv muutumatu alampingemähise keerdude arvu juures. Ülekandetegur seega suureneb, pinge alampinge-poolel aga väheneb. Seega asub ümberlüliti selles asendis nendel pingetmadaldavatel trafodel, mis on üles seatud kõrgepingevõrgu punktides (tavaliselt liini alguses), kus pinge hoitakse nimipingest kõrgemal (6300 või 10 500 V). Ümberlüliti keskmine asend (X_2, Y_2, Z_2) vastab kõrgepingevõrgu keskmistele punktidele, kus pinge tippkoormuse ajal hoitakse nimipinge tasemel (6000 või 10 000 V).

Ümberlüliti teine äärmine asend (X_3, Y_3, Z_3) vastab vähendatud ülekandetegurile ning põhjustab pinge tõusu alampinge-poolel. Teiste sõnadega, need väljavõtete klemmid lülitatakse sisse siis, kui pingetmadaldav trafo seatakse üles kõrgepingevõrgu neis punktides (tavaliselt liini lõpus), kus tippkoormuse ajal pinge on madalam (5700 või 9500 V).



Joon. 60. Kolmefaasilise trafo skeem lisaväljavõtetega nullpunkti poolelt.

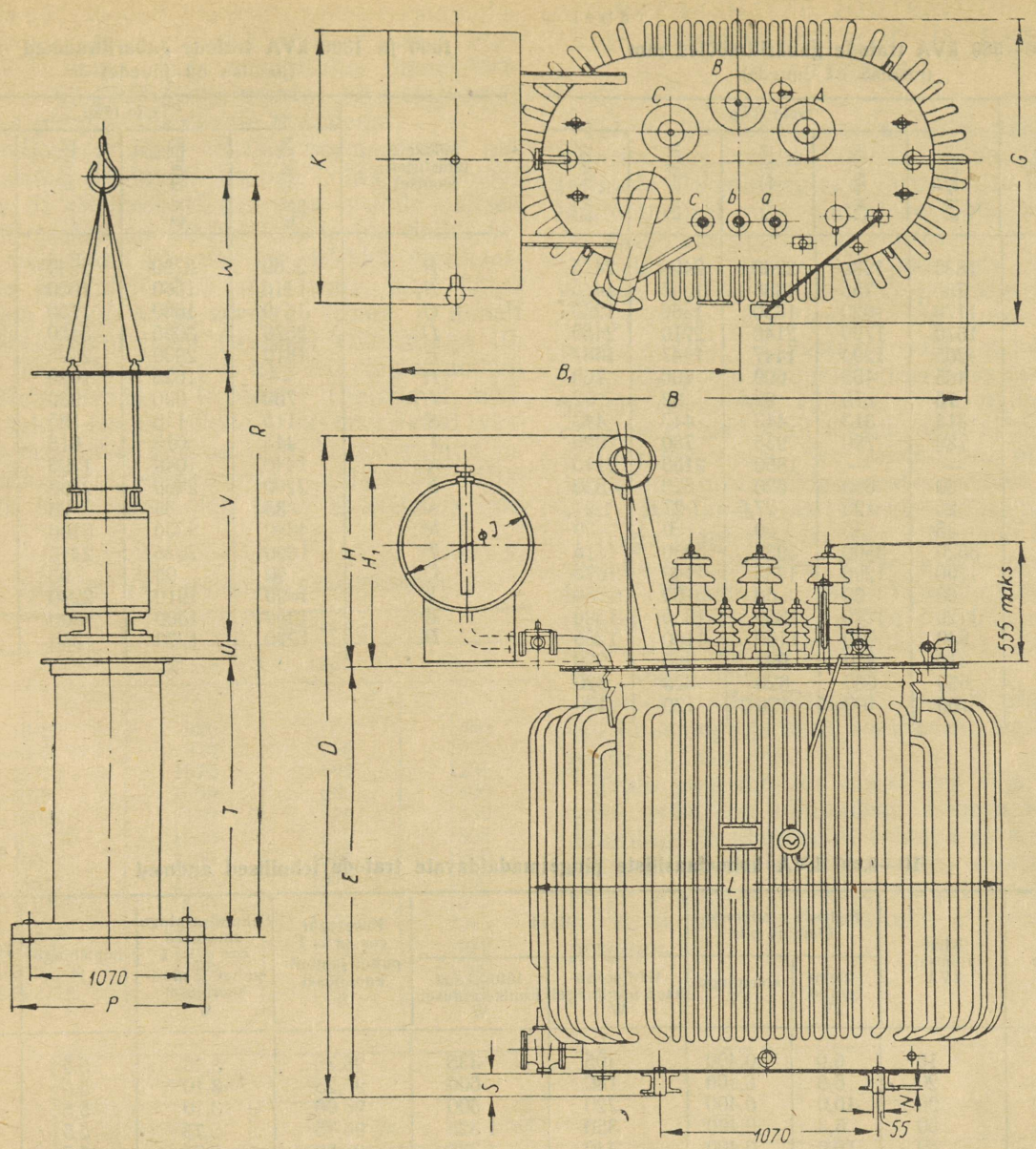


Joon. 61. 320—560 kVA trafo gabariitmõõdetega skits.

Kui tavalisi pingetmadaldavaid trafosid kasutatakse pingettõstvatena, mis toimub igas maaelektrijaamas, siis ümberlüliti seatakse asendisse, mis ühendab klemmid X_1, Y_1, Z_1. Sel juhul ülekandetegur suureneb nimiülekandeteguri suhtes 5% võrra ja pinge trafo kõrgepingeklemmidel vastavalt tõuseb, mis on vajalik pingekadude kompenseerimiseks kõrgepingevõrgus. Trafode väljavõtete kasutamist ja elektriliinide ning tarbijate pingemuutuste arvutamist on käsitletud üksikasjalikumalt neljateistkümnendas peatükis.

Kolmefaasilised jõutrafod võimsusega kuni 50 kVA pingele 6 kV (kaasa arvatud) valmistatakse õlipaisunõuta, kõigil ülejäänud trafodel on aga spetsiaalne õlipaisunõu (konservaator). Õlitaseme kontrollimiseks on õlipaisunõu külgseinale monteeritud õliseisunäitaja. Õlipaisunõuta trafodel asetatakse õliseisunäitaja trafo paagi seinale. Õlipaisunõu (joon. 61) asub alati trafo vasemal pool (kui vaadata temale alampinge-väljaviikude poolt). Erandi moodustab vaid trafo võimsusega 100 kVA pingele 35 kV, kus õlipaisunõu on asetatud kaane laia külje suunas, alampinge-väljaviikude poolel.

Õlipaisunõu ühendatakse trafo paagiga ven-



Joon. 62. 1000 ja 1800 kVA võimsusega ja 10 ja 35 kV pingega trafode gabariitmõõdetega skits.

tiiliga varustatud toru abil, sest mõnel juhul (trafodel võimsusega 560 kVA ja rohkem) on torusse monteeritud gaasrelee.

Trafod võimsusega kuni 50 kVA (kaasa arvatud) ei oma ümberpaigutamiseks rattaid. Kõik võimsamad trafod aga varustatakse transportratastega ümberpaigutamiseks lähedase maa peale alajaama või jaotusseadme piirides.

Rattaid võib asetada piki- või põikiasendisse trafo peatelje suhtes. See võimaldab muuta trafo ümberpaigutamise suunda kambris.

Trafode tõstmiseks keevitatakse paakide seinte külge konksud.

Joonistel 61 ja 62 on toodud kolmefaasiliste jõutrafode skitsid gabariitmõõdetega kõikide tüüpide kohta, võimsusega 320 kuni 1800 kVA kaasa arvatud.

Samadel joonistel on näidatud trafo väljavõetava osa paagist väljatõstmiseks vajalikud gabariitmõõted.

Gabariitmõõted jooniste 61 ja 62 kohta on antud tabelites 49 ja 50.

Tabel 49

320—560 kVA trafode gabariitmõõted mm
(joonise 61 juurde)

Mõõdete tähistused joonisel	Trafo tüüp				
	TM-320/6	TM-320/10	TM-320/35	TM-560/10	TM-560/35
B	1830	1680	2260	2420	2475
B_1	755	755	1335	1345	1415
G	1170	1020	1350	1360	1240
D	1670	1760	2140	2210	2450
E	1205	1295	1447	1447	1687
H	465	465	690	760	760
C	75	75	92,5	92,5	92,5
J	313	313	443	443	443
K	780	780	955	780	955
L	—	—	1850	2150	2115
M	660	660	820	820	820
N	25	25	27,5	27,5	27,5
P	35	35	50	50	50
R	3320	3500	3935	3950	4515
T	1200	1290	1435	1440	1675
S	60	60	50	60	50
U	1120	1210	1350	1350	1590
V	940	940	1100	1100	1200
W	810	810	990	990	990
X	660	660	820	820	820
Y	100	100	120	120	120

Tabel 50

1000 ja 1800 kVA trafode gabariitmõõted mm
(joonise 62 juurde)

Mõõdete tähistused joonisel	Trafo tüüp			
	TM-1000/10	TM-1000/35	TM-1800/10	TM-1800/35
B	2560	2790	2940	2940
B_1	1415	1560	1650	1650
G	1640	1680	1750	1750
D	2570	3055	3450	3450
E	1810	2030	2425	2425
H	—	1025	1025	1025
H_1	760	930	930	930
S	115	115	125	125
J	443	613	613	613
K	1440	1040	1295	1295
L	2290	2460	2580	2580
N	35	35	25	25
R	4880	5330	6100	6100
T	1800	2025	2415	2415
U	90	95	95	95
V	1690	1910	2290	2290
W	1300	1300	1300	1300
P	1270	1270	1360	1360

Tabel 51

10—3200 kVA kolmefaasiliste pingetmadaldavate trafode tehnilised andmed

Trafo tüüp	Nimivõimsus kVA	Mähiste nimipinge ülemine piir		Kaod		Kasutegur cos φ = 1 puhul ja nimikoormusel %	Sekundaarpinge muutused cos φ = 1 puhul ja nimikoormusel %	Lühispinge %	Tühijooksuvool %
		ülempinge kV	alampinge kV	tühijooksukaod nimipingel W	lühisekaod nimikoormusel W				
TM-10/6	10	6,0	0,400	105	335	95,79	3,45	5,5	10,0
TM-20/6	20	6,0	0,400	180	600	96,25	3,10	5,5	9,0
TM-20/10	20	10,0	0,400	220	600	96,06	3,10	5,5	10,0
TM-50/6	50	6,3	0,400	350	1 325	96,75	2,75	5,5	7,0
TM-50/10	50	10,0	0,400	440	1 325	96,59	2,75	5,5	8,0
TM-100/6	100	6,3	0,525	600	2 400	97,09	2,50	5,5	6,5
TM-100/10	100	10,0	0,525	730	2 400	96,96	2,50	5,5	7,5
TM-100/35	100	35,0	0,525	900	2 400	96,81	2,60	6,5	8,0
TM-180/6	180	6,3	0,525	1 000	4 000	97,30	2,35	5,5	6,0
TM-180/10	180	10,0	0,525	1 200	4 100	97,14	2,40	5,5	7,0
TM-180/35	180	35,0	0,400	1 500	4 100	96,97	2,45	6,5	8,0
TM-320/6	320	6,3	0,525	1 600	6 070	97,66	2,05	5,5	6,0
TM-320/10	320	10,0	0,525	1 900	6 200	97,54	2,05	5,5	7,0
TM-320/35	320	35,0	6,300	2 300	6 200	97,41	2,15	6,5	7,5
TM-560/10	560	10,0	0,525	2 500	9 400	97,87	1,80	5,5	6,0
TM-560/10	560	10,0	6,300	3 350	9 400	97,77	1,80	5,5	6,5
TM-560/35	560	35,0	10,500	3 350	9 400	97,77	1,85	6,5	6,5
TM-750/10	750	10,0	0,525	4 100	11 900	97,91	1,73	5,5	6,0
TM-1000/10	1 000	10,0	6,3	4 900	15 000	98,05	1,64	5,5	5,0
TM-1000/35	1 000	35,0	10,5	5 100	15 000	98,03	1,70	6,5	5,5
TM-1800/10	1 800	10,0	6,3	8 000	24 000	98,25	1,47	5,5	4,5
TM-1800/35	1 800	35,0	10,5	8 300	24 000	98,24	1,53	6,5	5,0
TM-3200/10	3 200	10,0	6,3	11 000	37 000	98,52	1,30	5,5	4,0
TM-3200/35	3 200	38,5	10,5	11 500	37 000	98,51	1,40	7,0	4,5

Ülal olid toodud montaažjoonised suurendatud võimsusega (kuni 1800 kVA üksuse kohta) jõutrafode kohta, mida kasutatakse maaelektrijaamades pingettõstvate, suurtes maa-alajaamades aga pingetmadaldavate trafodena.

Tehnilised andmed tehaste normaalsesse nomenklatuuri kuuluvate trafode kohta on toodud tabelis 51. Väikese võimsusega trafode välised gabariitmõõted on toodud tabelis 52. Selles tabelis mõeldakse kõrguse all mõõdet vertikaalsuunas põrandalt, kus asub trafo, kuni kõige kõrgema detaili kõige kõrgema tipuni, ja nimelt elavhõbetermomeetrini (trafodel võimsusega 10, 20 ja 50 kVA pingele 6 kV) või õlipaisunõuni (kõikidel ülejäänud trafodel). Ülejäänud mõõdete puhul (laius, pikkus) on arvestatud vastavaid maksimaalseid mõõteid, kaasa arvatud jahutajate torud, õlipaisunõud, külgmiste väljaviikude kattekestad (kui need on olemas) jms.

Tabel 52

Kuni 320 kVA jõutrafode gabariitmõõted

Trafo tüüp	Mõõted mm		
	pikkus	laius	kõrgus
TM-10/6	920	780	1085
TM-20/6	920	780	1085
TM-20/10	1070	600	1255
TM-50/6	1060	800	1490
TM-100/6	1170	820	1480
TM-100/10	1300	870	1555
TM-100/35	1400	1085	1800
TM-180/6	1620	1010	1490
TM-180/10	1550	880	1670
TM-180/35	2310	1020	2065
TM-320/6	1830	1170	1670
TM-320/10	1680	1020	1760
TM-320/35	2260	1350	2140

KOLMEFAASILISTE JÕUTRAFODE PÕHILISED KARAKTERISTIKUD JA ÜHENDUSSKEEMID

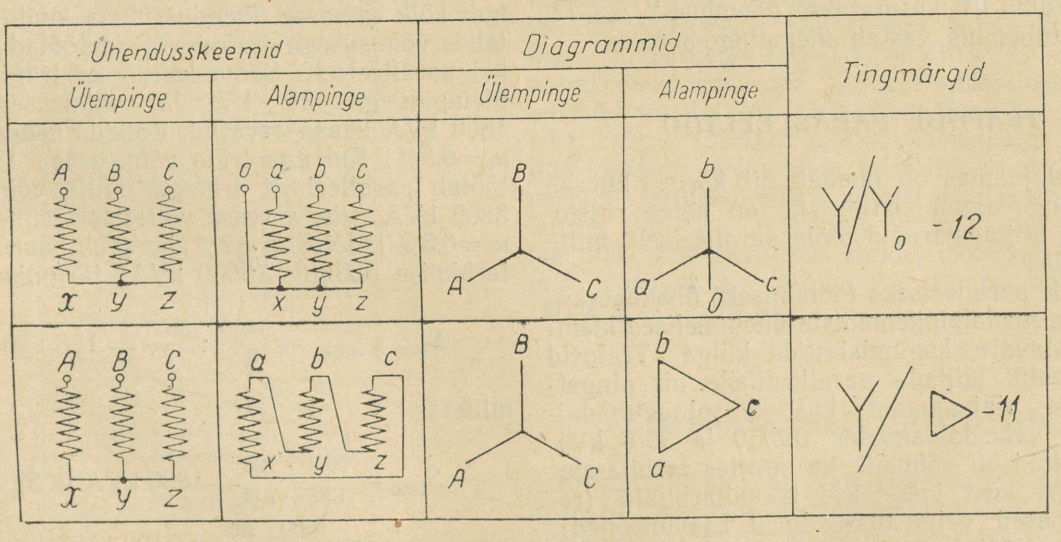
Tabelis 51 toodud energeetilistel näitajatel ja teguritel on oluline tähtsus põllumajanduslike tarbijate elektrienergiaga varustamise küsimuste läbitöötamisel ning jõutrafode tööle rakendamisel ekspluatatsiooni tingimustes.

Üheks tähtsamaks näitajaks, mis on vajalik näiteks trafode paralleeltöö projekteerimisel ja lühisvoolude arvutamisel, on trafo lühispinge (u_k). Lühistame läbi ampermeetrite trafo ühe poole klemmid, kuna teise poole klemmidele rakendame väikese pinge, mida reguleerime seni, kuni vool ulatub lühistatud mähistes trafo nimivooluni. See rakendatud pinge, väljendatuna protsentides vastava poole nimipingest, kujutabki endast trafo lühispinget (u_k).

Seega pinge tasakaalustub täielikult trafo sisetakistusel. Lülitades katse ajaks primaarahelasse (lühistamata mähis) ampermeetri, voltmeetri ja vattmeetri, võime määrata mitte üksi u_k, vaid ka lühispinge aktiivse (u_a) ja reaktiivse (u_r) komponendi.

Teiseks trafo näitajaks, mis on tihedalt seotud lühispinge ja tema komponentidega, on pingemuutus ΔU.

Trafo pingemuutus antud cos φ ja nimikoormuse puhul on tühijooksul esineva nimisekundaarpinge ja nimivoolul esineva sekundaarpinge aritmeetiline vahe, väljendatuna nimisekundaarpinge protsentides. Seejuures primaarpinge jääb mõlemal juhul muutumatuks ja võrdub nimipingega.



Joon. 63. Kolmefaasiliste trafode mähiste ühendusskeemid.

Pingemuutus ΔU määratakse valemiga:

$$\Delta U = u_a \cos\varphi_2 + u_r \sin\varphi_2 + \frac{1}{200}(u_a \sin\varphi_2 + u_r \cdot \cos\varphi_2)^2.$$

Võimsuskaod trafos koosnevad tühijooksukadudest P_o (rauaskaod) ja lühisekadudest P_k (vaseskaod).

Trafo kasutegur protsentides cos $\varphi = 1$ ja nimikoormuse puhul määratakse valemiga:

$$\eta = \left(1 - \frac{P_o + P_k}{S + P_o + P_k}\right) \cdot 100,$$

kus: S — trafo nimivõimsus kVA.

Kui koormus erineb nimikoormusest ja cos φ on alla ühe, siis määratakse kasutegur järgmise valemiga:

$$\eta = \left(1 - \frac{P_k x^2 + P_o}{S\cos\varphi_2 + P_k x^2 + P_o}\right) \cdot 100,$$

kus: x — trafo koormustegur, s. o. trafo tegeliku koormuse ja nimikoormuse suhe.

Trafo võimsuskadude määramise metoodika koormusgraafikute konstrueerimisel ning agregaatide võimsuse valikul on kirjeldatud teises peatükis.

Joonisel 63 on toodud mähiste normaalsed ühendusskeemid, vektordiagrammid ja mähiste ühenduste tingmärgid kodumaistes tehastes toodetavate kolmefaasiliste kahemähiseliste jõutrafode kohta.

Ühendust skeemi Y/Y$_o$—12 järgi kasutatakse kõigis trafodes, kus alampinge-poolel on ette nähtud pinge 400/230 V väljatoodud ja maandatud nullpunktiga.

Kõigil teistel juhtudel, näiteks trafodes 6/10, 6/35 ja 10/35 kV, kasutatakse ühendust Y/△—11, kus tähtühendus vastab ülempinge-poolele.

TRAFODE PARALLEELTÖÖ

Kui alajaamas on olemas nii kõrge- kui ka madalpinge-kogumislatid, siis on kõige ratsionaalsem lülitada trafod tööle paralleelselt, mitte aga lahus.

Trafode paralleelseks töötamiseks ühendatakse kõrge- ja madalpingemähiste ühenimelised klemmid vastavate kogumislattide külge. Trafosid on võimalik lülitada paralleeltööle nii pingetõstvates alajaamades kui ka pingetmadaldavates vahealajaamades (35/10 ja 35/6 kV). Paralleeltöö on võimalik ka suurtes tarbija-alajaamades, kust toidetakse koondtarbijaid (remonditehased, valgustusseadmed, kasvuhooned).

Paralleeltööl peab koormus automaatselt jagunema trafode vahel vastavalt nende nimivõimsusele.

Mitte kõik trafod ei sobi paralleeltööks, sest selleks nõutakse rea tingimuste täitmist.

Kõigepealt on vaja, et trafode primaarmähiste ja sekundaarmähiste nimipinged oleksid vastavalt omavahel võrdsed. Siit järgneb, et ka ülekandetegurid peavad olema ühesuurused. Kui see tingimus ei ole täidetud, siis paralleelselt töötavate trafode vahel tekib tasandusvool, mis koormab nende mähiseid. Kui ülekandetegurite erinevus on 1%, siis tekib paralleelselt ühendatud trafode vahel (võrdsete lühispingete u_k puhul) tasandusvool, mille väärtus ulatub 9%-ni trafo nimivoolust.

Paralleelselt töötavad trafod peavad kuuluma ka ühesugusesse mähiste ühendusrühma. Kui paralleelselt töötava trafo mähised on ühendatud Y/Y$_o$—12 skeemi järgi, teise mähised aga Y/△—11 skeemi järgi, siis sekundaarliinipingete vektorid osutuvad üksteise suhtes pööratuiks 30° võrra. See põhjustab tasandusvoolu tekkimise, mille suurus on mitmekordselt suurem trafo nimivoolust. Sellest järeldub, et erinevatesse ühendusrühmadesse kuuluvate trafode paralleeltöö ei ole mingil juhul lubatav.

Koormuse jaotusele paralleelselt töötavate trafode vahel avaldab mõju ka lühispinge u_k. Kui trafode võimsused on võrdsed, kuid lühispinged erinevad, siis jaguneb koormus paralleeltööl pöördvõrdeliselt nende lühispingetele. Juhul kui paralleeltööle ühendatakse erineva võimsusega trafod, jaguneb koormus nende vahel võrdeliselt nende võimsustele ja pöördvõrdeliselt lühispingetele.

Nagu näha tabelist 51, on kõikidel trafodel ülempingega 6 ja 10 kV u_k võrdne 5,5%. Järelikult kõik samasse ühendusrühma kuuluvad mistahes võimsusega trafod võivad töötada omavahel paralleelselt. Sama kehtib ka trafode kohta ülempingega 35 kV ja võimsusega kuni 1800 kVA kaasa arvatud. Kõikide nende trafode $u_k = 6{,}5\%$. Kui aga trafo võimsusega 1800 kVA töötab paralleelselt trafoga, mille võimsus on 3200 kVA, siis, arvesse võttes, et esimese trafo $u_k = 6{,}5\%$ ja teise $u_k = 7\%$, jaguneb koormus täistarbimise režiimis (5000 kVA) järgmiselt:

$$S_{1800} : S_{3200} = \frac{1800}{6{,}5} : \frac{3200}{7} = 126 : 208,$$

millest

$$S_{1800} = \frac{5000 \cdot 126}{126 + 208} = 1880 \text{ kVA ja } S_{3200} = \frac{5000 \cdot 208}{126 + 208} = 3120 \text{ kVA}.$$

Näeme, et trafo võimsusega 1800 kVA koormatakse veidi üle, samal ajal kui trafo võimsusega 3200 kVA on veidi alakoormatud. ГОСТ 401-41 määrab kindlaks, et paralleelseks töötamiseks määratud trafode lühispinged ei tohi erineda nende lühispingete aritmeetilisest keskmisest mitte üle ±10%.

Kontrollime, missugusel määral erinevad nende aritmeetilisest keskmisest 1800 ja 3200 kVA-ste trafode lühispingete väärtused.

Lühispingete aritmeetiline keskmine on

$$\frac{6{,}5 + 7}{2} = 6{,}75.$$

Kõrvalekaldumine on ±0,25, ehk

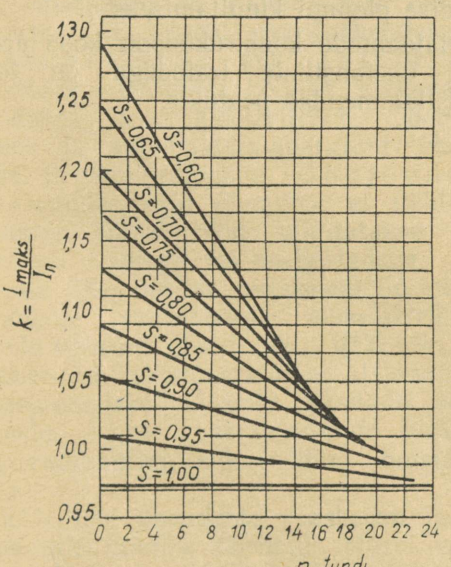
$$\frac{0{,}25 \cdot 100}{6{,}75} = 3{,}7\,\%.$$

See suurus on väiksem kui 10% ja seega mainitud trafode paralleelselt töötamine on lubatav.

Enne kui lülitada trafo pärast remonti (mispuhul ta lahti võeti) kogumislattidega, tuleb kontrollida faaside õiget järjestust vastavalt juhenditele, mis on antud allpool generaatorite faasijärjestuse küsimuse vaatlemisel (vt. kuues peatükk).

TRAFODE ÜLEKOORMATAVUS

Loomuliku õlijahutusega jõutrafode valikul ja ekspluateerimisel tuleb arvesse võtta, et trafosid võib üle koormata. Lubatav ülekoormus



Joon. 63 a. Trafode koormatavuse diagramm.

ning selle kestus määratakse sõltuvalt koormusgraafikust, tippkoormuse kestusest ja ümbritseva õhu temperatuurist.

Trafo võimsuse täieliku ärakasutamise eesmärgil võib tema nimivõimsuse valida veidi väiksema tippkoormuse ajal esinevast võimsusest, kusjuures otsustav osa on tippkoormuse kestusel ja koormusgraafikute täiteguril.

Joonisel 63 a on toodud trafode koormatavuse diagramm Moskva Transformaatoritehase andmeil. Selle diagrammi alusel võib määrata lubatava maksimaalse koormuse ja trafo nimikoormuse suhte sõltuvalt ööpäeva koormusgraafiku täitegurist s ja tippkoormuse kestusest n koormusgraafiku järgi (tundides). Võttes arvesse, et elektrijaamade ja alajaamade koormusgraafikud koostatakse kilovattides, võib küllaldase täpsusega võrdsustada vooludena avaldatud koormuste suhte võimsustena avaldatud koormuste suhtega.

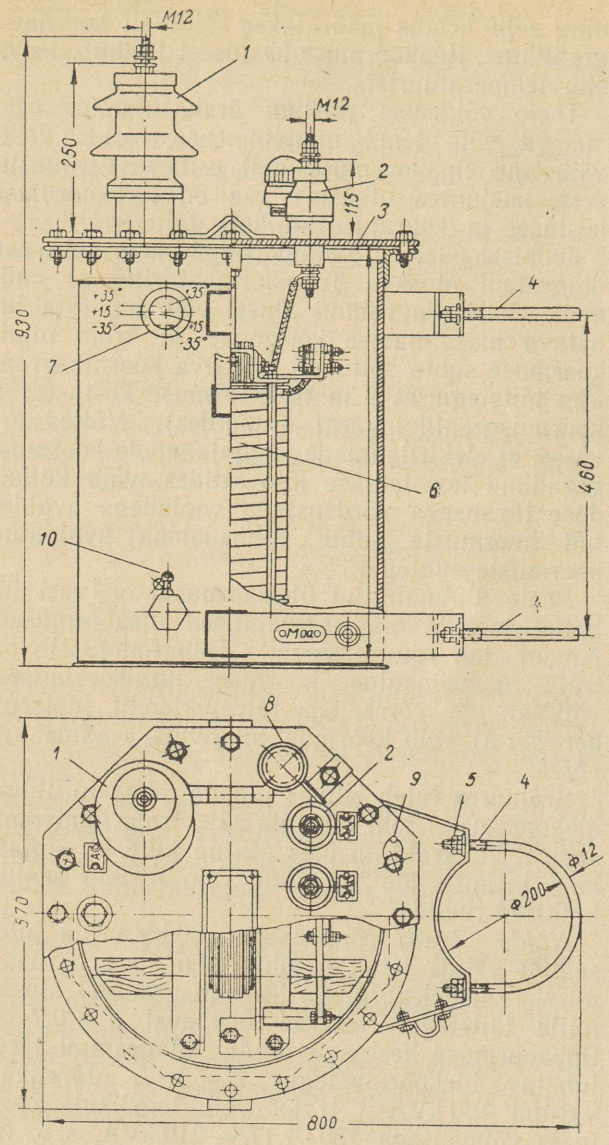
Peale ülalmainitud ülekoormuste on veel lubatud trafode nn. aastaajalised ülekoormused. Nimelt kui suveperioodil (juuni-august) on trafo maksimaalne koormus nimikoormusest väiksem $p\%$ võrra, siis talveperioodil (detsember-märts) võib koormust suurendada sama $p\%$ võrra.

Seejuures tuleb silmas pidada, et trafo üldine ülekoormus ei tohi olla üle 30% trafo nimivõimsusest, kui trafo on üles seatud lahtises alajaamas, ja mitte üle 20%, kui trafo on üles seatud kinnises ruumis.

Näide. Trafo võimsusega 180 kVA on üles seatud väljas ja ette nähtud tarbijate varustamiseks elektrienergiaga koormusgraafiku alusel, mille täitetegur talvisel ööpäeval $s = 0{,}7$ ja tippkoormuse kestus 3 tundi. Diagrammi järgi lubatav ülekoormustegur $k = 1{,}17$. Järelikult valitud 180 kVA-st trafot võib tegelikult koormata võimsusega $180 \cdot 1{,}17 = 210$ kVA, s. o. lubatud ülekoormus on 17%. Oletame edasi, et suvistel kuudel see trafo on vähem koormatud 10% võrra (maksimaalsest võimsusest). Toodud asjaolu võimaldab talvistel kuudel koormata trafot täiendavalt võimsusega samas suhtelises suuruses, s. o. 10% võrra. Üldine lubatav ülekoormus talvistel kuudel moodustab 27%, mis absoluutse suurusena annab koormuse $180 \times 1{,}27 = 228$ kVA.

ÜHEFAASILISED JÕUTRAFOD

Kolme-ühefaasilise elektrienergia ülekandmise ja jaotamise segasüsteemi puhul seatakse üksiku posti kujul ehitatud mastalajaamadesse üles ühefaasilised jõutrafod.



Joon. 64. Ühefaasiline õlitrafo.

Joonisel 64 on toodud 3 ja 5 kVA OMC-3/10 ja OMC-5/10 tüüpi ühefaasiliste jõutrafode gabariitmõõted. Neid trafosid toodetakse Moskva Transformaatoritehases vastavalt ВИЭСХ tehnilistele tingimustele [12]. Kõrgepinge-poolelt ühendatakse trafod 10 kV võrku, madalpinge-poolelt — 2 × 230 V võrku.

Kõrgepingemähisel on väljavõtted ± 5% ulatuses, kusjuures reguleerimiskontaktide ümberlülitamine toimub kaane all. Ümberlülitamise ajal peab trafo olema võrgust välja lülitatud.

Kasutades segasüsteemi neis kõrgepingevõrkudes, kus üheks faasijuhtmeks on maa, monteeritakse trafo kaanele vaid üks isolaator *1*, kuna teise läbiviiguisolaatori asemel on klemm teise mähiseotsa ühendamiseks maandusjuhtme külge.

Madalpinge-poolel nähakse ette neli väljaviiku *2*, et oleks võimalik ühendada madalpingemähiseid nii paralleelselt kui ka järjestikku, ilma trafo kaane *3* tõstmise vajaduseta.

Ülekandeliini posti külge kinnitamiseks on trafo varustatud klambritega *4* ja mutritega *5*.

3 kVA trafo väljavõetav osa *6* kaalub 80 kg, kuna 5 kVA trafo oma — 90 kg. Õli kaal on vastavalt 65 ja 62 kg. Trafo üldine kaal on 193 ja 200 kg.

Gabariitmõõdete poolest on mõlemad trafod ühesugused.

Õliseisu kontrollimiseks paagis on ette nähtud õliseisunäitaja *7*, millele on tehtud märgid vastavalt õliseisule temperatuuril +35°, +15° ja —35°.

Seade on varustatud liigpingekaitsega *8*. Üks kaane poltidest *9*, samuti väljalaskeava *10*, omavad seadise plommi kinnitamiseks.

Mastalajaamade konstruktsioon koos nendele asetatud ühefaasiliste trafodega on toodud kolmeteistkümnendas peatükis.

VIIES PEATÜKK

MAAELEKTRIJAAMADE ÜHENDUSSKEEMID

ÜLDANDMED

Elektriliste ühenduste skeem on maaelektrijaama projekti üks tähtsamaid elemente. Põhielementide õnnestunud valik ja õige skeemi koostamine määravad jaama enda ratsionaalse ekspluatatsiooni ning tarbijate katkestamatu varustamise elektrienergiaga.

Elektrijaama ühendusskeemi koostamisele eelnevad: elektrifitseeritava rajooni määramine, elektrienergia tarbijate väljaselgitamine, koormuste kokkuvõtmine, ööpäeva ja aasta koormusgraafikute koostamine, elektrijaama agregaatide arvu ja võimsuse valik. Samuti tuleb esialgselt lahendada küsimused, mis on seotud aluseksvõetud elektrienergiaga varustamise skeemiga, pingete valikuga, jaamast väljuvate kõrgepingeliinide arvu ja trassiga, projekteeritava jaama ühendamisega koos töötamiseks teiste kohalike elektrijaamade või võimsa energiasüsteemiga.

Terve elektrijaama jaoks koostatakse nn. peaskeemid kas ühejoonelistena või mitmejoonelistena. Neil skeemidel kujutatakse kõik masinad, aparaadid ja riistad, mis on lülitatud primaar- või sekundaarvooluahelatesse. Mitmejoonelistes ehk täielikes peaskeemides näidatakse kõikide sekundaarahelate ühendused, s. o. mõõteriistade ühendusviisid, releede ja automaatika-aparatuuri ühendamine pinge- ja voolutrafodega. Ühejoonelistes peaskeemides neid ühendusi ei näidata, kuid vajaduse korral neid selgitatakse leppeliste joontega, nooltega või pealkirjadega.

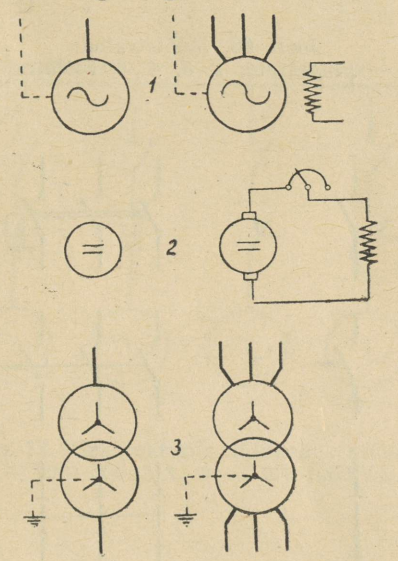
Peale ühejoonelise peaskeemi on otstarbekas enamikule suurematele maaelektrijaamadele, millede võimsus ületab 800—1000 kW, koostada primaar- ja sekundaarkommutatsiooni täielikud mitmejoonelised skeemid üksikute seadmeelementide, nagu generaator-trafo bloki, kõrgepinge-radiaalliini, sidestusliini, omatarbe jne. kohta.

Elektriliste ühenduste peaskeemi ja üksikute elementide täielike skeemide alusel võib koostada elektrijaama üksikute elementide montaažiskeemid.

MASINATE, RIISTADE JA APARAATIDE TINGMÄRGID

Et oleks kergem koostada ja kasutada ühe- ja mitmejoonelisi elektrilisi skeeme, soovitatakse kasutada praktikas laialdaselt levinud tingmärke, mis on näidatud joonistel 65—72.

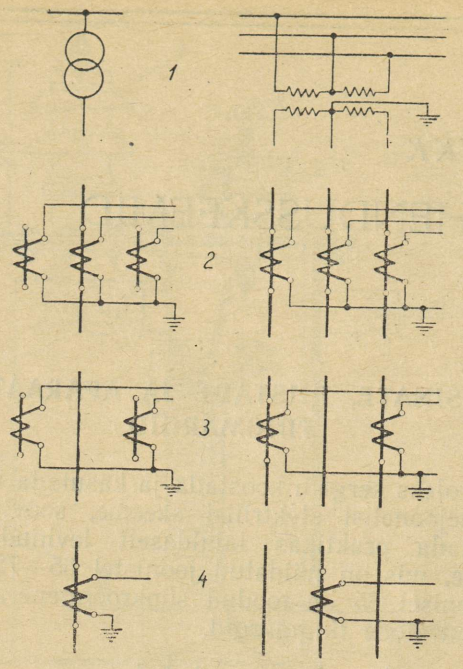
Joonisel 65 on toodud sünkroongeneraatorite ja jõutrafode tingmärgid.



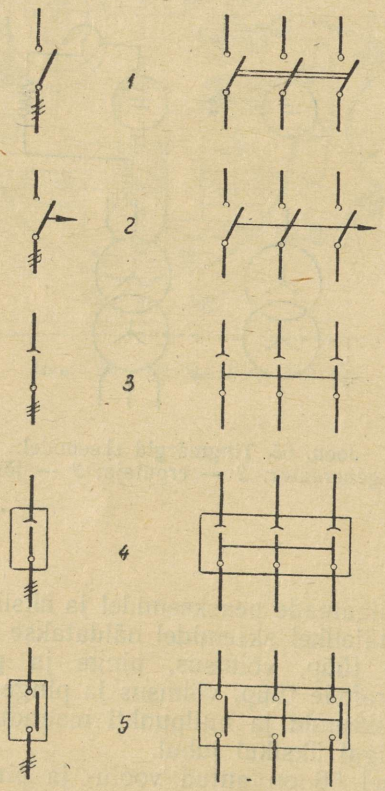
Joon. 65. Tingmärgid skeemidel:
1 — generaator; *2* — ergutaja; *3* — jõutrafo.

Elektrijaamade peaskeemidel ja üksikute agregaatide täielikel skeemidel näidatakse ära generaatorite tüüp, võimsus, pinge ja pöörlemiskiirus; trafode tüüp, võimsus ja pinge. Mähiste ühendusskeemid ja nullpunkti maandus täpsustatakse igal üksikul juhul.

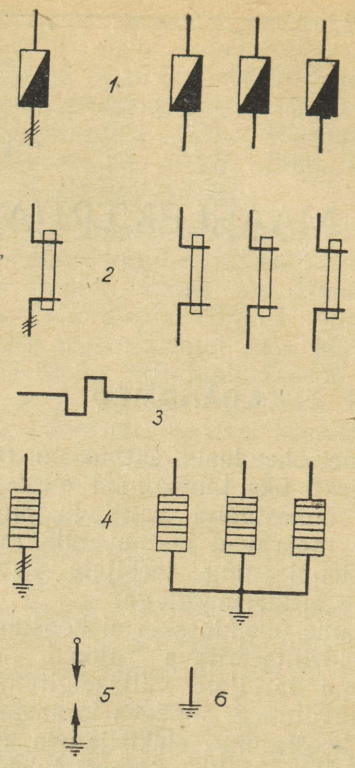
Joonisel 66 on antud voolu- ja pingetrafode tingmärgid. Voolutrafo tingmärgi juurde kirjutatakse tema tüüp, primaar- ja sekundaarnimivoolud murruna ja täpsusklass. Pingetrafo



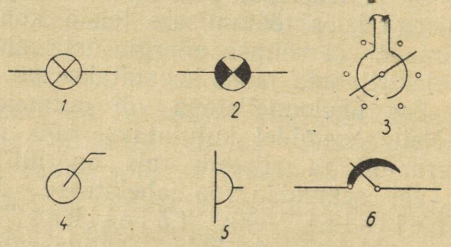
Joon. 66. Mõõtetrafod:
1 — pingetrafo; *2, 3, 4* — voolutrafod.



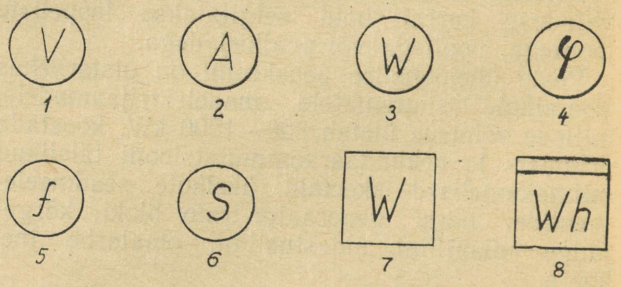
Joon. 67. Lülitusaparaadid:
1 — vinnaklüliti; *2* — õhkautomaatlüliti; *3* — lahklüliti; *4* — võimsus-lahklüliti; *5* — kõrgepinge-võimsuslüliti.



Joon. 68. Kaitsmed ja lahendajad:
1 — madalpingekaitsmed; *2* — kõrgepingekaitsmed; *3* — takistus; *4* — lahendajad; *5* — sädevahe; 6 — maandus.



Joon. 69. Tingmärgid:
1 — sünkroniseerimislamp; *2* — signaallamp; *3* — voltmeetri ümberlüliti; *4* — lüliti; *5* — pistikupesa; *6* — reostaat.



Joon. 70. Mõõteriistad:
1 — voltmeeter; *2* — ampermeeter; *3, 7* — vattmeeter; *4* — faasimõõtja; *5* — sagedusmõõtja; *6* — sünkronoskoop; *8* — arvesti.

tingmärkide juurde kirjutatakse andmed tüübi ja ülekandeteguri kohta.

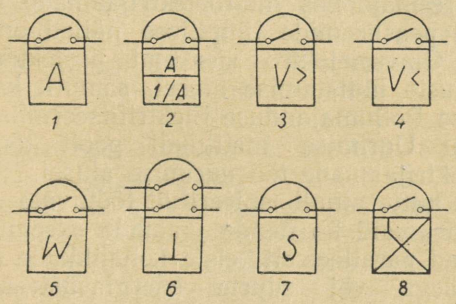
Joonisel 67 on näidatud kommutatsiooniaparatuuri — vinnaklülitite, automaatlülitite, lahklülitite ja võimsuslülitite tingmärgid.

Iga aparaadi tingmärgi juurde kirjutatakse tema tüüp, nimipinge ja nimivool.

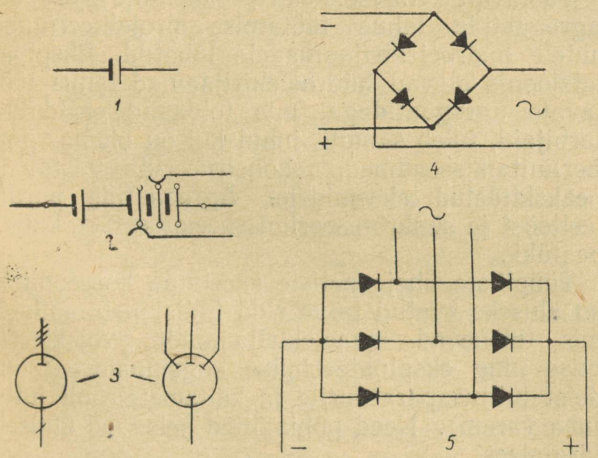
Joonisel 68 on toodud tingmärgid madal- ja kõrgepingeahelates kasutatavate kaitsmete, voolu piiravate takistuste, lahendajate, sädevahede ja maanduste kohta.

Joonisel 69 on esitatud sünkroniseerimislampide, signaallampide, voltmeetri ümberlüliti, ühepooluselise lüliti, pistikupesa ja reostaadi tingmärgid.

Mõõteriistade tingmärgid on näidatud joonisel 70, releede tingmärgid joonisel 71, alaldajate, akude ja akupatareide tingmärgid joonisel 72.



Joon. 71. Kaitsereleed:
1 — maksimaalvoolurelee; *2* — piiratult sõltuva karakteristikuga maksimaalvoolurelee; *3* — maksimaalpingerelee; *4* — minimaalpingerelee; *5* — võimsusrelee; *6* — gaasrelee; *7* — aegrelee; *8* — vaherelee, signaalklapiga.



Joon. 72. Akud ja alaldajad:
1 — galvaanielement või aku; *2* — akupatarei, kommutaatoriga; *3* — elavhõbealaldaja; *4* — pooljuhtalaldaja (ühefaasiline sildskeem); *5* — pooljuhtalaldaja (kolmefaasiline sildskeem).

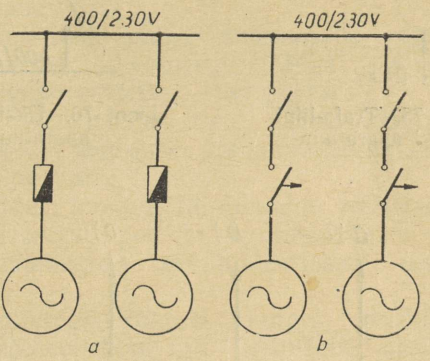
LÜLITUSAPARAADID JA JÕUKAITSMED ÜHENDUSSKEEMIDES

Lülitite, lahklülitite ja kaitsmete valik kõrge- ja madalpingeahelatele on üks tähtsamaid küsimusi elektrijaama ühendusskeemi projekteerimisel. Selles küsimuses tuleb juhinduda järgmistest põhimõtetest:

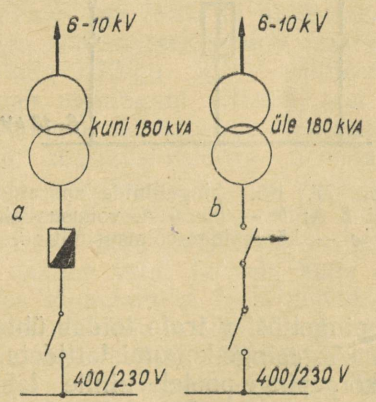
1. Kuni 105 kVA madalpingegeneraatorite ülesseadmisel elektrijaamas võib kasutada generaatori ja kogumislattide vahel tavalist vinnaklülitit ja sulavkaitsmete komplekti (joon. 73, *a*).

2. Kui generaatorid on suure võimsusega, siis vinnaklüliti ja kaitsmete asemele seatakse üles «A»-tüüpi õhkautomaatlüliti, kolme maksimaalvoolupooliga (joonis 73, *b*).

3. Kõikidel juhtudel (välja arvatud generaatori vooluahel ühe agregaadiga elektrijaamas) peavad õhkautomaatlülitite ja kogumislattide vahel asuma lahutamiseks kasutatavad kerge-



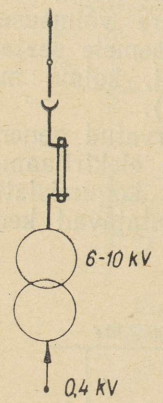
Joon. 73. Generaatorite lülitusaparatuur:
a — kuni 105 kVA; *b* — üle 105 kVA.



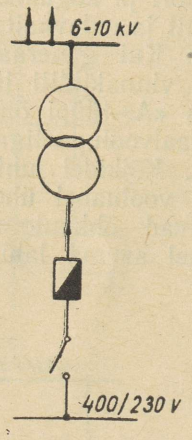
Joon. 74. Pingettõstvate trafode lülitusaparatuur:
a — võimsusega kuni 180 kVA; *b* — võimsusega üle 180 kVA.

mat tüüpi lahtised vinnaklülitid. Nad asetatakse kilbi taha ilma ajamita kilbi esiküljel.

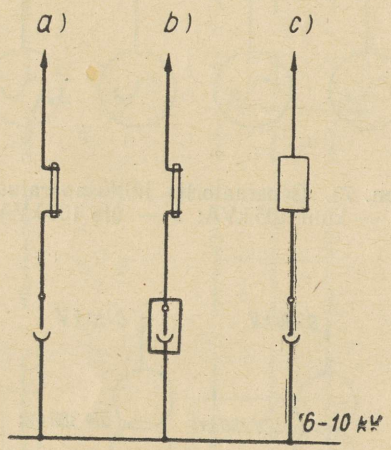
4. Ühe või mitme 0,4/6 või 0,4/10 kV ja kuni 180 kVA (kaasa arvatud) pingettõstva trafo ülesseadmisel peavad madalpinge-poolel trafo ja kogumislattide vahel olema vinnaklülitid. Suure võimsusega trafode puhul soovitatakse vinnaklüliti ja kaitsmete asemel üles seada lahutav vinnaklüliti ja õhkautomaatlüliti kahe maksimaalvoolupooliga (joonis 74).



Joon. 75. Trafo-liini bloki aparatuur.



Joon. 76. Üksiku trafo aparatuur.



Joon. 77. Kõrgepingeliinide aparatuur:
a — kuni 5 A; *b* — üle 5 A, võimsus-lahklülitiga;
c — kõrgepinge-võimsuslülitiga.

5. Kui pingettõstev trafo toidab ühte väljuvat liini ilma kõrgepinge-kogumislattideta, siis asetatakse kõrgepinge-poolel liinile lahklüliti ja sulavkaitsmed (joonis 75).

6. Kui üks trafo töötab mitme väljuva kõrgepingeliiniga kõrgepinge-kogumislattidele, võib lahklüliti ja sulavkaitsmed trafo ja kogumislattide vahelt välja jätta (joonis 76).

7. Kõrgepingeliinidel on soovitatav järgmine aparatuur:

a) kui vool on kuni 5 A — lahklüliti ja sulavkaitsmed (joonis 77, *a*),

b) kui vool on üle 5 A — võimsus-lahklüliti (koormuslüliti) ja sulavkaitsmed (joonis 77, *b*) või kõrgepinge-võimsuslüliti (joonis 77, *c*).

8. Kui esineb tagasitoitmise võimalus, tuleb kõrgepingelüliti järel üles seada maandusnugadeta liinilahklüliti.

9. Madalpingeliinidele tuleb üles seada vinnaklülitid sulavkaitsmetega.

ELEKTRIJAAMADE TÜÜPSKEEMID

Antud peatükki paigutatud maaelektrijaamade, esmajoones hüdroelektrijaamade ühejooneliste peaskeemide tüüpilised näited on koostatud Glavselelektro süsteemi projekteerimise kogemuste üldistamise alusel, samuti ka Üleliidulise Põllumajanduse Elektrifitseerimise Teadusliku Uurimise Instituudi poolt töötavate maaelektrijaamade töö uurimise alusel. Siin on toodud mitte ainult isoleeritult töötavate elektrijaamade, vaid ka nende jaamade skeemid, mis töötavad paralleelselt teiste kohalikkude elektrijaamadega või suurte energiasüsteemidega. Kahe või enama agregaadiga elektrijaamades eeldatakse, et generaatorid töötavad paralleelselt ühistele kogumislattidele sõltumatult sellest, kas hüdroturbiinid omavad automaatseid kiirusregulaatoreid või mitte.

Vastavalt Glavselelektro juhendile ei ole agregaatide lahus töötamise projekteerimine uutele hüdroelektrijaamadele lubatud. Ekspluatatsioonis olevad hüdroelektrijaamad lahus töötavate agregaatidega, mis toidavad eraldatud tarbijaid, tuleb samuti, juhul kui on olemas ümberlülitamisseadmed, rekonstrueerida vastavalt heakskiidetud skeemidele. Agregaatide paralleeltööst ja sünkroniseerimisskeemidest vt. kuues peatükk.

Tüüpiliste ühejooneliste skeemide koostamisel on aluseks võetud terve rida üldisi põhimõtteid, mis tulenevad maaelektrijaamade projekteerimise ning ekspluateerimise kogemustest (nõudeist lülitusaparatuurile ja kaitsmetele oli juttu juba varem). Need põhimõtted seisavad üldiselt järgmises.

Kui iga üksiku agregaadi võimsus on kuni 400—500 kVA, siis võetakse generaatori pingeks 400 V maandatud nullpunktiga. Generaatori klemmlauale võib välja tuua kas 4 otsa (3 faasi ja null), või 6 otsa (3 faasimähiste algust ja

3 lõppu). Viimasel juhul on võimalik ühendada voolutrafod (mõõteriistade, releekaitse või ergutuse kompaundeerimise jaoks) generaatori väljaviikudesse — faasimähiste alguste (või lõppude) ning generaatori tähtühenduse maandatud nullpunkti vahele. Reas skeemides on näidatud just see voolutrafode ühendamise viis, mis releekaitse seisukohalt omab kaheldamatuid eeliseid. Voolutrafode ülesseadmine generaatori nullpunkti poolele, mitte aga kogumislattide poolele, tagab releekaitse töötamise nii väliste lühiste ja lubamatute ülekoormuste kui ka generaatori enda vigastuste puhul (staatori mähise ühendus kerega või faaside vahel).

Kaitse hakkab tööle niisugusel juhul isegi siis, kui generaator töötab isoleeritult väljuvate liinide eraldatud rühmale. Mis puutub ergutuse kompaundeerimise seadet toitvatesse voolutrafodesse, siis nende asumisel nullväljaviikudes kiireneb releekaitse toime sisemiste vigastuste puhul, sest ergutust forsseeritakse, generaator lülitatakse kiiremini välja ja väli summutatakse automaatse väljasummutusseadise (AVS)[1] mõjul.

Kui agregaadi võimsus on üle 400—500 kVA, on madalpingeaparatuuri (voolutrafod, automaatlülitid) või generaatori peavooluahela juhtmestiku valik raskendatud ning sel juhul kasutatakse kõikides skeemides kõrgepinge-generaatoreid pingega 6,3 kV.

Elektrienergiat jaotatakse tarbijate vahel tavaliselt kõrgepingeliinide abil. Seejuures tuleb kõikidel juhtudel, välja arvatud mõned üksikud erandid, eelistada pinget 10 kV 6 kV asemel. Üle 15 km raadiusega suurte põllumajanduslike rajoonide toitmisel, samuti kaugelasuvate elektrijaamade või suurte süsteemide alajaamadega sideme loomiseks tuleb suure võimsusega jaamades kasutada pinget 35 kV.

Et paremini kaitsta generaatoreid atmosfääriliste liigpingete eest, võib suure arvu hargnevate õhuliinidega võrgu puhul generaatoripinge-kogumislattidelt (kui need on olemas), toita ainult jaama omatarvet. Ülekandeliinid aga ühendatakse generaatoritega pingettõstvate trafode 0,4/10 kV või 6/10 kV kaudu.

Kõikide madalpingegeneraatoritega elektrijaamade masinasaali valgustust toidetakse enne pealülitit, kaitsmeid või automaatlüliteid asuvast generaatorite vooluahelast. Peale selle peab igas maaelektrijaamas olema alati töövalmis sõltumatu vooluallikas avariivalgustuse jaoks. Niisuguseks vooluallikaks on suurtes elektrijaamades akupatarei laadimisseadmega. Väikestes jaamades on lubatud sõltumatu valgustusallikana kasutada kantavat akulaternat.

[1] venekeelne lühend — АГП.

Mõnedes skeemides, kus ei kasutata generaator-trafo blokkskeemi, soovitatakse kahe ühistele kogumislattidele paralleelselt töötava madalpingegeneraatori puhul üles seada üks pingettõstev trafo, mille võimsus võrdub generaatorite summaarse võimsusega. Sel juhul, kui generaatorite ja pingettõstvate trafode arv on võrdne, on peaaegu alati otstarbekas kasutada generaator-trafo blokkskeemi ilma generaatoripinge-kogumislattideta. Generaatoripinge-kogumislattide sisseviimine õigustab ennast ainult sel juhul, kui kahe generaatori puhul on võimalik üles seada üks pingettõstev trafo. See ongi aluseks võetud mõnedel skeemidel.

Kaitseks atmosfääriliste liigpingete vastu kasutatakse ventiillahendajaid, mis seatakse üles kõrgepinge-kogumislattidele või vahetult pingettõstva trafo kõrgepinge-poolele, ja torulahendajate süsteemi. Need lahendajad asuvad vastavalt «Maaelektriseadmete piksekaitse eeskirjadele»[1] (vt. kuueteistkümnes peatükk) teatud kaugusel jaotusseadmest. Ventiillahendajad ühendatakse kõrgepinge-kogumislattidele lahklülitite kaudu.

Elektrijaamade pinge automaatne reguleerimine toimub masinergutajatega varustatud sünkroongeneraatorite ergutuse kompaundeerimise teel. Maaelektrijaamade generaatorite ergutuse kompaundeerimisest vt. seitsmes peatükk.

Skeemidel toodud minimaalne mõõteriistade arv generaatorite pea- ja ergutusahelates vastab maaelektrijaamade ekspluateerimise eeskirjadele.

Madalpingegeneraatori pinget mõõdetakse 450 V mõõtepiirkonnaga voltmeetri abil. Viimane on varustatud ümberlülitiga, mis võimaldab käepidet pöörates mõõta kõiki kolme liinipinget, s. o. pinget faasijuhtmete vahel. On lubatud kasutada ka voltmeetrit mõõtepiirkonnaga kuni 250 V, kuid siis mõõdetakse faasipinget, s. o. pinget iga faasi ja nulli vahel.

Liinipinge määramiseks tuleb faasivoltmeetri näit korrutada 1,73-ga. 250 V voltmeetri kasutamine omab mõningaid eeliseid, sest see võimaldab avastada elektrijaama generaatoripinge all olevate kogumislattidega ühendatud iga üksiku faasi isolatsiooni osalisi vigastusi. Ühe faasi isolatsiooni osalise vigastuse puhul selle faasi potentsiaal maa ja ühtlasi ka generaatori nullpunkti suhtes veidi langeb, kuna aga ülejäänud kahe vigastamata faasi potentsiaal tõuseb. Isolatsiooni täielik läbilöök mingis kohas avastatakse releekaitse töölerakendumise või sulavkaitsme läbipõlemise järgi. Isoleeritud nullpunktiga töötava kõrgepingevõrgu isolat-

[1] «Руководящие указания по грозозащите сельских электрических установок».

siooni kontrolliks on elektrijaamade kõikides skeemides ette nähtud üles seada kõrgepinge-kogumislattidele kolm ühefaasilist pingetrafot või üks kolmefaasiline viiesambaline pingetrafo koos voltmeetrite komplektiga. Mõnede lahtise kõrgepinge-jaotusseadmega väikesevõimsuseliste elektrijaamade skeemides on näidatud isolatsiooni kontrolliks ettenähtud riistade komplekt.

Et võimsus-lahklülitid ja kõrgepingelülitid pingele 6—10 kV valmistatakse tööstuse poolt vaid paigutamiseks siseruumidesse, siis kõikide skeemide korral, kus see aparatuur on näidatud, tuleb ette näha kinnise jaotusseadme ehitamine.

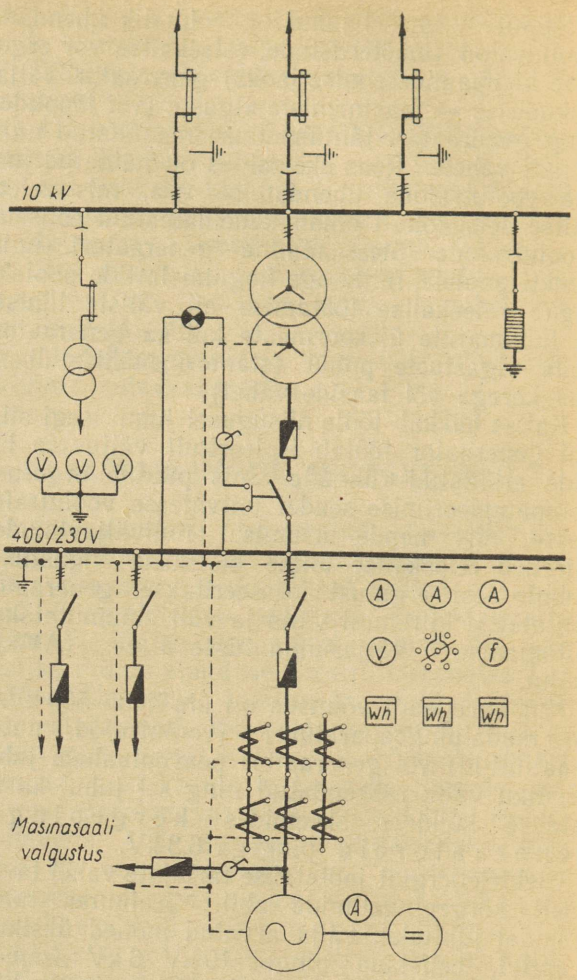
ÜHE AGREGAADIGA JA GENERAATORI-PINGE-KOGUMISLATTIDEGA ELEKTRIJAAMADE ÜHENDUSSKEEMID

Joonisel 78 on toodud 400/230 V kogumislattidele töötava kuni 105 kVA generaatoriga elektrijaama ühejooneline ühendusskeem. Madalpinge-kogumislattidelt toidetakse elektrijaama omatarvet ja lähedalasuvaid tarbijaid. Põhiline osa elektrienergiast transformeeritakse pingettõstvate trafodega ning jaotatakse väljuvate 10 kV kõrgepingeliinide kaudu tarbija-alajaamade vahel. Operatiivseid sisse- ja väljalülitamisi teostatakse madalpingel kolmefaasiliste vinnaklülititega ja kõrgepingel lahklülititega. Kuni 105 kVA generaatorite vooluahelatesse seatakse üles kolmefaasiline vinnaklüliti; väljuvatele kõrgepingeliinidele aga maandavate nugadega lahklülitid.

Jõutrafo ja kogu 10 kV jaotusseade monteeritakse väljaspool jaama hoonet asuvasse lahtisse alajaama. Vastavalt ohutustehnika eeskirjadele on alajaamas üles seatud kontroll-lamp, mis näitab trafo kolmefaasilise kilbi-vinnaklüliti seisu. Lamp süttib põlema väljalülitatud lüliti puhul.

Kontrollmõõteriistade (ampermeetrite ja arvestite) toiteks on ette nähtud kolm poolitüüpi voolutrafot. Voltmeeter ja sagedusmõõtja ühendatakse generaatori vinnaklüliti ja kaitsmete vahelisesse vooluahela lõiku. Vastavalt kehtivatele «Maaelektriseadmete ehitamise eeskirjadele» on sagedusmõõtjate ülesseadmine kohustuslik jaamades, kus on üles seatud generaatorid võimsusega 50 kW ja enam.

Kolmefaasiline kompaundeerimisseade monteeritakse vahetult generaatori peaklemmidele. Generaatori ergutusahelas on ette nähtud ampermeeter. Ventiillahendajad ühendatakse 10 kV kogumislattidele lahklülitite kaudu, et neid oleks võimalik üle vaadata jõutrafot välja lülitamata. On ette nähtud isolatsiooni kontroll 10 kV kõrgepinge-kogumislattidel, kui on olemas pingetrafod välisjaotusseadme jaoks.

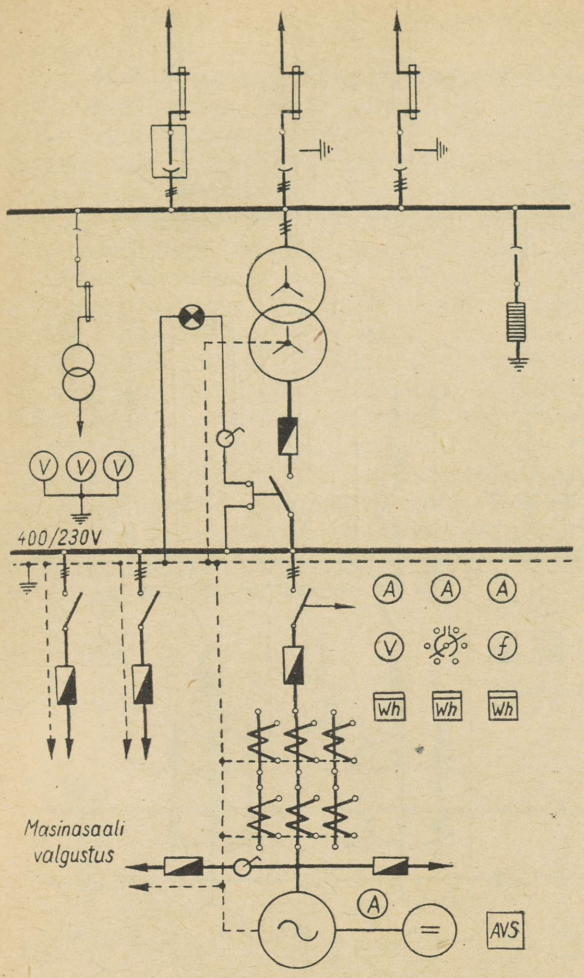


Joon. 78. Ühe agregaadiga elektrijaama skeem; generaatori võimsus kuni 105 kVA.

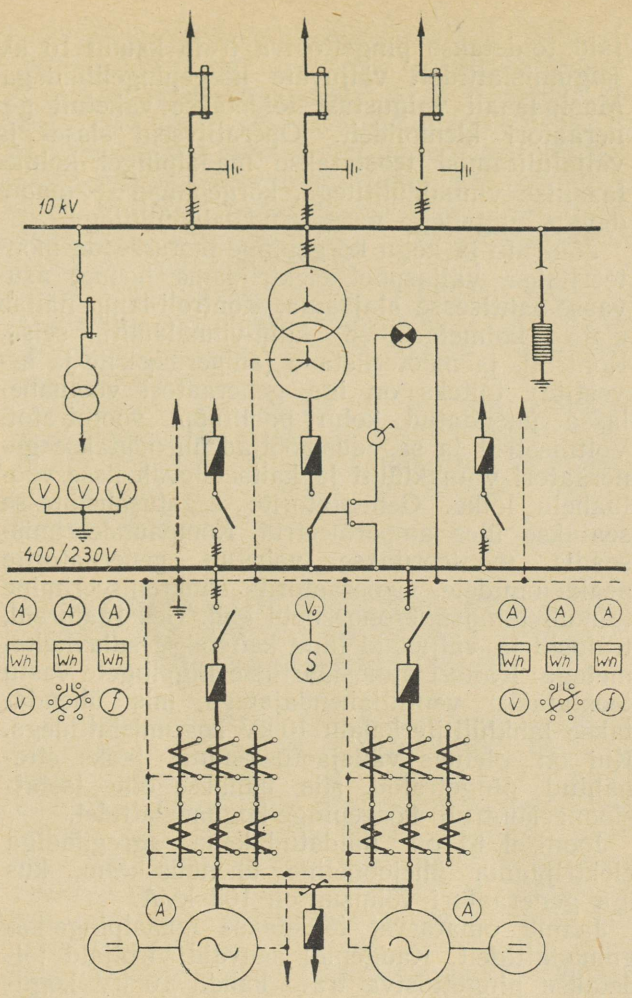
Joonisel 79 on näidatud ühe agregaadiga elektrijaama skeem. Generaator võimsusega kuni 180—200 kVA töötab 400/230 V kogumislattidele.

Generaator töötab kogumislattidele, millelt toidetakse jaama omatarvet. Elektrienergia põhiline osa transformeeritakse pingettõstva trafoga ja jaotatakse 10 kV väljuvate kõrgepingeliinide kaudu tarbija-alajaamade vahel. Operatiivsed sisse- ja väljalülitamised (välja arvatud generaatoriahel) teostatakse kolmepooluselise vinnaklülitiga. Generaator ühendatakse madalpinge-kogumislattidele kolme väljalülitamispooliga varustatud maksimaalvoolu-automaatlüliti abil. Lülitusaparatuuri kohta kehtivate määruste kohaselt tuleb ühe agregaadiga jaamades, kus generaatori võimsus on üle 105 kVA, üles seada maksimaalvoolu-automaatlülitid.

Väljuvatele kõrgepingeliinidele seatakse üles maandavate nugadega lahklülitid, kui koormus-



Joon. 79. Ühe agregaadiga elektrijaama skeem; generaatori võimsus üle 150 kVA.



Joon. 80. Kahe agregaadiga elektrijaama skeem; kummagi generaatori võimsus kuni 105 kVA.

vool on kuni 5 A, ja võimsus-lahklülitid, kui koormusvool on üle 5 A. Viimasel juhul asetatakse 10 kV jaotusseade kinnisesse ruumi.

Kontroll- ja mõõteriistade (ampermeetrite ja arvestite) toiteks on ette nähtud 3 poolitüüpi voolutrafot. Voltmeeter ja sagedusmõõtja ühendatakse generaatori vooluahela sellele osale, mis asub enne automaatlülitit. Generaatori kaitse teostatakse maksimaalvoolu-automaatlülitiga. Viimane on varustatud täiendava väljalülitamispooliga, mis ühendatakse maksimaalpingerelee normaalselt avatud kontaktide vooluahelasse. Trafod ja väljuvad liinid kaitstakse sulavkaitsmetega.

Generaatori ergutusahelasse on ette nähtud üles seada automaatne väljasummutusseadis. See hakkab tööle, kui generaatori automaatlüliti lülitub välja avarii puhul või rakendub maksimaalpingekaitse. Generaatori ergutusahela kontrollimiseks on ette nähtud ampermeeter. Jaama kaitset atmosfääriliste liigpingete vastu teostatakse lahklülitite kaudu ühendatud ventiillahendajatega, kuna aga kõrgepinge-kogumislattidel nähakse ette isolatsiooni kontroll.

KAHE AGREGAADIGA JA GENERAATORIPINGE-KOGUMISLATTIDEGA ELEKTRIJAAMADE ÜHENDUSSKEEMID[1]

Joonisel 80 on toodud kahe agregaadiga elektrijaama ühejooneline ühendusskeem. Jaamas on kaks 105 kVA generaatorit, mis töötavad paralleelselt 400/230 V generaatoripinge-kogumislattidel. Madalpinge-kogumislattidelt toimub jaama omatarbe toitmine. Elektrienergia tarbi-

[1] Skeemides näidatud sünkroniseerimisaparatuuri kasutatakse siis, kui isesünkroniseerimise kasutamine ei ole otstarbekas.

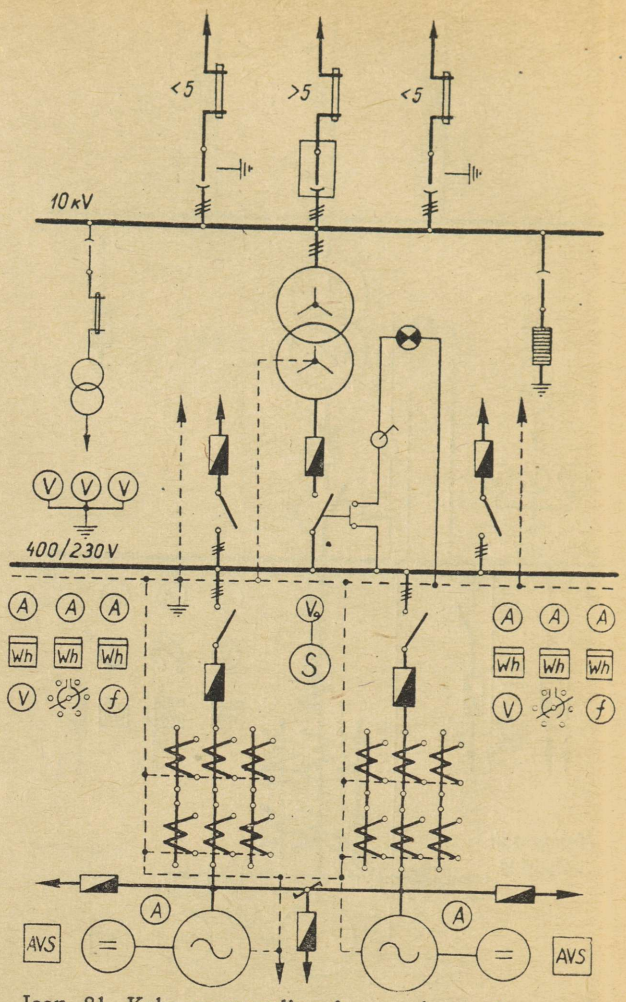
jaid toidetakse pingettõstva trafo kaudu 10 kV kogumislattidelt väljuvate kõrgepingeliinidega. Masinasaali valgustust toidetakse vahetult generaatori klemmidelt. Operatiivseid sisse- ja väljalülitamisi teostatakse madalpingel kolmefaasilise vinnaklülititega, kõrgepingel — maandavate nugadega varustatud lahklülititega.

Jõutrafo ja kogu kõrgepinge-jaotusseade monteeritakse väljaspool elektrijaama hoonet asuvasse lahtisesse alajaama. Kontroll-lamp näitab trafo kolmefaasilise kilbi-vinnaklüliti seisu. Kontroll- ja mõõteriistade (ampermeetrite ja arvestite) toiteks on iga generaatori vooluahelasse ühendatud kolm poolitüüpi voolutrafot. Voltmeetrid ja sagedusmõõtjad ühendatakse generaatori vinnaklüliti ja kaitsmetevahelisse vooluahela lõiku. Generaatorite ergutusahelatesse seatakse üles ampermeetrid. Kompaundeerimisseadis monteeritakse vahetult generaatorite peaklemmidele. Generaatorite sünkroniseerimine toimub lampsünkronoskoobi abil. Generaatoreid, trafosid ja väljuvaid liine kaitstakse sulavkaitsmetega. Kaitset atmosfääriliste liigpingete vastu teostatakse ventiillahendajatega, mis ühendatakse lahklülitite kaudu 10 kV kogumislattidega. Kui on olemas välisjaotusseadme jaoks ettenähtud pingetrafod, siis nähakse ette isolatsiooni kontroll kõrgepinge-kogumislattidel.

Joonisel 81 on näidatud kahe agregaadiga elektrijaama ühejooneline ühendusskeem, kus iga generaatori võimsus on 105 kVA.

Jaama omatarvet toidetakse madalpinge-kogumislattidelt. Kaugemal asuvaid tarbijaid toidetakse pingettõstva trafo kaudu 10 kV kogumislattidelt väljuvate kõrgepingeliinidega. Masinasaali valgustust toidetakse vahetult generaatori klemmidelt. Operatiivsed sisse- ja väljalülitamised toimuvad madalpingel (välja arvatud generaatori vooluahelad) kolmepooluselise vinnaklülitiga, väljuvatel kõrgepingeliinidel: kui koormus on alla 5A, maandavate nugadega lahklülititega, ja kui koormus on üle 5A, siis võimsus-lahklülititega. Generaatorid lülitatakse sisse maksimaalvoolu-õhkautomaatlülititega. Nagu eespool oli öeldud, seatakse kahe agregaadiga jaamades õhkautomaatlülitid üles generaatoritele võimsusega 105 kVA ja üle selle. Madalpinge-kogumislattide ja generaatorite automaatlülitite vahele seatakse üles kergemat tüüpi kolmefaasilised vinnaklülitid.

Kõrgepinge-jaotusseade asetatakse kinnisesse ruumi (kui seatakse üles võimsus-lahklülitid). Kontroll- ja mõõteriistu toidetakse iga generaatori vooluahelasse ühendatud poolitüüpi voolutrafodest.[1] Voltmeetrid ja sagedusmõõtjad ühendatakse generaatorite ja automaatlülitite vahelisse vooluahelasse. Generaatorite ergutusahelatesse ühendatakse ampermeetrid. Generaatorite kaitse teostatakse maksimaalvoolu-õhkautomaatlülititega ja maksimaalpingereleedega. Trafo ja väljuvate liinide kaitse teostatakse sulavkaitsmetega. Atmosfääriliste liigpingete kaitseks on 10 kV kogumislattidega ühendatud lahklülitite kaudu ventiillahendajate komplekt. Skeemis nähakse ette isolatsiooni kontroll kõrgepingelattidel ning iga generaatori juures automaatne väljasummutusseadis.



Joon. 81. Kahe agregaadiga jaama skeem; kummagi generaatori võimsus 105 kVA.

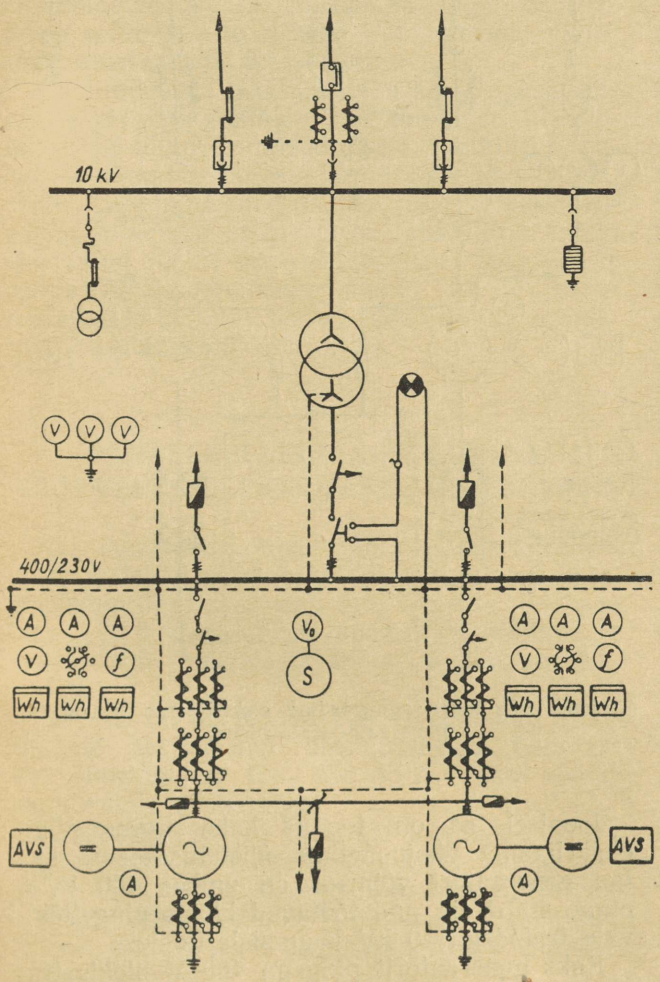
Joonisel 82 on toodud 250—300 kVA generaatoritega kahe agregaadiga elektrijaama ühejooneline skeem.

Operatiivseid sisse- ja väljalülitamisi generaatorite ja trafo vooluahelates teostatakse madalpinge-poolel õhkautomaatlülititega; omatarbeliinide, jaama valgustuse ja lähedal asuvate

[1] Paralleeltööl tuleb üle 150 kVA generaatorite vooluahelatesse üles seada vattmeetrid.

tarbijate lülitamine toimub kolmepooluseliste vinnaklülititega.

Automaatlülitite ja madalpinge-kogumislattide vahele ühendatakse kolmepooluselised kergemat tüüpi lahutamiseks kasutatavad vinnaklülitid. Operatiivseid ümberlülitamisi väljuvatel kõrgepingeliinidel teostatakse võimsus-lahklülititega, tähtsatel väljuvatel liinidel aga kõrgepingevõimsuslülititega. Kõrgepinge-jaotusseade monteeritakse kinnisesse ruumi. Alajaama asetatakse kontroll-lamp, mis näitab trafo kolmepooluselise kilbi-vinnaklüliti seisu. Kontroll- ja mõõteriistade toiteks on iga generaatori vooluahelasse ühendatud kolm poolitüüpi voolutrafot. Voltmeetrid ja sagedusmõõtjad ühendatakse generaatorite ja automaatlülitite vahelisse vooluahelasse. Generaatorite ergutusahelates asuvad ampermeetrid. Kompaundeerimisseadised on ühendatud generaatorite peaklemmidele. Generaatorite sünkroniseerimine toimub nullvoltmeetri ja lampsünkronoskoobi abil.



Joon. 82. Elektrijaama skeem; generaatorite võimsus 250—300 kVA.

Generaatorite kaitse teostatakse õhkautomaatlülititega, mis on varustatud maksimaalpinge- ja maksimaalvoolureleedega. Need kaitsevad rikete vastu võrgu osa kuni automaatlülititeni ja ka generaatorit ennast. On samuti ette nähtud automaatsete väljasummutusseadiste ülesseadmine. Jõutrafo kaitse teostatakse maksimaalvoolu-õhkautomaatlülitiga, madalpingeliinide kaitse — sulavkaitsmetega.

Väljuvaid kõrgepingeliine kaitstakse võimsuslahklülitite puhul sulavkaitsmetega, ПК, õlilülitite puhul — ajamisse sisseehitatud maksimaalvoolupoolidega.

Piksekaitse teostatakse 10 kV kogumislattidega lahklülitite kaudu ühendatud ventiillahendajate komplektiga. Nagu eelnevas skeemiski, on ka siin ette nähtud isolatsiooni kontroll kõrgepinge-kogumislattidel.

ELEKTRIJAAMADE SKEEMID, KUS GENERAATORID TÖÖTAVAD BLOKIS PINGETTÕSTVATE TRAFODEGA

Maaelektrijaamade skeemides leiab laialdast kasutamist generaatori ja pingettõstva trafo vahetu ühendamine g e n e r a a t o r - t r a f o b l o k k i. Antud bloki generaator ja trafo ühendatakse omavahel kokku ilma igasuguste võimsus- või lahklülititeta. Generaatoripinge-kogumislatid jäetakse samuti ära, sest et elektrienergia jaotatakse elektrifitseeritavas rajoonis kõrgendatud pingega. Nii jääb ära vajadus kogukate ja kallite generaatoripinge-jaotusseadmete järele.

Praegusaegsetest suurendatud võimsusega maaelektrijaamadest, mis tavaliselt teenindavad üle 10 km raadiusega rajooni, toimub elektrienergia ülekandmine ja jaotamine alati kõrgendatud pingega.

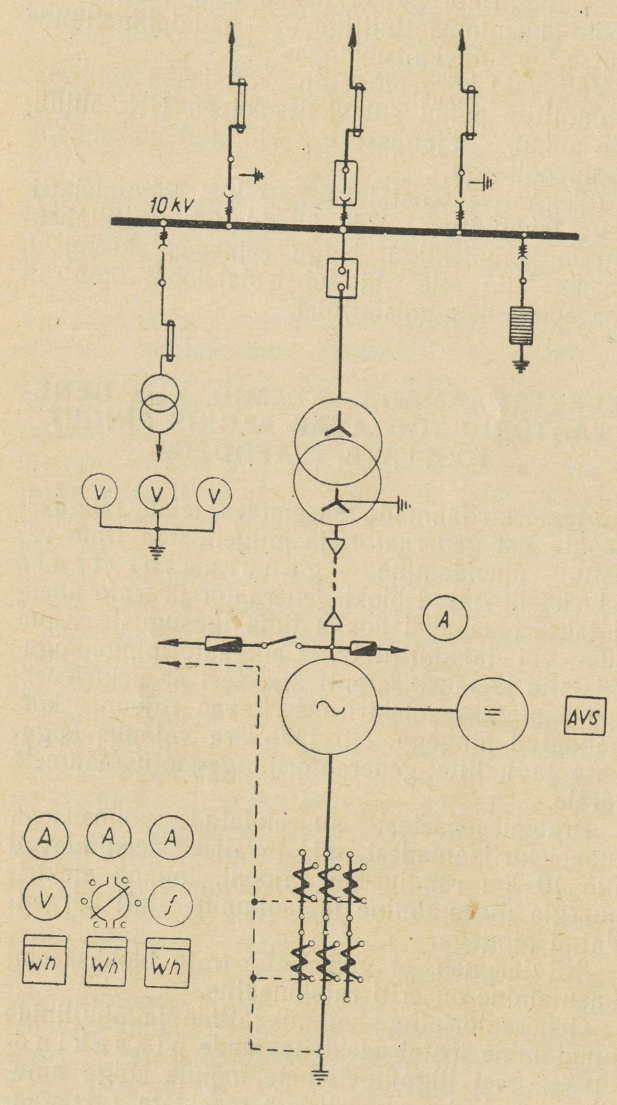
Siit järgneb, et generaator-trafo blokkskeemi kasutamine on eriti ratsionaalne.

Generaatoripinge-kogumislattide ja õhuliinide puudumine tõstab elektrijaamade p i k s e k i n d l u s t, sest liigpingelainete mõjule kõige tundlikumad osad — pöörlevate masinate (generaatorite) mähised — osutuvad kaitstuks selles suhtes vastupidavamate, sissesattuvaid laineid peegeldavate jõutrafo mähiste poolt.

Lähemas ümbruses asuvaid tarbijaid ja ka elektrijaamade omatarvet võib toita pingetmadaldavatest alajaamadest või omatarbetrafodest.

Joonisel 83 on näidatud ühe agregaadiga jaama ühejooneline ühendusskeem. Generaator võimsusega kuni 400 kVA töötab blokis pingettõstva trafoga. Jaama elektrienergia jaotatakse tarbija-alajaamade vahel 10 kV kogumislattidelt

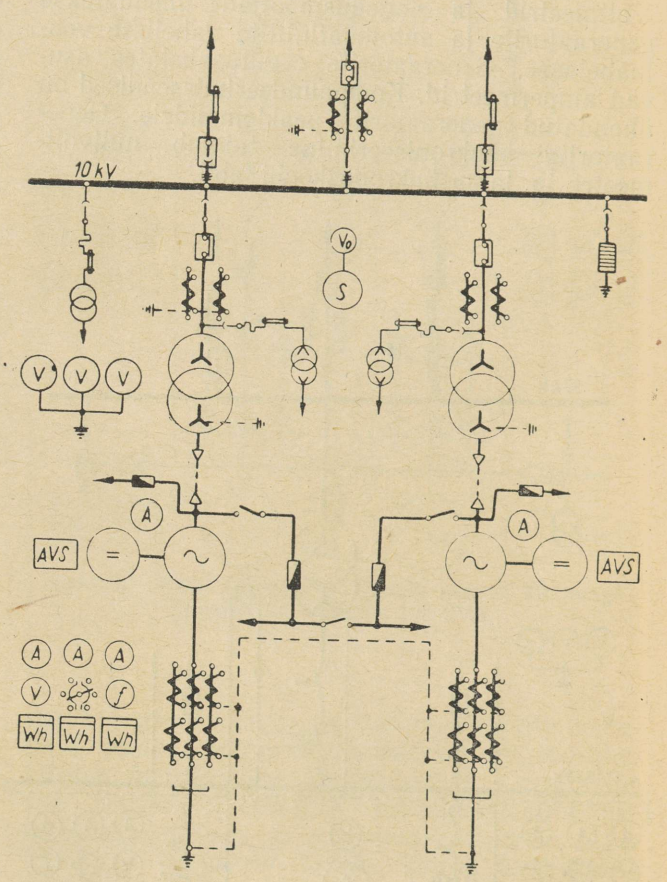
väljuvate kõrgepingeliinide kaudu. Jaama valgustust ja omatarvet toidetakse vahetult generaatori klemmidelt. Generaator-trafo bloki operatiivseid sisse- ja väljalülitamisi teostatakse kõrgepinge-poolel õlilülitiga. Väljuvatele kõrgepingeliinidele, kui koormus on alla 5A, seatakse



Joon. 83. Ühe agregaadiga elektrijaama skeem; generaator-trafo blokk.

üles maandavate nugadega lahklülitid, kui aga koormus on suurem kui 5A, siis võimsus-lahklülitid. Kompaundeerimisseadis, kolm poolitüüpi voolutrafot kontroll- ja mõõteriistade (ampermeetrite ja arvestite) jaoks ja voolutrafo liigvoolu kaitse jaoks monteeritakse generaatori nullklemmidele (kui generaatori klemmlauale on välja toodud kuus otsa), või generaatori peaklemmidele (kui generaatori klemmlauale on välja toodud kolm faasi ja nullpunkt). Voltmeeter ja sagedusmõõtja ühendatakse vahetult generaatori klemmidele. Generaatori ergutusahelasse ühendatakse ampermeeter.

On ette nähtud generaatori maksimaalpinge- ja maksimaalvoolukaitse ja samuti automaatne väljasummutusseadis. Liigpingekaitse on teostatud ventiillahendajate komplekti abil. Kõrgepinge-jaotusseade monteeritakse kinnisesse ruumi. 10 kV kogumislattidele seatakse üles mõõteriistad isolatsiooni kontrolliks, kui ei ole kasutatud süsteemi «kaks juhet — maa».



Joon. 84. Kahe agregaadiga elektrijaama skeem; generaator-trafo blokk.

Joonisel 84 on toodud kahe agregaadiga elektrijaama ühejooneline ühendusskeem, kus iga generaatori võimsus on umbes 400 kVA, pinge 400 V ja nad töötavad blokis pingettõstvate trafodega 10 kV kogumislattidele.

Kaks generaatorit pingega 400 V blokis trafodega toidavad 10 kV kogumislatte. Kõrgepinge-kogumislattidelt jaotatakse elektrienergia

tarbija-alajaamade vahel väljuvate 10 kV liinide kaudu. Generaator-trafo bloki operatiivseid sisse- ja väljalülitamisi teostatakse lülitite abil kõrgepinge-poolelt. Väljuvate kõrgepingeliinide operatiivseid ümberlülitamisi teostatakse võimsus-lahklülititega, tähtsate tarbijate olemasolu korral aga kõrgepinge-võimsuslülititega.

Kompaundeerimisseadiste voolutrafod ja kontrollmõõteriistade (ampermeetrite ja arvestite) ja maksimaalvoolureleede toitmiseks ettenähtud voolutrafod monteeritakse generaatorite null- või peaklemmidele, sõltuvalt sellest, kas generaatoril on nullpunkti pool klemme või mitte. Masinasaali valgustus, samuti voltmeetrite ja sagedusmõõtjate toitmine võib toimuda otse generaatorite klemmidelt. Generaatori ergutusahelatesse monteeritakse ampermeetrid. Generaatorid sünkroniseeritakse nullvoltmeetri ja sünkronoskoobi abil kõrgepinge-poolel.

Generaator-trafo bloki kaitse teostatakse maksimaalvoolureleedega; generaatori kaitse — maksimaalvoolu- ja maksimaalpingereleedega. Peale selle on ette nähtud automaatsete väljasummutusseadiste ülesseadmine.

Kui liinil asub lahklüliti, siis kasutatakse väljuvate kõrgepingeliinide kaitseks kvartsliivatäitega ПК-tüüpi sulavkaitsmeid, õlilülitite puhul — ajamisse sisseehitatud maksimaalvoolupoole. Liigpingekaitse on teostatud ventiillahendajate komplekti abil, mis on lahklülitite kaudu ühendatud 10 kV kogumislattidega. Jaotusseade monteeritakse kinnisesse ruumi, 10 kV kogumislattidele on üles seatud mõõteriistad ja aparaadid isolatsiooni kontrolliks.

PARALLEELSELT SÜSTEEMIGA TÖÖTAVATE ELEKTRIJAAMADE SKEEMID

Kui maaelektrijaamad töötavad paralleelselt teiste kohalike elektrijaamade või rajooni energiasüsteemiga, siis peab ette nägema s i d e s t u s l i i n i koos kõikide aparaatide, riistade ja seadmetega, mis vastavad selle liini eriülesandele.

Joonisel 85 on toodud ühe agregaadiga elektrijaama ühejooneline ühendusskeem. Generaatori võimsus on 150—250 kVA. Jaam töötab paralleelselt süsteemiga.

Kaugemal asuvaid tarbijaid toidetakse 10 kV kogumislattidelt pingettõstva trafo kaudu väljuvate kõrgepingeliinidega. Masinasaali valgustust toidetakse vahetult generaatori klemmidelt. Süsteemiga on jaam ühendatud 10 kV sidestusliiniga.

Operatiivsed sisse- ja väljalülitamised generaatori ja trafo madalpinge-vooluahelates toimuvad õhkautomaatlülitite abil, omatarbeliinides — kolmefaasiliste vinnaklülititega.

Madalpinge-kogumislattide ja õhkautomaatlülitite vahele asetatakse kergema ehitusviisiga kolmepooluselised vinnaklahklülitid. Operatiivseid ümberlülitamisi kõrgepinge-poolel teostatakse pingettõstva trafo ja 10 kV kogumislattide vahelises vooluahela lõigus lahklülitiga, elektrienergia tarbijatele väljuvatel liinidel aga maandavate nugadega lahklülitite abil. Sidestusliini ühendamine ja lahutamine süsteemiga toimub võimsuslülitiga. Enne ja pärast võimsuslülitit tuleb üles seada lahklülitid, et oleks võimalik teostada lüliti ülevaatust, remonti või vahetamist.

Alajaama seatakse üles kontroll-lamp, mis näitab kolmepooluselise kilbi-vinnaklüliti seisu madalpinge-poolel ja lahklüliti seisu kõrgepinge-poolel.

Kontroll- ja mõõteriistade (ampermeetrite ja arvestite) toiteks seatakse üles voolutrafod. Voltmeeter ja sagedusmõõtja ühendatakse generaatori ja automaatlüliti vahelisse vooluahela lõiku. Generaatori ergutusahelas seatakse üles ampermeeter. Kompaundeerimisseadis ühendatakse vahetult generaatori väljuvate klemmidega. Generaatori sünkroniseerimiseks süsteemiga on vaatamata isesünkroniseerimise kasutamisele ette nähtud sünkronoskoop. Generaatori kaitse teostatakse maksimaalvoolu-õhkautomaatlüliti abil ja maksimaalpingereleega. Nähakse ette automaatse väljasummutusseadise ülesseadmine.

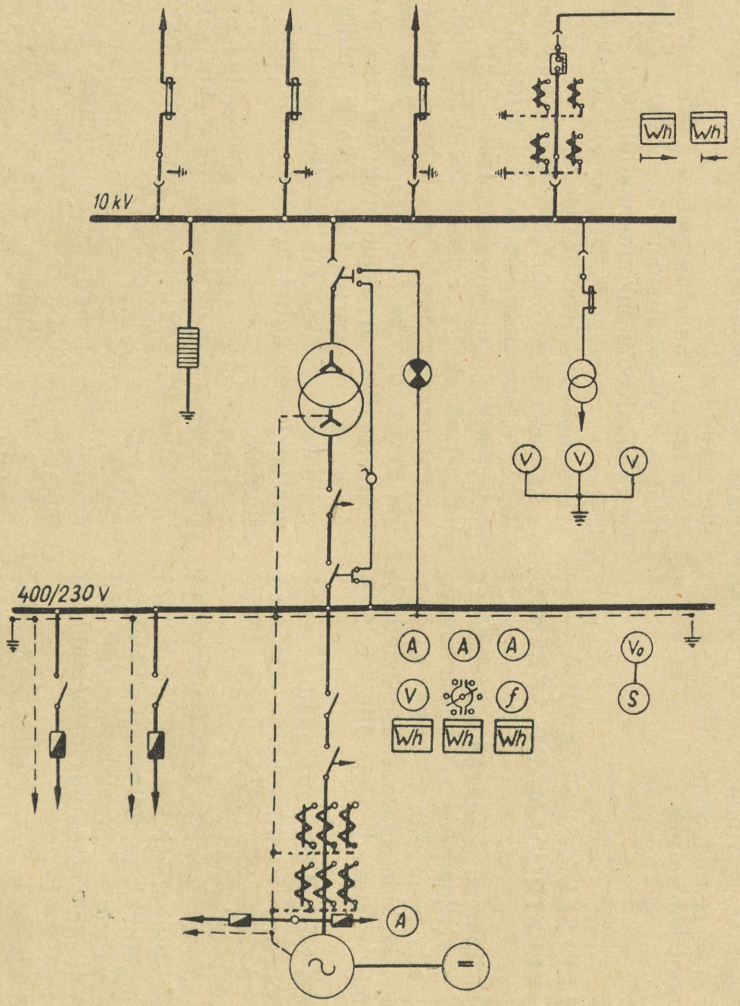
Väljuvate madalpinge-õhuliinide kaitse teostatakse sulavkaitsmetega, trafo kaitse — maksimaalvoolu-õhkautomaatlülitiga, õhuliinide kaitse — sulavkaitsmetega. Sidestusliini kaitstakse maksimaalvoolukaitsega.

Kaitseks atmosfääriliste liigpingete vastu on 10 kV kogumislattidele lahklüliti kaudu ühendatud ventiillahendajate komplekt. 10 kV kogumislattidel nähakse ette isolatsiooni kontroll.

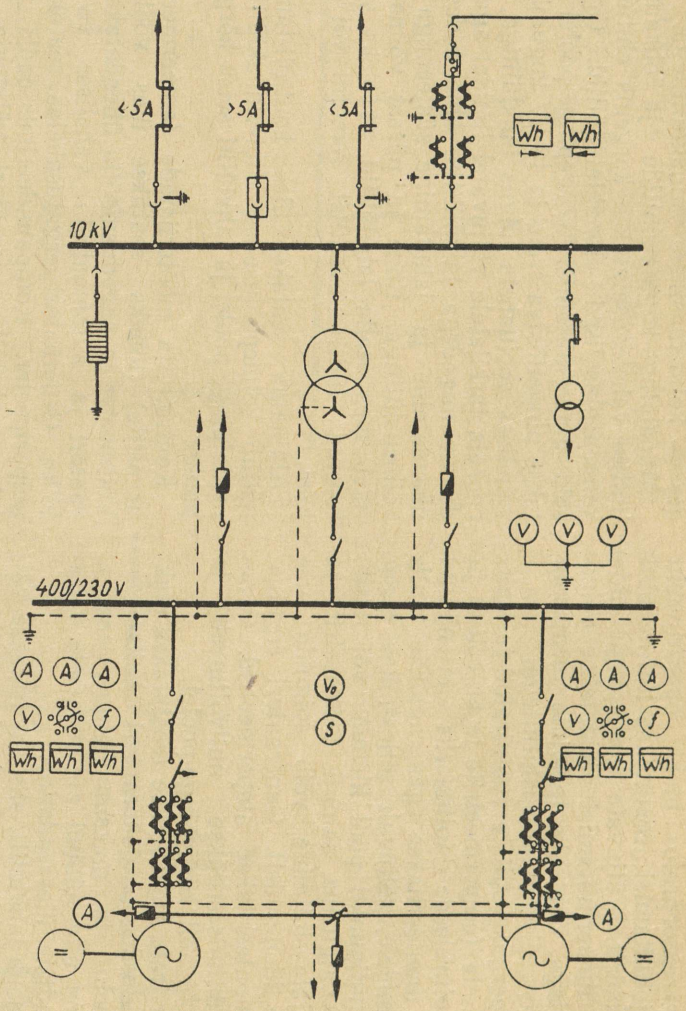
Süsteemist saadava ja süsteemi antava energia arvestamiseks seatakse üles kaks komplekti kolmefaasilisi arvesteid (vt. üheksas peatükk). Arvestid on varustatud ketaste pidurdamise seadisega juhuks, kui energia suund muutub vastupidiseks antud arvestile määratud energia suunale.

Joonisel 86 on näidatud süsteemiga paralleelselt töötava kahe agregaadiga elektrijaama ühejooneline ühendusskeem. Kummagi generaatori võimsus on 150—250 kVA.

Operatiivseid sisse- ja väljalülitamisi generaatorite ja trafode vooluahelates teostatakse õhkautomaatlülititega, omatarbe- ja lähedalasuvate tarbijate liinides — kolmepooluseliste vinnaklülititega. Madalpinge-kogumislattide ja õhk-



Joon. 85. Süsteemiga paralleelselt töötava ühe agregaadiga elektrijaama skeem.



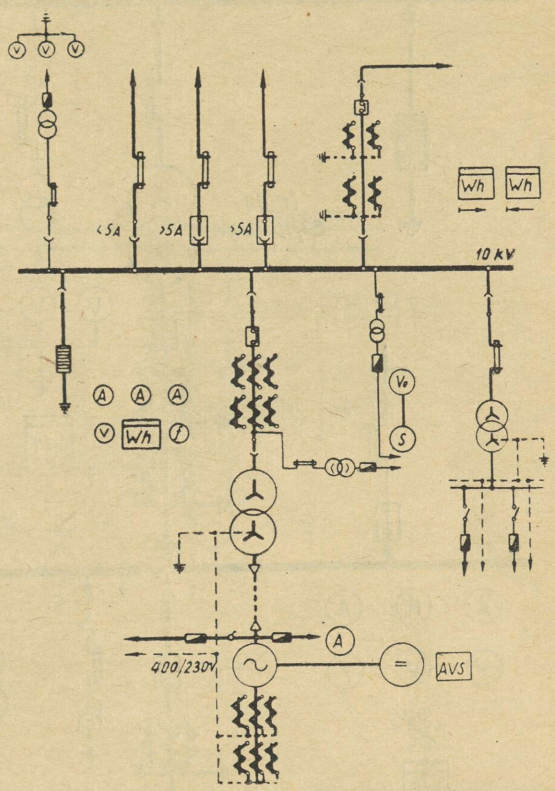
Joon. 86. Süsteemiga paralleelselt töötava kahe agregaadiga elektrijaama skeem.

automaatlülitite vahele seatakse üles kerge ehitusega kolmepooluselised vinnaklülitid. Operatiivseid ümberlülitamisi kõrgepinge-poolel teostatakse järgmiselt: pingettõstva trafo ja 10 kV kogumislattide vahelises vooluahelas — lahklülititega, tarbijatele väljuvates liinides, kui koormusvool on kuni 5 A — maandavate nugadega lahklülititega, kui koormusvool on üle 5 A — võimsus-lahklülititega. Sidestusliini operatiivsed ümberlülitamised toimuvad võimsuslülititega. Võimsuslüliti järelevaatuse, remondi ja vahetamise otstarbel on ette nähtud lahklülitid enne ja pärast võimsuslülitit. Kontroll- ja mõõteriistade (ampermeetrite ja arvestite) toitmiseks nähakse ette voolutrafod. Voltmeetrid ja sagedusmõõtjad ühendatakse generaatorite ja automaatlülitite vahelisse vooluahelasse. Generaatorite ergutusahelates on üles seatud ampermeetrid. Kompaundeerimisseadised ühendatakse generaatorite peaklemmidega. Generaatorite omavaheline ning süsteemiga sünkroniseerimine toimub lampsünkronoskoobi abil. Generaatorite kaitse teostatakse maksimaalvoolu-automaatlülitite ja maksimaalvoolureleede abil. On ette nähtud automaatse väljasummutusseadise ülesseadmine. Väljuvad liinid on kaitstud sulavkaitsmetega, trafo — maksimaalvoolu-õhkautomaatlülitiga, väljuvad kõrgepingeliinid — sulavkaitsmetega, sidestusliin — maksimaalvoolukaitsega.

Kaitse liigpingete vastu on teostatud lahklülitite kaudu 10 kV kogumislattidega ühendatud ventiillahendajate komplektiga. Isolatsiooni kontrolli teostatakse 10 kV kogumislattidel.

Joonisel 87 on toodud süsteemiga paralleelselt töötava ühe agregaadiga jaama ühejooneline ühendusskeem. Generaator ja trafo töötavad blokis. Generaator võimsusega kuni 400 kVA ja pingega 400/230 V toidab 10 kV kogumislatte.

Süsteemiga on jaam ühendatud 10 kV sidestusliini kaudu. Elektrienergia jaotatakse tarbijaalajaamade vahel kõrgepinge-kogumislattidelt väljuvate 10 kV liinide kaudu. Jaama omatarbe ning lähedal asuvate tarbijate toitmine toimub pingetmadaldava trafo kaudu. Jaama masinasaali valgustust toidetakse vahetult generaatori klemmidelt. Generaator-trafo bloki operatiivseid ümberlülitamisi teostatakse võimsuslülititega. Mõlemal pool võimsuslülitit on ette nähtud lahklülitid. Väljuvatel liinidel seatakse üles lahklülitid, kui koormusvool on kuni 5 A, ja võimsus-lahklülitid, kui koormusvool on üle 5 A. Sidestusliinil on ette nähtud võimsuslüliti ülesseadmine mõlemapoolse lahklülitiga. Pingetmadaldava trafo vooluahelasse on üles seatud lahklüliti. Sisse- ja väljalülitamisi madalpingel teostatakse kolmepooluseliste vinnaklülititega. Kontroll- ja mõõteriistade (ampermeetrite, arvestite) ning sünkroniseerimisseadiste toitmiseks seatakse üles voolu- ja pingetrafod. Generaatori ergutusahelasse on üles seatud ampermeeter. Maksimaalvoolureleesid toidetakse voolutrafodest. Kompaundeerimisseadis ühendatakse generaatori nullklemmidega. Elektrijaama sünkroniseerimine süsteemiga toimub kõrgepinge-poolel nullvoltmeetri ja sünkronoskoobi abil. Generaatori kaitseks on ette nähtud maksimaalvoolu- ja maksimaalpingekaitsmed. Seatakse üles ka automaatne väljasummutusseadis.

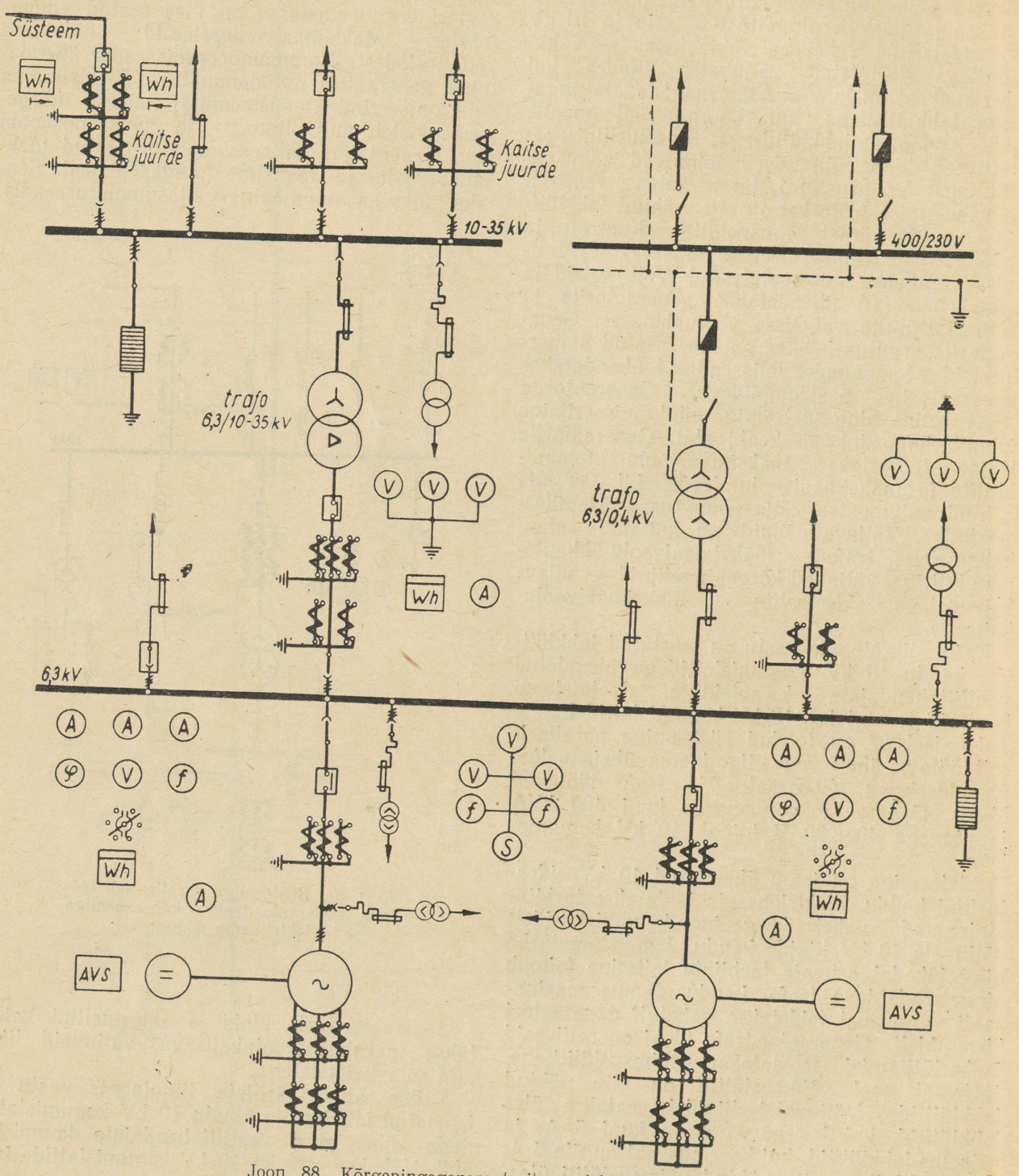


Joon. 87. Süsteemiga paralleelselt töötava generaator-trafo blokk-skeemiga elektrijaama skeem.

Generaator-trafo bloki ja sidestusliini kaitstakse maksimaalvoolukaitsega, väljuvaid liine aga sulavkaitsmetega.

Kaitse atmosfääriliste liigpingete vastu on teostatud lahklülitite kaudu 10 kV kogumislattidega ühendatud ventiillahendajate komplekti abil. Nähakse ette ka 10 kV kogumislattide isolatsiooni kontroll.

Analoogiliselt toodud skeemile koostatakse generaator-trafo blokiga jaamade skeemid siis, kui on kasutusel generaatorid pingega 6,3 kV.



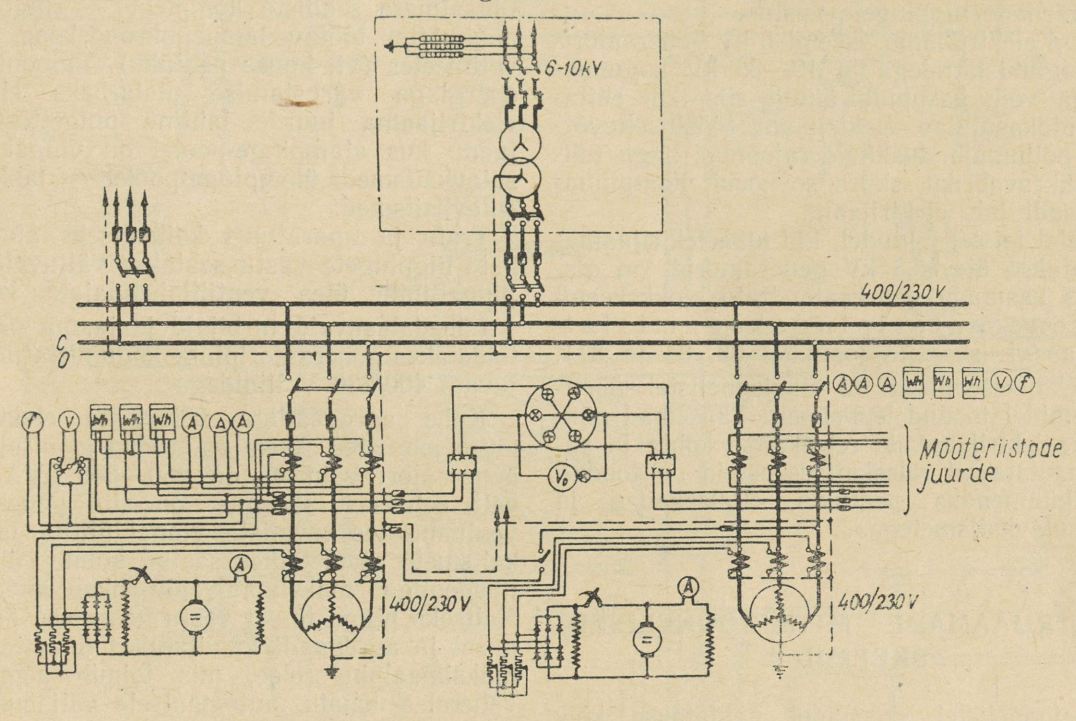
Joon. 88. Kõrgepingegeneraatoritega elektrijaama skeem.

Joonisel 88 on toodud süsteemiga paralleelselt töötava kahe agregaadiga jaama ühejooneline skeem. Kummagi generaatori võimsus on 500 kVA, pinge 6,3 kV.

Generaatoripinge-kogumislattidelt toimub väljuvate 6,3 kV liinide kaudu tarbija-alajaamade, jaama omatarbetrafo ja samuti 6,3/10 või 6,3/35 kV pingettõstvä trafo toitmine. 10 või 35 kV kogumislattidelt toidetakse kaugemal asuvaid tarbijaid ja teostatakse side süsteemiga.

Kontroll- ja mõõteriistade, maksimaalvoolukaitse, samuti sünkroniseerimisseadise riistade toitmiseks seatakse üles voolu- ja pingetrafod. Generaatorite ergutusahelates on ette nähtud ampermeetrid.

Kompaundeerimisseadised ühendatakse generaatorite nullpunktipoolsete klemmidega. Nii generaatoritevaheline kui ka generaatori ja süsteemi vaheline sünkroniseerimine teostatakse sünkroniseerimisseadise abil, mis koosneb null-



Joon. 89. Kahe agregaadiga elektrijaama mitmejooneline skeem; kummagi generaatori võimsus kuni 105 kVA.

Operatiivsete ümberlülituste teostamiseks on generaatorite vooluahelates ette nähtud õlilülitid, väljuvates 6,3 kV liinides, sõltuvalt koormusest ja tarbijate tähtsusest — võimsus-lahklülitid, lahklülitid või õlilülitid.

Pingetmadaldava trafo vooluahelasse on üles seatud lahklüliti, pingettõstva trafo vooluahelasse — kõrgepinge-võimsuslüliti.

Väljuvad 10 ja 35 kV liinid on seadmestatud lahklülitite ja võimsuslülititega. Madalpingetarbijatele suunduvatele liinidele on ette nähtud kolmepooluselised vinnaklülitid. Võimsuslülitite ja 6,3 kV kogumislattide, samuti pingettõstva trafo ja 10—35 kV kogumislattide vahele on üles seatud lahklülitid.

Süsteemi sidestusliinil on mõlemal pool õlilülitit ette nähtud lahklülitid võimsuslüliti ülevaatuse, remondi ja vahetamise otstarbel.

voltmeetrist, kahest voltmeetrist, kahest sagedusmõõtjast ja sünkronoskoobist.

Generaatoritele on ette nähtud maksimaalvoolukaitse. Igale generaatorile on monteeritud automaatne väljasummutusseadis, mis töötab agregaadi avariiliste väljalülitamiste puhul. Väljuvad liinid õlilülititega on kaitstud maksimaalvoolukaitsega, muud liinid aga sulavkaitsmetega. Liigpingekaitse teostatakse ventiillahendajate ülesseadmise teel 10 või 35 ja 6,3 kV kogumislattidele.

Nähakse ette 10 või 35 ja 6,3 kV kogumislattide isolatsiooni kontroll. Skeemi kohaselt peab igal generaatoril olema kaks pingetrafot, et toita mõõteriistu, sünkroniseerimis- ja kaitseseadiseid. Nad ühendatakse lahtisesse kolmnurka ning ühendatakse generaatori vooluahelasse lahklülitite, lisatakistuste ja torukaitsmete

või spetsiaalsete voolu piiravate kaitsmete kaudu. Pinge- ja voolutrafode sekundaarmähised maandatakse.

Seoses sellega, et osa kõrgepingeliine toidetakse vahetult generaatoripingega, tuleb ette näha generaatoritele spetsiaalne kaitse õhuliinides tekkivate atmosfääriliste liigpingete vastu.

Niisugune kaitse vajab terve rea keerukate abinõude tarvitusele võtmist, mida lähemalt kirjeldatakse kuueteistkümnendas peatükis «Kaitse atmosfääriliste liigpingete vastu».

Toodud elektrijaama skeemi 6 kV generaatoripinge-kogumislattidega ja 10—35 kV kogumislattidega võib kasutada ainult siis, kui ehitatakse üldkasutatav elektrijaam tööstusettevõttele ja põllumajanduslikule rajoonile, nagu näiteks suhkruvabriku, suure sovhoosi, liha-piimakombinaadi jne. elektrijaam.

Kõikidel teistel juhtudel, kui maaelektrijaamades seatakse üles 6,3 kV generaatorid, on otstarbekas kasutada generaator-trafo blokkskeemi ilma generaatoripinge-kogumislattideta (vt. skeemid joonistel 83, 84 ja 87).

Releekaitseseadised on ühejoonelistel ühendusskeemidel toodud leppeliselt. Täpsemad nõuded maaelektrijaamade releekaitse kohta ja samuti kasutatavad releekaitseskeemid on toodud üheteistkümnendas peatükis «Releekaitse ja kaitse sulavkaitsmetega».

ELEKTRIJAAMADE MITMEJOONELISED SKEEMID

Mitmejoonelistel skeemidel näidatakse kõik põhilised ühendused nii primaar- kui ka sekundaarahelates. Ühe, kahe ja vahel ka kolme agregaadiga jaamade projekteerimisel, kui ühe agregaadi võimsus on 200—300 kW ja releekaitse on lihtne, mahutatakse elektriliste ühenduste mitmejooneline skeem ühele lehele. Suurema võimsusega agregaatidega ja keerukama releekaitse ja juhtimisega jaama üldist mitmejoonelist skeemi on raske mahutada ühele lehele. Niisugustel juhtudel joonestatakse tavaliselt kogu jaama kohta ühejooneline ühendusskeem ja peale selle üksikute elementide kohta rida mitmejoonelisi skeeme, näiteks generaator-trafo bloki, kõrgepingeliini, omatarbe, laadimisagregaadi jne. skeemid.

Joonisel 89 on toodud kahe agregaadiga elektrijaama mitmejooneline skeem. Generaatorid võimsusega 105 kVA töötavad ühistele kogumislattidele. Antud võimsuse korral on generaatorite vooluahelate aparaatideks vinnaklülitid ja sulavkaitsmed. Jaama masinasaali valgustust toidetakse generaatorite ja peakaitsmete vahelisest haruühendusest. Pinge reguleerimise otstarbel monteeritakse igale generaatorile kolmefaasiline kompaundeerimisseadis. Kontroll-mõõtesüsteem koosneb kolmest ampermeetrist, ühest ümberlülitiga voltmeetrist, sagedusmõõtjast ja kolmest ühefaasilisest arvestist. Ampermeetreid ja arvestite voolumähiseid toidetakse poolitüüpi voolutrafodest. Generaatori ergutusahelas on alalisvoolu-ampermeeter. Sünkroniseerimise otstarbeks paralleeltööle lülitamisel on ette nähtud lihtsaimate seadiste komplekt — ringleva tule põhimõttel töötav lampsünkronoskoop ja nullvoltmeeter (vt. kuues peatükk). Rajooni elektrienergiaga varustamise otstarbeks ehitatakse elektrijaama juurde lahtine pingettõstev alajaam, kus alampinge-poolel on vinnaklüliti ja sulavkaitsmed, ülempinge-poolel — lahklüliti ja sulavkaitsmed.

Trafo ja aparatuuri kaitsmiseks atmosfääriliste liigpingete vastu seatakse väljuvale kõrgepingeliinile üles ventiillahendajate komplekt.

Lähedalasuvaid tarbijaid ja jaama omatarvet toidetakse generaatoripinge-kogumislattidelt väljuvate 400/230 V liinidega.

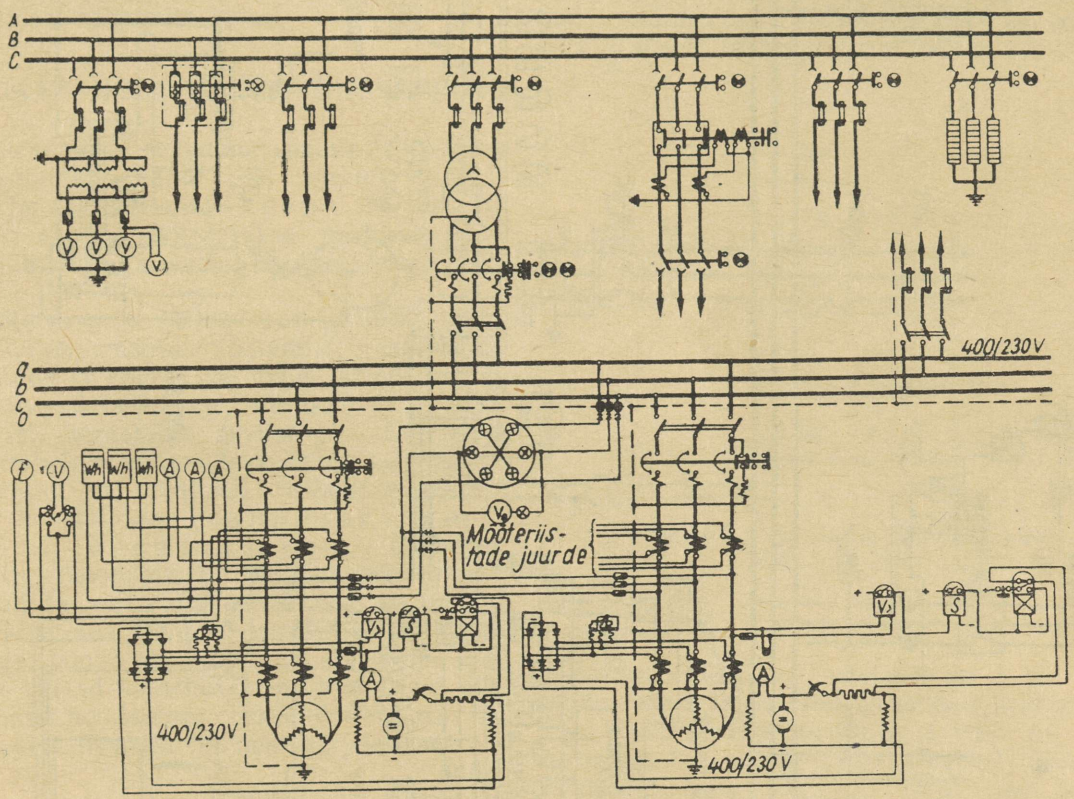
Kahe agregaadiga võimsama elektrijaama mitmejooneline skeem on toodud joonisel 90. Iga generaatori võimsus on 250—300 kVA. Erinevalt eelmisest skeemist on siin generaatorite vooluahelates tavaliste vinnaklülitite ja sulavkaitsmete asemel üles seatud kolme väljalülitamispooliga maksimaalvoolu-õhkautomaatlülitid. Kaitseks pinge tõusu vastu koormuse äralangemisel ja agregaadi käivitamisel on ette nähtud maksimaalpingerelee, mis toimib aegrelee ja vaherelee kaudu automaatsele väljasummutusseadisele.

Maksimaalpingerelee ühendatakse generaatori faasipingele; ta rakendub faasipinge tõusul kuni väärtuseni 1,5 U_n. Relee normaalselt avatud kontaktide sulgumisega antakse akupatareist alalisvool aegrelee pooli. Peale rakendumist aegrelee suleb oma kontaktid ja pingestab vaherelee. Viimasel sulgub üks, normaalselt avatud (alumine) kontakt, kuna teine, normaalselt suletud kontakt (ülemine) avaneb. Vaherelee ülemise kontakti avanemise tõttu lülitatakse ergutusahelasse väljasummutustakistus (vt. üheteistkümnes peatükk).

Vaherelee alumine, sulgunud kontakt teostab relee enda blokeerimist («kleepumine»), hoides sellega ära väljasummutusskeemi korduvat töölerakendumist.

Pingettõstev trafo on varustatud järgmise aparatuuriga: madalpinge-poolel — automaatlülitiga ja vinnaklülitiga automaatlüliti ja kogumislattide vahel, kõrgepinge-poolel — kvartsliivatäitega sulavkaitsmete ja lahklülititega.

Väljuvatele kõrgepingeliinidele seatakse üles kas lihtsad lahklülitid, võimsus-lahklülitid või kõrgepinge-võimsuslülitid. Isolatsiooni kontrolliks kõrgepinge-kogumislattidel on ette nähtud kolm ühefaasilist pingetrafot. Kolme ühefaasilise pingetrafo asemel võib üles seada ka ühe viiesambalise kolmefaasilise trafo. Muus osas on skeem sarnane joonisel 89 toodud skeemile.



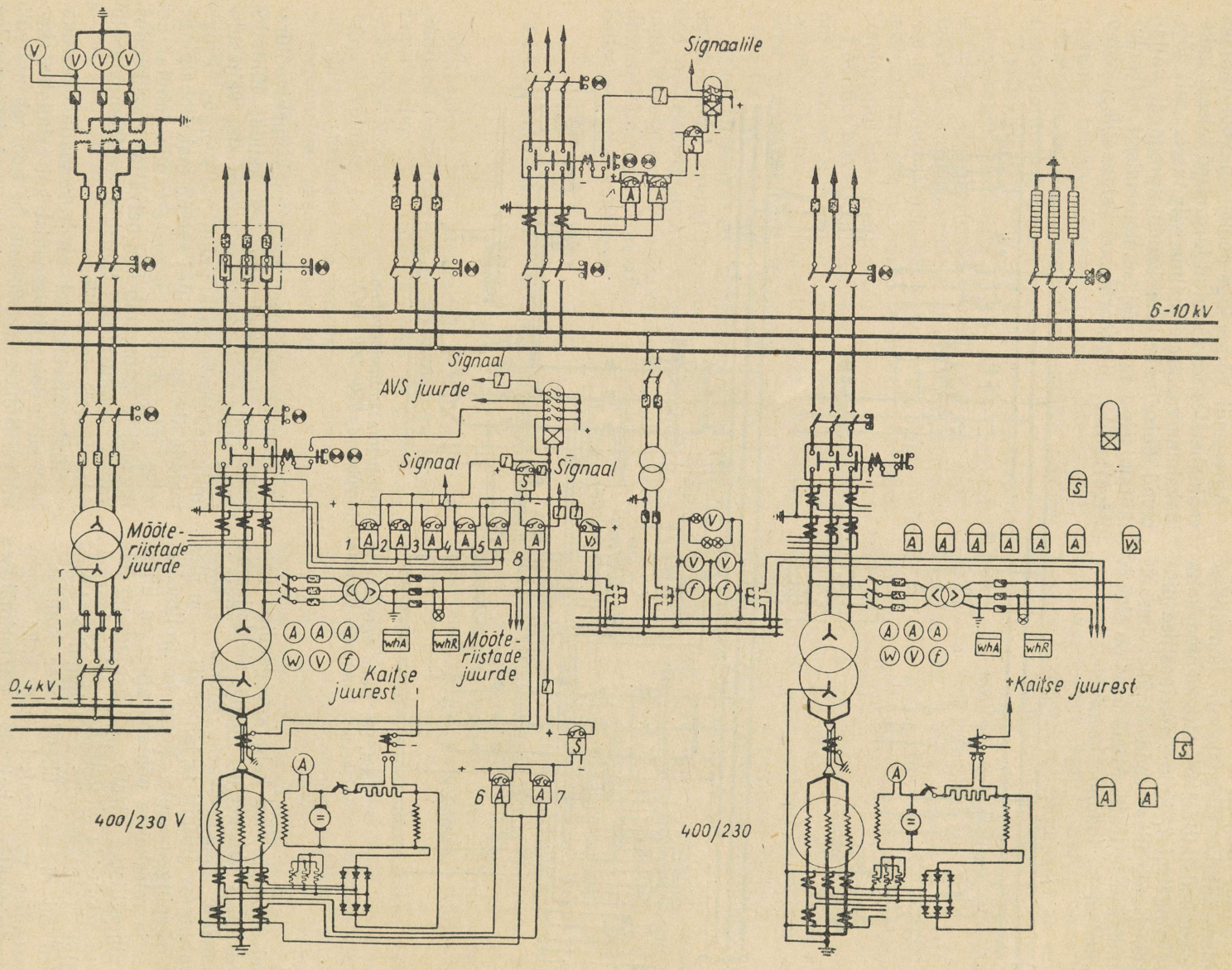
Joon. 90. Kahe agregaadiga elektrijaama mitmejooneline skeem; kummagi generaatori võimsus 250—300 kVA.

Joonisel 91 on toodud kahe agregaadiga (generaator-trafo blokkskeemi järgi) elektrijaama mitmejooneline ühendusskeem. Blokki väljalülitav aparatuur — õlilüliti ja lahklüliti — on üles seatud kõrgepinge-poolele. Kogu kontrollmõõteaparatuur ja releekaitse põhiaparatuur on ühendatud pingettõstva trafo kõrgepinge-poolele ülesseatud voolu- ja pingetrafode sekundaarmähiste külge. Generaatorite nullklemmide külge (kui need on olemas) ühendatakse kompaundeerimisseadise voolutrafod ning kaks voolutrafot maksimaalvoolukaitsele staatorimähises mitmefaasiliste lühiste tekkimise vastu. Ühefaasiliste lühiste puhul maaga on bloki vooluahelas ette nähtud voolutrafo tüüp TЗ. Maaühenduskaitse ühendusskeem on toodud üheteistkümnendas peatükis, siin aga on see antud vaid leppeliselt.

Agregaadi kõrgepinge-poolel on voolutrafode vooluahelates üles seatud järgmised releed: kaks maksimaalvoolureleed ilma viivituseta, mis töötavad ühise vaherelee kaudu agregaadi väljalülitamisele ja väljasummutamisele (voolulõige); üks liigkoormustel signaalile töötav maksimaalvoolurelee; kaks maksimaalvoolurelee leed, mis töötavad aegrelee kaudu, lülitades välja bloki ja rakendades automaatse väljasummutusseadise lühiste puhul välisvõrgus. Pingetrafode ahelasse on üles seatud maksimaalpingerelee, mis, töötades aegrelee kaudu, lahutab agregaadi ja summutab magnetvälja. Maaühenduskaitse voolutrafost toidetav maksimaalvoolurelee töötab signaalile.

Sünkroniseerimisel on rakendatud keerukamat sünkroniseerimisseadist kui eelmistes skeemides. Sünkroniseerimisseadis koosneb nullvoltmeetrist, kaksikvoltmeetrist ja kaksiksagedusmõõtjast (vt. kuues peatükk).

Suurt võimsust ülekandev pikk väljuv liin on kaitstud kahe maksimaalvoolureleega, mida toi-



Joon. 91. Generaator-trafo blokkskeemiga kahe agregaadiga elektrijaama kolmejooneline skeem:
1—2—3—4—5—6—7—8 — maksimaalvoolureleed.

detakse kahest mittetäielikku tähte ühendatud voolutrafost. Õlilüliti ajami väljalülitamispoolidele toimib maksimaalvoolurelee aeg- ja vahereleе kaudu. Kui on olemas piiratult sõltuva karakteristikuga maksimaalvoolurelee (tüüp ИТ-81), võib läbi saada ilma aeg- ja vahereleedeta. Niisugusel juhul saavutatakse kaitse suurem selektiivsus, kui kasutatakse kaitsmeid tarbijate juures ning releesid kõrgepingeliinide elektrijaamast väljumise kohal.

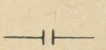
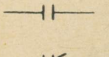
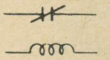
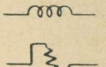
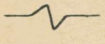
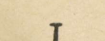
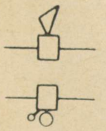
SEKUNDAARAHELATE ÜHENDUSSKEEMID

Elektriseadmete sekundaarahelate kujutamiseks kasutatakse kahte liiki skeeme: p õ h i m õ t t e - j a m o n t a a ž i s k e e m e. Nii üks kui teine liik skeeme koostatakse projekteeritava seadme juhtimise ja kaitse üksikute elementide kohta.

Põhimõtteskeemid väljendavad piltlikult juhtimis- ja kaitseelementide töötamist, vastastikust sidet riistade ja aparaatide vahel, samuti nende konstruktiivseid iseärasusi, sõltuvalt toiteviisist, vooluliigist, kontaktide arvust jne. Keerukate sekundaarahelate põhimõtteskeemide koostamine ja lugemine on tavaliselt raskendatud. Neil juhtudel koostatakse s e k u n d a a r a h e l a t e l a o t a t u d ü h e n d u s s k e e m. Erinevalt tavalistest (koondatud) põhimõtteskeemidest, kus riistad ja aparaadid näidatakse koondatud kujul kõikide oma mähiste, kontaktide ja muude detailidega, lahutatakse laotatud skeemidel aparaadid ja riistad koostiselementideks. Need elemendid asuvad laotatud skeemis eri ridades nendest operatiivvoolu läbimise järjekorras.

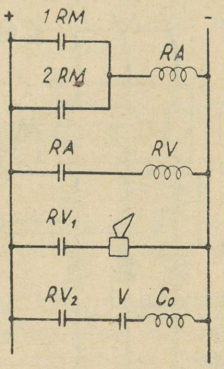
Tabel 53

Tingmärgid laotatud skeemides

1		— normaalselt avatud kontakt
2		— normaalselt suletud kontakt
3		— relee pool
4		— kontaktori pool
5		— järjestikku ühendatud pool
6		— aktiivtakistus
7		— surunupp, normaalselt kinni
8		— surunupp, normaalselt lahti
9		— sireen
10		— kõlisti

Laotatud skeemide koostamisel ja lugemisel kasutatakse tabelis 53 toodud tingmärke.

Et osata koostada ja lugeda sekundaarahelate laotatud ühendusskeeme, arutame läbi eelmises lõigus joonisel 91 näidatud väljuva liini ja generaator-trafo bloki kaitse põhimõtteskeemi. Jaama energiasüsteemiga ühendav sidestusliin kaitstakse kahe maksimaalvoolureleega, mida toidetakse kahest mittetäielikku tähte ühendatud voolutrafost, aegreleega ja vahereleega. Sama skeem laotatud kujul on näidatud joonisel 92.



Joon. 92. Liini kaitse laotatud skeem (joonis 91 juurde).

Alalisvoolu-operatiivvahelasse on + ja — pooluste vahele ühendatud järgmised vooluahelad:

1) maksimaalvoolureleede 1 RM ja 2 RM normaalselt avatud ja paralleelselt ühendatud kontaktid ning nendega järjestikku aegrelee pool RA;

2) aegrelee RA normaalselt avatud kontakt ja vaherelee RV pool;

3) vaherelee RV normaalselt avatud kontakt RV_1 ning helisignaal;

4) vaherelee RV normaalselt avatud kontakt RV_2, õlilüliti blokk-kontakt L ja lüliti väljalülitamispool C_0.

Lugedes skeemi ülalt alla ja vasakult paremale, ei ole raske lahti mõtestada liini kaitse töötamist. Sulgedes ühe relee RM kontakti, läbib aegrelee RA pooli operatiivvool; relee RA kontakt sulgub ning vool läbib vaherelee RV pooli; edasi sulgub relee RV ülemine kontakt RV_1 ja rakendab signaalseadise; üheaegselt sellega sulgub relee RV teine kontakt RV_2 ning saadab liini lahutamiseks impulsi lüliti V blokk-kontakti kaudu. Lüliti blokk-kontakt V oli lüliti suletud olukorras samuti suletud.

Et kujutada laotatud kujul keerukamat generaator-trafo blokkskeemi, on joonisel 93 toodud

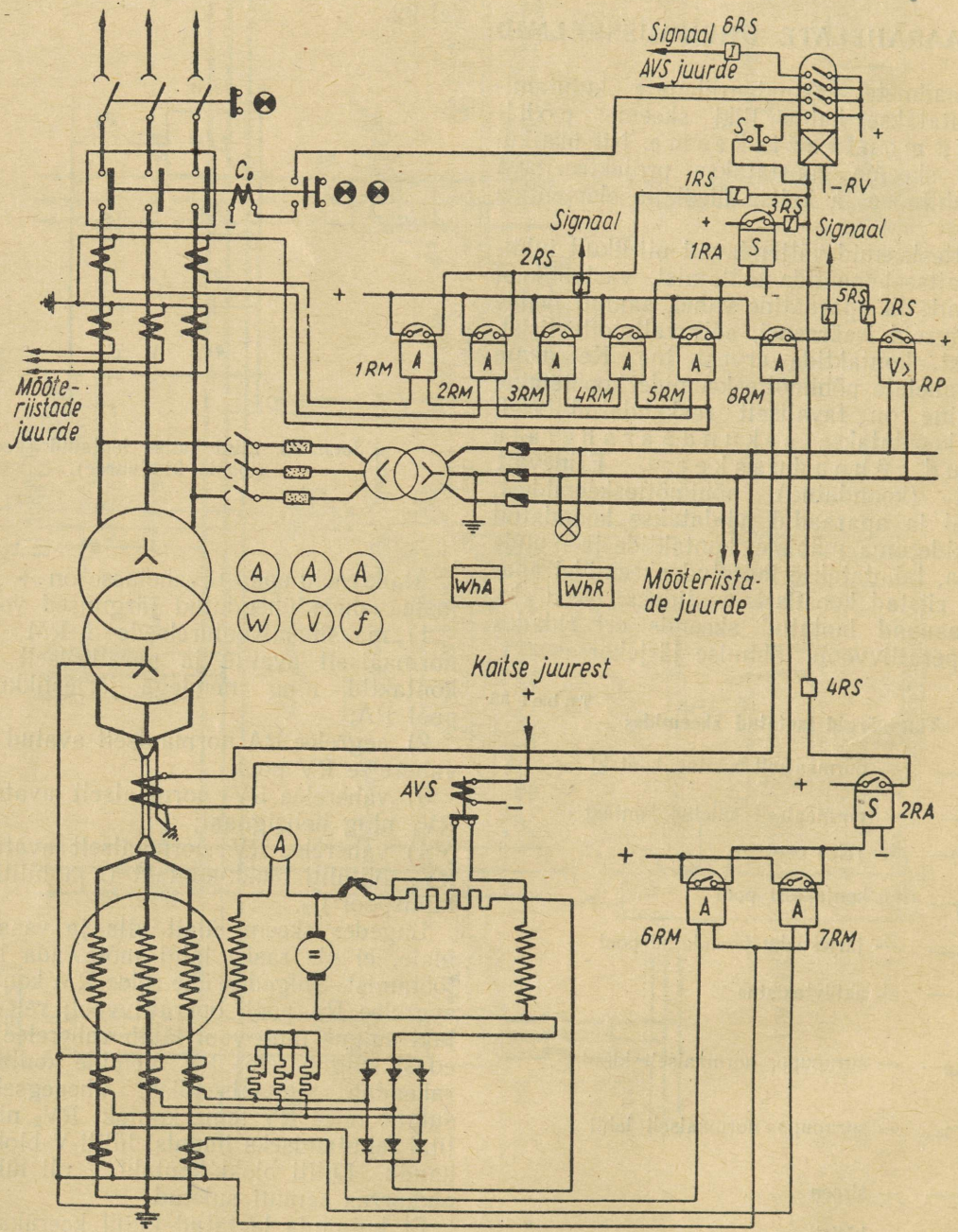
generaator-trafo bloki kaitse koondatud põhimõtteskeem.

Kõik aparaadid, riistad ja kontaktid on nummerdatud, et oleks kergem võrrelda omavahel nii koondatud kui ka laotatud põhimõtteskeeme (joonised 93 ja 94).

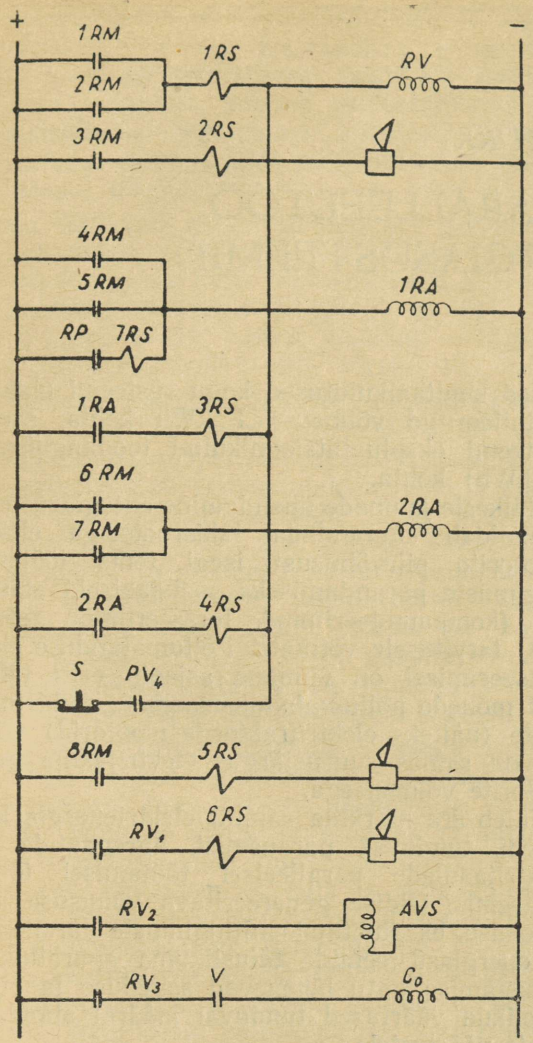
Laotatud skeemil (joonis 94) on kaitse töötamine palju selgemalt kujutatud kui koondatud skeemil.

Lugedes skeemi näeme, et ühe voolulõikerelee 1 RM või 2 RM rakendumisel rakendub viivituseta vaherelee RV, kusjuures selle relee pooli toitmine toimub signaalrelee 1 RS kaudu. Edasi sulguvad neli relee RV tavaliselt avatud kontakti, mis on näidatud laotatud skeemi alumistes ridades (joonis 94).

Kontakt RV_1 paneb signaalrelee 6 RS kaudu tööle helisignaali, kontakt RV_2 teostab välja-



Joon. 93. Generaator-trafo bloki kaitse põhimõtteskeem.



Joon. 94. Generaator-trafo bloki kaitse laotatud põhimõtteskeem.

summutamist, saates impulsi kontaktori AVS pooli, kontakt RV_3 annab blokk-kontakti V kaudu voolu lüliti väljalülitamispooli C_0 ja kontakt RV_4 teostab normaalselt suletud surunupu S kaudu vaherelee RV endatoitmist. Surunupp S on ette nähtud vaherelee RV endatoitmise lõpetamiseks ja seega kogu skeemi tagastamiseks algolukorda. Maksimaalvoolurelee 3 RM töötab signaalrelee 2 RS kaudu helisignaalile. Välisahelas asuvad agregaadi kaitseks lühiste vastu kaks releed 4 RM ja 5 RM, mis rakendudes juhivad voolu läbi aegrelee 1 RA pooli. Viimane, rakendudes teatud aja möödudes, sulgeb oma kontaktid 1 RA ja paneb signaalrelee 3 RS kaudu tööle vaherelee RV. Maksimaalpingerelee RP, mis kaitseb agregaati pinge tõusu vastu koormuse äralangemisel tekkiva pöörlemiskiiruse tõusu tõttu, sulgedes kontaktid, rakendab relee 7 RS kaudu aegrelee 1 RA ja edasi üldise väljumisrelee RV. Kaks maksimaalvoolureleed, 6 RM ja 7 RM, olles ette nähtud generaatori kaitsmiseks faasidevaheliste lühiste vastu staatorimähises, on ühendatud generaatori klemmidega nullpunkti poolel, toimides aegrelee 2 RA ja signaalrelee 4 RS kaudu, rakendavad üldise väljumisrelee RV, s. o. töötavad väljalülitamisele ja magnetvälja summutamisele.

Ülejäänud maksimaalvoolurelee 8 RM, mida toidetakse maanduskaitse voolutrafost tüüp T3 või T3P, saadab rakendudes operatiivvoolu helisignalisatsiooniseadisesse.

Eeltoodud sekundaarahelate põhimõtteskeemi koostamise näite varal näeme, et laotatud skeemid on keerukate vooluahelate puhul palju lihtsamad ja ülevaatlikumad kui tavalised, koondatud skeemid.

Automaatse juhtimise skeemide koostamisel (vt. kaheteistkümnes peatükk) kasutatakse põhiliselt laotatud põhimõtteskeeme.

M o n t a a ž i s k e e m on elektriseadme tööprojekti elemendiks; tema alusel teostatakse montaaž, objekti töökorda seadmine ja proovimine. Montaažiskeemil näidatakse kõik skeemielemendid, markeeritakse täpselt juhtmete ja kaablite üksikud sooned, sekundaarahelate elektrilised ühendused, riistade ja aparaatide klemmid ja kontaktid, näidatakse ära kõikide nende elementide asukohad kilpide paneelidel.

KUUES PEATÜKK

GENERAATORITE PARALLEELTÖÖ JA KOHALIKUD ENERGIASÜSTEEMID

PARALLEELTÖÖ EELISED

Maaelektrijaamadele on iseloomulikud koormuse järsud muutused nii päeva jooksul kui ka mitmesugustel aastaaegadel. Lahus töötamisel on iga agregaadi võimsus võrdne temaga ühendatud tarbijate maksimaalse võimsusega. Jaama väikese koormuse ajal on generaator nõrgalt koormatud, mis vähendab elektrijaama kasutegurit. Lahus töötamisel peab igas jaamas olema reservagregaat, millega saaks asendada tööst väljalangenud agregaati. Lahus töötamine põhjustab põhikulude ja energia maksumuse suurenemist.

Kui generaatorid töötavad jaamas paralleelselt ühistele kogumislattidele või kui energiasüsteemis üksikud elektrijaamad töötavad paralleelselt, võib töös hoida ainult vajalik arv masinaid. Need masinad võivad töötada täisvõimsusega, mis järsult tõstab elektrijaamade kasutegurit. Tippkoormuse ajal käivitatakse lisaagregaadid, kusjuures kõik agregaadid, peale ühe, töötavad täiskoormusel ja järelikult optimaalse kasuteguriga.

Jaama agregaatide paralleelsel töötamisel ja üksikute maaelektrijaamade ühendamisel kohalikesse energiasüsteemidesse paraneb tunduvalt tarbijate varustamine elektrienergiaga. Samuti suureneb elektrijaamade ekspluateerimise majanduslikkus: kasutatakse paremini masinaid, suureneb elektrienergia toodang ja vähenevad ühendatud õhuliinide ekspluatatsioonikulud.

Üksikute jaamade ühendamine ühisesse süsteemi võimaldab juurde ühendada uusi tarbijaid, suurendamata genereeritavat üldist võimsust, kuna genereeritava võimsuse kasvades väheneb elektrienergiaga varustatavas piirkonnas üldine nõudetegur, s. o. jaamade tippkoormuse ja tarbijate ühendusvõimsuse suhe.

A. G. Zahharini (13) uurimuste kohaselt on hüdroelektrijaamade ja soojuselektrijaamade paralleelsel töötamisel võimalik paremini kasutada jõgede veevarusid, mistõttu suureneb hüdroelektrijaamade võimsus samade hüdrotehniliste ehitiste juures. Sel puhul vähenevad ka keskmised kapitaalkulutused kogu süsteemi ulatuses installeeritud võimsuse 1 kWh kohta, samuti süsteemi ekspluatatsioonikulud toodanguüksuse (1 kWh) kohta.

Väikeste jaamade ühendamine energiasüsteemi võimaldab suurendada lühisrootoriga elektrimootorite piirvõimsust isegi tema töötamistingimuste parandamiseks spetsiaalseid abinõusid (kompaundeerimine, forsseerimine releede abil) tarvitusele võtmata. Põllumajanduse elektrifitseerimisel on viimane asjaolu eriti tähtis, sest mõnede põllumajandusmasinate elektrimootorite (näiteks elektritraktorite mootorid) võimsus on samas suurusjärgus elektrijaama generaatorite võimsusega.

Tuleb ära märkida samuti elektrienergia kvaliteedi tunduvat paranemist agregaatide või elektrijaamade paralleelsel töötamisel ühises süsteemis. Üldise genereeritava võimsuse suurenemise, ekspluatatsioonitingimuste paranemise ja energiasüsteemide täiuslikuma aparatuuriga varustamise tõttu lähenevad sageduse ja pinge tegelikud väärtused tunduval määral standardsetele väärtustele.

Üksikute jaamade ühendamisel energiasüsteemidesse tuleb lahendada terve rida küsimusi, mis on seotud üksikute agregaatide stabiilse ja katkestamatu paralleeltöö organiseerimisega. Need ülesanded seisavad põhiliselt paralleeltööle lülitamise viiside, ühelt generaatorilt teisele koormuse üleviimise, väljalülitamise, masinate stabiilse töötamise ja süsteemi põhiliste tehnoloogiliste parameetrite selgitamisega seoses olevate küsimuste lahendamises.

GENERAATORITE PARALLEELTÖÖ TINGIMUSED JA NÕUDED PRIMAARJÕUMASINATELE

Lülitades generaatori paralleeltööle juba töötavate kolmefaasiliste vahelduvvoolugeneraatoritega, peavad pingete efektiivväärtused ja sagedused olema võrdsed ning pingevektorid ühtima faasis. See saavutatakse paralleeltööks etteval-

mistatava generaatori pöörlemiskiiruse ja ergutuse reguleerimise teel. Käivitamise ja reguleerimise protsessi teostatakse tavaliselt käsitsi, liigutades vajalikus suunas primaarjõumasina pöörlemiskiiruse regulaatori käepidet, näiteks hüdroturbiini juhtaparaadi ja generaatori ergutusreostaadi käepidet.

Nagu näitavad maaelektrijaamade paralleeltöö kogemused, on generaatori lülitamine võrguga sünkroonsele tööle võimalik isegi siis, kui ülalnimetatud suurused täielikult ei ühti, ja nimelt: pinge 1—2% võrra, sagedus — 0,5—1 hertsi, pöörlemiskiirus 1—2% võrra.

Kolmefaasiliste generaatorite stabiilsele paralleeltööle avaldab peale generaatorite endi karakteristikute mõju veel ebaühtlusaste. Ebaühtlusaste kujutab endast maksimaalse ja minimaalse pöörlemiskiiruse vahe ning keskmise pöörlemiskiiruse suhet ühe pöörde vältel. See suurus sõltub generaatorit käitava primaarjõumasina karakteristikust. Jõumasinatel, millel pöördemoment kogu pöörde vältel on konstantne, näiteks vee-, auru- ja gaasiturbiinidel, on ebaühtlusaste küllalt väike. Nimetatud mootorite paralleeltöö ei tekita mingeid raskusi.

Kõik edasi-tagasi liikuvate osadega mootorid, nagu näiteks aurumasinad, gaasimootorid, diiselmootorid jne., vajavad ebaühtluse silumiseks ja rahuliku käigu tagamiseks raskemaks tehtud hooratast. Mida suurem on hooratta hoomass, seda ühtlasem on käik ja seda väiksem on agregaatide paralleeltööd mõjutav ebaühtlusaste. Lahus töötavate generaatorite ja nende primaarjõumasinate korral võib valida väiksemad hoomassid, s. o. lubada suuremat ebaühtlusastet, kuid siiski teatud piirini, sest suurendatud ebaühtlusastme korral on elektrilampide valgus rahutu ja vilkuv.

Kolmefaasiliste generaatorite paralleeltöö tingimused on teistsugused kui alalisvoolugeneraatoritel. Primaarjõumasinate ebaühtlusaste ei ole ainsaks otsustavaks teguriks stabiilsel töötamisel ühistele kogumislattidele ja energiasüsteemides. Ühelt poolt, arvestades vastastikust mõju, võib paralleelselt töötavate vahelduvvoolugeneraatorite tegelik ebaühtlusaste olla suurem kui masinate lahustöötamisel. Teiselt poolt ei tohi valida selliseid hoomasse, mis võivad sattuda resonantsi generaatori omavõnkumistega, sest see põhjustab omakorda masinate lubamatut võnkumist ja nende sünkronismist väljalangemist.

Rihmülekande puhul tasandub edasi-tagasi liikuvate kolbidega masinate ebaühtlane käik osaliselt rihma enda mõjul, kuna aga otsesel sidurdamisel kandub ebaühtlus täielikult üle generaatorile. Sel juhul aga silub aeglase käiguga generaatorite paljupooluseliste rootorite suur hoomass käigu ebaühtluse. Rihma kokkuõmblemine avaldab negatiivset mõju paralleeltöö stabiilsusele, sest rihma löökide tõttu rikutakse generaatori käigu ühtlust.

Generaatorite paralleeltöö rahuldavaks kulgemiseks on vaja, et ebaühtlusaste ei oleks üle 1/200—1/250.

Nagu teada, jaotatakse koormus paralleelselt töötavate alalisvoolugeneraatorite vahel generaatori ergutuse käsitsi reguleerimisega. Küllaldane on tõsta paralleeltööle lülitatava generaatori pinget, et ta võtaks endale koormuse. Sellest tingitud pöörlemiskiiruse vähenemist ühtlustab primaarjõumasina automaatregulaator, mis muudab etteantava kütuse või vee hulka. Kolmefaasiliste vahelduvvoolugeneraatorite puhul tuleb aga primaarjõumasina regulaator käsitsi ümber asetada. Seepärast elektrijaamades, kus agregaadid töötavad paralleelselt ühistele kogumislattidele või ühises energiasüsteemis, peavad primaarjõumasinad olema varustatud seadistega, mis võimaldavad pöörlemiskiirust käsitsi reguleerida.

Ergutuse forsseerimisel sünkroongeneraatori ergutaja ergutusregulaatori abil tekib esialgu tasandusvool, mis läbib juba koormatud masinaid. Tasandusvool kujutab endast reaktiivvoolu, mistõttu juurdelülitatava generaatori vattmeeter peaaegu ei anna kõrvalekaldumist endisest näidust, kuna aga ampermeetri näit suureneb. Generaatorit ei koormata aktiivkoormusega, mistõttu ei lange primaarjõumasina pöörlemiskiirus ega toimi järelikult ka automaatne pöörlemiskiiruse regulaator. Et suurendada koormuse pealevõtmiseks vajalikku etteantava kütuse, auru või vee hulka, pannakse tegevusesse pöörlemiskiiruse käsitsi reguleerimise seadis. Juurdelülitatud generaatori vattmeeter näitab koormuse suurenemist, kuna töötavate masinate koormus vastavalt väheneb, kui tarbijate muutumatul koormusel samaaegselt käsitsi reguleerida töötavatele agregaatidele vee, auru või kütuse etteandmist. Kui aga üheaegselt agregaadi käivitamisega tarbijate võimsus vastavalt suureneb, ei ole loomulikult vaja vähendada töötavatele agregaatidele antava vee, auru või kütuse hulka.

Kõik maahüdroelektrijaamade hüdroturbiinid ja CK- ning CTK-tüüpi lokomobiilid võimsusega 125 kuni 500 HJ on varustatud regulaatoritega, milledega saab muuta pöörlemiskiirust käigul. Ka on nende lokomobiilide käigu ebaühtlusaste väike, nimelt piirides 1/200—1/250.

Öeldust selgub, et generaatoreid võib edukalt lülitada paralleeltööle isegi juhul, kui primaarjõumasinatel puudub automaatne pöörlemiskii-

ruse regulaator. On vaid tarvilik, et primaarmootorid oleksid varustatud seadisega pöörlemiskiiruse reguleerimiseks käigul.

PARALLEELTÖÖ STABIILSUS

Elektrijaamade paralleeltöö korral eristatakse kahte stabiilsuse mõistet: staatiline stabiilsus ja dünaamiline stabiilsus.

Staatiline stabiilsus on koormuse järkjärgulisel suurenemisel süsteemi poolt ülekantava võimsuse piirväärtus. Dünaamiline stabiilsus on süsteemi võime jätkata häireteta töötamist tema režiimi ootamatute muutuste puhul. Eriti tähtis on maaelektrijaamadele dünaamiline stabiilsus, näiteks antud võrgus võimsa lühisrootoriga elektrimootori käivitamise või lühiste puhul. Stabiilsuse üle otsustamisel on otsustav tähtsus võrgupinge vektori ja antud generaatori elektromotoorse jõu vektori vahelisel nurgal.

Kui sünkroonmasin töötab generaatorina paralleelselt niisuguse süsteemiga, kus pinge ja sagedus hoitakse konstantsena, siis selleks, et generaator võtaks peale aktiivkoormuse, peab tema elektromotoorse jõu vektor teatud nurga võrra ennetama võrgupinge vektorit. See ennetusnurk jääb muutumatu võimsuse puhul muutumatuks, kusjuures generaatori sünkroonpöörlemiskiirus ühtib täielikult energiasüsteemi sagedusele vastava sünkroonpöörlemiskiirusega. Kui generaatori elektromotoorse jõu vektor ühtib võrgupinge vektoriga, siis generaator ei anna võrku aktiivvõimsust ning tema primaarjõumasin kulutab vett, auru või kütust agregaadi tühijooksukadude katteks. Kui aga generaatori elektromotoorse jõu vektor jääb maha võrgupinge vektorist, siis see näitab seda, et generaator töötab mootorina ning tema primaarjõumasin ei kuluta vett, auru või kütust.

Generaatori poolt võrku antav võimsus paralleeltööl süsteemiga avaldub üldjuhul valemiga:

$$P = \frac{3\,UE}{X_d} \sin \Theta, \qquad (3)$$

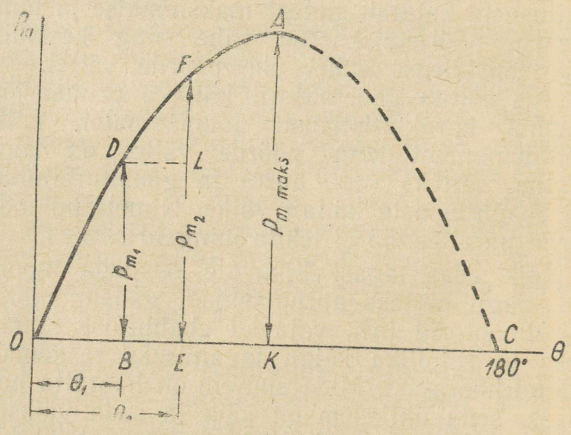
kus: P — generaatori poolt võrku antav võimsus;
U — võrgu faasipinge;
E — generaatori faasi elektromotoorne jõud;
Θ — nurk võrgupinge ja generaatori elektromotoorse jõu vektorite vahel;
X_d — generaatori sünkroonne reaktiivtakistus.

Sõltuvus võimsuse ja nurga vahel muutumatu võrgupinge ja generaatori elektromotoorse jõu puhul väljendub sinusoidina ning on toodud täisnurksetes koordinaatides joonisel 95.

Abstsissteljele on kantud nurga väärtused 0 kuni 180°.

Generaatori poolt võrku antavat võimsust sõltuvalt nurgast iseloomustab kõver *OAC*. Nurga muutudes 0 kuni 90° võimsus kasvab, saavutades teoreetiliselt maksimaalväärtuse 90° juures. Nurga edasisel suurenemisel võimsus ei kasva, vaid kahaneb.

Kõvera *OAC* vasak pool kujutab stabiilse töö piirkonda, kuna teine, punktiiriga näidatud piirkond iseloomustab generaatori ebastabiilset töötamist.



Joon. 95. Sõltuvus $P_m = f(\theta)$.

Vaatleme lähemalt generaatori stabiilset ja ebastabiilset töötamist. Oletame, et generaator töötab niisuguses režiimis, et tema elektromotoorse jõu vektor ennetab võrgupinge vektorit nurga Θ_1 võrra, mis vastab lõigule *OB*, ning annab ära võimsuse P_{m1}, mis on võrdeline lõiguga *BD*. Kui avada suuremal määral hüdroturbiini juhtaparaati või mõne muu primaarjõumasina reguleerimisseadist, siis generaatori võllile rakendatud momendi suurenemise tõttu suureneb nurk kuni väärtuseni *OE*. Kõvera *OAC* alusel suureneb ka võrku antav võimsus ja vastab lõigule *EF*.

Tekib tasakaal generaatori võllil suurenenud momendi ja generaatorit pidurdava momendi vahel. Generaatori pöörlemiskiirus ei muutu, kuid suureneb nurk generaatori elektromotoorse jõu vektori ja võrgupinge vektori vahel.

Oletame, et generaator töötab ligi 90° ennetusnurga ja suurima äraantava võimsusega $P_{m\ maks}$ (vastab lõigule *AK*). Kui nüüd juht-

aparaat avaneb veelgi enam, siis omandab nurk suurema väärtuse kui 90°. Võrku antav võimsus ei kasva, vaid kahaneb; ühes sellega väheneb ka generaatorit pidurdav moment. Seega kaob tasakaal generaatori võllile mõjuva momendi ja teda pidurdava momendi vahel: esimene suureneb tunduvalt, võrreldes teisega, ning nurk suureneb veelgi. Generaator kiirendub, tema pöörlemiskiirus kasvab ja ta langeb lõpuks sünkronismist välja.

Mida lähemal on nurga väärtus 90°-le, seda väiksem on suhteliselt generaatori võrku antava võimsuse juurdekasv, võrreldes nurga juurdekasvuga, s. o. seda väiksem on nn. sünkroniseeriv moment. Seega, mida suurem on nurk Θ, seda vähem on generaator võimeline sünkroniseeruma süsteemiga.

Generaatori töötamise piirkonda, kus nurga Θ väärtus on ligi 90°, nimetatakse kunstliku stabiilsuse piirkonnaks. Selle nurga suurenedes kasvab generaatori aktiivvõimsus teatud piirini ja hakkab siis vähenema. Generaatori stabiilsuse tunnus: tasakaaluasendist väikesel kõrvalekaldumisel pöördub generaator sellesse jälle tagasi. Praktiliselt töötab generaator stabiilselt siis, kui pinge ja elektromotoorse jõu vaheline nurk ei ületa 40 elektrilist kraadi, mis omakorda vastab 60—70%-lisele ülekoormusele. Suuremate nurkade puhul, kui ei võeta kasutusele abinõusid ergutuse forsseerimiseks, hakkab generaator võnkuma ning saabub ebastabiilse töötamise režiim; nurga väikesel suurenemisel generaator langeb sünkronismist välja ja süsteemi paralleeltöö rikutakse.

Stabiilsuse küsimuse vaatlemisel loetakse primaarjõumasinatelt saadav võimsus muutumatuks, sest primaarjõumasinaile vee, auru või kütuse etteandmist muutvate automaatregulaatorite rakendumine hilineb ühe ja rohkem sekundi võrra (eriti suur on hilinemine hüdroturbiinidel, eriti siis, kui koormus muutub 100% võrra). Seejuures aga sünkroongeneraatorite võnkumine algab kohe pärast dünaamilise koormuse sisse- või väljalülitamist ning kestab 1—1,5 sekundit. Seega koormuse muutumise hetkel ei ole regulaatorite mõju kuigi efektiivne. Muidugi, automaatregulaatorite puududes jääb vee või auru etteandmise režiim muutumatuks pikema aja jooksul.

Järelikult sõltub süsteemide dünaamiline stabiilsus peamiselt antud süsteemis üles seatud generaatorite omadustest, mitte aga primaarjõumasinate omadustest. Generaatorid peavad olema võimelised jätkama tööd ka koormusrežiimi järskude muudatuste järel.

Maksimaalne võimsus generaatori staatilise stabiilsuse režiimis on pöördvõrdeline tema sünkroonse reaktiivtakistusega, mis omakorda on pöördvõrdeline generaatori lühisesuhtega. Seega, mida suurem on lühisesuhe, seda väiksem on sünkroonne reaktiivtakistus ja seda suurem on süsteemi staatiline stabiilsus.

Dünaamiliste režiimide puhul tuleb sünkroonse reaktiivtakistuse asemel kasutada generaatori mööduvat reaktiivtakistust. Viimane on mitu korda väiksem sünkroonsest reaktiivtakistusest. Siit järgneb, et generaatori poolt arendatav maksimaalne võimsus üleminekuhetkel on mitu korda suurem staatilisest piirvõimsusest normaalsel sünkroonsel režiimil.

Üks põhilisi nõudeid generaatoritele paralleeltöö stabiilsuse tagamiseks nii staatilises kui ka dünaamilises režiimis on lühisesuhte suurendamine. See suurus ei tohi maahüdroelektrijaamade generaatoritel olla alla 0,8.

Stabiilsuse suurendamine, mis nõuab reaktiivtakistuste vähendamist ja lühisesuhte suurendamist, põhjustab lühisvoolude suurenemist. Et suurendada staatilist ja dünaamilist stabiilsust, tuleb suurendada lühisvoolusid, kuid samaaegselt tuleb võtta tarvitusele abinõud vigastatud seadmete kiireks väljalülitamiseks. Energiasüsteemides töötavate elektrijaamade aparatuur peab sellele nõudele vastama.

Tagasi tulles valemi (3) juurde, vaatame, kuidas mõjub generaatori töötamise stabiilsusele ergutusvoolu ning seega ühtlasi tema elektromotoorse jõu E muutumine. Muutes generaatori ergutusvoolu, muutub samas suunas ka E; samal ajal võrku antav aktiivvõimsus ei muutu.

Seega järgneb valemist (3), et konstantsetel P, U ja X väärtustel põhjustab E vähenemine $\sin \Theta$ ja seega ka nurga Θ suurenemise, s. t. võib põhjustada võnkumisi ja generaatori sünkronismist väljalangemise. Vastupidine olukord, s. o. kiirelt toimuv ergutuse suurendamine üleminekurežiimides, mida teostatakse ergutuse automaatse reguleerimise ja kompaundeerimise abil, tõstab tunduvalt sünkroongeneraatorite paralleeltöö stabiilsust.

Tuleb märkida, et vastavalt «Maaelektriseadmete projekteerimise juhenditele» ei vaja kuni 15 000 kVA võimsusega maaenergiasüsteemide staatiline stabiilsus normaalsetel režiimidel kontrollimist; mis aga puutub dünaamilise stabiilsuse arvutustesse, siis ka neid ei ole vaja teostada, kui energiasüsteemi võimsus on alla 5000 kW.

Energiasüsteemide stabiilsuse tõstmiseks, nagu juba eespool märgitud, on soovitav üles seada automaatsed ergutus- ja sagedusregulaatorid, kiirelt toimiv ergutuse forsseerimise ning automaatne sagedusest sõltuv koormuse vähendamise seadis. Tuleb ette näha ka lühise kiire väljalülitamine, lubades mõnel juhul kõrvalekaldumisi kaitse selektiivse töötamise põhimõttest.

Tuleb samuti tähelepanu juhtida aktiiv- ja reaktiivkoormuste õigele automaatsele jaotamisele ja ümberjaotamisele paralleelselt töötavate agregaatide vahel. See sõltub automaatsete pingeregulaatorite (või kompaundeerimisseadiste) staatilistest karakteristikutest, samuti ka primaarjõumasinate automaatsete kiirusregulaatorite staatilistest karakteristikutest.

Pingeregulaatori staatilisuse teguriks (vt. seitsmes peatükk) nimetatakse avaldist:

$$k_s\,\% = \frac{U_o - U_n}{U_o} \cdot 100,$$

kus: U_o — pingeregulaatori poolt hoitav generaatori klemmipinge tühijooksul;

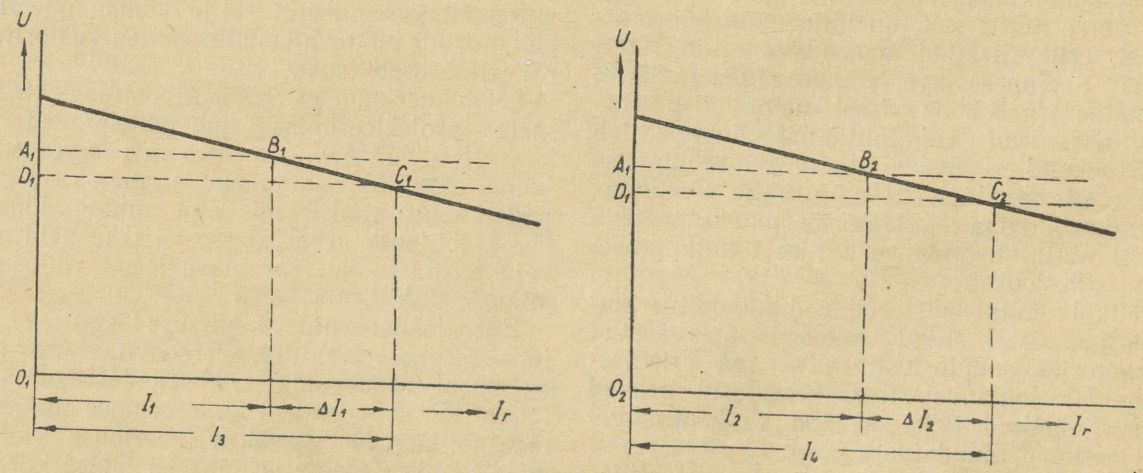
U_n — pingeregulaatori poolt hoitav generaatori klemmipinge, kui staatorimähist läbib nimivoolule võrdne reaktiivvool.

Kui pingeregulaator hoiab mistahes reaktiivvoolude korral stabiilse pinge, kujutab karakteristik $U = f(I_r)$ abstsissteljele paralleelset sirget (astaatiline karakteristik) (vt. joonis 121, *a*). Kui generaatoripinge-kogumislattidele paralleelselt töötavad generaatorid omaksid astaatilisi karakteristikuid, siis reaktiivse koormuse jagunemine paralleelselt töötavate generaatorite vahel oleks igasuguse pinge puhul jaama kogumislattidel täiesti juhuslik. Sel juhul aga tarbitava reaktiivvõimsuse muutumine põhjustaks ebastabiilse ja jällegi juhusliku reaktiivvõimsuste ümberjaotamise paralleelselt töötavate generaatorite vahel, mispuhul võnkumisprotsesside esinemine on vältimatu.

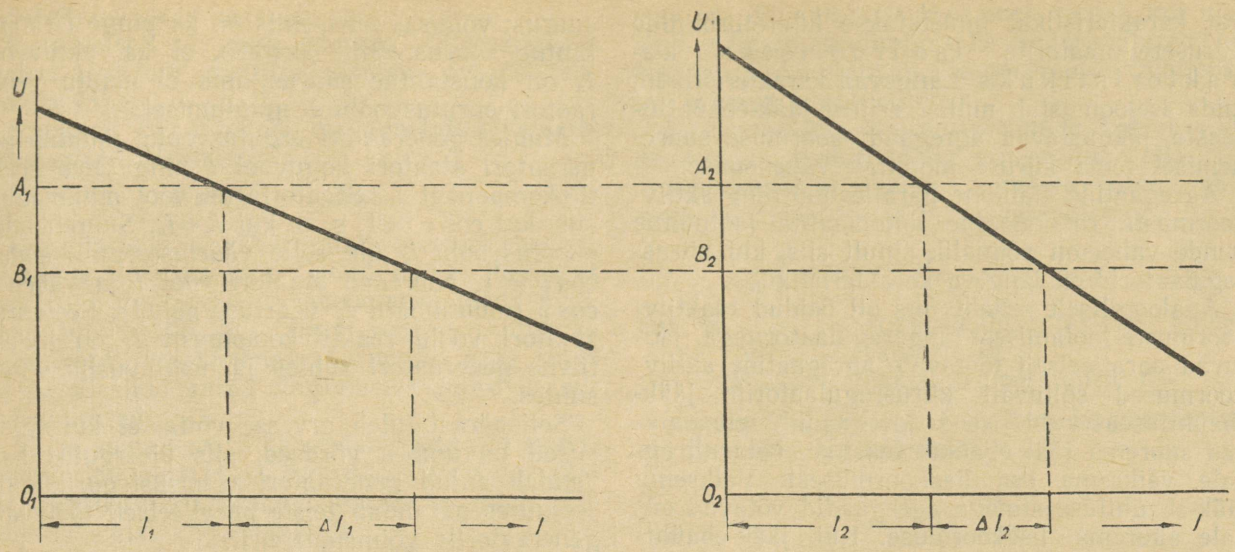
Kui pingeregulaator omab staatilise karakteristiku (vt. joonis 121, *b*), siis tähendab see, et generaatori reaktiivvoolu suurenedes langeb automaatse pingeregulaatori poolt hoitava pinge nivoo ning staatilisuse tegur omandab nullist erineva väärtuse. Staatilise reguleerimiskarakteristiku puhul vastab generaatori staatori reaktiivvoolu igale väärtusele teatud kindel regulaatori poolt hoitava pinge väärtus. Kui mingil põhjusel üks paralleelselt töötavatest generaatoritest koormatakse reaktiivvooluga üle, siis tema regulaatori langeva karakteristiku tõttu generaatori klemmipinge teatud määral väheneb, s. o. väheneb ergutus. See aga omakorda vähendab antud generaatori reaktiivvoolu.

Joonisel 96 on antud kahe paralleelselt töötava generaatori pingeregulaatorite staatilised karakteristikud ühesuguste staatilisuse teguritega. Süsteem, mida toidavad need generaatorid, töötas pingel, mis vastab lõigule O_1A_1 ordinaatteljel; tõmmates punktist A_1 horisontaaljoone, saame selle joone lõikepunktid (punktid B_1 ja B_2) pinge reguleerimiskarakteristikutega. Tõmmates punktidest B_1 ja B_2 ristjooned abstsissteljele, saame iga generaatori reaktiivvoolu I_1 ja I_2. Kui süsteemis üldine reaktiivne koormus suureneb, siis pinge (reguleerimise staatilise iseloomu tõttu) veidi langeb ja omandab uue väärtuse, mis vastab ordinaadile O_1D_1. Tõmmates uue horisontaaljoone läbi punkti D_1, leiame lõikepunktid reguleerimiskarakteristikutega C_1 ja C_2; viimastele aga vastavad täielikult määratud uued suurenenud reaktiivkoormused I_3 ja I_4.

Neil juhtudel, kui generaatorite pingeregulaatorite staatilisuse tegurid k_s on erinevad, on ilmne, et süsteemi üldise reaktiivkoormuse muutumise puhul võtab endale suurema reaktiivkoormuse see generaator, millel regulaatori



Joon. 96. Paralleelselt töötavate generaatorite pingeregulaatorite staatilised karakteristikud ühesuguste staatilisuse tegurite puhul.



Joon. 97. Paralleelselt töötavate generaatorite pinge regulaatorite staatilised karakteristikud erinevate staatilisuse tegurite puhul.

staatilisuse tegur, s. t. reguleerimiskarakteristiku langus on väiksem.

Joonisel 97 on toodud ühistele generaatoripinge-kogumislattidele töötava kahe generaatori automaatsete pingeregulaatorite staatilised karakteristikud erinevate staatilisuse teguritega. Esimese agregaadi staatilisuse tegur on väiksem kui teise oma, s. t. esimese agregaadi reguleerimiskarakteristiku langus on väiksem kui teise agregaadi reguleerimiskarakteristiku langus.

Esialgsel režiimil vastas pinge süsteemis ordinaadile O_1A_1 ja reaktiivkoormused vastavalt I_1 ja I_2. Siis muutus üldine reaktiivkoormus ning pinge kogumislattidel omandas ordinaadile O_1B_1 vastava väärtuse. Esimene agregaat võtab sellega seoses peale lisareaktiivkoormuse ΔI_1, teine — ΔI_2. Näeme, et ΔI_1 on suurem kui ΔI_2.

Kui üks ühistele kogumislattidele töötav agregaat oleks varustatud astaatilist karakteristikut omava regulaatoriga, ei oleks kahe paralleelselt töötava generaatori vahel reaktiivkoormuste stabiilne jaotamine üldse võimalik.

Ülaltoodud omadustega on generaatorid, mis töötavad paralleelselt generaatoripinge-kogumislattidele. Kui aga generaatorid on ühendatud blokki pingettõstvate trafodega ning töötavad kõrgendatud pingega kogumislattidele, tagatakse reaktiivvoolude automaatne ja ratsionaalne jagunemine isegi siis, kui generaatorid omavad astaatilise karakteristikuga pingeregulaatoreid (või kompaundeerimisseadiseid). Pingettõstvate trafode takistused esinevad staatilisuse elementidena. Vaatamata sellele, et pinge generaatori klemmidel on horisontaalne, omandab pinge reguleerimiskarakteristik trafode kõrgepingeklemmidel langeva iseloomu, s. o. reguleerimiskarakteristik muutub staatiliseks. See seletub pingelanguga trafode takistustes, mis suureneb antud agregaadi reaktiivvoolu tõustes.

Oluline tähtsus on ka primaarjõumasinate kiiruse reguleerimise staatilistel karakteristikutel aktiivkoormuste stabiilsel jaotumisel paralleelselt töötavate elektrijaamade agregaatide vahel.

Automaatsete pingeregulaatorite staatilisuse teguri asemel omab seejuures otsustavat tähtsust agregaadi kiiruse reguleerimise jääk-ebaühtluseaste (vt. kaheteistkümnes peatükk), mis määratakse avaldisega:

$$\delta\,\% = \frac{n_{maks} - n_{min}}{n_n} \cdot 100,$$

kus: $\delta\,\%$ — jääk-ebaühtluseaste (protsentides);

n_{maks} — agregaadi pöörlemiskiirus tühijooksul;

n_{min} — agregaadi pöörlemiskiirus piirkoormusel;

n_n — agregaadi nimipöörlemiskiirus, mis võetakse võrdseks n_{maks} ja n_{min} aritmeetilise keskmisega.

Kui kiiruse reguleerimiskarakteristik, s. t. pöörlemiskiiruse sõltuvus koormusest, kujutab horisontaalset sirget (vt. joonis 287), siis jääk-ebaühtluseaste on null. Niisugust, pingeregulaatorite astaatilisele karakteristikule sarnane-

vat karakteristikut nimetatakse hüdroturbiinide kiiruseregulaatorite isodroomseks karakteristikuks. Langevad karakteristikud, mida iseloomustab nullist erinev jääk-ebaühtluseaste, põhjustavad agregaadi koormuse suurenemisel tema kiiruse mõninga vähenemise.

Agregaatide stabiilne paralleeltöö ning aktiivkoormuste ratsionaalne automaatne jaotumine nende vahel on võimalik ainult siis, kui kiirusregulaatorid on langeva karakteristikuga.

Analoogiliselt sellele, mis oli öeldud reaktiivkoormuste jaotamisest pingeregulaatoritega, jaotuvad paralleelselt töötavate agregaatide aktiivkoormused sõltuvalt kiirusregulaatorite jääk-ebaühtluseastmest. Need agregaadid, mis omavad suurema jääk-ebaühtluseastme, võtavad endale väiksema osa lisakoormusest. Väiksema jääk-ebaühtluseastmega agregaadid võtavad endale suurema lisakoormuse. Kui jääk-ebaühtluseastmed on võrdsed, siis agregaatide koormus suureneb või väheneb võrdsel määral vastavalt koormuste suurenemisele või vähenemisele antud energiaallikatest toidetavas süsteemis (vt. kaheteistkümnes peatükk).

GENERAATORI TÖÖTAMINE PARALLEELSELT ENERGIASÜSTEEMIGA NING GENERAATORI ERGUTUSVOOLU JA STAATORI VOOLU VAHELINE SÕLTUVUS

Maaelektrijaamade, eriti hüdroelektrijaamade töötamisel paralleelselt võimsa energiasüsteemiga töötavad primaarjõumasinad konstantse võimsusega, s. t. hüdroturbiini juhtaparaadi ava on muutumatu (kui surve on muutumatu) või soojusjõumasinates on kütuse etteandmist reguleeriva organi asend muutumatu.

Järelikult primaarjõumasina poolt arendatav moment M generaatori võllil on konstantne suurus ning generaatori elektromagnetiline võimsus võrdub momendi M ja nurkkiiruse ω korrutisega:

$$P_M = M\ \omega.$$

Arvestamata võimsuskadusid generaatoris, võime kirjutada:

$$P_M = \sqrt{3}\,U\,I\cos\varphi = \sqrt{3}\,U\,I_a,$$

ehk

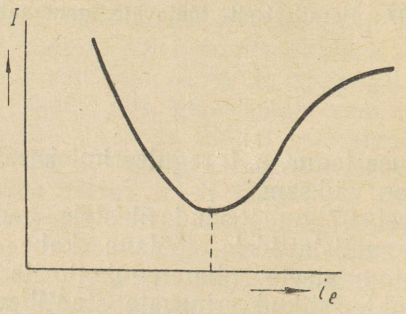
$$I_a = \frac{P_M}{\sqrt{3}\,U},$$

kus: U — staatori liinipinge;
I_a — staatori aktiivvool.

Nagu oli näidatud ülal, on P_M konstantne suurus; võimsas süsteemis on ka pinge U konstantne suurus. Siit järgneb, et ka aktiivvool I_a on konstantne suurus, mis ei muutu generaatori ergutusvoolu i_e muutumisel.

Muutes generaatori ergutusvoolu, muutub generaatori staatori koguvool I ning tema reaktiivkomponent I_r. Staatoris on vool minimaalne siis, kui $\cos\varphi = 1$, s. o. kui $I = I_a$. Suurendades ergutusvoolu i_e üle selle väärtuse, mille puhul $\cos\varphi = 1$, suureneb staatori vool I ja väheneb $\cos\varphi$ (muutumatu I_a väärtuse puhul). Seejuures staatori voolu reaktiivkomponent I_r on induktiivne generaatori suhtes ja mahtuvuslik võrgu suhtes.

Sellepärast tuleb arvesse võtta, et kui võimsused on umbes võrdsed, siis üleergutus halvendab antud generaatori võimsustegurit, kuid seejuures parandab teiste paralleelselt töötavate generaatorite võimsustegurit.



Joon. 98. Paralleelselt töötava sünkroongeneraatori U-kõver.

Süsteemis töötava generaatori ergutusvoolu vähendamine, võrreldes selle väärtusega, mille puhul $\cos\varphi = 1$, kutsub samuti esile staatori voolu I suurenemise. Kuid sellel juhul tekib reaktiivkomponent I_r, mis on induktiivne võrgu suhtes, s. o. halvendab võrgu võimsustegurit.

Süsteemis töötava generaatori staatorivoolu sõltuvus ergutusvoolust väljendub graafiliselt teatavasti U-kujulise kõverana (joon. 98).

Maaelektrijaamade projekteerimisel ja ekspluateerimisel omab praktilist tähtsust muidugi U-kõvera parem pool, alates punktist, kus $\cos\varphi = 1$, mispuhul üleergutatud generaator toodab induktiivset voolu ja parandab süsteemi üldist võimsustegurit. Mis puutub kõvera vasakusse ossa, siis alaergutatult töötamine halvendab esmalt süsteemi võimsustegurit ja, teiseks, generaatori ergutusvoolu i_e tunduva vähendamise tõttu võib generaator üle minna ebastabiilse töö piirkonda ja langeda sünkronismist välja, sest et väikeste i_e väärtuste juures võib nurk Θ muutuda suuremaks kui 90°.

Selgitame seda asjaolu.

Paralleelselt võrguga töötava sünkroongeneraatori elektromagnetiline võimsus avaldub valemiga (3).

Suurused P_n, U ja X_d on nimetatud valemis konstantsed, järelikult

$$E \sin \Theta = \text{const.}$$

Ergutusvoolu i_e vähenemisel väheneb ka generaatori elektromotoorne jõud E. On ilmne, et korrutis $E \sin \Theta$ võib E vähenemisel jääda püsivaks ainult siis, kui $\sin \Theta$ suureneb niisama palju kordi, kui vähenes suurus E. E ja $\sin \Theta$ on paralleeltöö antud tingimustes pöördvõrdelised suurused.

$\sin \Theta$ suurenemine tähendab nurga Θ suurenemist; kui nurk Θ on ligi 90°, siis on generaator kunstliku stabiilsuse piirkonnas ning võib sünkronismist välja langeda.

Ergutusvoolu suurenemisel võib staatori vool suureneda teatud suuruseni, mis on normeeritud kehtivate ekspluatatsiooni eeskirjadega või tehase garantiiga.

Vastavalt generaatoreid valmistavate tehaste garantiidele võib staatorit ja rootorit üle koormata aja jooksul, mille kestus sõltub ülekoormuse suurusest ning mida võib võtta järgnevast tabelist:

Rootori või staatori ülekoormus %	115	120	125	130	140	150
Rootori või staatori ülekoormuse lubatav kestus min	8	6	5	4	3	2

Süsteemis töötava generaatori ergutusvoolu võib soovikohaselt muuta ergutaja ergutusregulaatoriga, kompaundeerimisseadise sätte või mõne muu ergutusregulaatori sätte muutmisega.

Automaatsed ergutusregulaatorid ja samuti avariirežiimidel ergutuse forsseerimise releeseadised suurendavad ergutusvoolu teatud piirini — ergutusvoolu lagiväärtuseni, mis vastab ergutaja ergutusvoolu reguleeriva reostaadi takistuse täieliku lühistamise korral esinevale voolule.

Et määrata sünkroongeneraatori ergutusvoolu lagiväärtust, mõõdetakse kõigepealt maksimaalne pinge ergutaja harjadel U_{em}, kui ergutaja ergutusahelas asuva reostaadi takistus on täielikult lühistatud, agregaat töötab nimipöörlemiskiirusega ja rootori vooluahel on ergutajast lahutatud.

Seisva agregaadi puhul mõõdetakse generaatori rootorimähise takistus külmas olekus $R_{root\ t°}$, fikseerides ühtlasi ka temperatuuri — $t°$.

Ergutusvoolu lagiväärtus esineb generaatori täiskoormusel või sellele lähedaste maksimaalsete või dünaamiliste koormuste puhul, kui masina mähised, sealhulgas ka rootorimähised, on kuumenenud tunduvalt üle generaatori tühijooksul esineva temperatuuri.

Maksimaalsete koormusrežiimide korral võib generaatori rootorimähise temperatuur olla 75°.

Rootorimähise takistus, arvesse võttes juhtmete kuumenemist, arvutatakse valemiga:

$$R_{root\ 75°} = R_{root\ t°} \frac{235 + 75}{235 + t°},$$

kus: $R_{root\ 75°}$ — rootorimähise takistus temperatuuril 75° Ω;

$R_{root\ t°}$ — sama, temperatuuril $t°$.

Teades U_{em} ja $R_{root\ 75°}$, leiame ka generaatori ergutusvoolu lagiväärtuse:

$$i_{em} = \frac{U_{em}}{R_{root\ 75°}}.$$

Olles määranud generaatori rootori voolu loomuliku maksimaalväärtuse, ei ole alust arvata, et süsteemis töötava generaatori staatori ülekoormuse kordsus ulatub rootori ülekoormuse samade suhteliste väärtusteni.

Nagu näha U-kõverast (joonis 98), ei ole staatori ja rootori voolud üksteisest lineaarses sõltuvuses isegi siis, kui generaatori klemmipinge on konstantne.

Tuleb samuti arvesse võtta, et igasugune süsteemis töötava generaatori klemmipinge muutus avaldab samuti mõju staatori ja rootori voolude sõltuvusele.

Konstantse rootorivoolu puhul on staatori vool seda suurem, mida madalam on tema klemmipinge. Süsteemis töötava generaatori universaaldiagrammi ehitamisel tuleb kõikides arvutustes arvesse võtta staatori klemmipinge vähenemise võimalust 5% võrra, võrreldes generaatori nimipingega, s. o. võtta aluseks staatori klemmipingeks madalpingegeneraatoritel 380 V ja kõrgepingegeneraatoritel 6000 V.

Staatori ja rootori voolude vahelise sõltuvuse universaaldiagrammi konstrueerimiseks on kõigepealt vaja valida mõõtkava ning määrata tegur staatori voolude ümberarvestamiseks rootori vooludele ja ümberpöördult.

Need konstruktsioonid tuleb läbi viia generaatori tühijooksu- ja lühisekarakteristikute alusel, nagu seda soovitab teha G. Šerman [14].

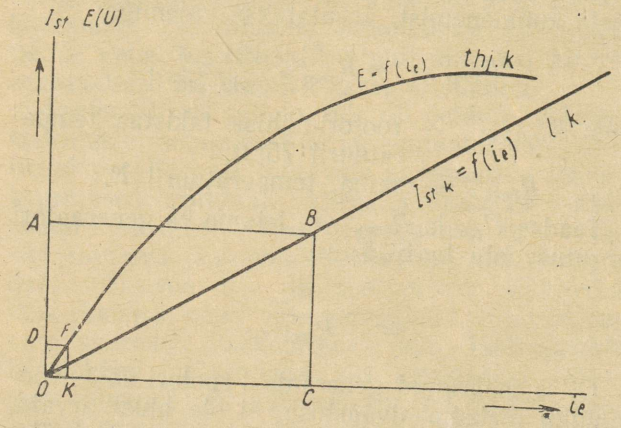
Joonisel 99 on toodud nimetatud karakteristikud:

$$E = f(i_e), \text{ kui } I_{st} = 0 \text{ ja } n = \text{const.}$$

$$I_k = f(i_e), \text{ kui } n = \text{const.}$$

Nimetatud karakteristikute ülesvõtmine ekspluatatsiooni tingimustes ei kujuta endast mingit raskust (vt. kolmas peatükk).

Ordinaatteljele kantakse generaatori nimivoolule I_{stn} vastav lõik OA ning tõmmatakse horisontaaljoon AB kuni lõikumiseni lühisekarakteristikuga. Tuues saadud punkti abstsissteljele, saame lõigu OC, mis vastab rootori voolule i_{ekn} ja on vajalik staatori nimivoolule võrdse kolmefaasilise lühisvoolu tekitamiseks.



Joon. 99. Generaatori tühijooksu- ja lühisekarakteristikud.

Edasi selgitatakse kas tehase andmeil või muudest allikatest generaatori puistereaktiivtakistuse suurus X_s suhtelistes ühikutes. Tehase «Uralelektroapparat» levinumate generaatorite kohta, mida kasutatakse peamiselt maaelektrijaamades, on selle suuruse väärtused toodud eespool, kolmandas peatükis.

Puistereaktiivtakistuste suhteliste väärtuste ümberarvutus absoluutseks takistuseks oomides toimub valemi abil:

$$X_{s\,\Omega} = \frac{X_s\, U_n^2}{10^3\, S},$$

kus: $X_{s\,\Omega}$ — puistereaktiivtakistus Ω;
X_s — puistereaktiivtakistus suhtelistes ühikutes;
U_n — generaatori nimipinge V;
S — generaatori nimivõimsus kVA.

Pingelang ΔE_s puistereaktiivtakistuses nimivoolu I_{stn} puhul määratakse valemiga:

$$\Delta E_s = \sqrt{3}\, I_{stn}\, X_{s\,\Omega}. \qquad (4)$$

Suurus ΔE_s kantakse ordinaatteljele pinge mõõtkavas (lõik OD) ning läbi punkti D tõmmatakse horisontaaljoon DF kuni lõikumiseni tühijooksukarakteristikuga $E = f(i_e)$ ning edasi tõmmatakse ristjoon FK abstsissteljele. Lõik OK kujutab endast ergutusvoolu (rootori voolu) i_{eo}, mis on vajalik staatori nimivoolule võrdse voolu tekitamiseks generaatori puistereaktiivtakistuses X_s.

Varem oli märgitud, et lõik OC kujutab endast ergutusvoolu i_{ekn}, mis on vajalik staatori nimivoolule võrdse lühisvoolu tekitamiseks.

Suuruste i_{ekn} ja i_{eo} vahe kulub ankrureaktsiooni ületamiseks generaatori nimivoolule võrdse lühisvoolu puhul. See vahe (lõik KC) on avaldatud rootori voolude mõõtkavas ja kujutab ka teatud mõõtkavas staatori nimivoolu. Siit avaneb võimalus määrata tegur staatori voolude taandamiseks rootori vooludele või vastupidi. Seega otsitav tegur, mis on vajalik universaaldiagrammi konstrueerimiseks, avaldub valemist:

$$k = \frac{i_{ekn} - i_{eo}}{I_{stn}}.$$

Toodud eeldustel on võimalik ehitada generaatori universaalkarakteristik.

Näide. Joonestada kõverad, mis väljendavad staatori voolude ja võimsustegurite sõltuvust ergutusvoolust generaatorile võimsusega 625 kVA, mis töötab energiasüsteemis.

Generaatori andmed: $S = 625$ kVA, $U = 400$ V; $n = 130{,}5$ p/min; $I_{stn} = 905$ A; $i_{en} = 240$ A; $U_{en} = 105$ V.

Ergutaja lagipinge reostaadi lühistatud takistuse ja avatud rootoriahela puhul $U_{e\ lagi} = 135$ V.

Generaatori ergutusmähise takistus, mõõdetud temperatuuril 15° alalisvoolu-mõõteriistaga, oli $R_{root\ 15°} = 0{,}35\ \Omega$.

Takistus temperatuuril 75°

$$R_{root\ 75°} = R_{root\ 15°}\, \frac{235+75}{235+15} = 0{,}435\ \Omega.$$

Maksimaalne rootori vool (ergutusvoolu lagiväärtus):

$$i_{em} = \frac{U_{e\ lagi}}{R_{root\ 75°}} = \frac{135}{0{,}435} = 310\ \text{A}.$$

Seega forsseerimine moodustab

$$\frac{310}{240} \cdot 100 = 129\ \%.$$

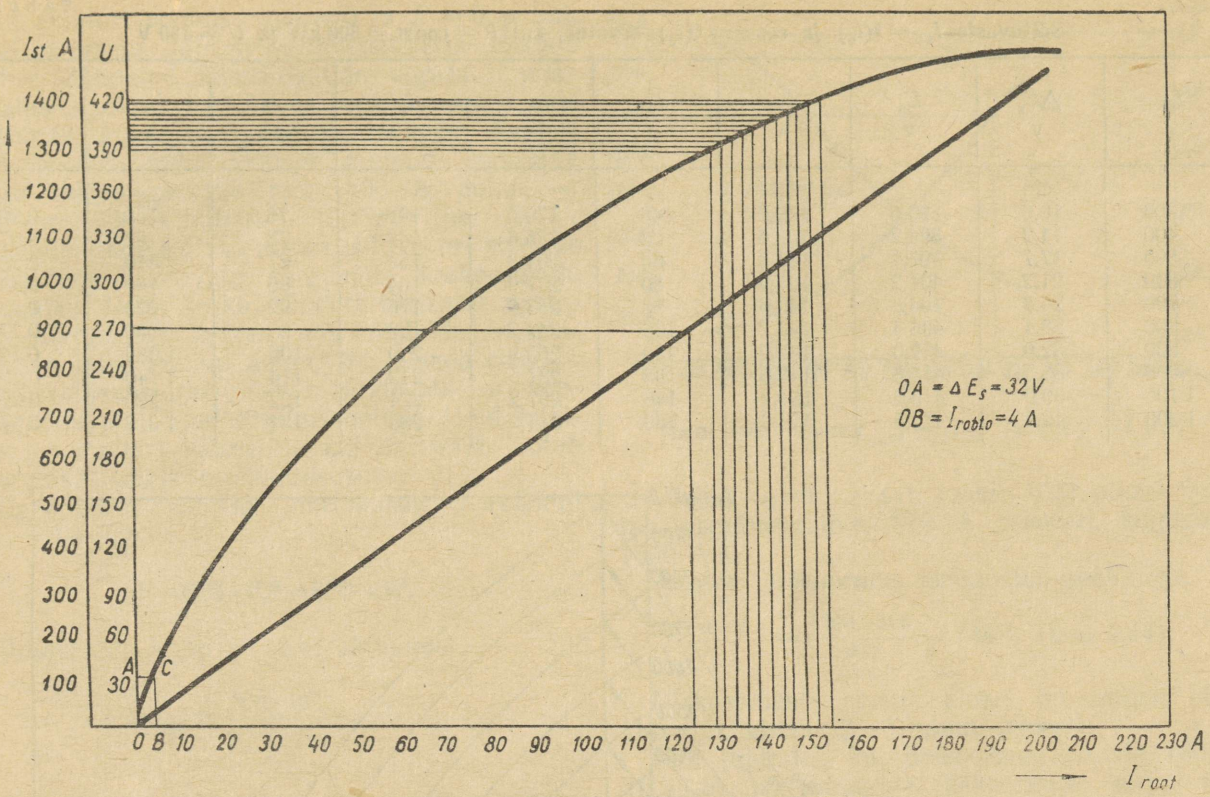
Süsteemis töötava generaatori nimipingeks võtame pinge, mis on 5% võrra generaatori nimipingest väiksem, s. o. 380 V.

Joonisel 100 on toodud generaatori tühijooksukarakteristik $E = f(i_e)$ ja lühisekarakteristik $I_k = f(i_e)$.

Kandes ordinaatteljele nimivoolu 905 A ning kandes selle üle lühisekarakteristikule ning edasi abstsissteljele, leiame rootori voolu $i_{ekn} = 124$ A.

Puistereaktiivtakistus tabeli 47 järgi $X_s = 8\%$, seega

$$X_{s\,\Omega} = \frac{X_s\, U_n^2}{10^3\, S} = \frac{0{,}08 \cdot 400^2}{10^3 \cdot 625} = 0{,}0205\ \Omega.$$



Joon. 100. 625 kVA generaatori tühijooksu- ja lühisekarakteristikud.

Pingelang puistereaktiivtakistuses:

$$\Delta E_s = \sqrt{3}\, I_{stn} X_{s\Omega} = 1{,}73 \cdot 905 \cdot 0{,}0205 = 32 \text{ V}.$$

Kanname ordinaatteljele lõigu *OA*, mis vastab pingele 32 V, ning toome selle lõigu otspunkti tühijooksukõverale ja abstsissteljele. Saame lõigu *OB*, millele vastab $i_{eo} = 4$ A.

Tegur staatori voolu taandamiseks rootori vooludele:

$$k = \frac{124 - 4}{905} = 0{,}133.$$

Valime mõõtkava staatori vooludele $m_{st} =$ 10 A/mm. Rootori voolude mõõtkava avaldub korrutisest:

$$m_r = k m_{st} = 0{,}133 \cdot 10 = 1{,}33 \text{ A/mm}.$$

Võtame aluseks mõned vabalt valitud staatorivoolu väärtused $\cos\varphi = 0$ korral; meie juhul on sobiv võtta väärtused alates 300 kuni 1200 A, intervallidega 100 A.

Vastavalt igale aluseks võetud staatorivoolule leiame pingelangu puistereaktiivtakistuses:

$$\Delta E_s = 1{,}73\, X_s I_{st} = 1{,}73 \cdot 0{,}0205\, I_{st} = 0{,}0355\, I_{st}.$$

Edasi määrame elektromotoorse jõu, arvesse võttes puistereaktiivtakistust:

$$E_s = U_{arv} + \Delta E_s.$$

Kandes pingele E_s vastavate lõikude otsad generaatori tühijooksukarakteristikule ja sealt abstsissteljele, saame abstsissteljel rea punkte vahemikus 130 kuni 154 A, mis määravad rootori voolud i_{e1}, mis on vajalikud vastavate staatori voolude tekitamiseks puistereaktiivtakistuses.

Teades tegurit k staatori voolude taandamiseks rootori vooludele, leiame rootori voolu selle osa, mis kulub ankrureaktsiooni ületamiseks:

$$i_{e2} = k I_{st}.$$

$\cos\varphi = 0$ puhul leitakse rootori koguvool ergutusvoolude i_{e1} ja i_{e2} summeerimise teel:

$$i_e = i_{e1} + i_{e2}.$$

Saadud rootorivoolu väärtused tuleb avaldada rootori voolude mõõtkavas ja nimelt:

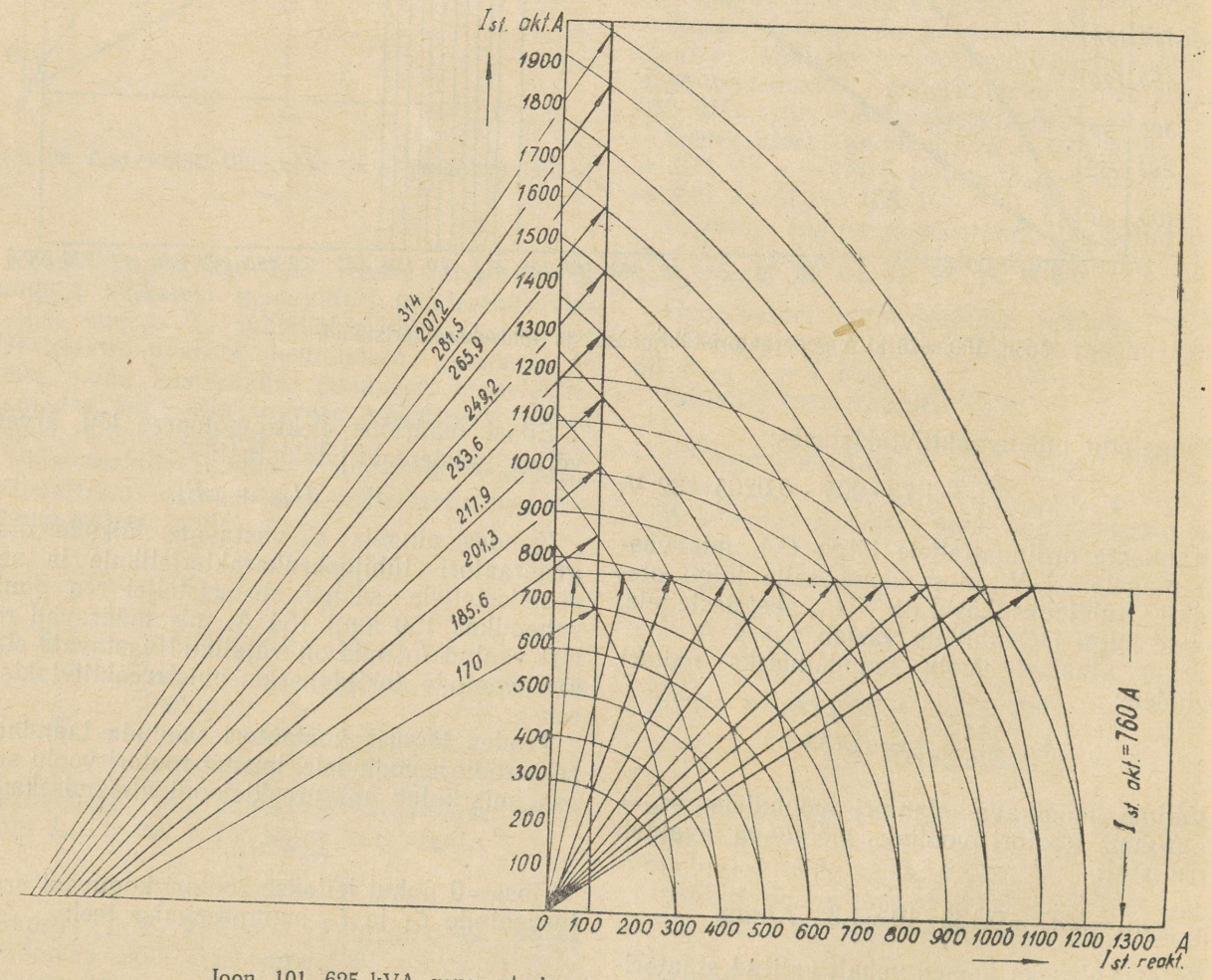
$$i_e' = \frac{i_e}{m_r} \text{ mm}.$$

Kõik arvutused on koondatud tabelisse 54.

Tabel 54

Sõltuvuste $I_{st} = f(i_e)$ ja $\cos\varphi = f(i_e)$ arvutus, kui $P = \text{const} = 500$ kW ja $U = 380$ V

I_{st} A	ΔE_s V	E_s V	i_{e1} A	i_{e2} A	i_e A	i_e' mm	I_{st}' mm	I_{st} A	$\cos\varphi$
300	10,6	390,6	130,0	40	170,0	128	76,5	765	0,99
400	14,2	394,2	132,6	53	185,6	140	78	780	0,97
500	17,7	397,7	135,3	66	201,3	152	81	810	0,93
600	21,2	401,2	137,9	80	217,9	164	86	860	0,88
700	24,8	404,8	140,6	93	233,6	176	92	920	0,83
800	28,4	408,4	143,2	106	249,2	188	98	980	0,77
900	32,0	412,0	145,9	120	265,9	200	105	1 050	0,72
1 000	35,5	415,5	148,5	133	281,5	212	114	1 140	0,66
1 100	39,0	419,0	151,2	146	297,2	224	122	1 220	0,62
1 200	42,5	422,5	154,0	160	314,0	236	131	1 310	0,57



Joon. 101. 625 kVA generaatori universaalne ekspluatatsioonidiagramm.

Viimase kolme vertikaallahtri suurused on määratud graafiliselt generaatori universaaldiagrammist (joon. 101).

Koordinaattelgedele kanname staatori voolu mõõtkavas nende voolude aktiiv- ja reaktiivkomponendid.

Kanname abstsissteljele (reaktiivvoolude teljele) eespool aluseks võetud 100 A intervalli-

dega staatori voolud $\cos\varphi = 0$ ja $P = 0$ puhul. Neid voolusid kujutavate abstsisstelje lõikude otstest kanname koordinaatide alguse suunas staatori voolude mõõtkavas rootori voolud, mis vastavad staatori vooludele. Näiteks staatori reaktiivvoolu puhul 300 A kanname vasakule lõigu pikkusega 128 mm, 400 A puhul — 140 mm, 500 A puhul — 152 mm jne.

Nende lõikude otsad määravad rootori voolude väärtustele vastavate ringjoonte keskpunktide asukohad. Neist keskpunktidest tõmbame vastavate raadiustega kaared, mis võimaldavad mistahes reaalse režiimi kohta, mis erineb $\cos\varphi = 1$ puhul esinevast režiimist, määrata staatori voolud vastavalt antud ergutusvoolule. Meid huvitab generaatori töörežiim, kui agregaat töötab energiasüsteemis nimivõimsusega.

Generaatori võimsus normaalsel töörežiimil $\cos\varphi = 0{,}8$ puhul:

$$P = 625 \cdot 0{,}8 = 500 \text{ kW}.$$

Pingel 380 V on staatori aktiivvool

$$I_{\text{st akt}} = \frac{500 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 760 \text{ A}.$$

See suurus jääb antud tingimustes muutumatuks, sõltumata ergutusvoolu muutumisest isegi kuni lagiväärtuseni. Selle suuruse kanname diagrammile horisontaalse sirgena, mis läbib voolule 760 A vastavat punkti ordinaatteljel (aktiivvoolude teljel). Rootori voolu kaarte lõikumised nimetatud horisontaalse sirgega määravad staatori koguvoolu vektorite tippude asendi neile rootori voolu väärtustele, millede ringjooned on kantud diagrammile. Tõmmates koordinaatide algpunktist need vektorid, saame aluseks võetud mõõtkavas staatori voolud, millede väärtused on kantud tabelisse 54 esmalt millimeetrites ja siis amprites.

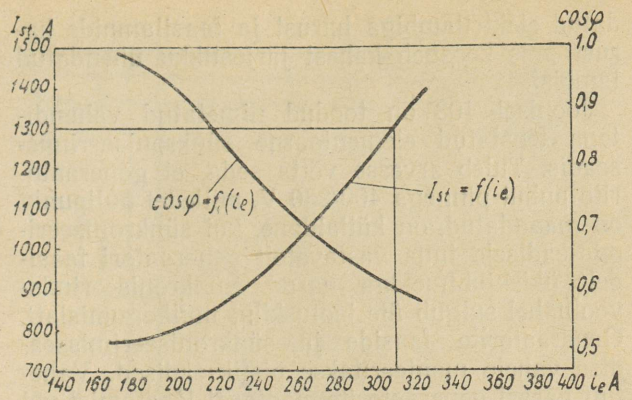
Arvutatud rootorivoolude väärtuste ja neile vastavate staatori koguvoolude väärtuste alusel on ehitatud joonisel 102 toodud kõver:

$$I_{st} = f(i_e).$$

Samas on toodud ka praktilist huvi pakkuv võimsusteguri sõltuvus generaatori ergutusvoolust generaatori konstantse klemmipinge puhul.

Generaatori ergutuse forsseerimine peab olema niisugune, et staatori ja rootori ülekoormus ei ületaks normides või tehase andmeis lubatud, koormuse kestusest sõltuvaid väärtusi.

Maksimaalne ergutusvool on 310 A ehk 129% ergutusvoolust generaatori nimikoormusel ja $\cos\varphi = 0{,}8$ korral.



Joon. 102. Seosed $I_{st} = f(i_e)$ ja $\cos\varphi = f(i_e)$.

Kõvera $I_{st} = f(i_e)$ (vt. joonis 102) alusel vastab ergutusvoolule 310 A staatori koguvool 1300 A.

Staatori ülekoormus moodustab seejuures:

$$\frac{I_{\text{st maks}}}{I_{\text{st n}}} = \frac{1300 \cdot 100}{905} = 144\% \quad (k = 1{,}44).$$

Ülekoormuste skaala alusel on selline ülekoormus lubatav 2—3 minuti jooksul.

Neil juhtudel, kui ülekoormus on üle 150% ($k > 1{,}5$), on niisuguse ülekoormuse kestus sekundites ligikaudselt määratav valemiga:

$$t = \frac{150}{k^2 - 1}.$$

Märkus: Näite lahendamisel tuleb arvesse võtta ülemineku-mõõtkava, mis on tingitud jooniste 100, 101, 102 vähendamisest.

TÄPSE SÜNKRONISEERIMISE APARATUUR JA SKEEMID

Elektrijaamade agregaatide paralleeltööle lülitamiseks tuleb kasutada lihtsaimat ja kindlaimat aparatuuri ning ekspluatatsioonis kontrollitud skeeme. Tavaliselt kasutatakse elektrijaamades sünkroniseerimisel nullvoltmeetrit ja pimelülituses faasilampe või sünkronoskoope.

Generaatorite vooluahelates seatakse muidugi üles tavalised mõõteriistad vastavalt «Maaelektriseadmete projekteerimise juhendite» nõuetele. Vastavalt neile juhenditele kuuluvad mõõteriistade miinimumi hulka ka igale generaatorile ülesseatavad sagedusmõõtjad. Agregaatide paralleeltööl on sagedusmõõtjad veelgi vajalikumad, sest agregaatide kiiruse reguleerimist sünkroniseerimisel on kõige parem kontrollida sagedusmõõtjate järgi.

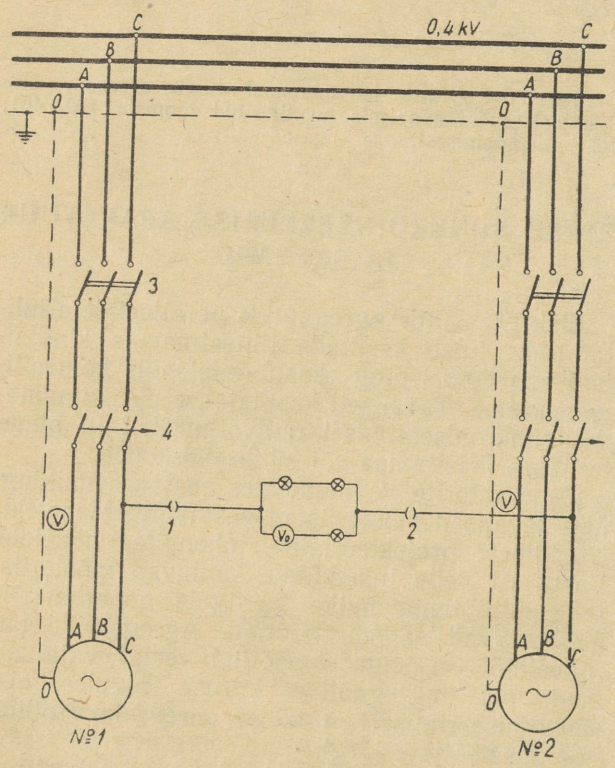
Sünkroniseerimisseadis ise koosneb kahest paralleelahelast: nullvoltmeetriga järjestikku ühen-

datud elektrilambiga harust ja faasilampide harust, mis koosneb kahest järjestikku ühendatud lambist.

Joonisel 103 on toodud nimetatud vahenditega teostatud elementaarne sünkroniseerimisseadis. Tuleb arvesse võtta seda, et generaatorite puhul pingega 400/230 V, milledel nullpunkt on maandatud, on küllaldane, kui sünkroniseerimisseadisele tuua vastavatelt generaatori faasidelt ükiskjuhtmetega harud. Sünkroniseerimisvooluahel sulgub üle jaotuskilbi nullkogumislati. Generaatorite faaside ja sünkroniseerimisseadise vahele monteeritakse pistikseadised. Vahetult pärast generaatorite montaaži lõpetamist või nende ülesseadmist pärast remonti tuleb kontrollida faasijärjestuse õigsust [15]. Selleks ühendatakse kolm faasilampi generaatori ja kogumislattide vahel asuva vinnak- või automaatlüliti klemmidele. Faasijärjestuse õigsuse kontrollimine toimub järgmiselt.

Oletame, et töötab generaator nr. 2, mis on ühendatud kogumislattidele. Kontrollitakse generaatori nr. 1 faasijärjestuse õigsust, s. o. vastavust generaatori nr. 2 või, mis on sama, kogumislattide faasijärjestusele.

Mittetöötava generaatori õhkautomaatlüliti iga faasi *4* klemmidele ühendatakse paralleelselt tema peakontaktidele kaks järjestikku lülitatud hõõglampi. Iga lamp on arvestatud generaatori faasipingele. Siis käivitatakse generaator vastava primaarjõumasina abil ning lülitatakse sisse vinnaklüliti *3*.



Joon. 103. Madalpingegeneraatorite sünkroniseerimise skeem.

Et kogumislattide pinge ja generaatori nr. 1 elektromotoorse jõu vektorid ei ühti ja kogumislattide ja generaatori sagedused ning pingete efektiivväärtused on erinevad, siis automaatlüliti *4* klemmidele ühendatud hõõglambid hakkavad perioodiliselt süttima ja kustuma.

Kui seejuures osutub, et kõik kolm lampide rühma üheaegselt kustuvad ja üheaegselt süttivad ühesuguse hõõgumistugevuse muutumisega, siis võib teha järelduse, et faasijärjestus on õige. Juhul aga, kui niisugust lampide süttimise ja kustumise kokkusattumist ei esine, s. o. ühe paari lampide heledal põlemisel teised lambid vaevalt hõõguvad või on kustunud, ei ühti generaatori faasijärjestus kogumislattide omaga, mida toidetakse teiselt generaatorilt. Siis tuleb seisata generaator nr. 1, vahetada omavahel kaks juhet automaatlüliti klemmidel *A—B*, *A—C* või *B—C* ning kontrollida uuesti faasijärjestuse õigsust. Seekord peavad ühtima mõlema generaatori magnetväljade pöörlemissuunad. Pärast seda, kui on kindlaks määratud mõlema generaatori õige faasijärjestus, märgistatakse lõplikult generaatori nr. 1 klemmid, kusjuures see märgistus peab vastama teise generaatori kogumislattide faaside märgistusele.

Niisugust faasijärjestuse kontrollimist ja generaatori klemmide märgistust teostatakse vaid ühel korral, nimelt pärast generaatori ülesseadmist või pärast kapitaalremonti, mille puhul generaator demonteeriti ja vooluahelast lahutati.

Pärast kontrollimist ja märgistamist võetakse maha õhkautomaatlüliti klemme šunteerivad ajutised lambid.

Ekspluatatsiooni tingimustes sünkroniseerimisel kasutatakse alalist ühefaasilist sünkroniseerimisseadist, mis koosneb pimelülituses faasilampidest.

Generaator nr. 1 lülitatakse tööle niisuguses järjekorras.

Käivitatav generaator pannakse pöörlema tema primaarjõumasina abil, reguleerides käsitsi pöörlemiskiirust ja pinget; seejuures jälgitakse antud generaatori voltmeetri ja sagedusmõõtja näitusid või primaarjõumasina tahhomeetrit. Kui generaator saavutab ligikaudu nimisageduse ja -pinge, lülitatakse sisse vinnaklülifi *3* ja kaks ühepooluselist pistikut *1* ja *2*. Jätkates agregaadi pöörlemiskiiruse ja käivitatava generaatori pinge reguleerimist väikestes piirides, püütakse saavutada sünkronismi, mille saabumist märkame faasilampide kustumise ja voltmeetri nullnäidu järgi. Voltmeetri osuti liginemisel nullile lülitatakse sisse automaatlüliti *4* ja

lahutatakse sünkroniseerimisseadis, võttes välja pistikud *1* ja *2*. Mingil juhul ei tohi jätta pistikuid *1* ja *2* pesadesse, eriti kui üks generaatoritest ei tööta. Sel juhul, nagu on selgesti näha skeemist, üks generaatori faasimähistest ja juhtmestik kuni automaatlülitini ning automaatlüliti enese vastav faas on järjestikku sünkroniseerimisseadise faasilampidega pinge all. See on ohtlik personalile, kes teadmatult võib puudutada seisatud ja kogumislattidelt väljalülitatud agregaadi osi, teadmata, et need on pinge all.

Eriti ohtlik on selline olukord siis, kui elektrijaamas on üles seatud kõrgepingegeneraatorid. Kui sünkroniseerimisseadise pistikud on välja võtmata, ilmneb kogumislattidelt väljalülitatud ja seisatud agregaadi osades pingetrafode ja sünkroniseerimisseadise riistade kaudu kõrgepinge. Sellepärast peab kõrgepingeagregaadi puhul sünkroniseerimisseadise toiteahel olema blokeeritud iga generaatori vooluahelas võimsuslüliti ja kogumislattide vahel asuva lahklüliti normaalselt avatud blokk-kontaktidega. Agregaadi seiskamisel lülitatakse lahklüliti välja ja tema blokk-kontaktid katkestavad sünkroniseerimisseadise toiteahela, sõltumatult sellest, kas on välja võetud selles ahelas ülesseatud pistikud.

Sünkroniseerimine nullvoltmeetri abil on palju täiuslikum kui sünkroniseerimine ainult faasilampidega.

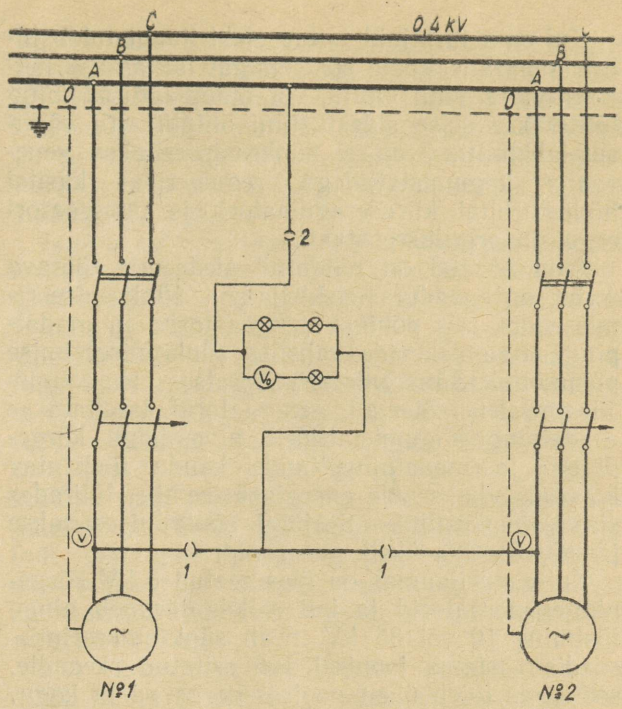
Hõõglambid peaaegu ei anna silmale nähtavat helendust pingetel, mis moodustavad 25—30% nende nimipingest. Järelikult ainult kustumisele lülitatud lampidega on raske tabada vektorite tegelikku ühtimise hetke. Nullvoltmeetri abil võib palju täpsemalt kindlaks määrata sünkronismi, eriti siis, kui skaala oma alguses, nulli läheduses, omab suured jaotused iga jaotuse väikese väärtuse puhul.

Siiski tuleb paralleelselt voltmeetriga üles seada ka pimelülituses kontroll-lambid, sest juhul, kui voltmeetriga järjestikku lülitatud lamp läbi põleb, katkeb voltmeetri vooluahel ning tema osut näitab nulli. See aga võib põhjustada vale arvamuse sünkronismi hetke saabumisest.

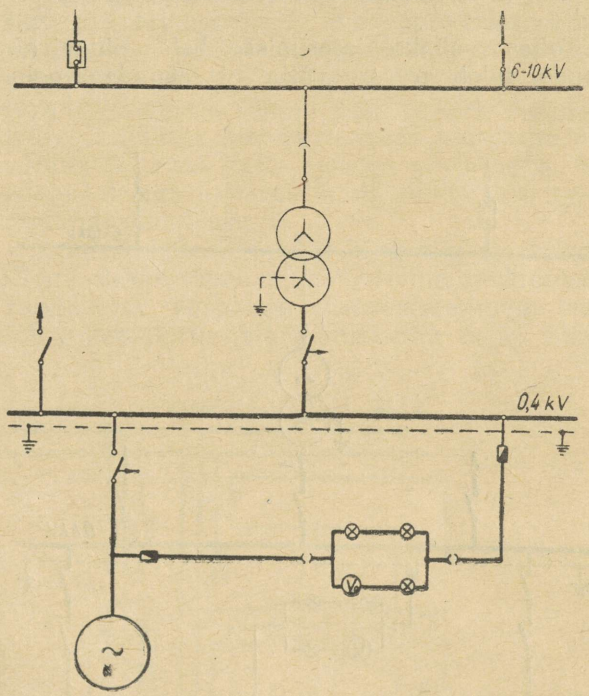
Nullvoltmeetriga järjestikku lülitatud lamp on vajalik seoses sellega, et sünkroniseerimise ajal tõuseb pinge sünkroniseerimisseadisel üksikutel hetkedel kuni generaatori faasipinge kahekordse väärtuseni, millele nullvoltmeeter ei ole arvestatud.

Samadel kaalutlustel nähakse igas alalises ja ajutises sünkroniseerimisahelas ette kahekordne järjestikku lülitatud lampide komplekt.

Joonisel 104 on näidatud sünkroniseerimisseadis, mis on ette nähtud generaatorisünkroniseerimiseks kogumislattidega. Selle seadisega on kerge sünkroniseerida antud elektrijaama teise elektrijaama või kohaliku energiasüsteemiga.



Joon. 104. Generaatorite ja kogumislattide vahelise sünkroniseerimise skeem.



Joon. 105. Süsteemiga paralleelselt töötava ühe agregaadiga elektrijaama sünkroniseerimise skeem.

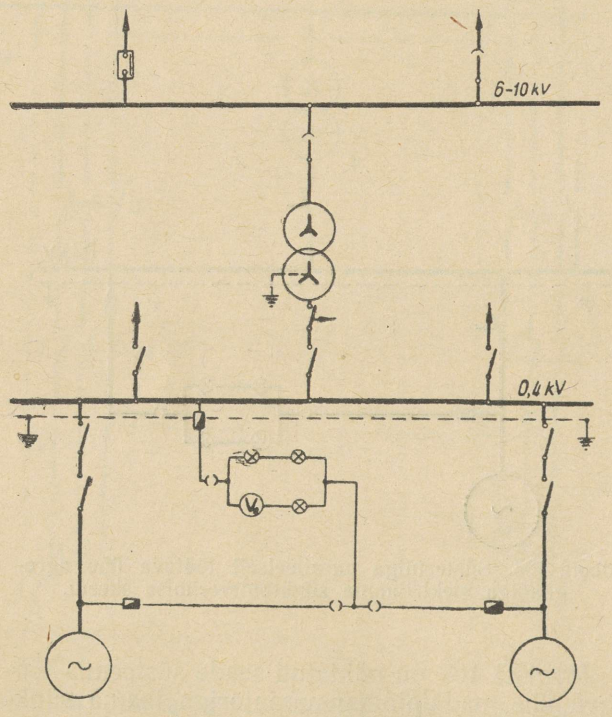
Joonisel 105 on näidatud seade süsteemis töötava ühe madalpingegeneraatoriga jaama sünkroniseerimiseks, kusjuures side teostatakse pingel 6—10 kV.

Kui oma tarbijaid toitev elektrijaam tuleb lülitada paralleeltööle süsteemiga, lülitatakse hetkeks välja vinnaklüliti või automaatlüliti ning lülitatakse sisse sidestusliini õlilüliti või võimsus-lahklüliti. Seejärel sünkroniseeritakse generaator kogumislattidega, reguleerides käsitsi hüdroturbiini kiiruseregulaatorit ja generaatori ergutaja ergutusreostaati.

Joonisel 106 on näidatud süsteemis töötava kahe agregaadiga elektrijaama sünkroniseerimisseadis, mis põhineb generaatorite ja madalpinge-kogumislattide vahelise sünkroniseerimise põhimõttel. Sünkroniseerimisprotsess ise toimub järgmiselt: mõlemad generaatorid lahutatakse madalpinge-kogumislattidelt ning kogu kõrgepinge- ja madalpingeliinide kaudu ülekantav koormus viiakse üle energiasüsteemile, lülitades sisse sidestusliini. Seejärel sünkroniseeritakse järjekorras iga üksik generaator.

Kui elektrijaamas on üles seatud 6 kV kõrgepingegeneraatorid ja kui sellele järgneb pinge tõstmine 10 või 35 kV, peab sünkroniseerimisseadis vastama joonisel 106 esitatud skeemile, seejuures tuleb ühelt poolt generaatori ja kogumislattide ning teiselt poolt sünkroniseerimisseadise vahele lülitada ühefaasilised pingetrafod.

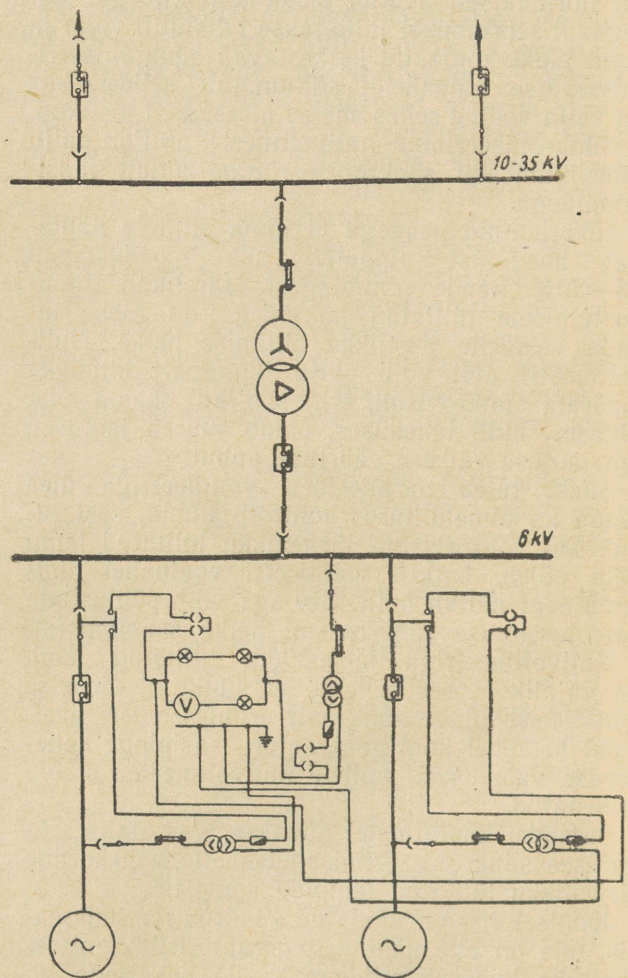
Toites sünkroniseerimisseadist pingetrafo kaudu, tuleb arvesse võtta, et sekundaarvoolu-



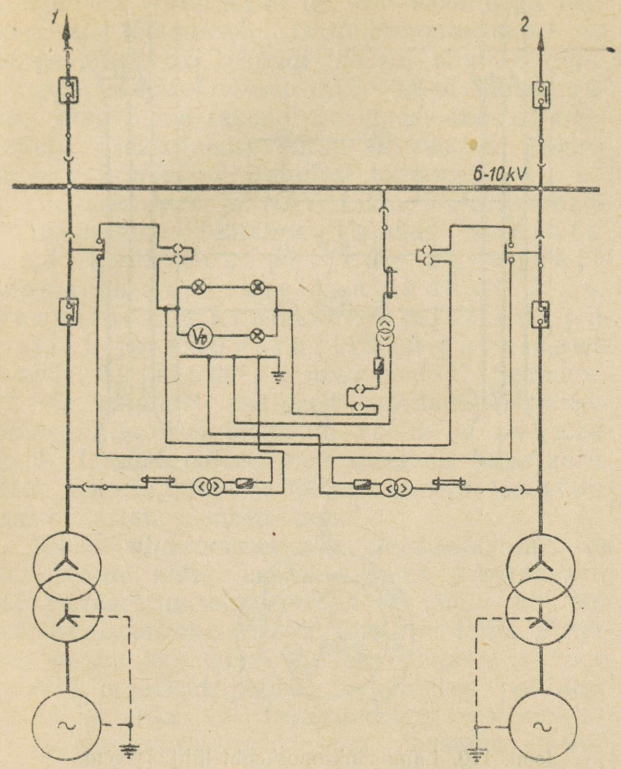
Joon. 106. Süsteemiga paralleelselt töötava kahe agregaadiga jaama sünkroniseerimise skeem.

ahela vastava faasi maandus ühendatakse sünkroniseerimissüsteemi ühisele nullkogumislatile. Teised sekundaarpinge faasid tuuakse sünkroniseerimisseadise klemmidele pistikseadiste kaudu.

Joonisel 107 on näidatud generaatorite ja kogumislattide vahelise sünkroniseerimise põhimõtteskeem, kui elektrijaamas on üles seatud kõrgepingegeneraatorid. Sünkroniseerimisseadise ühe klemmi külge tuuakse toide kogumislattidele ülesseatud pingetrafo ühest faasist. Sünkroniseerimisseadist toidetakse pistikseadise kaudu, mis on varustatud spetsiaalse kahekontaktilise pistikuga. Pistiku harud peavad olema kindlal (näiteks suurendatud) kaugusel üksteisest. Igale generaatorile ülesseatud pingetrafode vastavatest faasidest tuuakse kontrolljuhe lahklülitite blokk-kontaktide ja vähendatud vahekaugusega kahekontaktilise pistikuga pistikseadise kaudu sünkroniseerimisseadise teise kontakti külge. Pingetrafode sekundaarmähiste teised vastavad



Joon. 107. Kahe agregaadiga kõrgepingegeneraatoritega elektrijaama sünkroniseerimise skeem.



Joon. 108. Generaator-trafo blokkidega elektrijaama sünkroniseerimise skeem:
1 — sidestusliin; *2* — radiaalliin.

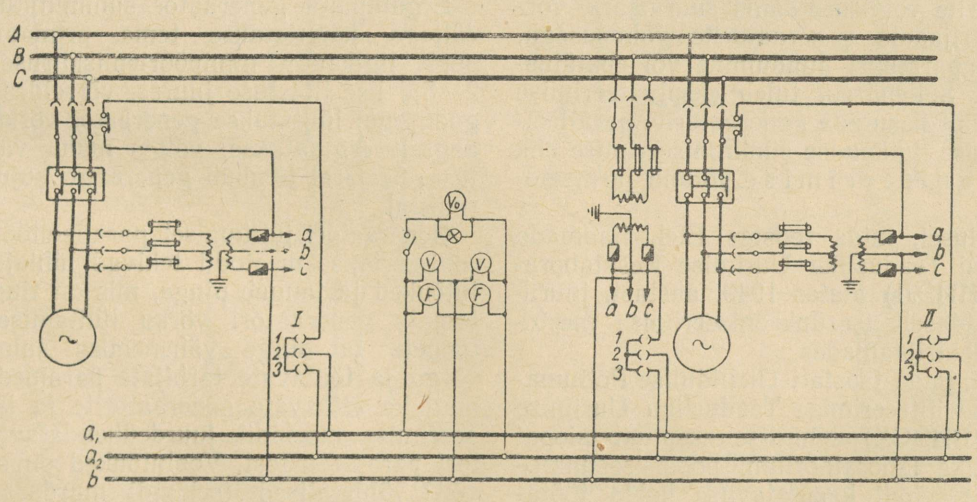
faasid ühendatakse omavahel sünkroniseerimisseadise ühisele nullkogumislatile. See kogumislatt on vajalik sel juhul, kui peale nullvoltmeetri ja faasilampide seatakse igale generaatorile sagedusmõõtja ja voltmeeter (kahekordne sagedusmõõtja, kahekordne voltmeeter). Vastasel korral pole sünkroniseerimisseadise nullkogumislatte vaja. Pingetrafode teised vastavad faasid võivad olla omavahel ühendatud mistahes kohas; kui aga maandatakse keskmised faasid (kahe pingetrafo ühendamisel lahtisesse kolmnurka), siis on ühiseks kogumislatiks üldine maandussüsteem.

Jaama valvepersonali korralduses peab olema kokku kaks pistikut — üks laiem ja teine kitsam. Ükskõik kumma generaatori sünkroniseerimisel kogumislattidega (teise töötava generaatoriga) ühendatakse lai pistik kogumislattidel asuva pingetrafo ja sünkroniseerimisseadise vahelisesse vooluahelasse; ainus kitsas pistik ühendatakse vooluahelasse, mis kulgeb sünkroniseeritava generaatori pingetrafost sünkroniseerimisseadise teise klemmi külge. Teise kitsa pistiku puudumine väldib mõlema generaatori pingetrafode sekundaarahelate eksikombel lühistamise, mis põhjustaks avarii, sest teise generaatori käivitamisel töötavad generaatorid omavahel mittesünkroonselt.

Kui elektrijaam on ehitatud generaator-trafo blokkskeemi alusel, tuleb sünkroniseerimine läbi viia kõrgepingel (joonis 108).

Blokkskeemi puhul ei soovitata ühendada sünkroniseerimisseadist generaatoripinge-klemmidele. Sel juhul, vaatamata sellele, et voltmeetri näit võrdub nulliga ja faasilambid kustuvad üheaegselt, tõuseb pingete vahe sisselülitatava õlilülitite klemmide vahel suuruseni, mis võrdub töötavas trafos esineva pingekaoga. See põhjustab aga töötavas ja sisselülitatavas generaatoris voolutõuke.

Joonisel 109 on toodud kõrgepingegeneraatoritega elektrijaama mitmejooneline sünkroniseerimisskeem, kusjuures sünkroniseerimine teostub generaatorite ja kogumislattide vahel. Sünk-

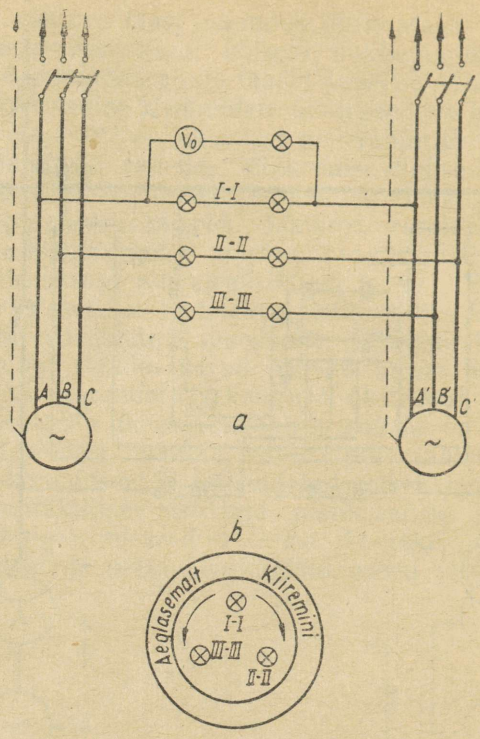


Joon. 109. Mitmejooneline sünkroniseerimise skeem.

roniseerimisel kasutatakse täielikku riistade komplekti ja nimelt: kontroll-lambiga nullvoltmeetrit, voltmeetreid ja sagedusmõõtjaid. Jaamas peab valvepersonali käsutuses olema ka sel juhul kaks pistikut — üks laiem, teine kitsam. Neist jätkub, et sünkroniseerida generaatorid omavahel või ükskõik kumb generaator kogumislattidega. Opereerimine kahe laia või kahe kitsa pistikuga võib põhjustada avarii.

Kõikides sünkroniseerimisskeemides võib ühe lambipaari asemel, mis on ühendatud pimelülituses paralleelselt voltmeetrile, kasutada lihtsamaid lampsünkronoskoope. Nad võimaldavad võrrelda juurdelülitatava ja töötavate generaatorite magnetväljade pöörlemiskiirusi.

Joonisel 110, *a* on näidatud lampsünkronoskoobi ehituse põhimõtteskeem. Nagu selgub skeemist, on lambid *1—1* ühendatud samanimeliste faasidega ja kustuvad sünkronismil. Teised kaks lambipaari on ühendatud erinevate faasidega ja sünkronismil põlevad ereda valgusega. Asetades lambid ringile, nagu on näidatud joonisel 110, *b*, kustuvad ja süttivad lambid generaatori ja süsteemi magnetväljade erineva pöörlemiskiiruse puhul eri aegadel. Ringleva tule järgi võib otsustada juurdelülitatava generaatori pöörlemiskiiruse üle.



Joon. 110. Lampsünkronoskoobi lülitusskeem.

GENERAATORITE LÜLITAMINE PARALLEELTÖÖLE ISESÜNKRONISEERIMISE MEETODIL

Generaatorite lülitamine paralleeltööle täpse sünkroniseerimise meetodil on võrdlemisi keerukas ja aegaviitev operatsioon eriti maaelektrijaamades, kus on erilised töötingimused (üksikute tarbijate juures ülesseatud lühisrootoriga elektrimootorite võimsuse sama suurusjärk, võrreldes elektrijaama generaatorite võimsusega, reguleerimisaparatuuri puudumine või ebatäiuslikkus jne.). Sellepärast tuleb ekspluateerimise praktikas laialt kasutada generaatorite paralleeltööle lülitamise ligikaudse sünkroniseerimise ehk isesünkroniseerimise võtteid ja meetodeid.

Katsete alusel, mida teostas Elektrijaamade Ministeeriumi Teadusliku Uurimise Kesklaboratoorium (ЦНИЭЛ) alates 1949. aastast, juurutatakse laialdaselt isesünkroniseerimise meetodit rajoonielektrijaamades.

Uurimised, mida teostati Üleliidulise Põllumajanduse Elektrifitseerimise Teadusliku Uurimise Instituudi (ВИЭСХ) tehnilise ekspluatatsiooni ja automaatika laboratooriumi poolt isesünkroniseerimise meetodi kasutatavuse kohta töötavates maaelektrijaamades, kõnelevad samuti selle meetodi vaieldamatust efektiivsusest mistahes võimsusega agregaatidega elektrijaamade puhul.

Vastavalt ВИЭСХ ekspluatatsiooni laboratooriumi soovitustele, mis on kinnitatud Glavselelektro poolt, lülitatakse generaatorid isesünkroniseerimise meetodil paralleeltööle järgmises korras.

Ergutamata generaator summutatud magnetväljaga käivitatakse tema primaarjõumasina poolt ligikaudu nimipöörlemiskiiruseni. Umbes 2—3%-lise libistuse juures, võrreldes võrgu sagedusega, lülitatakse generaator võrku ja samaaegselt ergutatakse, võttes maha väljasummutuse. Seejärel tõmbub generaator sujuvalt sünkronismi.

Generaatori lülitamisel paralleeltööle isesünkroniseerimise meetodil tekivad lühiajalised voolutõuked ja langeb pinge, mis on tingitud ergutamata generaatori võrku lülitamisest. Voolutõugete ja pinge vähenemise suurus sõltub võrgu ja töötavate tarbijate parameetritest, samuti ka töötavate generaatorite ja isesünkroniseerimise meetodil juurdeühendatava generaatori parameetritest. Voolutõuked on siiski sedavõrd lühiajalised (sekundi murdosad), et sel puhul tekkivad mähiste laupühenduste deformat-

sioonid on võrreldavad deformatsioonidega normaalsel töötamisel. Isesünkroniseerimisel ei lange pinge 0,5 sekundi jooksul alla 0,6 nimipingest, seejärel tõuseb 0,75—0,8-ni nimisuurusest ning mõne sekundi möödudes taastub täielikult. Elektrijaama võrku ühendatud elektrimootorid jätkavad stabiilset töötamist.

Glavselelektro ja NSV Liidu Elektrijaamade Ministeeriumi Tehniline Valitsus soovitavad kõikides paljude agregaatidega maaelektrijaamades kasutada isesünkroniseerimist kui põhilist ja kohustuslikku paralleeltööle lülitamise meetodit. Seejuures ei ole vajadust esialgselt arvutada paralleeltööle lülitamisel tekkivaid voolu- ja pingetõukeid. Isesünkroniseerimise meetodit tuleb kasutada sisselülitatava ja töötava generaatori võimsuste mistahes suhete puhul.

Täpse sünkroniseerimise seadiseid, mis on kirjeldatud antud peatükis, tuleb generaatorite sünkroniseerimisel kasutada sel juhul, kui isesünkroniseerimise meetod ühel või teisel põhjusel ei ole kasutatav (näiteks töötava ja koormatud maaelektrijaama ühendamisel paralleeltööle kohaliku või rajooni energiasüsteemiga).

Isesünkroniseerimist võib teostada käsitsi, poolautomaatselt või automaatselt, sõltuvalt projekteeritava või töötava objekti varustusest.

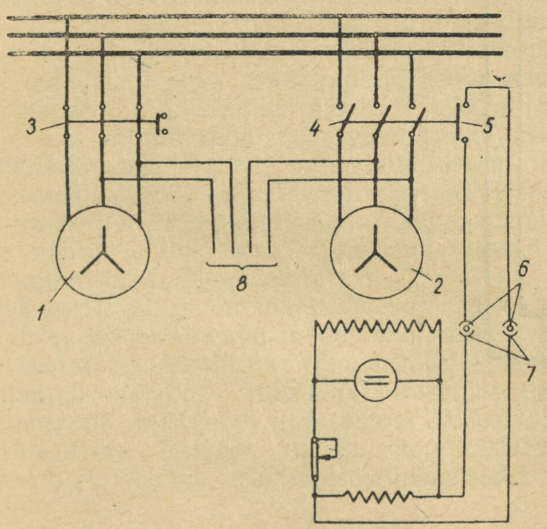
Käsitsi isesünkroniseerimise puhul reguleeritakse käsitsi käivitatava agregaadi sagedus ligikaudu võrdseks võrgu sagedusega ja lülitatakse ta võrku. Niisugust isesünkroniseerimist kasutatakse vinnaklülititega varustatud madalpingegeneraatorite korral ja distantsjuhtimiseta võimsuslülititega varustatud kõrgepingegeneraatorite korral.

Et otsustada sisselülitatava generaatori ja võrgu sageduste vahe üle, soovitatakse kasutada madalpingegeneraatorite korral madalpingelampe (6—36 V), pimelülituses, kõrgepingegeneraatorite puhul aga sagedusreleed tüüp ИРЧ-01 (vt. kaheteistkümnes peatükk). Pimelülituses lamp ühendatakse generaatori jääkpinge ja generaatori jääkpingele vastava võrgupinge osa tuikamispingele. Võrgupinge osa saadakse potentsiomeetrilt. Generaator tuleb sisse lülitada siis, kui tema pöörlemiskiirus on veidi väiksem sünkroonkiirusest ja pöörlemiskiiruse kasv lähenemisel sünkroonkiirusele ei ületa 0,5 Hz sekundis.

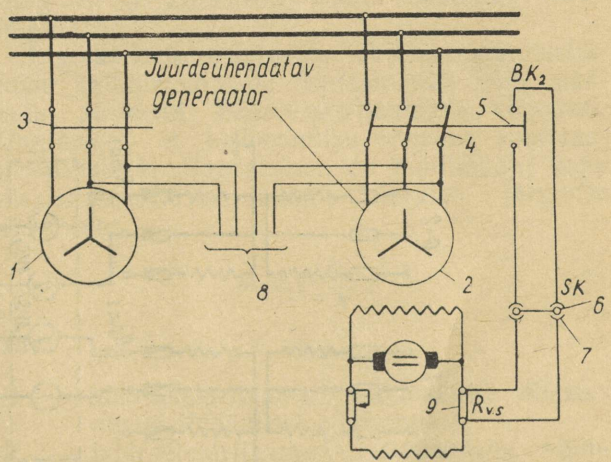
Joonisel 111 on toodud madalpingegeneraatorite sünkroniseerimise skeem, kui väli summutatakse ergutaja ergutusmähise šunteerimise teel. Generaator *1* töötab madalpinge-kogumislattidele ja tema vinnaklüliti *3* on sisse lülitatud.

Generaator *2* käivitatakse tema primaarjõumasinaga, kusjuures vinnaklüliti *4* on välja lülitatud, mispuhul blokk-kontaktid *5* on suletud. Sünkroniseerimispistik *6* asetatakse vastavatesse pesadesse *7*.

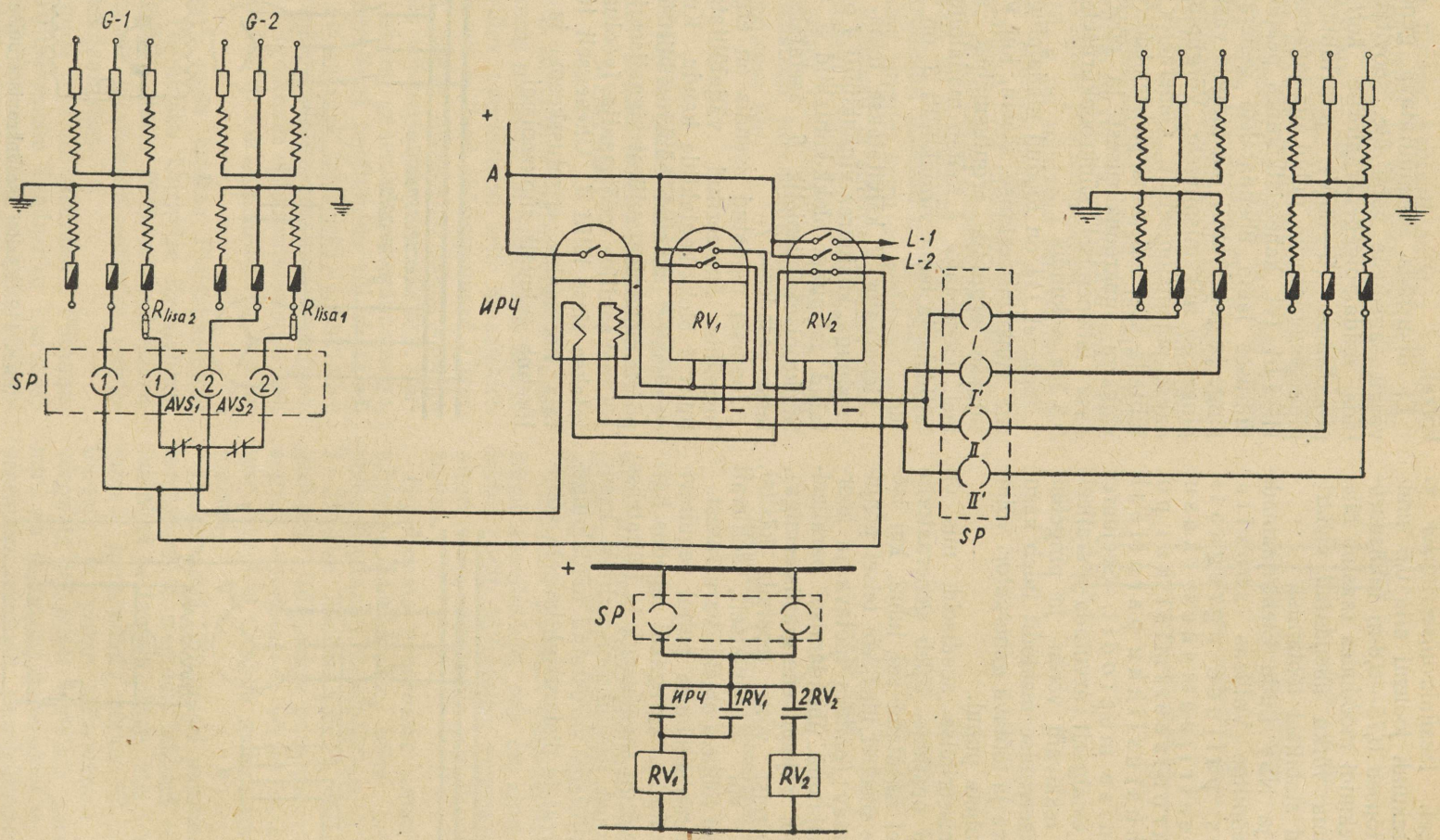
Joonisel näidatud asendis on ergutaja ergutusmähis šunteeritud väljalülitatud vinnaklüliti *4* blokk-kontaktide kaudu. Kui käivitatav generaator omandab sünkroonkiirusele lähedase pöörlemiskiiruse, millest signaliseerib elektriline või mehaaniline mõõtesaatja (vooluahel *8*), lülitatakse sisse lüliti *4*. Üheaegselt taastub ergutaja normaalne ergutusskeem ja generaator tõmbub sujuvalt sünkronismi.



Joon. 111. Käsitsi isesünkroniseerimise skeem väljasummutamisega ergutaja ergutusmähise šunteerimise teel.



Joon. 112. Käsitsi isesünkroniseerimise skeem, kui magnetvälja summutamiseks kõrvaldatakse šunteeriv pistik lisatakistuselt ergutaja ergutusmähise vooluahelas.



Joon. 113. Automaatse isesünkroniseerimise põhimõtteskeem.

Sünkroniseerimispistik võetakse pesadest välja siis, kui on vaja tõsta generaatori pinget väljalülitatud vinnaklüliti puhul.

Joonisel 112 on toodud madalpingegeneraatorite käsitsi isesünkroniseerimise skeem, kui väli summutatakse ergutaja ergutusahelas asuvat lisatakistust šunteeriva lühistava pistiku kõrvaldamise teel.

Erinevalt eelnevast skeemist on siin väljalülitatud vinnaklüliti *4* blokk-kontaktid *5* samuti avatud, mistõttu lisatakistus *9* (välja summutamiseks) osutub sisselülitatuks ergutaja ergutusmähise vooluahelasse. Vinnaklüliti *4* sisselülitamisel see takistus *9* šunteeritakse lüliti blokk-kontaktidega. Lühistav pistik *6* asetatakse pesadesse *7* neil juhtudel, kui soovitakse tõsta generaatori pinget väljalülitatud vinnaklüliti korral.

Kõrgepingegeneraatorite käsitsi isesünkroniseerimine ei erine põhiliselt milleski madalpingegeneraatorite käsitsi isesünkroniseerimisest.

Joonisel 113 on toodud automaatse isesünkroniseerimise skeem, mis on välja töötatud NSV Liidu Elektrijaamade Ministeeriumi Teadusliku Uurimise Kesklaboratooriumi poolt.

Sagedusrelee ИРЧ kontaktid sulguvad sel hetkel, kui võrgu ja generaatori sageduste vahe muutub võrdseks relee ИРЧ sättega. Seejuures, nagu nähtub skeemilt, ühendatakse operatiivvooluahelasse vaherelee RV_1 mähis. Relee RV_1 rakendumisel sulguvad tema kontaktid: 1 RV_1, mis šunteerivad relee ИРЧ kontakte, ja 2 RV_2, mis annavad toite vaherelee RV_2 mähisesse.

Relee RV_2 katkestab rakendudes sagedusrelee ИРЧ toiteahela ning samaaegselt sulgeb käivitatava generaatori (agregaadi) võimsuslüliti L-1 või L-2 sisselülitamisahela.

Nagu eespool nimetatud, tuleb enne generaatori lülitamist paralleeltööle isesünkroniseerimise meetodil summutada tema väli, kusjuures aga ergutusreostaat peab asuma tühijooksule vastavas asendis. Nimetatud olukorra kontrollimiseks, s. o. ergutusvooluahela valmisoleku kontrollimiseks generaatori sisselülitamiseks isesünkroniseerimise meetodil, on relee ИРЧ ning generaatorite võimsuslülitite juhtimisahelates ette nähtud automaatse väljasummutusseadise ja šuntreostaadi blokk-kontaktid.

Iga generaatori automaatsete väljasummutusseadiste sisselülitamispoolide vooluahelad on ühendatud generaatorite võimsuslülitite blokk-kontaktide kaudu. Isesünkroniseerimisseadise ühendamine mistahes generaatori lülitamiseks paralleeltööle ükskõik millise kogumislattide süsteemiga toimub sünkroniseerimispesade SP abil.

KOHALIKUD ENERGIASÜSTEEMID

Põhilised seisukohad kohalike energiasüsteemide loomise alal on välja töötatud tehniliste teaduste doktori A. G. Zahharini poolt ja esitatud «Maaelektriseadmete projekteerimise juhendites».

Kohalike energiasüsteemide loomisel tuleb esmajoones taotleda tüübilt ja töörežiimilt erinevate elektrijaamade ühendamist. See tähendab, et tuleb ühendada ühisesse süsteemi samal jõel asuvate hüdroelektrijaamade kaskaad ja kohalikul kütusel töötav suurendatud võimsusega soojuselektrijaam või jälle ühendada süsteemi hüdroelektrijaamad, mis asuvad suhteliselt lähedal üksteisele, kuid hüdroloogilise režiimi poolest tunduvalt erinevatel jõgedel.

Vähem efektiivne on ühendada süsteemi sesoonse reguleerimiseta hüdroelektrijaamade kaskaadi, eriti kui nende hüdroelektrijaamade hüdroloogiline režiim vähe erineb üksteisest. Kuid real juhtudel, kui üksiku lähestikku asuvate hüdroelektrijaamade jaotusvõrgud lähenevad üksteisele ja süsteemi võib luua nende jaotusvõrkude pingel, on selliste jaamade ühisesse süsteemi ühendamine otstarbekas.

Ühendades elektrijaamad süsteemidesse, ei saa nende lahus töötamisel esinevaid võimsusi aritmeetiliselt summeerida. Soojus- ja hüdroelektrijaamade ühendamine ühisesse süsteemi võimaldab suurendada hüdroelektrijaamade installeeritud võimsust ja vähendada soojuselektrijaamade installeeritud võimsust. Selline süsteemi ühendatavate jaamade struktuuri muutus saavutatakse hüdroelektrijaamade samade paisude ja arvutuslikkude survete juures. Nimetatud olukorda põhjendatakse alljärgneva näite ning A. G. Zahharini poolt koostatud valemiga [13].

Ligikaudsete esialgsete tehnilis-majanduslikkude kalkulatsioonide koostamiseks võib määrata süsteemi hüdroelektrijaamade võimsust, tingimusel, et iseloomulike ööpäeva koormusgraafikute konfiguratsioon on muutumatu kogu elektrifitseeritava rajooni ulatuses, järgmise valemiga:

$$P = P_0 \frac{k_0}{k}, \qquad (5)$$

kus:

P — hüdroelektrijaamade summaarne võimsus nende töötamisel süsteemis;

P_0 — hüdroelektrijaamade summaarne võimsus nende töötamisel isoleeritult;

k_0 — graafiku täitetegur, s. o. keskmise koormuse ja maksimaalse koormuse suhe selle sesooni ööpäeva kohta, mis on mää-

rav elektrijaama arvutuslike parameetrite valikul;

k — graafiku tipuosa täitetegur sama ööpäeva kohta.

Määravaks sesooniks maahüdroelektrijaamade puhul on tavaliselt sügis või talv.

Et graafiku täitetegur on üldiselt tunduvalt suurem kui graafiku tipuosa täitetegur, mis selgub järgnevast näitest, siis süsteemi ühendatavate hüdroelektrijaamade võimsus on suurem kui samade hüdroelektrijaamade summaarne võimsus nende töötamisel isoleeritult. Seega kohaliku energiasüsteemi loomisel hüdroelektrijaama võimsus suureneb, soojuselektrijaama võimsus aga väheneb. Järelikult hüdroelektrijaamade installeeritud võimsuse kilovati maksumus väheneb, hüdroelektrienergia toodang suureneb ja kütusekulu vastavalt väheneb.

On ilmne, et üksikasjalike kalkulatsioonide koostamisel, seoses hüdroelektrijaamade võimsuse suurenemisega nende ühendamisel soojuselektrijaamaga ühte süsteemi, tuleb arvesse võtta kõik ööpäevase reguleerimise tingimused (basseini maht, survekaod ööpäevase reguleerimise puhul jm.).

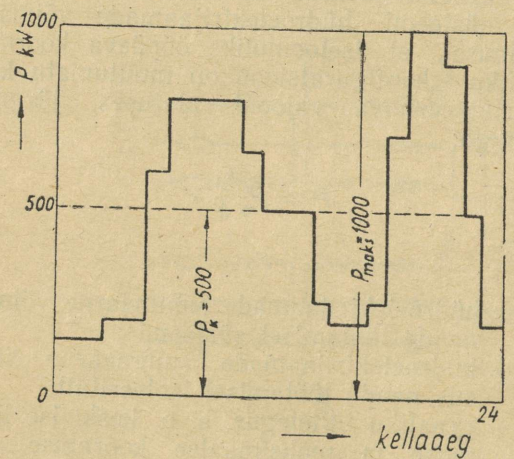
Tarbijate kindlustatus elektrienergiaga on süsteemist toitmise puhul suurem kui toitmisel isoleeritult töötavatest hüdroelektrijaamadest.

Mis puutub ööpäevase reguleerimise basseini vajalikku mahtu, siis kasvab see umbes võrdeliselt hüdroelektrijaamade võimsuse kasvuga süsteemis.

Näitena vaatleme järgmist juhtu.

Põllumajandusliku rajooni elektrienergiaga varustamiseks ettenähtud maksimaalne võimsus on 1000 kW; iseloomulik ööpäeva koormusgraafik on toodud joonisel 114.

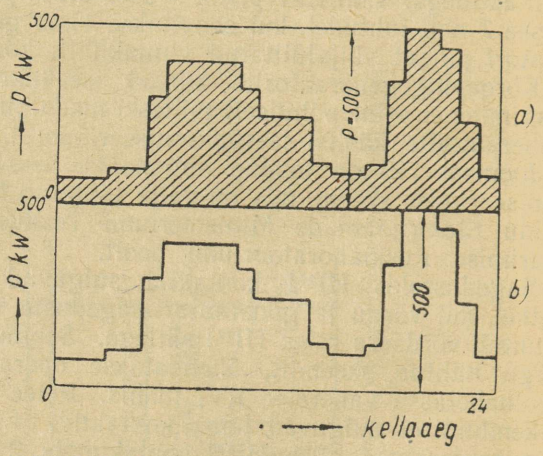
Hüdroelektrijaamade kaskaadi üldine võimsus isoleeritult töötamisel on 500 kW; hüdroelektrijaama koormusgraafik sama iseloomuliku ööpäeva jaoks veevaese aasta tingimustes on toodud joonisel 115, *a*.



Joon. 114. Põllumajandusliku rajooni koormusgraafik.

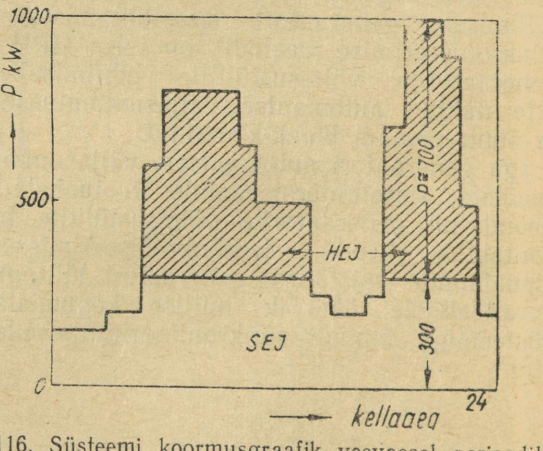
Et rahuldada elektrifitseeritava rajooni kõiki tarbijaid, oli esialgselt kavatsetud peale hüdroelektrijaamade ehitada üks või kaks soojuselektrijaama üldise võimsusega samuti 500 kW, mis töötaksid sama ööpäeva graafiku järgi kui hüdroelektrijaamad (joon. 115, *b*). Kõikide isoleeritult töötamisel aluseks võetud graafikute kui ka rajoonigraafiku puhul on täitetegur

$$k_0 = \frac{P_{\text{kesk}}}{P_{\text{maks}}} = 0{,}5.$$



Joon. 115. Elektrijaamade koormusgraafikud isoleeritult töötamisel:
a — hüdroelektrijaam; *b* — soojuselektrijaam.

Soojusjõumasinate töötamise ökonoomsuse seisukohalt on otstarbekas, et süsteemis töötades kataksid soojuselektrijaamad koormusgraafiku alumise osa, hüdrojaamad aga kataksid summaarse graafiku tippkoormused, nagu on näha joonisel 116.



Joon. 116. Süsteemi koormusgraafik veevaesel perioodil.

Säilitades sama ööpäevase elektrienergia toodangu, mis vastab elektrienergia tarbijate vajadustele, võib suurendada hüdroelektrijaamade installeeritud võimsust ja seega samaaegselt vastavalt vähendada soojuselektrijaamade võimsust.

Et määrata hüdroelektrijaamade uus, suurenenud võimsus, tuleb eraldada rajooni summaarse koormusgraafiku ülemine tipuosa nii, et selle osa pindala võrduks hüdroelektrijaamade koormusgraafiku pindalale isoleeritult töötamisel. Joonisel 116 esitatud graafiku viirutatud osa kujutabki endast süsteemi ühendatud hüdroelektrijaamade koormusgraafikut veevaese perioodi iseloomulikul ööpäeval.

Arvutades välja graafiku tipuosa keskmise võimsuse ööpäeva jooksul, leiame tema täiteteguri k_0, mis on 0,36. Vastavalt valemile (5) suureneb hüdroelektrijaama võimsus kuni väärtuseni:

$$P = 500 \frac{0{,}5}{0.36} = 700 \text{ kW}.$$

Veerohketel perioodidel võivad hüdroelektrijaamad katta summaarse graafiku alumise osa (viirutatud osa joonisel 117), soojuselektrijaamad aga tippkoormused.

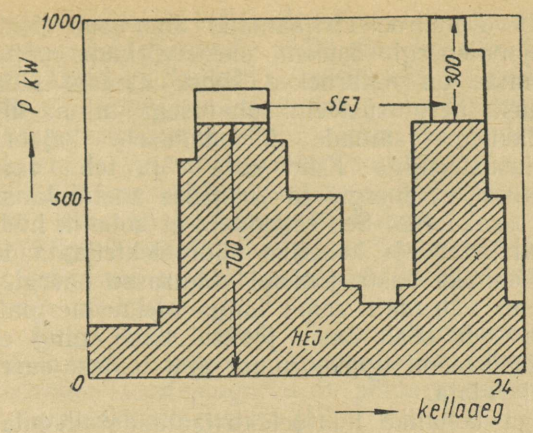
Neil sesoonidel kasvab kasulik hüdroelektrienergia toodang ning vastavalt väheneb vee tühjalt mahalaskmine, mis esineks hüdroelektrijaamade väiksema võimsuse puhul.

Nagu näha graafikutest, väheneb vaadeldavas süsteemis soojuselektrijaamade üldine võimsus 500 kW-lt 300 kW-ni.

Kui ühes põllumajanduslikus rajoonis on energeetiliste ressursside ülejääk, teises aga puudujääk, siis real juhtudel on otstarbekas rajoonide energeetiline ühendamine, s. o. elektrienergia tootmise ja tarbimise suletud bilansiga kohalike energiasüsteemide loomine. Suletud elektroenergeetilise bilansiga süsteemide struktuuri valikul tuleb eelistada neid variante, kus süsteemide otstarbekas struktuur saavutatakse elektrienergia ülekandmise vähimate raadiuste ja võimalikult madalate jaotusvõrgu pingete puhul.

35 kV pingega ülekandeliinide kasutamine on soovitav niisugustes energiasüsteemides, kus üksikute jaamade võimsus on üle 500 kW, ja samuti omavahel 10 kV liinidega ühendatud väikeste jaamade rühmade ühendamiseks. Kõige kasulikumad kapitalimahutuste ja seadmete vajaduse seisukohalt on maaenergiasüsteemid võimsusega kuni 2000 kW, ülekandeliinidega pingel 10 kV.

Energiasüsteemidesse ühendatavate elektrijaamade arvu liigne suurendamine ei ole otstarbekas, sest see põhjustab tehnilise ja organisatsioonilise iseloomuga raskusi. Kõige otstarbekam on kolme kuni kuue jaama ühendamine.



Joon. 117. Süsteemi koormusgraafik veerohkel perioodil.

Kohaliku energiasüsteemi struktuuri õige valiku puhul väheneb paralleelselt soojuselektrijaamadega töötavate hüdroelektrijaamade elektrienergia maksumus, võrreldes isoleeritult töötavate hüdroelektrijaamade poolt toodetava elektrienergia maksumusega sama paisu korral. See vähenemine seletub sellega, et suureneb hüdroelektrijaamade elektrienergia toodang ja vähenevad kulutused ekspluatatsiooni- ja administratiiv-majanduslikule personalile. Soojuselektrijaama ehitamine töötamiseks süsteemis paralleelselt rühma hüdroelektrijaamadega annab tunduva majandusliku efekti ka neil juhtudel, kui soojuselektrijaamade elektrienergia maksumus on tunduvalt suurem hüdroelektrijaamade elektrienergiast.

Suurendatud võimsusega jaamadest koosnevate projekteeritavate või töötavate kohalike energiasüsteemide mõjupiirkonnas asuvad sageli või kavatsetakse ehitada väikseid hüdroelektrijaamu, millede võimsus on alla 100 kW. Selliseid väikseid elektrijaamu on otstarbekas nende rahuldava tehnilise olukorra puhul ühendada energiasüsteemiga. Niisugused väiksed jaamad võivad olla seadmestatud asünkroongeneraatoritega (vt. kolmas peatükk) ning töötada hüdroturbiini alaliselt avatud juhtaparaadiga, andes üldisesse võrku kogu veevoolu energia hüdrotehniliste agregaatide installeeritud võimsuse piirides. Väikeste mittereguleeritavate hüdroelektrijaamade summaarne võimsus ei tohi moodustada üle 10% energiasüsteemi võimsusest. Mis puutub aga väikestesse soojuselektrijaamadesse, võimsusega mõnikümmend kilovatti, siis ei tule neid energiasüsteemi mõjupiirkonnas ehitada.

Kui kohalik suurema võimsusega hüdroelekt-

rijaam või hüdroelektrijaamade rühm asub võimsa rajoonienergiasüsteemi elektrivõrkude mõjupiirkonnas, on otstarbekas, kooskõlastades seda küsimust energiasüsteemi juhatusega, minna üle kohalikkude jaamade ühendamisele rajooni energiasüsteemiga. Kuid seda võib teha vaid tingimusel, et energia ja võimsuse aastabilanss oleks tasakaalus. See tähendab, et kohalik hüdroelektrijaam või kohalike hüdroelektrijaamade rühm annaks aasta jooksul võimsasse energiasüsteemi vähemalt sama hulga elektrienergiat, kui ta seda sealt aasta jooksul saab, ning et energiasüsteemi tippkoormuse ajal temast energiat ei vajata.

Seega kohalike hüdroelektrijaamade ühendamine võimsa energiasüsteemiga võimaldab saada energiat veevaestel sesoonidel väljaspool süsteemi tippkoormuse tunde ning järelikult suurendada kohalike hüdroelektrijaamade võimsust ja üldist elektrienergia toodangut. Seega on võimalik tõsta elektrienergiaga varustamise kvaliteeti, tekitamata vähimatki kahju võimsale süsteemile.

Süsteemide juhatusorganite nõusolekul võib samuti kasutada võimsa energiasüsteemi kõrgepingevõrke üksikute põllumajanduslike rajoonide vaheliste energeetiliste sidekanalitena. Põllumajanduslikus rajoonis, kus esineb odava elektrienergia ülejääk, võivad selle rajooni elektrijaamad anda süsteemi teatud osa võimsust ja elektrienergiat ning seda saab süsteemist teine rajoon, mis ei ole küllaldaselt kindlustatud energeetiliste ressurssidega.

Kõige efektiivsemad on need kohalikud energiasüsteemid, kus on ülekaalus hüdroelektrijaamad. Hüdroelektrijaamade elektrienergia toodang niisugustes süsteemides sõltub tarbijate poolt vajatavast elektrienergia hulgast. Antud energiasüsteemi poolt varustatava rajooni vajadus elektrienergia järele peab nõuete kohaselt olema täielikult rahuldatud keskmise veehulgaga aasta kõige raskemal perioodil (kuul). Veevaesel aastal on lubatud elektrienergia vajaduse osaline rahuldamine, kuid mitte vähemal määral kui 70% ulatuses aasta kõige raskemal perioodil (kuul).

TUULEELEKTRIJAAMADE TÖÖTAMINE KOHALIKES ENERGIASÜSTEEMIDES, KUS ON ÜLEKAALUS SOOJUSELEKTRIJAAMAD

Tuuleelektrijaamadel on väga suur tähtsus põllumajanduse elektrifitseerimise edaspidisel arenemisel energeetiliste seadmetena, mis töötavad ühises võrgus kohalikkude soojus- ja hüdroelektrijaamadega [16]. Soodsate tuuletingimuste puhul leiavad tuuleelektrijaamad kasutamist ka isoleeritult töötavate jaamadena. Tuleb aga arvesse võtta seda, et seoses elektrienergia laialdase juurutamisega mitmesugustesse põllumajanduslikkudesse protsessidesse nõuavad põllumajanduslikud tarbijad kindlat katkestusteta varustamist elektrienergiaga. Tuuleelektrijaamade paralleelsel töötamisel teiste elektrijaamadega võib tagada tarbijate katkestamatu varustamise elektrienergiaga, sõltumatult tuule tugevuse ebaühtlusest.

Kohalike energiasüsteemide projekteerimisel, mis koosnevad hüdro-, soojus- ja tuuleelektrijaamadest ning töötavad paralleelselt ühisesse elektrivõrku, ei tohi tuuleelektrijaamad kuuluda elektrifitseeritava rajooni tippkoormuste katmiseks ettenähtud elektrijaamade hulka. Vastasel korral, kui tippkoormuse ajal tuult ei ole, esineb süsteemis kõigi või mõne tuuleelektrijaama tegevusetuse tõttu tunduv võimsuse puudujääk, mis põhjustaks mittesoovitavaid tagajärgi, nagu sageduse ja pinge vähenemine, vajadus osa tarbijaid välja lülitada jne.

Sellepärast tuuleelektrijaamade olemasolu ei võimalda vähendada soojus- ja hüdroelektrijaamade installeeritud võimsust. Kuid tuuleelektrijaamade töötamine tuule olemasolul suurendab süsteemi üldist võimsust ja sellega vähendab soojus- ja hüdroagregaatide koormust.

Antud maakoha tuulekadastrite ja tuuleagregaatide energeetiliste karakteristikute alusel on kerge määrata seda elektrienergia hulka, mida toodavad tuuleelektrijaamad ja mis antakse nende poolt üldisesse energiasüsteemi võrku. Mitmesuguste aastaaegade ööpäeva koormusgraafikutele, samuti ka aasta kestusgraafikutele võib peale kanda tuuleelektrijaamade eeldatava võimsuse, mis sõltub tuule kiirusest. Nagu eespool nimetatud, ei tule ettevaatuse mõttes arvestada tuuleelektrijaama töötamist tippkoormuse tundidel. Teostatud töö tulemusena on projekteerija käsutuses materjal, mis iseloomustab kohaliku energiasüsteemi mitmesuguste agregaatide elektrienergia toodangut, ja samuti nende agregaatide, sealhulgas ka tuuleagregaatide koormusgraafikud tundide kaupa kõigi aastaaegade kohta.

Tuuleelektrijaamade töötamisel energiasüsteemis väheneb süsteemi soojus- ja hüdroelektrijaamade agregaatide koormus vastava suuruse võrra, sest nendel agregaatidel on automaatsed kiirusregulaatorid, mis mõjutavad vastavate elektrijaamade primaarjõumasinate kütuse, auru või vee etteandmist. Neil juhtudel, kui soojus- ja hüdroagregaatide primaarjõumasinatel puuduvad automaatsed kiirusregulaatorid, põhjustab tuuleelektrijaamade töötamine lahkumineku elektrijaamade võimsuse ja tarbijate võimsuse

vahel. Elektrijaamade võimsus hakkab ületama tarbijate võimsust, mistõttu süsteemi sagedus suureneb üle lubatavate piiride.

Siit võime teha järelduse, et tuuleelektrijaamade töötamisel paralleelselt kohalikkude süsteemidega peavad kas kõikidel või osal agregaatidel (niisugusel juhul — sagedust reguleerivatel agregaatidel) olema tundlikud kiirusregulaatorid, mis mõjutavad kütuse, auru või vee etteandmist elektrijaama primaarjõumasinatele.

Tuuleelektrijaamade töötamine, mis vähendab soojus- ja hüdroagregaatide koormust, vähendab ka nende agregaatide kütuse, auru ja vee kulu. Kuid koormuse vähenemine kutsub tavaliselt esile vastavate agregaatide kasuteguri vähenemise, sellega aga ühtlasi kütuse, auru või vee erikulu suurenemise toodanguüksuse, s. o. kasulikult toodetud elektrienergia 1 kWh kohta.

Seega tuuleagregaatide töötamisel koos soojus- ja hüdroagregaatidega esinevad kaks tegurit: positiivne tegur, mis vähendab hüdroturbiinide ja soojusjõuseadmete koormust, ja negatiivne tegur, mis vähendab nimetatud jõumasinate kasutegurit. Tekib küsimus, kas negatiivne tegur ei likvideeri täielikult positiivse teguri mõju.

Sellise küsimuse seaduspärasuse üle mõningatel juhtudel võib otsustada järgneva näite alusel.

Oletame, et tuuleelektrijaam töötab paralleelselt hüdroelektrijaamaga, kus on üles seatud propellerturbiinid. Enne tuule ilmumist, s. o. enne tuuleelektrijaamade automaatset lülitumist ühisesse võrku, olid hüdroelektrijaama agregaadid (või tema agregaat, mis reguleerib sagedust süsteemis) koormatud vaid 60% ulatuses. Tuuleelektrijaama lülitumine ühisesse võrku põhjustas turbiini koormuse vähenemise 60%-lt 50%-le. Nagu teada propellerturbiini karakteristikust, väheneb turbiini kasutegur äraantava võimsuse muutumisel antud piirides järsult, vee erikulu suureneb, aga vee kogukulu väheneb tähtsusetu suuruse võrra. Teisiti öeldes, on küllaldane vaid vähesel määral vähendada propellerturbiini läbivoolu, s. o. juhtaparaadi lahtioleku astet, et vähendada hüdroelektrijaama poolt äraantavat võimsust 60% kuni 50%-ni hüdroturbiinide nimivõimsusest. Siit järgneb, et vaadeldaval juhul tuuleelektrijaama töötamine paralleelselt propellerturbiinidega seadistatud hüdroelektrijaamaga on vähe efektiivne. Tuuleelektrijaamade töötamine süsteemi koormusel alla 60% ei võimalda tunduval määral vähendada veekulu ega koguda vett hüdroelektrijaama veehoidlasse.

Vaatamata kahe vastupidise teguri olemasolule, annab enamiku hüdroelektrijaamade ja, nagu näitavad edaspidised arvutused, mistahes soojuselektrijaamade töötamine koos tuuleelektrijaamadega küllaltki positiivseid tulemusi, sõltuvalt koormuse režiimist ja põhiagregaatide karakteristikutest. Eriti tähtis on tuuleelektrijaamade ja soojuselektrijaamade paralleeltöö efektiivsuse määramise meetodite küsimus siis, kui kõne all on kütuse kokkuhoid.

Allpool esitatud tuuleelektrijaamade töötamise efektiivsuse määramise metoodika puudutab just seda küsimust.

Nagu teada, sõltub kütuse erikulu soojuselektrijaamades kahest iseloomulikust tegurist — seadme kasutustegurist ja põhiagregaatide ekspluatatsioonitegurist [17]. Kasutustegur n on aasta või mõne muu ajavahemiku jooksul agregaadi klemmidel toodetud elektrienergia hulga (kilovatt-tundides) suhe sellesse elektrienergia hulgasse, mida oleks tootnud agregaat, kui ta oleks töötanud katkestamatult kogu aasta või muu ajavahemiku jooksul täie võimsusega, s. o.

$$n = \frac{A}{8760\,P},$$

kus: A — aastas toodetud elektrienergia hulk kWh;
P — installeeritud võimsus kW.

Ekspluatatsioonitegur ehk tööajategur f kujutab endast antud agregaadi tegelikku töötundide arvu (aastas või mõnes muus ajavahemikus) suhet kogu tundide arvusse antud ajavahemikus, s. o.

$$f = \frac{M}{8760},$$

kus: M — masinatundide arv.

Mitme ühesuguse võimsusega agregaadiga elektrijaamade ekspluatatsioonitegur kujutab endast samuti tegelikkude masinatundide arvu, s. o. tundide arvu, mille jooksul agregaadid töötavad aasta jooksul, suhet maksimaalselt võimalikkude masinatundide arvusse aastas. Kütuse erikulu vähendamiseks tuleb püüda suurendada kasutustegurit n ja vähendada ekspluatatsioonitegurit f. Suurendatud f väärtus väikese n juures näitab, et agregaadid töötavad pikemat aega väikese koormusega, s. o. madala ökonoomsusega kütuse erikulu suhtes. Neil juhtudel peab ekspluatatsioonipersonal elektrijaama töötamise nii ümber seadma, et ühe agregaadi ajutise seismajätmise arvel oleksid teised tööle jäävad agregaadid võimalikult täielikumalt koormatud. Selle abinõuga vähendame üldist masinatundide arvu ja ühtlasi ekspluatatsioonitegurit f, alandades seega ka keskmist kütuse erikulu.

Kasutusteguri ja ekspluatatsiooniteguri suhe annab agregaadi keskmise koormuse, s. o. koormusteguri.

Tõepoolest:

$$\frac{n}{f} = \frac{A}{PM} = k = \frac{P_{kesk}}{P_{inst}}.$$

Kohalikes energiasüsteemides, mis koosnevad tuule-, hüdro- ja soojuselektrijaamadest, väheneb tuuleagregaatide töötamisel, nagu oli nimetatud eespool, automaatselt soojus- ja hüdroelektrijaamade koormus. Masinaid ei seisata, sest nad peavad alati valmis olema koormuse pealevõtmiseks, juhul kui tuul vaibub. Seega tuuleelektrijaamade töötamisel jääb ekspluatatsioonitegur f muutumatuks, soojus- ja hüdroelektrijaamade agregaatide kasutustegur n ja koormustegur K aga väheneb.

Kütuse või soojuse erikulu ühe kWh kohta soojuselektrijaamades avaldub valemiga:

$$q = \frac{f}{n} a + b \text{ ehk } q = \frac{a}{k} + b, \qquad (6)$$

kus: q — kütuse (või soojuse) erikulu 1 kWh kohta;

a — tühijooksukulu, s. o. kütuse (või soojuse) kulu tunnis tühijooksul installeeritud võimsuse ühe kW kohta;

b — kütuse (või soojuse) lisakulu ehk kasulik kulu toodetud elektrienergia ühe kWh kohta.

Kütusekulu arvutamisel lähtutakse soojusjõumasinat valmistava tehase poolt garanteeritud kütuse või soojuse erikulust tööüksuse kohta nimivõimsusel (tavaliselt ühe efektiivse HJh kohta); see kulu arvutatakse ümber ühe kWh kohta generaatori klemmidel, võttes arvesse rihm- või mõne teise ülekande ja generaatori enda kasutegurit.

Nii arvutatud kütuse või soojuse arvutuslikku erikulu tuleb suurendada lisa võrra, mis on seotud sissekütmise ja eelsoojendamisega; ta sõltub soojuselektrijaama tööreziimist (üksikute agregaatide käivitamiste ja seiskamiste arvust, koormuse ühtlusest jm.). Selle lisa suurus on:

lokomobiilidel, aurumasinatel ja auruturbiinidel 2 kuni 12%,

gaasigeneraatorseadmetel 5 kuni 15%,

lihtsatel naftamootoritel 1 kuni 2%, diiselmootoritel 0—1%.

Tehase poolt garanteeritud kütuse erikulu koos lisaga sissekütmisele ja eelsoojendamisele tähistame w g/kWh.

Valemis (6) toodud tühijooksukulu a määratakse valemiga:

$$a = xw,$$

kus suhtelise tühijooksukulu x väärtuseks võib täpsemate tehaseandmete puudumisel võtta:

diiselmootoril 0,16,

lokomobiilidel 0,20,

auruturbiinseadmetel 0,27,

gaasigeneraatorseadmetel 0,40,

naftamootoritel 0,32.

Suurus b valemis (6) on määratud vahega $w - a$, s. o.

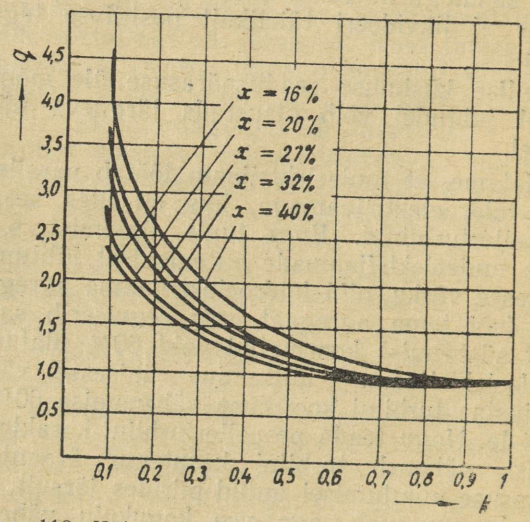
$$b = w - a.$$

Valemist (6) ja definitsioonidest lähtudes saame seose reaalsetes tingimustes esineva tegeliku kütusekulu ja arvutusliku kütusekulu vahel:

$$q = \frac{xw}{k} + w - xw = w\left[1 + \frac{x(1-k)}{k}\right]. \qquad (7)$$

Tähistades suhtelist kütuse erikulu $\frac{q}{w}$ tähisega q_* saame:

$$q_* = 1 + \frac{x(1+k)}{k}. \qquad (8)$$



Joon. 118. Kütuse erikulu sõltuvus koormustegurist.

Joonisel 118 on toodud kõverad $q_* = f(k)$, mis on ehitatud valemi (8) järgi iga tüüpi soojusagregaatide kohta, võttes arvesse suhtelise tühijooksukulu x väärtused, mis on toodud eespool.

Kütuse erikulu järgi, mida leiame valemist:

$$q = w\left[1 + \frac{x(1-k)}{k}\right],$$

võib määrata kütuse kogukulu Q_t ajavahemikul

t tundi, kui agregaadid töötavad selle ajavahemiku jooksul keskmise võimsusega

$$P_{kesk} = k P_{inst},$$

ja nimelt järgmise valemiga:

$$Q_t = q P_{kesk} t = q P_{inst} k t =$$

$$= w P_{inst} k t \left[1 + \frac{x(1-k)}{k}\right].$$

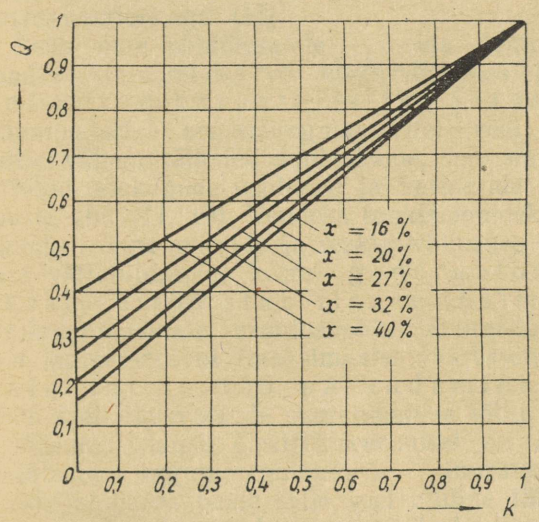
Tähistades kogukulu aja t jooksul, mil agregaadid töötavad täiskoormusega, tähega Q_t', leiame:

$$Q_t = Q_t' [k(1-x) + x];$$

kogukulu aja t jooksul suhtelistes ühikutes koormusteguri k puhul avaldub valemiga:

$$Q_{t*} = \frac{Q_t}{Q_t'} = k(1-x) + x. \quad (9)$$

Sõltuvus $Q_{t*} = f(k)$ (joonis 119) kujutab endast sirgete parve (erinevate x väärtustega), mis lõikuvad punktis $k = 1$; $Q_{t*} = 1$.



Joon. 119. Kütuse kogukulu sõltuvus koormustegurist.

Sirgete $Q_{t*} = f(k)$ lõikepunktid ordinaatteljega vastavad suhtelisele kütusekulule agregaadi tühijooksul, s. o. x-le.

Kasutades valemeid ja kõveraid $q_* = f(k)$ ja $Q_{t*} = f(k)$, võib väga lihtsalt ja küllaldase täpsusega määrata suhtelise ja absoluutse kütuse kokkuhoiu, mida saavutame jaamade ühisel töötamisel süsteemis.

Näide. Teatud hulk tuuleelektrijaamu töötab paralleelselt ühisesse võrku soojuselektrijaamaga, kus on üles seatud kaks agregaati võimsusega 300 kW. Võtame suhteliseks tühijooksukaoks 40%. Üldine elektrienergia toodang aastas on 1 800 000 kWh, iga agregaadi töötundide arv aastas on 5000. Üldisest toodangust langeb tuuleelektrijaamadele 600 000 kWh, kuna ülejäänud 1 200 000 kWh toodetakse soojuselektrijaamas. Kui tuuleelektrijaamad ei töötaks, siis oleks kogu elektrienergia masinatundide muutumatu arvu puhul toodetud soojuselektrijaama poolt.

Soojuselektrijaama koormustegur, arvestamata tuuleelektrijaamu:

$$k_1 = \frac{1800000}{2 \cdot 300 \cdot 5000} = 0{,}6.$$

Sama, arvesse võttes tuuleelektrijaamade töötamist:

$$k_2 = \frac{1200000}{2 \cdot 300 \cdot 5000} = 0{,}4.$$

Suhteline kütusekulu joonise 119 alusel

$$Q_{*1} = 0{,}76; \quad Q_{*2} = 0{,}64.$$

Kütuse suhteline kokkuhoid on:

$$1 - \frac{0{,}64}{0{,}76} = 1 - 0{,}84 = 0{,}16 \text{ ehk } 16\%.$$

Sama tulemuse saame, kui kasutame vahetult valemit (9).

Saame:

$$Q_{*1} = k_1 (1-x) + x = 0{,}6 (1-0{,}4) + 0{,}4 = 0{,}76;$$

$$Q_{*2} = k_2 (1-x) + x = 0{,}4 (1-0{,}4) + 0{,}4 = 0{,}64.$$

Sama lihtsalt on määratav kütuse kokkuhoid absoluutsetes ühikutes. Oletame, et antud näite puhul on tehase poolt garanteeritud kütuse erikulu täiskoormusel 1,5 kg/kWh. Joonise 118 alusel on kütuse suhteline erikulu (kui $k = 0{,}6$ ja $x = 0{,}4$)

$$q_* = 1{,}25.$$

Siit kütusekulu aastas, arvestamata tuuleelektrijaamu:

$$1{,}5 \cdot 1{,}25 \cdot 1\,800\,000 \cdot 10^{-3} = 3400 \text{ t}.$$

Tuuleelektrijaamade töötamisel on kütuse kokkuhoid:

$$3400 \cdot 0{,}16 = 540 \text{ t}.$$

Tuleb märkida, et meie poolt selgitatud näites tuuleelektrijaamade osa elektrienergia tootmisel on ligi 33%, kuna kütuse kokkuhoiu efekt on vaid 16%. Kui soojuselektrijaamas oleksid

üles seatud agregaadid väiksema suhtelise tühijooksukuluga, oleks efekt olnud palju suurem. Näiteks kui agregaatide suhteline tühijooksukulu oleks $x = 0{,}2$, siis samadel tingimustel, mis olid meie näites, joonise 119 järgi:

$$Q_{*1} = 0{,}65;\ Q_{*2} = 0{,}49$$

ja kütuse kokkuhoid moodustab

$$1 - \frac{0{,}49}{0{,}65} = 1 - 0{,}75 = 0{,}25$$

ehk 25% 16% asemel suhtelise tühijooksukulu $x = 0{,}4$ puhul.

Toodud arvestus on aasta keskmise kütuse kokkuhoiu ligikaudse määramise näiteks. Reaalsel projekteerimisel, kasutades soovitatud metoodikat, võib teostada majanduslikkuse arvutusi mistahes täpsusega üksikute sesoonide ja isegi üksikute ööpäevade kohta, kandes vastavatele koormusgraafikutele tuuleelektrijaamade poolt kaetava koormuse kõverad.

SEITSMES PEATÜKK

SÜNKROONGENERAATORITE ERGUTUSE AUTOMAATNE REGULEERIMINE JA ERGUTUSE KOMPAUNDEERIMINE

AUTOMAATSETE ERGUTUS-REGULAATORITE TÄHTSUS

Vastavalt «Elektritehniliste seadmete ehitamise eeskirjadele» peavad eranditult kõik elektrijaamade mistahes võimsusega sünkroongeneraatorid olema varustatud automaatsete ergutusregulaatoritega [18].

Peale oma põhiülesande — hoida elektrijaamades, alajaamades või elektrivõrkudes pinget antud karakteristiku järgi, on automaatsetel ergutusregulaatoritel veel rida mitte vähem tähtsaid funktsioone, mis on selgitatud nõukogude teadlaste ja inseneride uurimuste abil [11, 19]. Nendeks funktsioonideks on näiteks võrgu avariide ja reaktiivvõimsuse tootjate väljalülitamise korral generaatorite paralleeltöö stabiilsuse tõstmine sünkroonmasinate ergutusvoolu suurendamise teel lagiväärtuseni (maksimaalse väärtuseni) ja releekaitse töö parandamine lühiste ajal lühisvoolude suurendamise tõttu.

Põllumajanduse elektrifitseerimisel on automaatsete ergutusregulaatorite juurutamisel elektrijaamades peale selle veel oluline tähtsus seoses lühisrootoriga elektrimootorite käivitamisega. Põllumajanduslike tootmisprotsesside elektrifitseerimisel tuleb kasutada suurel hulgal suhteliselt võimsaid elektrimootoreid, mõnedkümned kilovatid üksuse kohta, selliste levinud ja efektiivsete tööprotsesside puhul, nagu viljapeks, teraviljajahvatus, metsatööd, sileerimine, kündmine jm.

Põllumajandusseadmete juures kasutatava elektrimootori võimsus võib moodustada teda toitva elektrijaama võimsusest küllalt suure osa. Mida suurem on elektrimootori võimsus, võrreldes elektrijaama võimsusega, seda keerulisem on lühisrootoriga elektrimootori käivitamise probleem [20]. Suhteliselt võimsa elektrimootori käivitamise hetkel esinevad suured käivitusvoolud ja pinge elektrivõrgus langeb väga tugevasti. Selle tagajärjel ei hakka käivitatav elektrimootor pöörlema ning juba töötavad mootorid langevad tööst välja («vääratavad»). Seejuures rikutakse ka valgustusseadmete normaalset tööd.

Selline lubamatu ekspluatatsioonipinge langus juba töötavate ja käivitatava elektrimootori klemmidel on põhjustatud pingekadudest generaatori ning trafo mähistes ja liinijuhtmetes, mis omakorda on põhjustatud suurte reaktiivsete käivitusvoolude läbimisest. Kui elektrijaamas puuduvad automaatsed ergutusregulaatorid, kasutab vaivepersonal sel puhul generaatori ergutuse eelnevat käsitsi forsseerimist, vähendades ergutusgeneraatori ergutusreostaadi takistust. Kuid see operatsioon on tülikas ja ohtlik, sest elektrijaam asub küllaltki kaugel tarbijatest, eriti põllutööde korral (elektriviljapeks ja -künd), ja personal ei saa õigeaegselt teostada ergutuse käsitsi forsseerimist. Peale selle võib olukord pärast ergutuse forsseerimist (ergutaja ergutusreostaadi takistuse lühistamist) halveneda, eriti just koormuste järsul väljalülitamisel, sulavkaitsmete läbipõlemisel või ühel koormatud liinil releekaitse toimimisel. Neil juhtudel tõuseb generaatori klemmipinge nimipinge suhtes 130 kuni 150%-ni, mis põhjustab toiteallikale lähemalolevate elektrilampide läbipõlemise (vt. kolmas peatükk).

Selline tunduv pinge tõus ergutusgeneraatori ergutusreostaadi lühistamisel esineb ka neil juhtudel, kui primaarjõumasinal on kiirusregulaator.

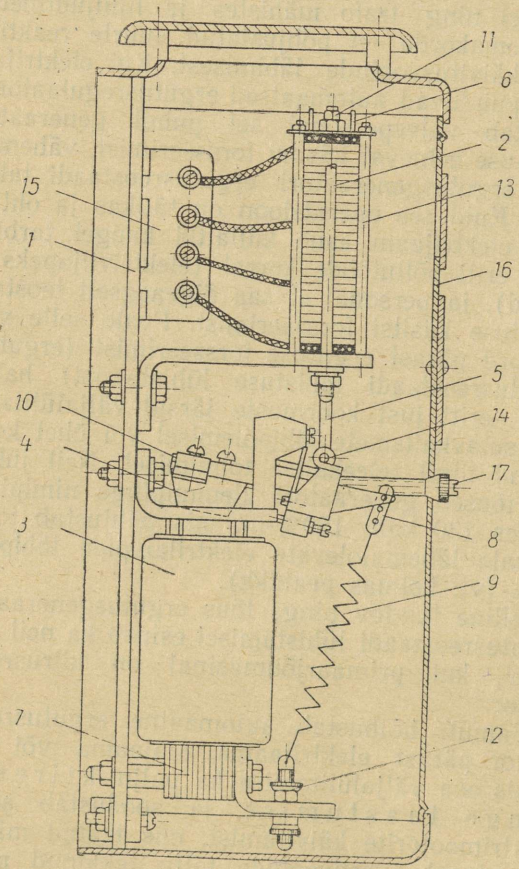
Samuti hõlbustab automaatne ergutusregulaator pärast elektrijaama, alajaama või liini rikkis osa väljalülitamise ka palju kiiremat pinge taastumist ja soodustab seega elektrimootorite käivitumist, mis teatud määral pidurdusid avariivoolude tõttu tekkinud pinge langemisel.

Sünkroongeneraatorite automaatsed ergutusregulaatorid liigitatakse nende töötamise põhimõtte järgi kolme gruppi: 1) automaatsed pingeregulaatorid, 2) kiirelt toimivad ergutuse forsseerimise releeseadised ja 3) kompaundeerimisseadised.

AUTOMAATSED PINGEREGULAATORID

Elektrijaamade Ministeeriumi elektrijaamades kasutatakse reostaat-, vibratsioon- või kombineeritud tüüpi elektromehaanilisi pingeregulaatoreid, kuid samuti ka elektron-ioonregulaatoreid. Need on küllaltki keerulised ja kallid seadmed, mis valmistatakse individuaaltellimisel, ja põllumajanduse massilise elektrifitseerimise otstarbeks ei ole nad siiski kohased.

Reostaattüüpi pingeregulaatorite hulka kuuluvad ka süsi-pingeregulaatorid, mida suurtes elektrijaamades ei kasutata, kuid reas väikese võimsusega maaelektrijaamades on neil suur tähtsus. Süsipingeregulaatori ehitus on näidatud joonisel 120.



Joon. 120. Süsi-pingeregulaator.

Regulaatori põhiosadeks on elektromagnet *3*, mille pool on ühendatud generaatori vahelduvvooluahelasse otseselt või seleenalaldaja kaudu ja süsireostaat *2*, mis on lülitatud ergutusgeneraatori ergutusahelasse järjestikku reostaadiga.

Süsireostaat (söesammas) koosneb üksikutest söeketastest, millede takistus muutub nendele mõjuva surve toimel. Mida suurem on surve, millega üksikud söekettad surutakse üksteise vastu, seda väiksem on süsireostaadi takistus. Tasakaalustav vedru *9* püüab kogu aeg söesammast kokku suruda. Elektromagnet *3* südamikuga *7* tõmbab enda külge pöörduvat ankrut *4* ja mõjub varda *5* abil vedru tõmbele vastassuunaliselt, nõrgendades seega söesambale mõjuvat survet. Seetõttu kujuneb nende takistus selliseks, mis on vajalik generaatori ergutussüsteemi normaalseks tööks ja normaalse klemmipinge hoidmiseks.

Generaatori pinge tõusmisel, mis on põhjustatud näiteks koormuse vähenemisest, suureneb elektromagneti tõmbejõud, ankur tõmbub südamikule ligemale, vedru surve söesambale väheneb ja seetõttu suureneb süsireostaadi takistus ning koos sellega nõrgeneb ka ergutaja ergutusmähiseid läbiv vool. Selle tagajärjel taastub generaatori klemmipinge esialgne väärtus. Pinge langemisel, mis on põhjustatud näiteks lühisrootoriga asünkroonmootori käivitamisest või võrgus esinevast lühisest, elektromagneti tõmbejõud väheneb. Vedru mõjul surutakse söesammas kokku, kusjuures takistus väheneb ja ergutaja ergutusmähises vool tugevneb. Tänu sellele taastub generaatori normaalne klemmipinge.

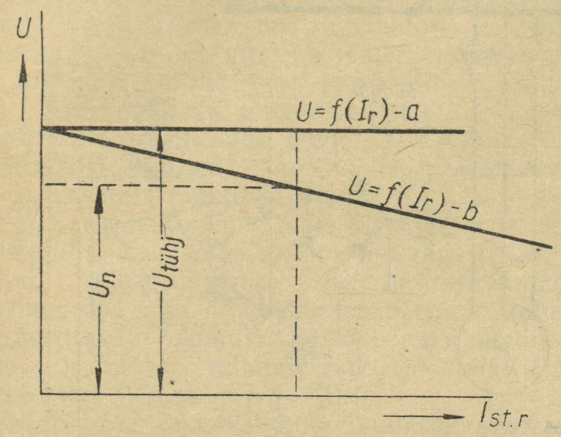
Elektromagnet, mis koosneb poolist *3*, südamikust *7*, ankrust *4* ja hoovast *10*, on kinnitatud isoleerainest alusplaadile *1*.

Ankru liikumisel pöördub ka kang *8* koos selle külge kinnitatud vardaga *5* ja söesambale *2* toetuva kooguga *6*. Elektromagneti tõmbejõudu tasakaalustava vedru alumine ots on kinnitatud tugivarda külge reguleeritava kruviga *12*. Kruvi pööramisega muudetakse generaatori reguleeritava pinge sättesuurust. Söesamba survet reguleeritakse mutriga *11*. Süsireostaati ümbritsevad isoleeritud vardad *13*. Varda reguleerimiseks kasutatakse kruvi *14*.

Söesambast on toodud painduvad juhtmed klemmliistule *15*. Klemmide ümberühendamisega viiakse lülitusesse vajalik söesamba takistus. Regulaatori teraskate *16* kinnitatakse mutri *17* abil.

Nagu nähtub seadise kirjeldusest ja süsiregulaatori tööst, on sellel a s t a a t i l i n e k a r a k t e r i s t i k, s. t. selline karakteristik, mille puhul regulaator on t a s a k a a l u s a i n u l t

generaatori antud kindlal pingel. See on põhjustatud sellest, et ainult generaatori antud kindla klemmipinge korral on elektromagneti poolt arendatav jõud võrdne vastumõjuva vedru jõuga.



Joon. 121. Pinge reguleerimiskarakteristikud: *a* — astaatiline; *b* — staatiline.

Joonisel 121 kujutab sirge *a* pinge astaatilist reguleerimiskarakteristikut. Generaatori mistahes reaktiivvoolu I_r korral on generaatori klemmipinge konstantne ja võrdne generaatori tühijooksupingega $U_{tüh.j.}$ U_o.

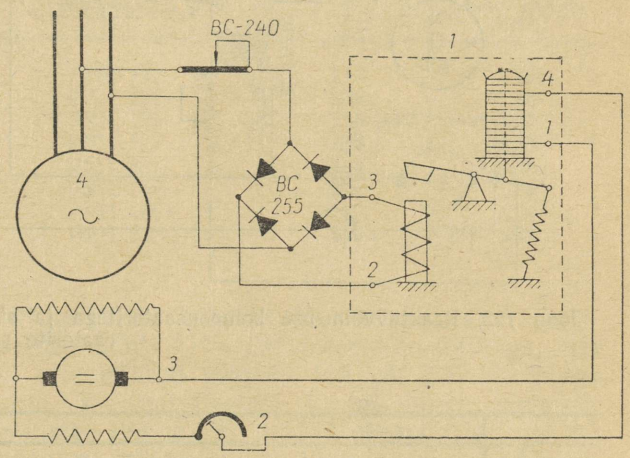
Samal joonisel kujutab sirge *b* pinge staatilist reguleerimiskarakteristikut. Generaatori reaktiivvoolu suurenemisel väheneb sel juhul teatud määral automaatse pingeregulaatori poolt hoitav pinge. Tähistades generaatori tühijooksupinge U_o ja generaatori pinge nimivooluga võrdse reaktiivvoolu korral U_n, siis staatilisuse tegur arvutatakse valemiga:

$$k_s\% = \frac{U_o - U_n}{U_o} \cdot 100.$$

Astaatilise karakteristikuga regulaatorid ei sobi generaatoritele, mis töötavad paralleelselt generaatoripinge-kogumislattidele, sest need regulaatorid ei ole võimelised õigesti korraldama reaktiivkoormuste jaotamist generaatorite vahel.

Reaktiivkoormuste jaotus paralleelselt töötavate generaatorite vahel on kogumislattide konstantse pinge korral määramatu ja juhuslik. Reguleerimissüsteemi tasakaal (süsiregulaatorite puhul — elektromagneti tõmbejõu ja vedru poolt vastumõjuva jõu tasakaal) esineb ainult sõltuvalt püsistunud pingest, millele regulaator on seatud arvestamata reaktiivkoormust. Staatilise karakteristiku korral püüab reaktiivvooludega koormatud generaator vähendada oma klemmipinget ja koos sellega vähendada reaktiivkoormust, koormates sellega ka teisi generaatoreid.

Staatilise karakteristiku saamiseks varustatakse süsi-pingeregulaatorid spetsiaalsete reaktiivvõimsuste kompensaatoritega. Need kompensaatorid, mis lastakse tehaste poolt välja mark BC-242 all, kujutavad endast voolutrafo sekundaarahelasse lülitatavat reguleeritavat oomilist takistust. Voolutrafo asetseb generaatori selle faasi vooluahelas, millesse ei ole ühendatud regulaatori elektromagneti pooli toiteahel (seleenalaldaja kaudu), s. t. regulaatori kontroll-mõõteorgan.

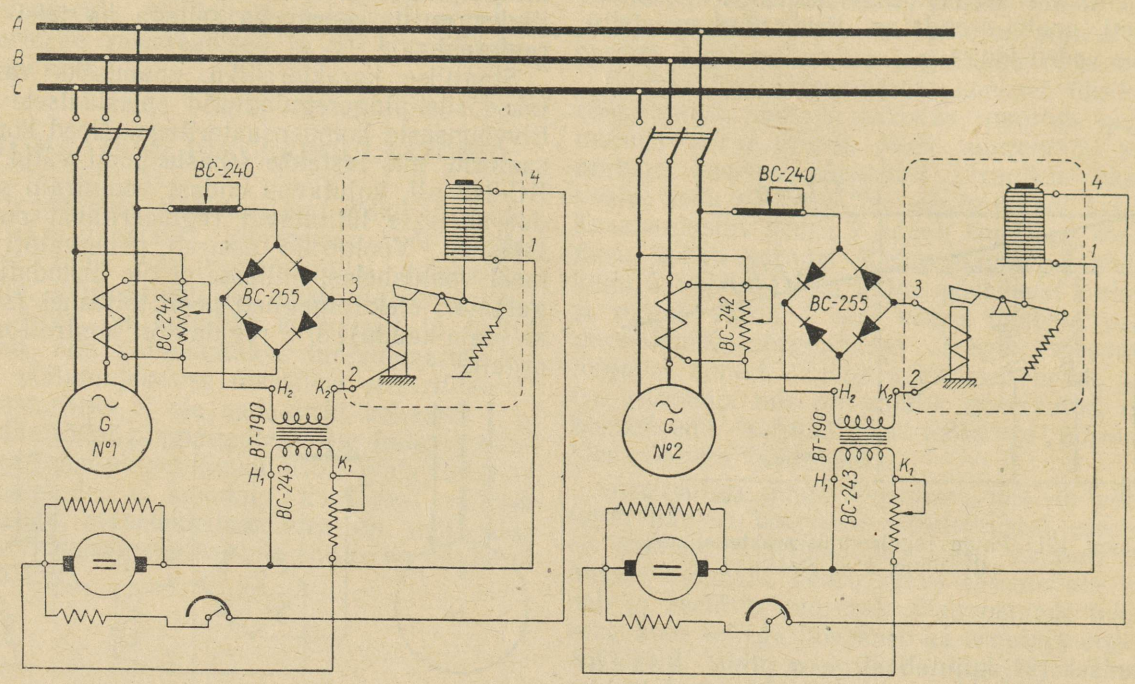


Joon. 122. Süsi-pingeregulaatori lülitusskeem: *1* — regulaator; *2* — reostaat; *3* — ergutaja; *4* — eraldi töötava kolmefaasilise vahelduvvoolugeneraatori staator.

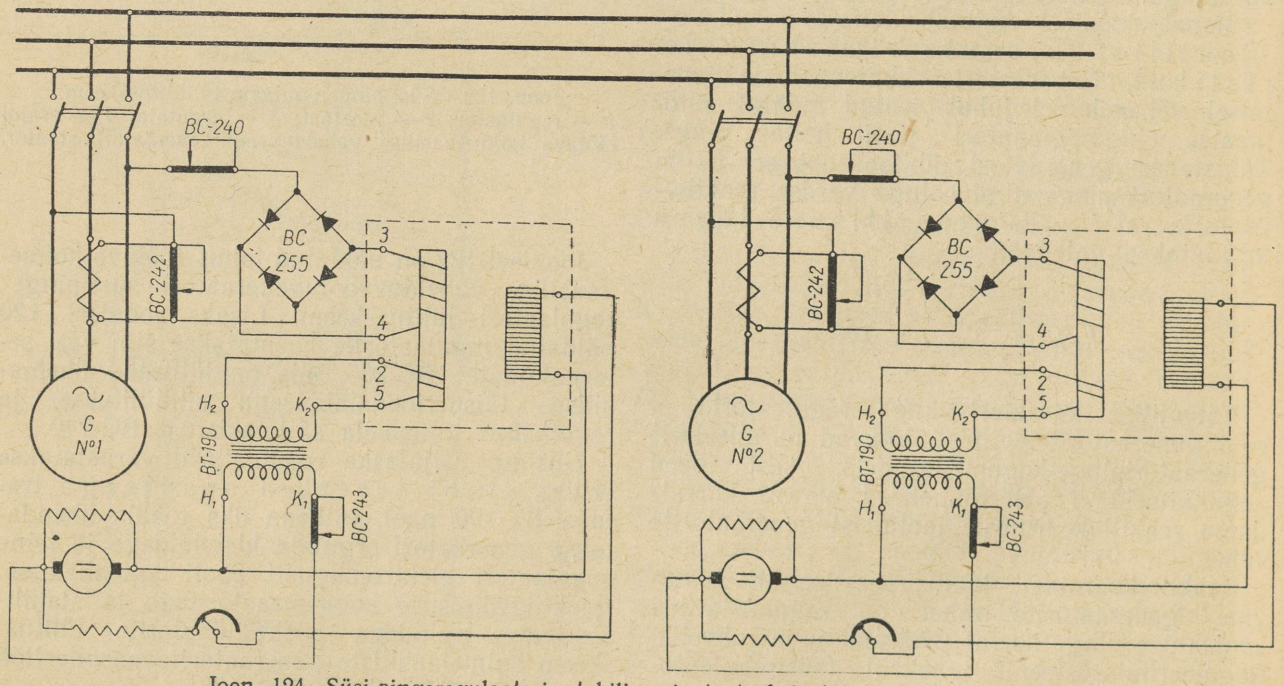
Joonisel 122 on näidatud lahus töötava kolmefaasilise vahelduvvoolugeneraatori süsi-pingeregulaatori lülitusskeem. Lisaks joonisel 120 näidatud regulaatorile kasutatakse siin veel seleenalaldajat BC-255, mis on lülitatud ühefaasilisse täisperioodalaldusega sildlülitusse, ja regulaatori toiteahela sättetakistust BC-240.

Uusima väljalaske regulaatorid varustatakse erilise stabiliseeriva seadisega trafode BT-190 näol, millede üks mähis ühendatakse generaatori ergutaja klemmidega ja teine regulaatori elektromagneti pooli toiteahelasse. Reaktiivvõimsuse kompensaatoritega ja stabiliseerivate trafodega süsiregulaatorite lülitusskeem kolmefaasiliste generaatorite paralleeltöö korral on näidatud joonisel 123.

Reaktiivvõimsuse kompensaatori BC-242 toime seisab järgmises. Regulaatori kontroll-mõõteorganit toidetakse faaside *A* ja *C* vahelise lii-



Joon. 123. Reaktiivvõimsuse kompensaatoritega ja stabiliseerivate trafodega süsiregulaatorite ühendusskeem generaatorite paralleeltöö korral.



Joon. 124. Süsi-pingeregulaatori stabiliseerivate trafode lülitusskeemi variant.

nipingega; kompenseeriva seadise voolutrafo on ühendatud faasi *B*. Faasi *B* pingevektor on nihutatud faaside vahelise pinge *AC* suhtes 90° ja $\cos\varphi = 0$ korral langeb selle faasi vool pinge *AC* suunaga kokku.

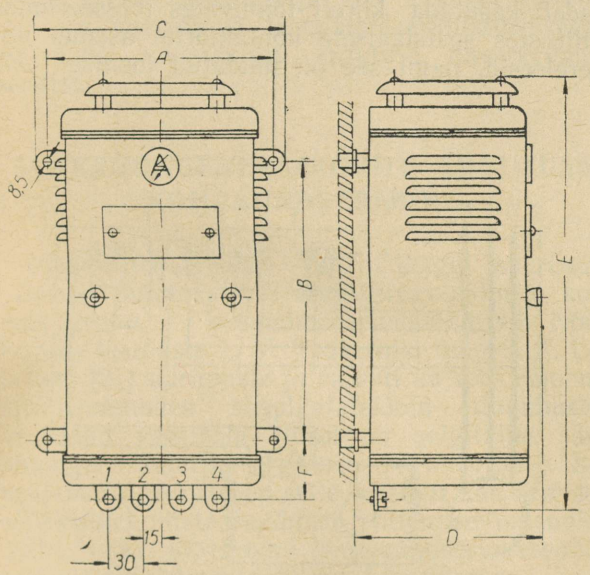
Seetõttu kompensaatori oomilise takistuse toimisel vooluga, mis on regulaatori kontrollmõõteorganit toitva pingega faasis, mõjub reaktiivkoormuse suurenemine regulaatorile samuti nagu juurdejuhitava pinge suurenemine. Regulaator püüab vähendada pinget, s. t. vähendada generaatori ergutust ja koos sellega vähendada ka generaatori reaktiivkoormust.

Peale regulaatori montaaži lõpuleviimist tuleb kontrollida, kas kompensaator on õigesti ühendatud. Selleks antakse generaatorile mingi koormus cos φ-ga ligikaudu 0,8. Kompensaatori reguleeritavat takistust BC-242 suurendatakse liikuva kontakti nihutamisega ja jälgitakse regulaatori toimet.

Kui BC-242 takistuse suurendamisel regulaator püüab vähendada generaatori pinget, tähendab see, et kompensaator on ühendatud õigesti. Vastupidisel juhul tuleb pingeregulaatori mõõteorgani toiteahelas vahetada omavahel kompensaatori klemmide ühendused.

Regulaatori reguleerimist generaatorite paralleeltöö korral ja nende vahel õige reaktiivvõimsuse jaotamist teostatakse reguleeritavate takistuste BC-240 ja BC-242 abil.

Stabiliseeriv trafo on summutavaks seadiseks, mis väldib võnkumisprotsesse ja pinge reguleerimise perioodil pinge kõikumist. Joonisel 124 on näidatud stabiliseeriva trafo BT-190



Joon. 125. Süsi-pingeregulaatorite gabariitmõõted juhtmete ühendamisel esiküljele.

sekundaarmähise ühendamise variant — mitte pingeregulaatori mõõteorgani toiteahelasse, vaid elektromagneti iseseisva lisapooli toiteahelasse.

Tabelis 55 on toodud elektritööstuse tehaste poolt kolmefaasiliste generaatorite jaoks väljalastavate söesammastega pingeregulaatorite tehnilised põhiandmed.

Kirjeldatud tüüpi regulaatorid hoiavad pinget täpsusega kuni 3%; pinge reguleerimisel süsipingeregulaatoritega taastub pinge 2—3 sekundi jooksul.

Tabel 55

Vahelduvvoolugeneraatorite süsi-pingeregulaatorite РУН tehnilised andmed

Regulaatorite tüüp	Nimipinge V	Süsireostaadi lubatav võimsus W
РУН 111	115	60
РУН 111	230	60
РУН 121	115	120
РУН 121	230	120
РУН 131	115	220
РУН 131	230	220
РУН 131А	115	120
РУН 131А	230	120

Nagu näha tabelist 55, valmistatakse regulaatorid РУН 111—131 mõõteelementidega, mis on ette nähtud pingele 115 või 230 V. Seega juhul, kui paralleeltöö korral tuleb vastavalt joonistel 123 ja 124 toodud skeemidele toita regulaatori mõõteelementi liinipingega, peab kasutama pingetmadaldavat trafot 380/100 — 115 V.

Joonisel 125 ja 126 on antud pingeregulaatorite joonised gabariitmõõdetega juhtmete ühendamisel esi- ja tagaküljele. Nimetatud joonistel esitatud mõõted on koondatud tabelisse 56.

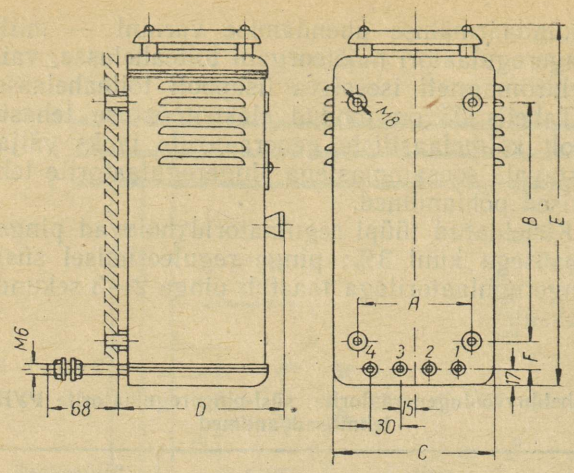
Tabel 56

Regulaatorite РУН gabariitmõõted

(jooniste 125 ja 126 juurde)

Regulaatori tüüp	Joonise nr.	Mõõted nr.					
		A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*
РУН 111 ja 121	125	194	250	210	176	385	60
РУН 131 ja 131А	125	230	276	246	207	415	59
РУН 111 ja 121	126	140	250	180	172	365	29
РУН 131 ja 131А	126	164	276	217	205	394	28

Süsi-pingeregulaator valitakse tavaliselt lähtudes generaatorite nimiparameetritest ja kontrollitakse lubatava võimsuse järgi. Seejuures soovitatakse kasutada järgmist ligikaudset meetodit.



Joon. 126. Süsi-pingeregulaatorite gabariitmõõted juhtmete ühendamisel tagaküljele.

Tähistame pinge ergutaja harjadel ja ergutaja ergutusvoolu vastavalt U_{en} ja i_{en}, mis vastavad generaatori nimikoormusele. Ergutusreostaadi takistus, mis oli sisse seatud generaatori tühijooksul ja nimipingel, märgime $r_š$. Tuleb arvestada, et see takistus jääb muutumatuks generaatori mistahes töörežiimi korral, sest meil on tegemist automaatse pingereguleerimisega ekspluatatsiooni ajal. Edasi tähistame ergutaja ergutusmähise takistuse kuumas olekus r_{ee}. Nimetatud suuruste mõõtmise metoodika on põhjalikumalt selgitatud allpool — kompaundeerimisseadiste arvutusviiside käsitlemisel.

Vaadeldav vooluahel koosneb järjestikku lülitatud regulaatori söesamba, ergutaja ergutusreostaadi ja ergutaja ergutusmähise takistustest. Järelikult söesamba takistus

$$r_{süsi} = \frac{U_{en}}{i_{en}} - r_š - r_{ee}. \qquad (9')$$

Süsireostaadi poolt tarbitav võimsus leitakse valemiga:

$$P_{süsi} = i^2_{en}\ r_{süsi}.$$

Näide. Kontrollida 80 kVA generaatori puhul regulaatori süsireostaadi poolt tarbitavat võimsust järgmiste ergutusparameetrite korral: ergutusgeneraatori pinge generaatori nimikoormusel $U_{en} = 60$ V, ergutusgeneraatori ergutusvool samadel tingimustel $i_{en} = 4$ A, ergutaja ergutusreostaadi takistus generaatori tühijooksul $r_š = 5$ oomi, ergutaja ergutusmähise takistus kuumas olekus $r_{ee} = 3$ oomi. Asetades nimetatud suurused valemisse 9′, saame:

$$r_{süsi} = \frac{60}{4} - 5 - 3 = 7\ \Omega,$$

millest

$$P_{süsi} = i^2_{en} r_{süsi} = 4^2 \cdot 7 = 112\ \text{W}.$$

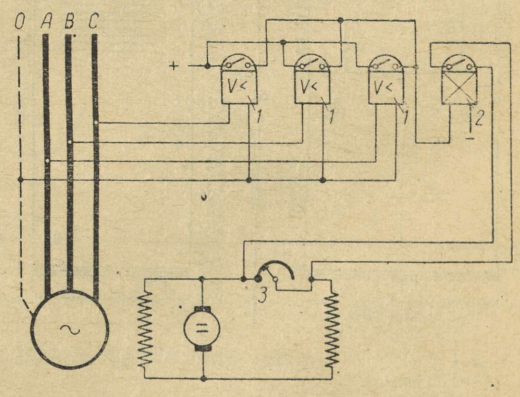
Tabeli 55 järgi valime süsi-pingeregulaatori tüüp РУН-121, lubatava võimsusega süsireostaadil 120 W.

KIIRELT TOIMIV ERGUTUSE FORSSEERIMISE RELEESEADIS

Kiirelt toimiv ergutuse forsseerimise seadis ei ole ergutusregulaator sõna otseses mõttes, sest tema toime ei ole pidevas sõltuvuses nimipingest kõrvalekaldumiste ja generaatori ergutuse muutumistega.

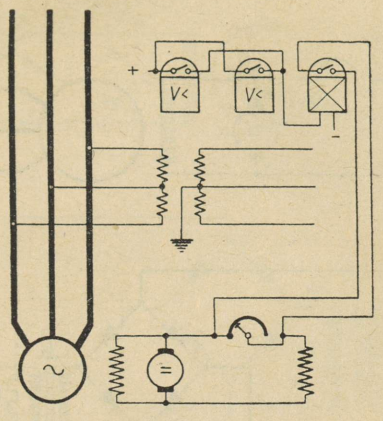
Suurel pinge langemisel muutub ergutuse forsseerimise seadisega varustatud generaatori ergutus järsult, ühe astmega, nimisuuruselt maksimaalsuurusele — l a g i e r g u t u s e l e.

Joonisel 127 on toodud kiirelt toimiva ergutuse forsseerimise seadise skeem. Minimaalpingerelee *1* suleb oma kontaktid, kui generaatori pinge langeb väärtuseni 0,85—0,87 nimipingest. Pingerelee rakendumisel sulgub vaherelee *2* vooluahel, mis oma normaalselt avatud kontaktidega lühistab takistuse ergutaja ergutusmähise vooluahelas. Generaatori klemmipinge taastumisel avab pingerelee oma kontaktid, vaherelee toiteahel katkeb ja ergutaja ergutusmähise toiteahelasse lülitub uuesti sisse takistus *3*. Maaelektrijaamades kasutatavate generaatorite ergutajate ergutusvoolud ei ole suured ja ületavad harva 5 A. Seetõttu võib peaaegu kõigil juhtudel kasutada kiirelt toimivates forsseerimise lülitustes spetsiaalsete kontaktorite asemel vahereleesid, nagu see on näidatud joonisel 127.



Joon. 127. Kiirelt toimiv ergutuse forsseerimise releeseadis.

Kolme minimaalpingereleega skeem toimib nulljuhtmega neljajuhtmelises võrgus igasuguse lühiseliigi korral. Nulljuhtmeta generaatorite vooluahelates piisab igasugust liiki lühiste korral seadise toimimise tagamiseks ka kahest releest, nagu on näidatud joonisel 128 kõrgepingegeneraatori kasutamisel.



Joon. 128. Kiirelt toimiv kahe releega ergutuse forsseerimise seadis.

Kiirelt toimivate ergutuse forsseerimise seadiste lihtsuse tõttu tuleb neid laialdaselt kasutada maaelektrijaamades.

«Maaelektrijaamade projekteerimise juhendid» soovitavad ette näha igale generaatorile seadise, mis viib ergutuse automaatselt lagiväärtuseni, toimides nii sümmeetriliste kui ka ebasümmeetriliste lühiste korral. Sünkroongeneraatorite korral võimsusega 150 kVA ja vähem, mis on varustatud kompaundeerimisseadisega, ei nõuta spetsiaalset ergutuse forsseerimise seadist.

SÜNKROONGENERAATORITE ERGUTUSE KOMPAUNDEERIMINE

Maaelektrijaamades omab kõige suuremat tähtsust automaatsete ergutusregulaatorite kolmas grupp — kompaundeerimisseadised. Nõukogude teadlaste L. V. Tsukerniki ning S. A. Lebedevi [21] uurimuste ja samuti ka reas rajooni-elektrijaamades ekspluatatsiooni tingimustes teostatud vaatluste alusel on selgitatud sünkroongeneraatorite ergutuse reguleerimise kaheldamatu efektiivsus selle meetodi kasutamisel. «Elektrotehniliste seadmete ehitamise juhendid» (teine osa) soovitavad kompaundeerimisseadist kasutada elektromagnetilise korrektoriga.

Sünkroongeneraatori kompaundeerimise põhimõte seisab ergutaja ergutusmähiste lisatoitmises generaatori staatorist saadava vooluga, mis alaldatakse kuivalaldajas.

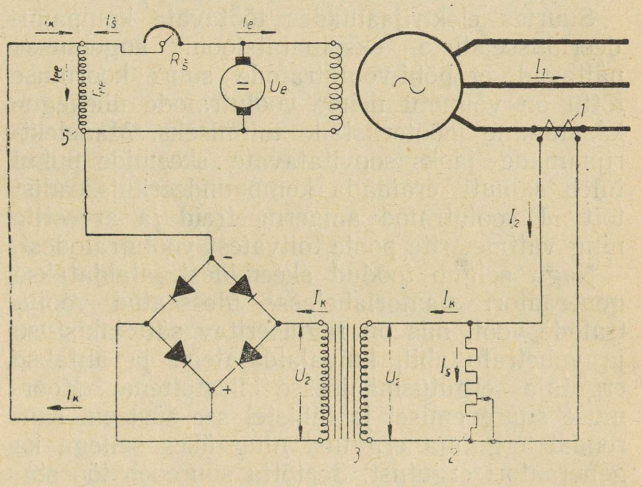
Sünkroongeneraatorite ergutuse kompaundeerimine on efektiivne vahend maaelektrijaamade töö põhjalikuks parandamiseks ja nende poolt toodetava elektrienergia kvaliteedi tõstmiseks.

Kompaundeerimisseadistes puuduvad liikuvad osad, kontaktid, samuti keerukad ja kallid elektron- ja ioonaparaadid. Mittetundlik tsoon neil praktiliselt puudub ja seepärast on nad väga efektiivseks vahendiks sünkroongeneraatorite töö stabiilsuse tõstmisel.

Kompaundeerimisseadiste suureks paremuseks, võrreldes elektron-pingeregulaatoritega, milledel samuti puudub mittetundlik tsoon, on nende skeemi lihtsus ja stabiilse pingega võõrtoiteallika puudumine, millel on aga maaelektrijaamade korral oluline tähtsus.

Tuleb muidugi võtta arvesse seda, et püsistunud normaalsel režiimil ei reageeri voolu kompaundeerimisseadis alati täpselt igasugustele pingemuutustele, mis toimuvad generaatorite peavooluahelas. Siiski on pinge kõikumine niivõrd tähtsusetu, et nad täielikult tagavad generaatorite normaalse töö, samuti ka normaalse töö mittestatsionaarsetel režiimidel, eriti lühisrootoriga mootorite käivitamise ajal.

Kompaundeerimisseadise juurde kuuluvast pingekorrektorist on räägitud allpool.



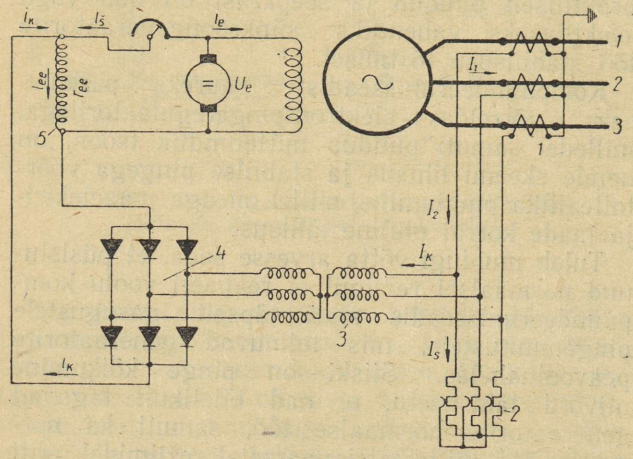
Joon. 129. Kolmefaasilise generaatori ühefaasiline kompaundeerimise skeem.

Joonisel 129 on toodud sünkroongeneraatori ühefaasiline paralleelse kompaundeerimise skeem ja joonisel 130 — analoogiline kolmefaasiline skeem.

Kompaundeerimise skeem koosneb järgmistest põhielementidest.

Voolutrafo *1* sekundaarvool I_2 hargneb kaheks

vooluks I_s ja I_k. Vool I_s läbib sättetakistuse *2*, mida kasutatakse kompaundeerimisseadise reguleerimiseks. Vooluga I_k toidetakse vahetrafo *3* primaarmähist. See trafo viib voolutrafo sekundaarvoolu ja -pinge vajalikku vastavusse pingega, millega peab töötama ergutaja ergutusmähis *5*, ja kompaundeerimisvooluga i_k, millega toidetakse kuivalaldajate poolelt ergutaja ergutusmähist. Vahetrafo sekundaarvooluga toidetakse sildlülituses olevat seleenalaldajat *4*.



Joon. 130. Kolmefaasilise generaatori kolmefaasiline kompaundeerimise skeem.

Suurtes elektrijaamades töötavate kompaundeerimisseadiste ekspluatatsiooni kogemused näitavad, et põhi-voolutrafode suure koormuse tõttu on võimatu nende voolutrafode üheaegne kasutamine mõõteriistade toitmiseks. Maaelektrijaamade jaoks soovitatavate skeemide puhul tuleb samuti eraldada kompaundeerimisseadist toitvad voolutrafod ampermeetreid ja arvestite ning vattmeetrite poole toitvatest voolutrafodest.

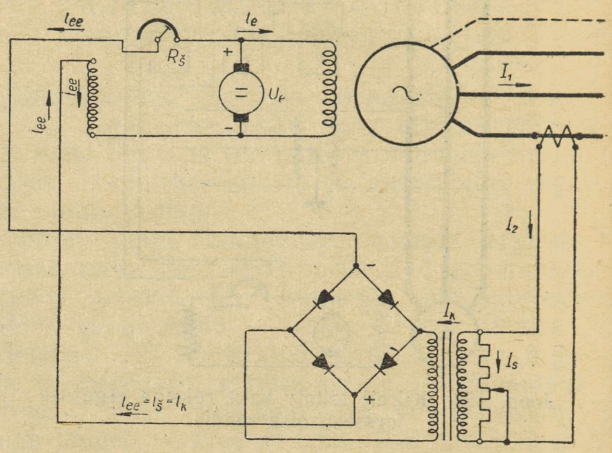
Nagu selgub toodud skeemidest, alaldatakse generaatori staatoriahelasse ülesseatud voolutrafode vool, mis on reguleeritav sättetakistuse ja vahetrafo abil, kuivalaldajatega ja antakse ergutaja ergutusmähisesse lisatoitena. Koormuse suurenemisel ja lühistel see süsteem suurendab ergutaja ergutust ning ühes sellega ka generaatori ergutust. Seetõttu suureneb töö stabiilsus ja pärast lühise kõrvaldamist või pärast mittestatsionaarse režiimi lõppemist lüheneb tunduvalt pinge taastamisprotsessi aeg.

Koormuse äralangemisel vähendab kompaundeerimisseadis ergutust, millega hoitakse ära pinge ülemäärane tõus.

Nagu nähtub joonistel 129 ja 130 toodud skeemidest, kasutatakse siin ergutaja ergutusmähise paralleelset toitmisviisi: ergutaja enda klemmidelt läbi ergutaja ergutusregulaatori ja alaldajalt.

Peale eespool näidatud paralleelsete toiteskeemide võib mõnel juhul kasutada ergutaja ergutusmähiste järjestikust toidet (joon. 131) ja samuti ka kompaundeeriva lisamähisega skeemi (joon. 132).

Nagu selgub skeemist (joon. 131), läbib ergutaja ergutusmähist ja alaldajat üks ja sama vool.



Joon. 131. Kompaundeerimisseadise järjestikuse lülituse skeem.

Elektrijaamade Ministeeriumi süsteemis, eriti Mosenergo elektrijaamades töötavate kompaundeerimisseadiste töö uurimise tulemuste tagajärjel kõrvaldati kasutamiselt järjestikuse kompaundeerimise lülitus ja enamikel juhtudel ei soovitata seda kasutada järgmistel kaalutlustel.

1. Järjestikuse kompaundeerimislülituse korral väheneb suurel määral tundlikkus: kompaundeerimise efekt algab alles sellest hetkest, kui vahetrafo poolelt alaldajat toitva voolu amplituud osutub suuremaks kui ergutaja alalisvool, mis läbib alaldajat.

2. Alaldajad peavad olema arvestatud ergutaja ergutusmähist läbivale ja seega suuremale voolule.

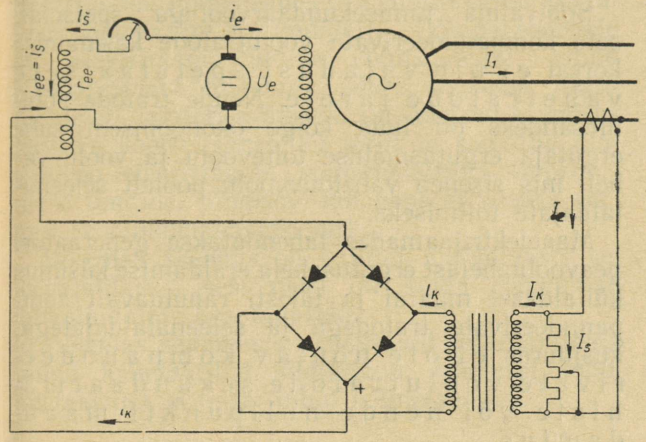
3. Staatori voolu järsul muutumisel muutub ka alalisvool ergutusahelas, kuid see põhjustab alaldaja klemmidel tunduvaid liigpingeimpulsse, sest ergutaja haruvoolumähisel on suur induktiivsus.

Joonisel 132 toodud lisamähisega kompaundeerimise skeemi oluliseks puuduseks on see, et ergutusgeneraatorid tuleb lasta valmistada eritellimisel ja see ei ole kasutatav haruvoolugeneraatoritega varustatud töötavates elektrijaamades.

Väikese võimsusega sünkroongeneraatorite (masinergutajatega) ergutuse kompaundeerimise katseid teostas laboratoorsetes ja tegelikes töötingimustes esmakordselt insener I. V. Tihho-

mirov, kasutades selleks liikuvat elektrijaama C-81-4, võimsusega 15 kVA, pöörlemiskiirusega 1500 p/min.

Kompaundeerimist kasutati ergutuse forsseerimise otstarbel lühisrootoriga asünkroonmootorite käivitustingimuste parandamiseks. Sellest seisukohast lähtudes teostati ka kõik generaatorite kompaundeerimisseadise töö vaatlused ja uurimused.



Joon. 132. Lisaergutusmähisega ergutaja kompaundeerimise skeem.

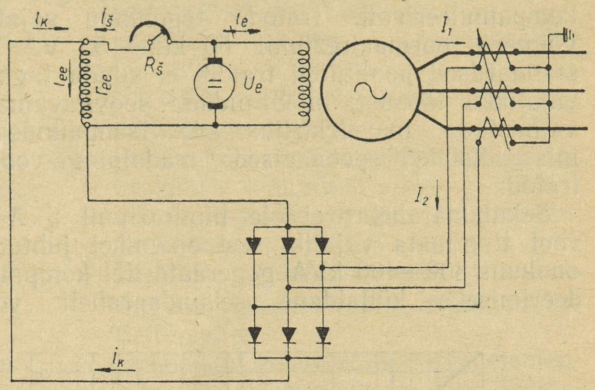
I. V. Tihhomirovi väikese võimsusega sünkroongeneraatorite ergutuse kompaundeerimise skeem on toodud joonisel 133. Selles skeemis lülitatakse magnetahelas reguleeritava õhupiluga erikonstruktsioonilised kompaundeerivate voolutrafode primaarmähised generaatori staatori vooluahelasse.

Sekundaarvool toidab kolmefaasilises sildlülituses seleenalaldajat. Alaldatud vooluga toidetakse paralleellülituses ergutusgeneraatori haruvoolu-ergutusmähist, millele antakse peatoide ergutajalt reguleeritava takistusega regulaatori kaudu.

Lihtsuselt, töökindluselt ja ekspluatatsiooniliste paremuste poolest, millest oli juttu eespool, on kõige soodsam paralleelvoolu kompaundeerimise süsteem.

Kolmefaasilise kompaundeerimise skeemidel on võrreldes ühefaasilisega kaheldamatu paremus, sest sellised skeemid ühest küljest annavad alaldatud voolule väiksema pulsatsiooni, teisest küljest aga mõjuvad generaatori ergutussüsteemile ka generaatori mistahes faasi maaühendusel või kahefaasilisel lühisel.

ВИЭСХ uurimused nii laboratoorsetes tingimustes kui ka töötavates elektrijaamades näitasid, et on võimalik ja seejuures täiesti otstarbekas ära jätta vahetrafod madalpingegeneraatoritega maaelektrijaamade kompaundeerimise skeemides. Maaelektrijaamades on madalpingegeneraatorite piirvõimsus 625 kVA (Kuzminski kolhoosidevaheline hüdroelektrijaam Rjazani oblastis). Suuremate võimsuste korral ei kasutata madalpingegeneraatoreid.



Joon. 133. Kolmefaasilise generaatori skeem, kus kasutatakse reguleeritavaid kompaundeerivaid voolutrafosid.

Seega 625 kVA on võimsuseks generaatoritele, milledele sobib vahetrafodeta kompaundeerimisseadis. Kõrgepingegeneraatorite korral on otstarbekam kasutada alaldajatel vahe-pingetrafosid.

Vahetrafot kasutatakse kõrgepingegeneraatorite korral selleks, et saaks reguleerida ja valida kompaundeerimiseks vajalikke voolusid; ta peab vastama mistahes antud generaatori ergutussüsteemi karakteristikule, sõltumatult sellest, et kompaundeerimise standardne voolutrafo annab alati primaarahela nimikoormusel sekundaarpoolel voolu 5 A. See asjaolu võimaldab küll kasutada kõigil juhtudel standardseid voolutrafosid, kuid igaks erijuhuks tuleb arvutada spetsiaalsed vahetrafod.

Teine asjaolu, mis teeb vahetrafode kasutamise suurtes elektrijaamades vajalikuks, on generaatori ergutusahela hoolikalt eraldamise nõue peavooluahelast, samuti ka nõue kaitsta kuivalaldajaid tõukevoolude toime eest. Järsul koormuse suurenemisel piirab vahetrafo küllastumine alaldajale mõjuvaid tugevaid voole.

Maaelektrijaamades, samuti nagu muudes madalpingegeneraatoritega elektrijaamades, ei saa kasutada kompaundeerimiseks standardseid voolutrafosid. Kõik massiliselt toodetavad poolitüüpi madalpinge-voolutrafod valmistatakse arvestite, vattmeetrite ja ampermeetrite voolumähiste toitmiseks ja on ette nähtud väikesele koormusele. Näiteks garanteeritakse TK tüüpi

voolutrafodele täpsusklass 0,5, kui sekundaarvooluahela takistus ei ületa 0,2 Ω. Kui lubada madalamat täpsusklassi, siis võib suurendada koormustakistust 2—3 korda. Oletame, et sekundaarvooluahela lubatavat takistust õnnestub viia kuni 0,5 Ω-ni. Sel puhul võimsus sekundaarvooluahelas $5^2 \cdot 0{,}5 = 12{,}5$ VA. Ka kõige väiksema võimsusega generaatoritel kõigub aga kompaundeerivate trafode tegelikult vajatav võimsus normaalrežiimil 50 kuni 55 VA. Et standardsed poolitüüpi trafod ei suuda tagada vajalikku täpsust, tuleb pidada soovitavamaks valmistada maaelektrijaamade kompaundeerimisseadistele spetsiaalsed madalpinge-voolutrafod.

Sekundaarahelas ei ole nimirežiimil 5 A-ne vool tingimata vajalik, sest enamikel juhtudel on kuni 300—400 kVA generaatoritel kompaundeerimiseks küllaldane sekundaarahela vool 2,5—3,5 A. Samuti tuleb arvestada seda, et praktiliselt on kasutatavad ainult kolmefaasilised kompaundeerimislülitused, mis annavad voolu järgi kõrge alaldusteguri, sest kolmefaasilistes sildlülitustes suureneb alaldatud voolu ja vahelduvvoolu efektiivväärtuse suhe 0,9-lt kuni 1,22-ni. Seetõttu pole 5 A-ne vool peaaegu kõigil juhtudel vajalik.

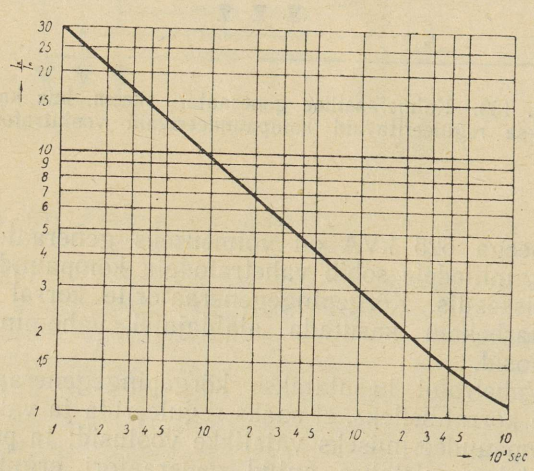
Sobivaima nimisekundaarvooluga spetsiaalsete kompaundeerivate voolutrafode kasutamise korral ei ole vajadust spetsiaalsete vahetrafode järele. Nende trafode põhiülesandeks on luua kõige ökonoomsem suhe ergutaja ergutusmähise toitevoolu ja voolu vahel, mis siseneb vahelduvvoolu poolelt seleenalaldajate toitmiseks.

Maaelektrijaamades lahendatakse generaatori peavooluahelast ergutusahela eraldamise küsimus küllaldasel määral ja täiesti rahuldavalt kompaundeerivate trafodega ja seleenalaldajatega, kusjuures ei ole nõutav kompaundeerivate voolutrafode sekundaarmähiste või nende nullpunkti maandamine.

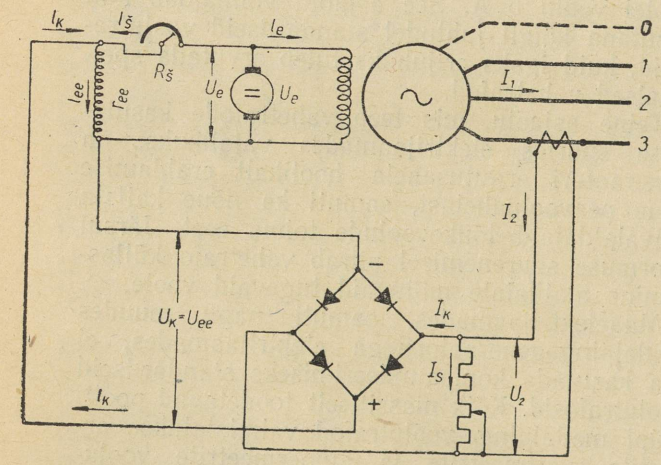
Kaasaegsed seleenalaldajad taluvad tunduvat ülekoormust ilma mingisuguse riknemiseta. Eriti suured on lubatavad lühiajalised ülekoormused. Joonisel 134 on toodud seleenalaldajate maksimaalselt lubatav ülekoormus sõltuvalt ülekoormuse kestusest. Nagu graafikust näha, võib kahesekundise kestusega ülekoormus ületada nimikoormuse rohkem kui 20 korda.

Joonisel 135 on toodud kolmefaasilise sünkroongeneraatori ühefaasiline kompaundeerimise skeem ilma vahetrafodeta ja joonisel 136 — analoogiline kolmefaasiline skeem.

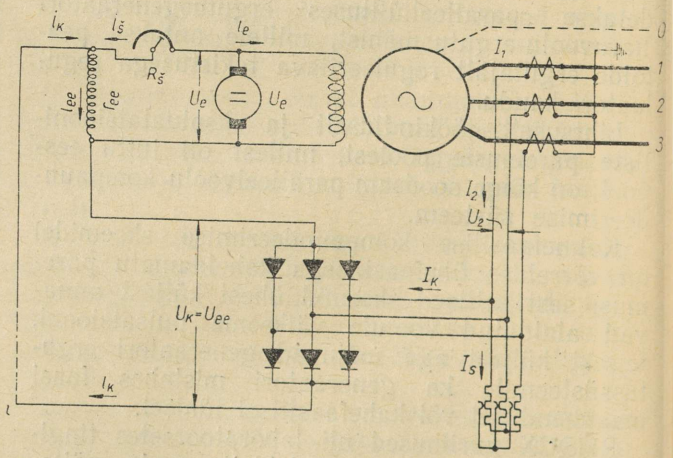
Vastavalt generaatori tüübile valitud kompaundeerivate voolutrafode puhul väheneb tunduvalt voolutrafode sekundaarahelas olevate



Joon. 134. Seleenalaldajate maksimaalselt lubatava ülekoormuse sõltuvus ülekoormuse kestusest.



Joon. 135. Ühefaasiline kompaundeerimise skeem ilma vahetrafodeta.



Joon. 136. Kolmefaasiline kompaundeerimise skeem ilma vahetrafodeta.

reostaatide šunteeriv toime. Nagu ülal mainitud, hargneb kompaundeeriva voolutrafo vool I_2 vooluks I_s, mis läbib sättereostaati, ja vooluks I_k, mis toidab seleenalaldajat. Sättereostaadi asend valitakse vastavalt nimirežiimile ning pinge säilitamise antud tingimustele ja hoitakse muutumatuna pikema aja kestel — kuni ei muutu elektrijaama põhiparameetrid nimirežiimil (tavaliselt tippkoormuse tundidel). Põhiparameetrid on: elektrijaama üldine võimsustegur, antud elektrijaamast toidetava kõige suurema lühisrootoriga mootori võimsus, tippkoormuse suurus tegeliku koormusgraafiku järgi ja soovitud pingenivoo elektrijaama kogumislattidel tippkoormuse tundidel pingekao kompenseerimiseks võrgus (voolukompensatsioon).

Mõlemas skeemis on valitud alaldajateks seleenalaldajad, sest need on kõige sobivamad kuivalaldajate koostamiseks.

Mõlemas seadmes on kasutatud seleenalaldaja puhul kahetaktilist sildlülitust, esimesel juhul ühefaasilist ja teisel juhul kolmefaasilist.

KOMPAUNDEERIMISSEADISE ARVUTAMINE

Madalpingegeneraatorite kompaundeerimisseadise ligikaudse arvutamise metoodikat ja näiteid, mis on praktiliseks otstarbeks küllaldase täpsusega, kirjeldatakse siinkohal vastavalt joonistele 135 ja 136 ühe- ja kolmefaasilise kompaundeerimise skeemi kohta. Ühefaasilise seadise arvutamine on antud sihiga paremini selgitada kolmefaasilise kompaundeerimisseadise arvutusviisi.

Kõrgepingegeneraatoritega elektrijaamades vajatakse vahetrafosid. Vahetrafodega kompaundeerimise kolmefaasiline skeem on näidatud joonisel 130.

Toodud skeemidel ja ka edaspidi on kasutatud järgmist tähistust:

U — generaatori pinge;
U_e — generaatori ergutuspinge;
U_{ee} — ergutaja ergutuspinge;
U_k — kompaundeerimispinge alalisvoolupoolel, mis on võrdne ergutaja ergutuspingega;
U_2 — kompaundeeriva voolutrafo sekundaarpinge;
U_s — pinge sättereostaadil, mis on võrdne kompaundeeriva voolutrafo sekundaarpingega;
I_{st} — staatori vool;
I_2 — kompaundeeriva voolutrafo sekundaarvool;
I_k — kompaundeerimisvool vahelduvvoolupoolel;
I_s — sättereostaati läbiv vool;
i_k — kompaundeerimisvool alaldatud poolel;
$i_š$ — ergutaja ergutusreostaati läbiv vool;
i_{ee} — ergutaja ergutusvool;
i_e — generaatori ergutusvool;
r_{ee} — ergutusgeneraatori ergutusmähise takistus;
$r_š$ — ergutaja ergutusreostaadi takistus;
r_s — sättereostaadi takistus;
R_e — generaatori rootorimähise takistus;
β_u — keskmise alaldatud pinge ja vahelduvvoolu-poole pinge efektiivväärtuste suhe;
β_i — keskmise alaldatud voolu ja vahelduvvoolu-poole voolu efektiivväärtuste suhe;
n — järjestikku ühendatud seleenelementide arv seleenalaldaja ühes küljes;
p — paralleelahelate arv seleenalaldaja küljes;
m — külgede arv seleenalaldaja sildlülituses;
i_{k1} — alaldaja ühe seleenelemendi (ventiili) koormusvool;
ΔU_1 — pingelang ühes alaldaja seleenelemendis;
ΔU — pingelang alaldajas;
S_1 — ühe voolutrafo võimsus VA;
S — kompaundeerimissüsteemi üldine võimsus;
R_{ekv} — voolutrafo ahela ekvivalentne takistus.

Ühefaasiline skeem. Kõigepealt peavad teada olema generaatori ja ergutaja nimiparameetrid: võimsus, vool, pinge. Generaatori tühijooksul, nimipingel ja -pöörlemiskiirusel mõõdetakse pinge ergutaja harjadel U_{eo}, ergutaja ergutusvool i_{eeo} ja ergutaja ergutusreostaadi töötava osa takistus $r_{šo}$.

Generaatori nimikoormuse, -pinge, -võimsusteguri ja pöörlemiskiiruse juures mõõdetakse pinge ergutaja harjadel U_{en} ja ergutaja ergutusvool i_{een}.

Seejärel mõõdetakse ergutaja ergutusmähise takistus ja arvutatakse see ümber temperatuurile 75°. Takistus arvutatakse järgmise valemiga:

$$r_{ee\,75} = r_{eet°} \cdot \frac{235 + 75}{235 + t°}, \qquad (10)$$

kus: $r_{ee\,75}$ — ergutaja ergutusmähise takistus 75° juures;

$r_{eet°}$ — ergutaja ergutusmähise takistus temperatuuril t°, s. t. temperatuuril, mille juures toimus mõõtmine.

Ergutaja ergutusreostaadi töötava (lühistamata) osa takistust kontrollitakse valemiga:

$$r_š = \frac{U_{eo}}{i_{eeo}} - r_{ee}. \qquad (11)$$

Pinge seleenalaldaja alalisvoolu-poolel ehk ergutaja ergutusmähise klemmipinge generaatori nimikoormusel:

$$U_{kn} = U_{een} = i_{een} r_{ee}.$$

Kasutades «normaalset» kompaundeerimise režiimi, s. t. sellist režiimi, mispuhul ergutaja ergutusreostaadi takistus mistahes koormusel jääb muutmatuks ja on võrdne ergutaja ergutusreostaadi takistusega generaatori tühijooksul, saame ergutaja ergutusmähisest läbi ergutaja ergutusreostaadi kulgeva voolu:

$$i_{šn} = \frac{U_{en} - U_{kn}}{r_š}. \qquad (12)$$

Kompaundeerimissüsteemist ergutaja ergutusmähisesse sisenev vool on generaatori nimirežiimil:

$$i_{kn} = i_{een} - i_{šn}.$$

Alaldajasse sisenev vool vahelduvvoolu-poolel leitakse valemiga:

$$I_k = \frac{i_{kn}}{\beta_1}.$$

Praktilistel arvutustel võib ühefaasilistes sildlülitustes võtta β_1 väärtuseks 0,9.

Paralleelharude arv alaldaja igas küljes leitakse valemiga:

$$p = \frac{i_k}{i_{lub}},$$

kus: i_{lub} — lubatava alaldatud voolu arvutussuurus alaldaja külje ühe haru kohta.

Ühefaasilistes sildlülitustes võib võtta täpsemate andmete puudumisel järgmised i_{lub} suurused:

45 mm läbimõõduga elemendi korral . . . . 0,6 A
100 „ „ „ „ . . . 3,4 A

Sünkroongeneraatorite ergutuse kompaundeerimiseks ettenähtud seleenalaldaja komplekteerimisel tuleb lähtuda seleenelementide kohta toodud standardsetest mõõdetest, sest need on kõige enam levinud.

Järjestikku ühendatud elementide arv igas harus leitakse valemiga:

$$n = \frac{U_k}{\beta_u U_{vastu\ lub}},$$

kus: β_u — ühefaasilise sildlülituse korral võetakse 0,9;

$U_{vastu\ lub}$ — ühe elemendi kohta lubatav vastupinge nimikoormusel. 45 mm läbimõõduga seleenketaste korral võib $U_{vastu\ lub}$ võtta 18 V, 100 mm läbimõõduga ketaste korral — 14 V.

Seleenelementide koguarv alaldajas:

$$N = pnm.$$

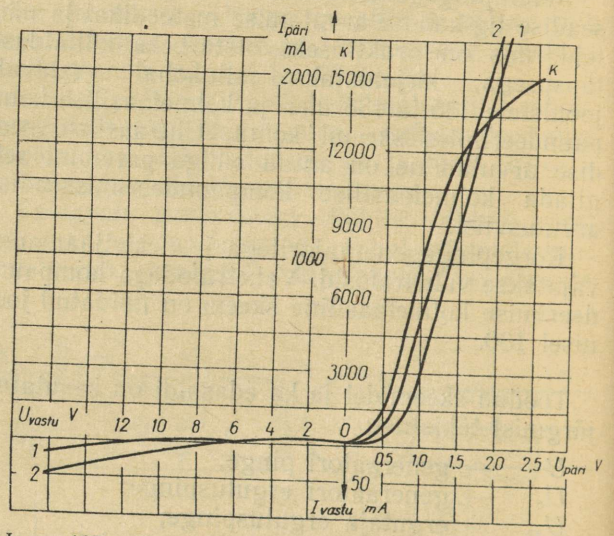
Ühefaasilise sildlülituse korral $m = 4$.

Seleenalaldaja ühe elemendi tegelik koormusvool leitakse valemiga:

$$i_{k1} = \frac{i_k}{p}. \qquad (13)$$

Valitud mõõtega seleenketta pinge-voolu karakteristiku järgi leitakse pingelang ühes elemendis.

Joonisel 137 on toodud kõige enam levinud 45 mm läbimõõduga seleenelemendi (ketta) pinge-voolu karakteristikud.



Joon. 137. 45 mm läbimõõduga seleenalaldaja ketta pinge-voolu karakteristikud.

Valemi 13 järgi leitud tegelik koormusvool kantakse ordinaattelje suunas üles (skaala milliamprites) ja kõvera *2* järgi leitakse abstsisstelje ühes elemendis esinev pingelang $\triangle U_1$.

Kogu pingelang alaldajas $\triangle U$ leitakse $\triangle U_1$ korrutamisel $2n$-ga.

Ühefaasilistes sildskeemides leitakse faasipinge efektiivväärtus seleenalaldaja vahelduvvoolu-poolel valemiga:

$$U_{2f} = \frac{U_k + \Delta U}{\beta_u}.$$

Kompaundeerimissüsteemi voolutrafo põhiparameetrid leitakse järgmistel kaalutlustel.

Tavalised standardsed poolitüüpi voolutrafod ei saa oma väikese võimsuse tõttu rahuldavalt töödata kompaundeerimisseadistes. Järelikult tuleb selleks eraldi tellida spetsiaalsed kompaundeerivad voolutrafod.

Trafo nimi-primaarvooluks I_1 valitakse generaatori nimivoolu suhtes lähim suurem ümardatud amprite arv.

Trafo nimi-sekundaarvooluks valitakse samuti, lähtudes kompaundeerimis-nimivoolust vahelduvvoolu-poolel, lähim suurem täisarvuline amprite arv.

Voolutrafo sekundaarahela tegelik nimivool generaatori nimikoormusel leitakse valemiga:

$$I'_2 = \frac{I_2 I_{st}}{I_1}.$$

Vool, mis peab läbima sättereostaati voolutrafo sekundaarahelas:

$$I_s = I'_2 - I_k.$$

Sättereostaadi takistus:

$$r_s = \frac{U_s}{I_s}.$$

Kompaundeeriva voolutrafo võimsus:

$$S = U_2 I_2.$$

Voolutrafo sekundaarahela ekvivalentne koormus:

$$R_{ekv} = \frac{U_2}{I_2}.$$

Kolmefaasiline skeem. Kolmefaasilises sildlülituses kompaundeerimisseadise arvutamisel, analoogiliselt ühefaasilisele skeemile, leitakse:

$U_{e\,o}$, $i_{ee\,o}$, $r_š$, U_{en}, i_{een}, $r_{ee\,75°}$, U_{kn}, $i_{šn}$, i_{kn}.

Vahelduvvoolu-poolelt alaldajasse sisenev vool leitakse valemiga:

$$I_k = \frac{i_k}{\beta_1}.$$

Kolmefaasilistes sildlülitustes võib β_1 suuruseks võtta 1,22.

Paralleelselt ühendatud ketaste harude arv alaldaja igas küljes leitakse valemiga:

$$p = \frac{i_k}{i_{lub}}.$$

Kui pole täpsemaid andmeid, soovitatakse kolmefaasilise sildlülituse korral võtta järgmised i_{lub} väärtused:

45 mm läbimõõduga elemendi korral . . . 0,82 A,
100 mm „ „ „ . . . 4,2 A.

Samuti nagu ühefaasilistes lülitustes, soovitatakse ka siin koostada seleenalaldaja 45 ja 100 mm läbimõõduga standardsetest elementidest.

Järjestikku ühendatud elementide arv alaldaja külje igas harus leitakse valemiga:

$$n = \frac{U_k}{\beta_u U_{vastu\ lub}}.$$

Tegur β_u on kolmefaasilise sildlülituse korral 1,35.

Nagu ühefaasiliste alaldusskeemide korral, võetakse ka siin lubatav vastupinge: 45 mm läbimõõduga ketaste korral — 18 V, 100 mm läbimõõduga ketaste korral — 14 V.

Elementide koguarv alaldajas:

$$N = pnm,$$

kus: p — paralleelharude arv igas küljes;
n — järjestikku ühendatud elementide arv igas harus;
m — külgede arv alaldajas; kolmefaasilise sildlülituse korral $m = 6$.

Järgnevalt arvutatakse tegelik koormusvool seleenalaldaja ühe elemendi kohta, pingelang ühes elemendis pinge-voolu karakteristiku järgi ja kogu pingelang alaldajas. Need arvutused viiakse läbi analoogiliselt ühefaasilises sildlülituses kompaundeerimisseadise arvutuse juhendile.

Kolmefaasilise sildlülituse korral leitakse liinipinge efektiivväärtus vahelduvvoolu-poolel järgmise valemiga:

$$U_{21} = \frac{U_k + \Delta U}{\beta_u}.$$

Kompaundeerivad voolutrafod valitakse samadel kaalutlustel, mida juba selgitati ühefaasilises sildlülituses kompaundeerimisseadise arvutuse metoodika puhul. Samasugusel viisil leitakse ka voolutrafo sekundaarahela tegelik vool ja sättereostaadi šunteeriv vool.

Sättereostaadi ühe faasi takistus:

$$r_{sf} = \frac{U_{21}}{\sqrt{3} I_s}.$$

Ühe voolutrafo võimsus:

$$S = \frac{U_{21} I_2}{\sqrt{3}}.$$

Ühe voolutrafo ekvivalentne koormus:

$$R_{ekv} = \frac{U_{21}}{\sqrt{3} I_2}.$$

Kompaundeerimisahela üldine võimsus:

$$S = 3S_1.$$

Kolmefaasilised skeemid kõrgepingegeneraatorite korral. Kõrgepingegeneraatorite ergutuse kompaundeerimisel kasutatakse tavalisi kõrgepinge-voolutrafosid, mis on arvestatud nimi- sekundaarvoolule 5A. Kõige sobivamate suhete saamiseks kompaundeerimisvoolu ja seleenalaldaja toitevoolu I_k vahel kasutatakse vahetrafosid, nagu see on näidatud joonistel 129 ja 130.

Märgime vahetrafo ülekandeteguri k_{vt}. Sel juhul:

$$k_{vt} = \frac{I_k}{I'_k} = \frac{U'_2}{U_2}.$$

Kõiki skeemielemente arvutatakse vastavalt vahetrafota kompaundeerimisseadise arvutusmetoodikale, kasutades I_k ja U_2 arvutusvalemites tegurit k_{vt}.

Vahetrafo primaarmähisesse sisenev vool:

$$I_k = \frac{i_k \cdot k_{vt}}{\beta_i}.$$

Liinipinge efektiivväärtus kompaundeeriva voolutrafo sekundaarahelas leitakse valemiga:

$$U_2 = \frac{U_k + \Delta U}{\beta_u k_{vt}}.$$

Edasine arvutus ei erine millegagi tavalisest vahetrafota kolmefaasilise kompaundeerimisseadise arvutamisest.

Kolmefaasilise skeemiga kompaundeerimisseadise arvutamise näide. Arvutada kompaundeerimisseadis 375 kVA generaatorile ВГС-4-213.

Generaatori nimiparameetrid: pinge $U = 400$ V, vool $I_{stn} = 540$ A, ergutaja võimsus $P_e = 11{,}3$ kW, ergutuspinge $U_e = 80$ V, generaatori nimiergutusvool $i_e = 130$ A.

Generaatori tühijooksul on mõõdetud järgmised suurused: pinge ergutaja harjadel $U_{eo} = 50$ V ja ergutaja ergutusvool $i_{eeo} = 2{,}3$ A.

Generaatori nimikoormusel ja $\cos\varphi = 0{,}8$ puhul on saadud $U_{en} = 80$ V ja $i_{een} = 4{,}5$ A.

Ergutaja ergutusmähise mõõdetud takistus ümberarvutatult 75°-le on $r_{ee} = 10{,}4\,\Omega$.

Leiame ergutaja ergutusreostaadi takistuse generaatori tühijooksul:

$$r_š = \frac{U_{eo}}{i_{eeo}} - r_{ee} = \frac{50}{2{,}3} - 10{,}4 = 11{,}2\,\Omega.$$

Ergutaja ergutusmähise klemmipinge (generaatori nimikoormusel), mis võrdub seleenalaldaja väljuva pingega:

$$U_{een} = U_{kn} = i_{een} r_{ee} = 4{,}5 \cdot 10{,}4 = 47 \text{ V}.$$

Ergutaja ergutusreostaati läbiv vool samade andmete korral:

$$i_{šn} = \frac{(U_{en} - U_{kn})}{r_š} = \frac{(80-47)}{11{,}2} = 2{,}95 \text{ A}.$$

Kompaundeerimisvool:

$$i_{kn} = i_{een} - i_{šn} = 4{,}5 - 2{,}95 = 1{,}55 \text{ A}.$$

Valime kompaundeerimiseks kolmefaasilise sildlülituse sättereostaadiga.

Selle lülituse korral on alaldatud voolu ja vahelduvvoolu efektiivväärtuse suhe $\beta_i = 1{,}22$.

Alalisvoolu-poolel pinge ja vahelduvvoolupoolel liinipinge efektiivväärtuse suhe on $\beta_u = 1{,}35$.

Kompaundeerimisvool (vahelduvvoolu-poolel):

$$I_k = \frac{i_{kn}}{\beta_i} = \frac{1{,}55}{1{,}22} = 1{,}27 \text{ A}.$$

Paralleelharude arv silla küljes:

$$p = \frac{I_k}{i_{lub}} = \frac{1{,}27}{0{,}82} \approx 2.$$

Järjestikku ühendatud ketaste arv harus:

$$n = \frac{U_k}{\beta_u U_{vastu\ lub}} = \frac{47}{1{,}35 \cdot 18} \approx 2.$$

Alaldaja ventiilide koguarv:

$$N = pnm = 2 \cdot 2 \cdot 6 = 24.$$

Tegelik koormus ühe ventiili kohta:

$$\frac{i_{kn}}{2} = \frac{1{,}55}{2} = 0{,}78 \text{ A}.$$

Pingelang ühes ventiilis tegeliku koormuse korral pinge-voolu karakteristiku järgi $\Delta U_1 = 1{,}05$ V. (Valitud on 45 mm läbimõõduga seleenventiilid.)

Kogu pingelang alaldajas:

$$\Delta U = 2n \Delta U_1 = 2 \cdot 2 \cdot 1{,}05 = 4{,}2 \text{ V}.$$

Liinipinge efektiivväärtus kompaundeeriva voolutrafo sekundaarahelas:

$$U_{2l} = \frac{U_k + \Delta U}{\beta_u} = \frac{47 + 4{,}2}{1{,}35} = 38 \text{ V}.$$

Valime voolutrafo nimiparameetritega 600/3 A. Tegelik sekundaarvool nimikoormusel:

$$I_{2n} = \frac{3\, I_{st.n}}{600} = \frac{3 \cdot 540}{600} = 2{,}7 \text{ A}.$$

Vool, mis peab läbima sättereostaati:

$$I_s = I_{2n} - I_k = 2{,}7 - 1{,}27 = 1{,}43 \text{ A}.$$

Sättereostaadi ühe faasi takistus:

$$r_{sf} = \frac{U_{2l}}{\sqrt{3}\, I_s} = \frac{38}{\sqrt{3} \cdot 1{,}43} = 15{,}4\ \Omega.$$

Ühe voolutrafo koormus:

$$S_1 = \frac{U_{2l}}{\sqrt{3}} \cdot I_{2n} = \frac{38}{\sqrt{3}} \cdot 2{,}7 = 60 \text{ VA}.$$

Kompaundeerimissüsteemi üldine võimsus:

$$S = 3S_1 = 3 \cdot 60 = 180 \text{ VA}.$$

Koormuse ekvivalentne takistus ühe voolutrafo ahelas:

$$R_{ekv} = \frac{U_{efl}}{\sqrt{3}\, I_{2n}} = \frac{38}{\sqrt{3} \cdot 2{,}7} = 8{,}2\ \Omega.$$

UNIVERSAALSED KOMPAUNDEERIMISSEADISED

Kompaundeerimisseadiste massiline juurutamine maaelektrijaamadesse nõuab kõigepealt nende tüüpide arvu vähendamist. Seadiste põhielementide ühtlustamine tüüpsete ja kõige enam levinud sünkroongeneraatorite seeriate jaoks võimaldab maksimaalselt vähendada kompaundeerimisseadiste maksumust, lihtsustada nende montaaži, reguleerimist ja ekspluateerimist.

Seisukohad kolmefaasiliste kompaundeerimisseadiste ühtlustamiseks esitatakse Kalinini-nimelise tehase poolt väljalastavate laialt levinud väikese võimsusega СГ-seeria generaatorite kohta. Need põhimõtted on kasutatavad ilma mingisuguste raskusteta ka palju võimsamate masinate juures, nagu näiteks tehase «Uralelektroapparat» maaelektrijaamade jaoks ettenähtud hüdrogeneraatorite juures.

Kalinini-nimelise tehase poolt toodetav СГ-seeria koosneb neljast generaatoritüübist, võimsustega 15, 25, 35 ja 60 kVA.

Kõik generaatorid on arvestatud pöörlemiskiirusele 1000 p/min ja pingele 400 V.

Arvutades kompaundeerimisseadise põhielemendid vastavalt varemesitatud metoodikale sildlülituses kolmefaasilise alaldaja kohta, mis on koostatud 45 mm läbimõõduga seleenelementidest, saame tabelis 57 toodud andmed.

Tabel 57

СГ-seeria sünkroongeneraatorite kompaundeerimisseadiste resultatiivsed andmed

Arvutatud parameetrid	Generaatorid			
	СГ-15/6	СГ-25/6	СГ-35/6	СГ-60/6
Paralleelharude arv seleenalaldaja igas küljes . . .	3	3	3	3
Järjestikku ühendatud ventiilide arv seleenalaldaja igas küljes	2	2	2	2
Ventiilide koguarv alaldajas	36	36	36	36
Kompaundeerivate voolutrafode nimi-primaar- ja -sekundaarvoolud	25/3	50/3	50/3	100/3
Voolutrafo ühe faasi sekundaarahela koormus VA . .	27,5	30	44,5	45

Generaatorite СГ-6 kompaundeerimisseadiste arvutuse tabelis toodud andmete analüüsi alusel võib kavandada nimetatud seadmete põhielementide ühtlustamise tehnilise lahenduse.

Kõigepealt peab see ühtlustamine haarama kompaundeerivaid voolutrafosid.

Nagu nähtub arvutusest, on kõigi generaatorite nimi-sekundaarvool 3 A; nimi-sekundaarvoolud on aga generaatorile СГ-15/6 — 25 A, generaatoritele СГ-25/6 ja СГ-35/6—50 A ja generaatorile СГ-60/6—100 A.

Seega on nimi-primaarvoolud 25 A kordsed, kordsusteguriga 1, 2 ja 4.

Generaatorite СГ-6 universaalsel kompaundeerival voolutrafol peab olema seadis, millega muudetakse ülekandetegurit trafo mähise keerdude arvu muutmise teel. Magnetsüsteem jääb kõigil juhtudel üheks ja samaks.

Tuleb käsitleda kahte varianti: sekundaarmähise keerdude arvu muutmist ja primaarmähise keerdude arvu muutmist.

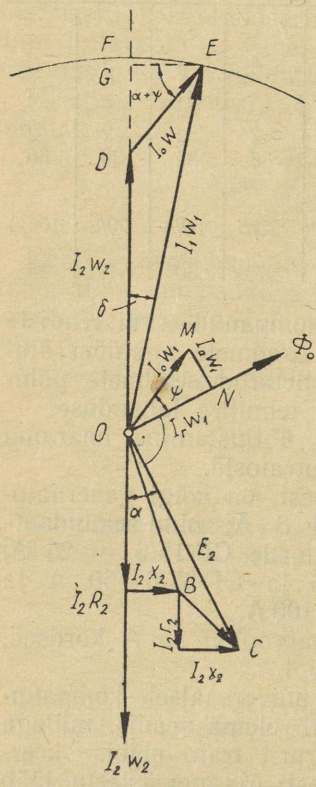
Esimene variant. Sekundaarmähise keerdude arvu reguleerimine on küll kergesti teostatav, kuid kompaundeerimise otstarbeks kõlbmatu, sest primaarmähise muutmatu keerdude arvu ja muutuva nimivoolu korral väheneb nimivoolu vähenemisel primaarahelas järsult amperkeerdude arv ehk magneetimisergutus. Koos sellega väheneb muutumatu täpsusklassi puhul ka voolutrafode võimsus.

Siiski, nagu see on näha ka arvutustabelist,

kõigub voolutrafode sekundaarahela ekvivalentne koormus, samuti ka nende võimsus, kogu generaatorite seeria kohta suhteliselt vähe — 27,5 kuni 45 VA piirides.

Joonisel 138 on toodud voolutrafo vektordiagramm, mis on koostatud amperkeerdudes [23]. Sekundaarmähise magneetimisergutuse vektor, mis langeb kokku sekundaarvoolu vektoriga, on suunatud vertikaalselt alla. Vektor E_2, mis on nurga α võrra ees sekundaarvoolu vektorist, on koormuse aktiivtakistuses R_2 ja induktiivtakistuses X_2 ning sama voolutrafo sekundaarmähise aktiivtakistuses r_2 ja induktiivtakistuses x_2 esinevate pingelangude vektorite geomeetriline summa.

Magnetvoog ϕ_0 voolutrafo südamikus ennetab vektorit E_2 90° võrra. Magnetvoog ϕ_0 tekitatakse tühijooksu-magneetimisergutuse I_0w_1 abil, mille vektor ennetab voogu nurga ψ võrra. Vektor OD on 180° võrra pööratud sekundaarmähise magneetimisergutuse vektorist I_2w_2.



Joon. 138. Voolutrafo vektordiagramm.

Kui liita vektor I_2w_2 geomeetriliselt tühijooksu-magneetimisergutuse vektoriga I_0w_1, saadakse vektor OE, mis on ka primaarmähise magneetimisergutuse vektor I_1w_1.

Toodud diagrammist leitakse voolutrafo nurga- ja vooluviga, milledel on oluline tähtsus mõõteriistade õige näidu saamisel, vooluviga aga omab olulise tähtsuse kompaundeerimisseadise töö juures. Üheksandas peatükis selgitatakse voolutrafo nurga- ja vooluviga, siinkohal aga toome vooluvea kohta käivad põhiseosed.

Lõik FD, mis on primaar- ja sekundaarmähise magneetimisergutuse vahe, jagatuna primaarmähise magneetimisergutusega, annab voolutrafo vooluvea. Sellest järeldub, et vooluviga leitakse järgmise valemiga:

$$f_1\,\% = \left[\frac{I_0 w_1 \sin(\alpha+\psi)}{I_1 w_1} + (1-\cos\delta)\right]\cdot 100, \quad (14)$$

kus: I_0w_1 — tühijooksu-magneetimisergutus;
I_1w_1 — primaarmähise magneetimisergutus;
α — nurk sekundaarvoolu ja elektromotoorse jõu vahel;
ψ — nurk kogu magneetimisvoolu ja magnetvoo vahel voolutrafo südamikus;
δ — nurgaviga.

Nagu näha toodud valemist, suureneb vooluviga primaarmähise magneetimisergutuse vähendamisel ja tühijooksu-magneetimisergutuse suurendamisel.

Voolutrafode juures kasutatavate keskmiste terasesortide korral võib tühijooksu-magneetimisergutuse leida valemiga:

$$I_0w_1 = 0{,}00325\ B^{0,6}\,l, \quad (15)$$

kus: B — magnetvälja tihedus südamikus;
l — magnetahela pikkus cm.

Magnetvälja tihedus leitakse sekundaarmähise magneetimisergutuse kaudu:

$$B = \frac{10^8 E_2}{4{,}44 \cdot f S w_{2n}},$$

kus: S — südamiku ristlõige;
w_{2n} — sekundaarmähise nominaalne keerdude arv, mida omakorda saab väljendada primaarmähise magneetimisergutuse abil valemiga:

$$w_{2n} = \frac{I_1 w_1}{3}.$$

Kompaundeerivate voolutrafode nimi-sekundaarvool, nagu see selgub СГ-6-seeria generaatorite arvutustabelist, võetakse kõigil juhtudel 3 A.

Elektromotoorne jõud E_2 on 3 A sekundaarvoolu ja sekundaarahela ekvivalentse takistuse Z_2 korral:

$$E_2 = 3\ kZ_2,$$

kus: k — primaarvoolu kordsustegur tõukelise koormuse korral (lühisrootoritega mootorite käivitamine jm.).

Edasi leitakse magnetvälja tihedus B järgmise valemiga:

$$B = \frac{9 kZ_2 \cdot 10^8}{222 S i_1 w_1}.$$

Asetame B väärtuse valemisse (15):

$$I_0 w_1 = 0{,}00325 \left[\frac{9 kZ_2 \cdot 10^8}{222 S i_1 w_1}\right]^{0,6} \cdot l. \quad (16)$$

Pöördudes tagasi valemi (14) juurde, jätame liikme $(1-\cos\delta)$ selle väiksuse tõttu arvesta-

mata ja korrutades primaarmähise magneetimisergutust kordsusteguriga k, saame:

$$f_1\,\% = \frac{I_0 w_1}{k I_1 w_1} \sin(\alpha+\psi)\cdot 100,$$

valemit (16) arvestades saame:

$$f_1\,\% = \frac{32{,}2\, l\, Z_2^{0{,}6}}{k I_1 w_1^{1{,}6} S^{0{,}6}} \sin(\alpha+\psi)\cdot 100. \quad (17)$$

On ilmne, et magneetimisergutuse vähendamine kõigi muude muutumatute suuruste korral primaarmähises põhjustab vooluvea suurenemist mitte võrdeliselt, vaid võrdlemisi suure astmega (1,6).

Kui kasutada muutmatu primaarmähise keerdude arvuga universaalset kompaundeerivat voolutrafot ja muuta sekundaarmähise keerdude arvu, siis minnes üle 60 kVA generaatorilt 15 kVA generaatorile, suureneb vooluviga, mis on näiteks 3%, lubamatu suuruseni. See vea suurus leitakse järgmise valemiga:

$$f_i\,\%_{15} = f_i\,\%_{60} \left(\frac{i_1 w_{160}}{v_1 w_{115}}\right)^{1{,}6} =$$

$$= 3\cdot 4^{1{,}6} = 27{,}6\,\%.$$

Muidugi pole selline viga lubatav.

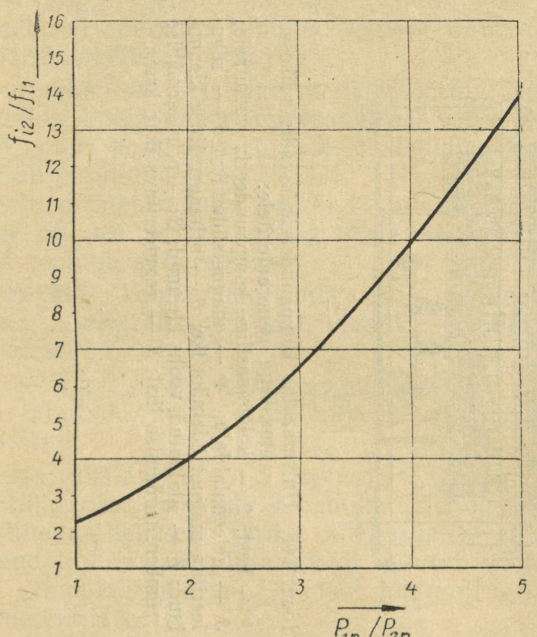
Joonisel 139 on näidatud veateguri sõltuvus generaatori nimivõimsusest kompaundeeriva voolutrafo primaarmähise muutmatu keerdude arvu korral:

$$f_{i2}/f_{i1} = f(P_{1n}/P_{2n}).$$

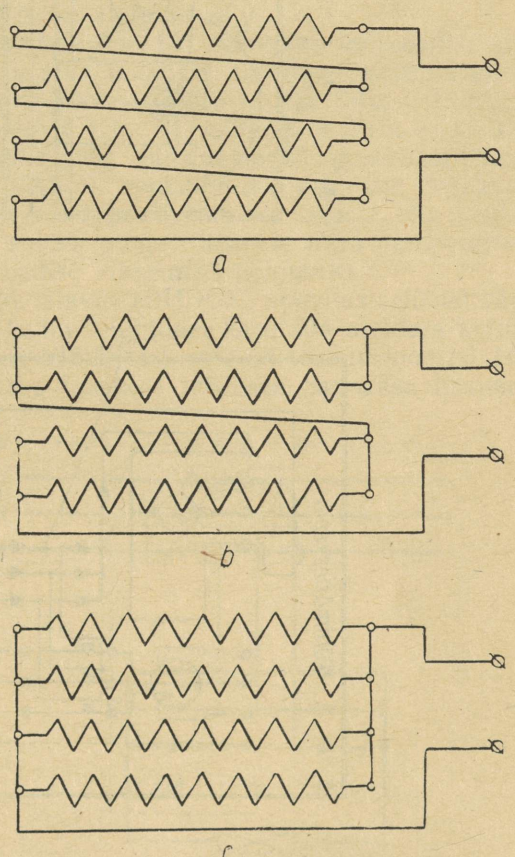
Vea vähendamine südamiku ristlõike suurendamise teel on sel puhul raskendatud voolutrafo gabariitide tunduva suurenemise tõttu. Pealegi, nagu see nähtub ka valemist (17), väheneb viga palju aeglasemalt, kui suureneb südamiku ristlõige (astmenäitaja on 0,6).

Teine variant. Universaalsete voolutrafode kasutamise kõige ratsionaalsem tee maaelektrijaamade kompaundeerimisseadistes on võimaluse korral säilitada primaarmähise magneetimisergutus muutumatuna. Antud seeria generaatorite korral võib seda saavutada primaarvoolu nimisuuruse muutmisel voolutrafo primaarmähise keerdude arvu vastassuunalise muutmise teel.

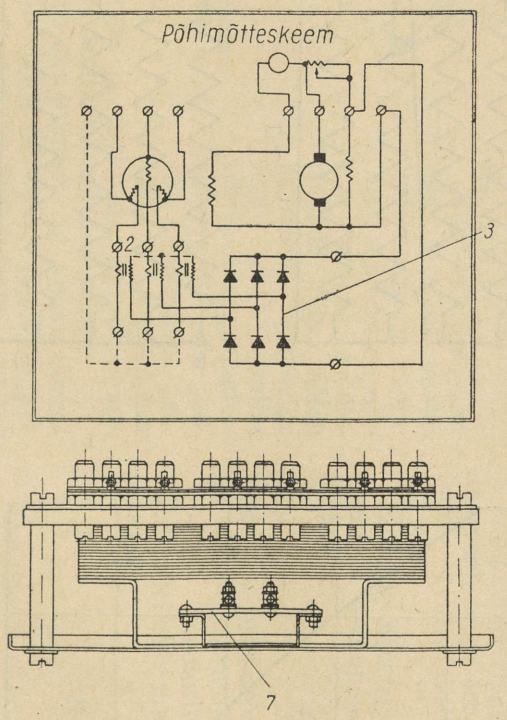
Tegelikku reguleerimist on otstarbekas teostada järgmisel viisil.

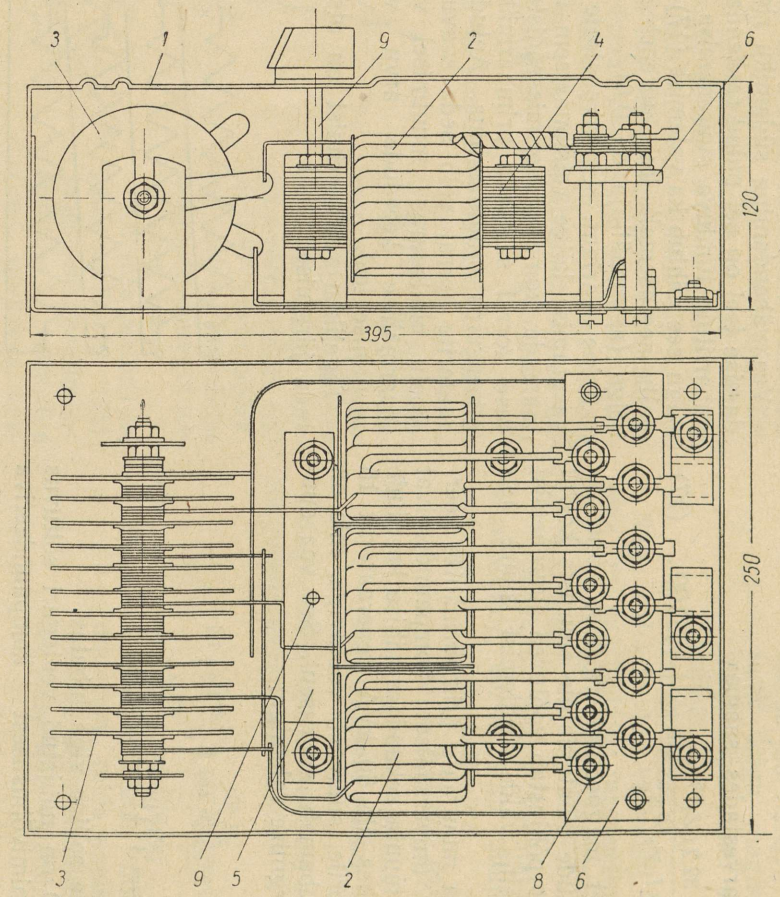


Joon. 139. Veateguri muutumine sõltuvalt generaatori nimivõimsusest voolutrafo primaarmähise muutumatu keerdude arvu korral.



Joon. 140. Universaalse kompaundeerimisseadise voolutrafo primaarmähiste ühendamine:
a — 15 kVA võimsusega generaatorite korral; *b* — 25 ja 35 kVA võimsusega generaatorite korral; *c* — 60 kVA võimsusega generaatorite korral.





Joon. 141. Universaalne kompaundeerimisseadis väikese võimsusega generaatoritele:
1 — kest; *2* — kolmefaasiline kompaundeeriv voolutrafo; *3* — seleenalaldaja; *4* — magnetsüdamik; *5* — reguleeritav magnetsüdamiku ike; *6* — primaarmähise klemmlaud; *7* — alaldatud voolu klemmid; *8* — primaarmähise ümberühendamise liist; *9* — reguleeritava ikke kruvi.

Generaatoritele СГ-6 kujundatakse kompaundeerivate voolutrafode primaarmähised nelja ühesuuruse keerdude arvuga sektsioonina. Iga sektsiooni mähiste algused ja lõpud tuuakse välja klemmlauale või spetsiaalse isolaatori pea külge. Primaarmähise juhe arvestatakse nimivoolule 25 A. Universaalse kompaundeeriva voolutrafo kasutamisel generaatorite СГ-60/6 korral (primaarne nimivool, nagu näidatud arvutustabelis, on 100 A) ühendatakse primaarmähise neli sektsiooni paralleelselt; generaatorite СГ-25/6 ja СГ-35/6 korral (primaarne nimivool on 50 A) — paralleelselt-järjestikku; generaatorite korral СГ-15/6 — järjestikku.

Kõigil juhtudel jääb primaarmähise magneetimisergutus muutmatuks ja koos sellega ei suurene lubatav vooluviga.

Joonisel 140 on näidatud generaatorite СГ-6 jaoks ettenähtud universaalsete kompaundeerivate voolutrafode primaarmähiste sektsioonide ümberühendamise skeemid mitmesugustele nimiprimaarvooludele.

Sekundaarmähis on kõigil juhtudel arvestatud 3 A nimivoolule.

Generaatorite СГ-6 kompaundeerimisseadise seleenalaldajad on samuti ühtlustatud. Nagu nähtub koondtabelist 57, kasutatakse kõigi sellesse seeriasse kuuluvate generaatorite jaoks kolmefaasilises sildlülituses ühesuguse ventiilide arvuga alaldajaid.

Alaldaja elementide tegelik koormus on seeria erinevate generaatorite korral 0,62 kuni 0,81 A ning pingelang alaldajas 3,8 kuni 4,48 V. (Nimetatud suurused kehtivad generaatorite nimikoormusrežiimi korral.)

Seeriaviisiliselt toodetav moderniseeritud universaalne kompaundeerimisseadis on välja töötatud autori poolt koos ins. A. A. Jakimanskiga ning on kujutatud joonisel 141.

Peale primaarmähise keerdude arvu reguleerimise on see seadis omapärane selle poolest, et tal puudub sättereostaat.

Vajalikku kompaundeerimisvoolu reguleeritakse voolutrafo magnetsüdamiku ristlõike muutmisega.

Sisselõigetega eraldatud magnetsüdamiku osa saab nihutada kruvi abil, mille külge see on kinnitatud.

Seega, tõstes või alla lastes seda magnetsüdamiku osa, muutub südamiku ristlõige ja väljatihedus terases. Terase küllastumise tõttu suurendatud väljatiheduse korral muutub voolutrafo sekundaarmähise vool (sel juhtumil kompaundeerimisvool).

Sellise reguleerimisviisi eelis seisab selles, et kompaundeerimisseadis on palju lihtsam valmistada, sest selleks ei vajata defitsiitset ja kallist suure takistusega juhet. Pealegi on kolmefaasiliste reostaatide valmistamine raske, sest neil peavad iga faasi takistused rangelt kokku langema nii ajaliselt kui ka suuruselt.

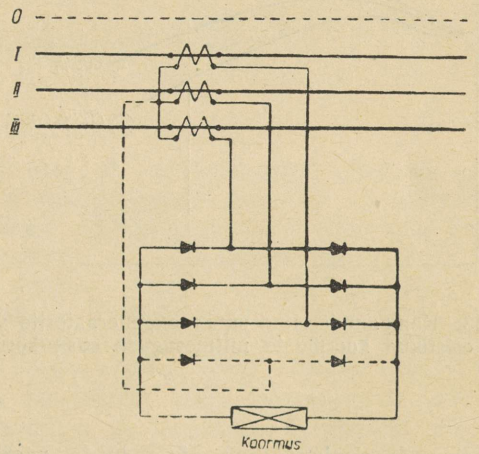
ALALDAJA KOLMEFAASILISE SILDLÜLITUSE EBASÜMMEETRILINE MODIFIKATSIOON

Kompaundeerimisseadistes kasutatavate alaldajate kolmefaasilisel sildlülitusel (Larinovi lülitus) on tunduvad eelised, võrreldes ühefaasiliste lülitustega. Siiski, kasutades seda lülitust otseselt maandatud nullpunktiga ja väljatoodud nulljuhtmega 400/230 V generaatorite ergutuse kompaundeerimisel, on sellel skeemil ka mõned puudused.

Generaatorite koormus võib olla ebasümmeetriline ja sisaldada suure nulljärgnevusvoolu komponendi. See esineb eriti siis, kui teenindatakse väikest põllumajanduslikku rajooni või ettevõtet generaatoripingeliinide kaudu ilma pingettõstva alajaamata.

Kolmefaasiline kompaundeerimisseadis, mis on koostatud tavalises Larinovi sildlülituses, ei lase oma sümmeetrilise ehituse tõttu nulljärgnevusvoolusid läbi. See põhjustab ühelt poolt ühefaasilistel või kahefaasilistel generaatoripinge ahela lühistel ebaküllaldast ergutuse forsseerimist ja teiselt poolt võib see asjaolu olla seadise kesta suhtes pinge tõusmise tõttu kompaundeerimisseadise riknemise põhjuseks.

R. M. Slavin (ВИЭСХ) soovitas sellistel väga laialt levinud juhtudel kasutada alaldaja kolmefaasilist sildlülitust, mis on toodud joonisel 142. Tavalisse Larinovi lülitusse pannakse lisaharu,



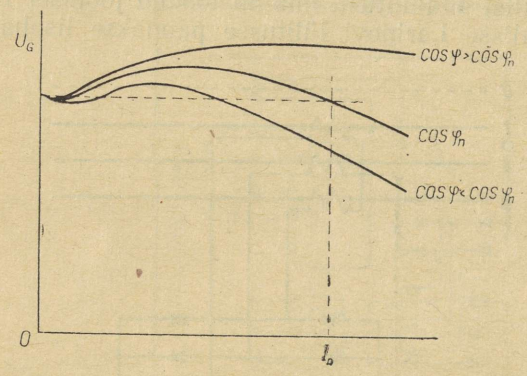
Joon. 142. Kompaundeerimisseadis alaldajaga, mis on koostatud kolmefaasilises sildlülituses ebasümmeetrilise modifikatsioonina.

mis kõrvaldab sümmeetrilise lülituse puuduse, parandab kompaundeerimisseadise tööd ja väldib kompaundeerimisseadise riknemise ühefaasiliste maaühenduste korral generaatoripinge ahelas maandatud nulljuhtmega neljajuhtmelises süsteemis.

R. M. Slavini poolt soovitatud lülitust tuleb kasutada kolmefaasilistes kompaundeerimisseadistes kolme ühefaasilise voolutrafoga.

ERGUTUSE KOMPAUNDEERIMINE PINGEKORREKTORITEGA

Nagu ülal märgitud, parandavad kompaundeerimisseadised elektrijaamade tööd nii normaalse töö tingimustes kui ka üleminekurežiimidel, kuid pingeregulaatoriteks, selle sõna otseses mõttes, nad ei ole. Seda sellepärast, et ergutaja ergutusmähisesse sisenev kompaundeerimisvool on võrdeline staatori koguvoolule, mitte aga selle voolu reaktiivkomponendile. Seetõttu annab kompaundeerimisseadis ühe ja sama koguvoolu korral, kuid erinevate $\cos\varphi$ väärtuste puhul, ühesugust lisatoidet ergutaja ergutusahelasse, kuna aga väiksema $\cos\varphi$ korral tuleks generaatori klemmidel ettenähtud pinge hoidmiseks tugevdada kompaundeerimissüsteemi toimet. Joonisel 143 on toodud kompaundeeritud generaatori tüüpilised väliskarakteristikud generaatori mitmesuguste võimsustegurite juures. Keskmine kõver näitab pinge muutumist sõltuvalt generaatori koguvoolust nimivõimsusteguri puhul.



Joon. 143. Kompaundeeritud sünkroongeneraatorite väliskarakteristikud koormuste mitmesuguse $\cos\varphi$ korral.

Kompaundeerimisseadise säte, mida reguleeritakse sättereostaadiga või universaalse kompaundeerimisseadise magnetsüdamiku liikuva vahetüki asendi muutmisega, võimaldab generaatori tühijooksul ja nimikoormusel hoida generaatori klemmidel nimipinge.

Vahepealsetel koormustel on pinge tavaliselt pisut kõrgem nimipingest (3—4%) ja väikestel koormustel (kuni 5% nimikoormusest) on pinge 0,5—1% madalam nimipingest. Ülemine kõver näitab pinge muutust sõltuvalt koormusest, kui $\cos\varphi > \cos\varphi_n$, alumine kõver — kui $\cos\varphi < \cos\varphi_n$.

Ülemise ja alumise kõvera kujud on tüüpilised kompaundeerimise muutmatu sätte korral. Kui muuta sätet vastavalt eeldatavale $\cos\varphi$-le, siis saadakse igasuguse $\cos\varphi$ korral väliskarakteristik, mis on sarnane toodud karakteristikuga $\cos\varphi = \cos\varphi_n$ korral.

Lülituse nimetatud puuduste kõrvaldamiseks ja kompaundeerimissätte muutmise vajaduse vältimiseks kasutatakse spetsiaalseid lisaseadiseid, mida nimetatakse pingekorrektoriteks. Korrektoritega kompaundeerimisseadis vastab kõigile nõuetele, mis esitatakse ergutuse automaatsetele reguleerimisseadistele. Korrektorite süsteemide hulgast on kõige täiuslikum ja seejuures ka kõige lihtsama ehitusega Ukraina NSV Teaduste Akadeemia Elektrotehnika Instituudi poolt väljatöötatud elektromagnetiline pingekorrektor.

Uurimuste alusel, mis on teostatud nimetatud instituudis, Elektrijaamade Ministeeriumi Tehnilises Juhatuses ja NSV Liidu elektrotehnika tööstustes, soovitatakse ergutuse automaatse reguleerimise põhisüsteemina kasutada kompaundeerimisseadist koos elektromagnetilise korrektoriga, millele on viidatud samuti «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjades».

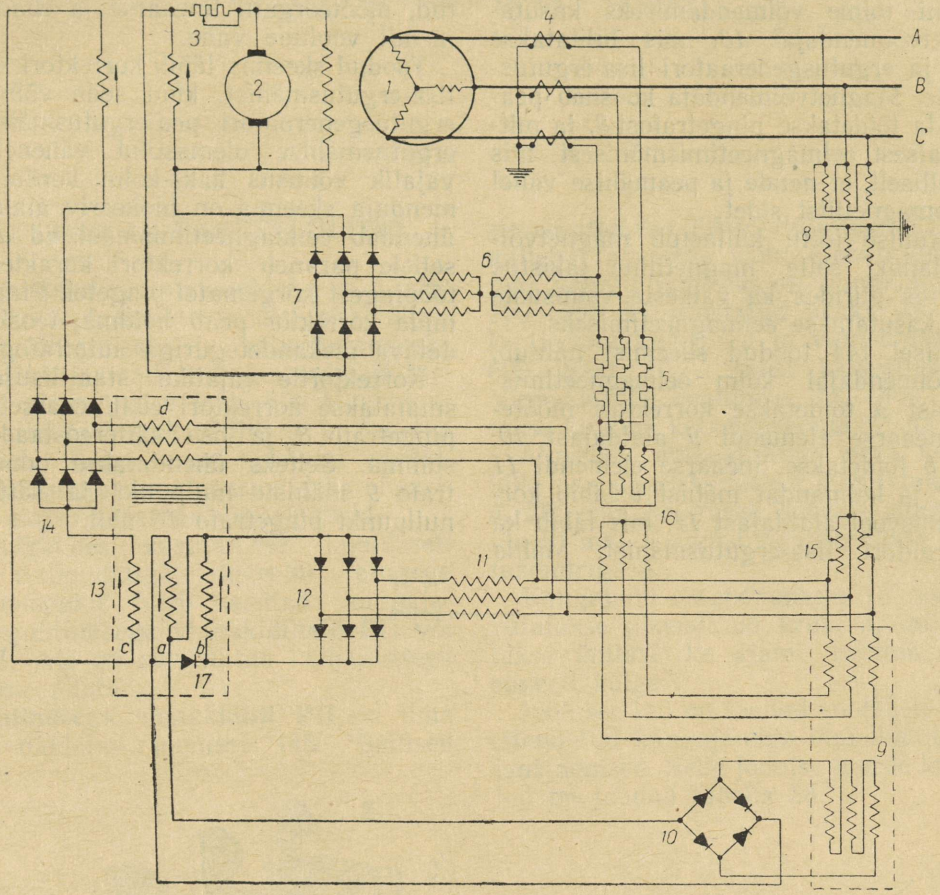
Elektromagnetilise korrektoriga kompaundeerimisseadise põhilised eelised seisavad järgmises. Ergutuse vajalik forsseerimine saadakse generaatori mistahes ülekoormusel ja pinge langemisel; generaatori pinge hoitakse antud staatilisusega, mis on eriti tähtis paralleeltöö puhul reaktiivkoormuste jaotamisel; kompaundeerimisseadis koos korrektoriga ei oma ebatundlikkuse tsooni; kogu seadises puuduvad liikuvad osad, kontaktid ja keerukad aparaadid (raadiolampidega jm.) ja ta ei vaja välist toiteallikat.

Generaatori *1* kompaundeerimisseadise skeem koos ergutaja *2* ja Ukraina NSV Teaduste Akadeemia Elektrotehnika Instituudi poolt väljatöötatud korrektoriga on toodud joonisel 144. Kompaundeerimisseadise tavalisteks elementideks on kolm tähte ühendatud voolutrafot *4*, vahetrafo *6*, kolmefaasilises sildlülituses seleenalaldaja *7* ja sättereostaat *5*. Alaldajast siseneb toitevool ergutaja ergutusmähisesse. Ergutaja ergutusmähise toiteahela reostaat *3* on seatud

muutmatusse asendisse, mis vastab normaalsele kompaundeerimisrežiimile.

Voolutrafodena kasutatakse selles skeemis tavalisi mõõteriistade jaoks ettenähtud voolutrafosid. Nende võimsus on küllaldane selleks, et tagada ergutaja ergutusreostaadi muutumatu vooluahelasse üles seatud pingetrafost *8*. Paispoolist *11* siseneb vool kolmefaasilises sildlülituses olevasse alaldajasse *12*.

Korrektori mõõteorgani ebalineaarseks elemendiks on viiesambaline küllastuv kolmefaasiline pingetrafo *9* või kolm ühefaasilist pinge-



Joon. 144. Elektromagnetilise korrektoriga kompaundeerimise skeem.

asendi korral generaatori ergutuse suurendamist koormuse muutumisel tühijooksult kuni nimikoormuseni. Nende voolutrafode hulka kuuluvad mitmesugust tüüpi kõrgepinge-voolutrafod seeriast ТПФ jm.

Kompaundeerimisseadis on täiendatud elektromagnetilise korrektoriga, mis tagab pinge hoidmise $\cos\varphi$ muutumisel, kuid samuti vajaliku ergutuse forsseerimise väikestel püsivatel pinge vähenemistel. Korrektori põhiosaks on mõõteorgan, mis koosneb lineaarsest ja ebalineaarsest elemendist.

Lineaarseks elemendiks on küllastumata õhupiluga paispool *11*, mida toidetakse generaatori trafot, mis on täht-kolmnurk-lülituses. Pingetrafo *9* sekundaarmähisega on ühendatud ühefaasilises sildlülituses olev seleenalaldaja *10*.

Pingetrafo *9* kolmnurka ühendatud kolme faasi pingete summa on võrdne nulliga seni, kuni trafo südamik ei ole küllastunud. Pärast trafo südamiku küllastumist temale rakendatud pinge kõrgenemise tõttu tekivad tema kolmnurka ühendatud sekundaarmähistes kolmanda harmoonilise ja kuuenda, üheksanda jne. harmooniliste voolud. Need voolud suurenevad järsult trafole rakendatava pinge kasvamisel, mistõttu ebalineaarse elemendi tundlikkus on üsna suur.

Pinge reguleerimiseks kasutatakse elektromagnetilises korrektoris mõõteorgani lineaarse ja ebalineaarse elemendi voolude vahet. Kuid mõõteorgani võimsus pole siiski piisav ergutusgeneraatori ergutusele otseselt mõjumiseks ja koos sellega kompaundeerimisseadise põhitoime vajalikuks korrigeerimiseks.

Mõõteorgani toime võimendamiseks kasutatakse magnetvõimendajat *13,* mis lülitatakse mõõteorgani ja ergutusgeneraatori lisa-ergutusmähise vahele. Magnetvõimendaja koosneb peamähisest, mida toidetakse pingetrafost *8,* ja mitmest spetsiaalsest eelmagneetimismähisest, mis paiknevad selliselt, et nende ja peamähise vahel ei ole elektromagnetilist sidet.

Eelmagneetimise tõttu küllastub magnetvõimendaja südamik; selle magnetiline takistus muutub suurtes piirides ka väikeste võimsuste korral, mida kasutatakse eelmagneetimiseks.

Nagu joonisel 144 toodud skeemist nähtub, on magnetvõimendajal kolm eelmagneetimismähist. Mähist *a* toidetakse korrektori mõõteorgani ebalineaarse elemendi *9* alaldajast *10,* teist mähist *b* toidetakse lineaarse elemendi *11* alaldajast *12* ja kolmandat mähist *c* läbib korrektori väljumisvool alaldajast *14,* mis läbib ka ergutusgeneraatori lisa-ergutusmähist. Mähis *c* on tagasisidemähiseks ja selle ülesanne on täiendavalt võimendada korrektori toimet, sest see magneedib täiendavalt südamikku. Mähised *a* ja *b* on lülitatud selliselt, et nende amperkeerud mõjuvad teineteisele vastassuunaliselt. Järelikult on magnetvõimendaja südamiku eelmagneetimisel määravaks, nagu eelpool nimetatud, mõõteorgani lineaarse ja ebalineaarse elemendi voolude vahe.

Toodud skeemis läbib korrektori vool ergutaja lisa-ergutusmähist, kuid seda võib suunata ka ergutusgeneraatori pea-ergutusmähisesse. Lisa-ergutusmähise olemasolul väheneb korrektori vajalik võimsus kaks-kolm korda. Magnetvõimendaja skeemis on blokeeriv alaldaja 17, mis ühendab eelmagneetimismähiseid *a* ja *b;* tänu sellele paraneb korrektori karakteristiku kuju tööpingest kõrgematel pingetel. Pinge muutmist, mida korrektor peab hoidma, teostatakse muudetava ülekandeteguriga autotrafoga *15.*

Korrektorile vajaliku staatilisuse andmiseks suunatakse korrektori ebalineaarsele elemendile pingetrafo *8* ja osa sättereostaadi *5* pingete summa. Selleks ühendatakse omavahel pingetrafo *9* mähiste nullpunkt ja sättereostaadi *5* nullpunkt pingetrafo *16* abil.

KAHEKSAS PEATÜKK

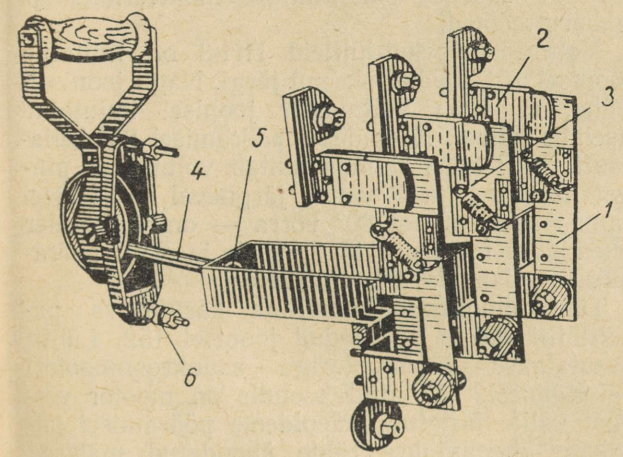
LÜLITUSAPARATUUR

VINNAKLÜLITID JA PAKETTLÜLITID

Kommuteerivateks operatsioonideks, s. t. alalis- ja vahelduvvooluahelate käsitsi sisselülitamiseks, ümberlülitamiseks ja väljalülitamiseks kasutatakse elektrijaamades, alajaamades ja tarbijaseadmetes pinge puhul kuni 500 V vinnaklüliteid, ümberlüliteid, pakettlüliteid ja tavalisi montaažlüliteid. Kõige enam levinud madalpingelisteks kommutatsiooniaparaatideks elektrijaamades ja alajaamades on vinnaklülitid.

Maaelektrivõrkudes kasutatakse laialdaselt maandatud nullpunktiga süsteemi pingega 380/220 V, mispuhul tuleb kasutada kangajamiga distantsjuhtimisega vinnaklüliteid PП või vinnaklüliteid, mis on varustatud kaitsekattega ilma käepideme piluta.

Distantsjuhtimisega vinnaklüliti PП on ilma alusplaadita näidatud joonisel 145. Sellised



Joon. 145. Vinnaklüliti distantskäsiajamiga.

vinnaklülitid võivad olla varustatud ka isoleerainest alusplaatidega, milledele kinnitatakse kontaktide alused. Vinnaklüliti noad *1* liiguvad sisselülitamisel liikumatute kontaktide *2* vahele, millega tagatakse väike üleminekutakistus. Kiireks väljalülitamiseks on vinnaklülitid vooludele 200—400 A varustatud lisaks veel vasest katkestuskontaktidega *3* ja vinnaklülitid vooludele 600—1000 A — söest katkestuskontaktidega. Vinnaklülitid vooludele 200—400 A valmistatakse ka ilma katkestuskontaktideta.

Alusplaat vinnaklülitiga peab asuma jaotuskilbi esipaneelist, millele kinnitatakse kangajam *5*, 250 mm kaugusel, kõrvalekaldumisega mitte üle 10 mm. Kaugust reguleeritakse varda pingutusmutriga *5*.

Kangajami maandamiseks või nullimiseks kasutatakse pikendatud kruvi *6*, millega kinnitatakse ühtlasi ka ajami valatud laager kilbi paneeli külge.

Joonisel 146 on toodud vooludele 200 ja 400 A ettenähtud kangajamiga vinnaklüliti PП-3 montaažjoonised. Selle joonise juurde kuuluvad mõõted on toodud tabelis 58.

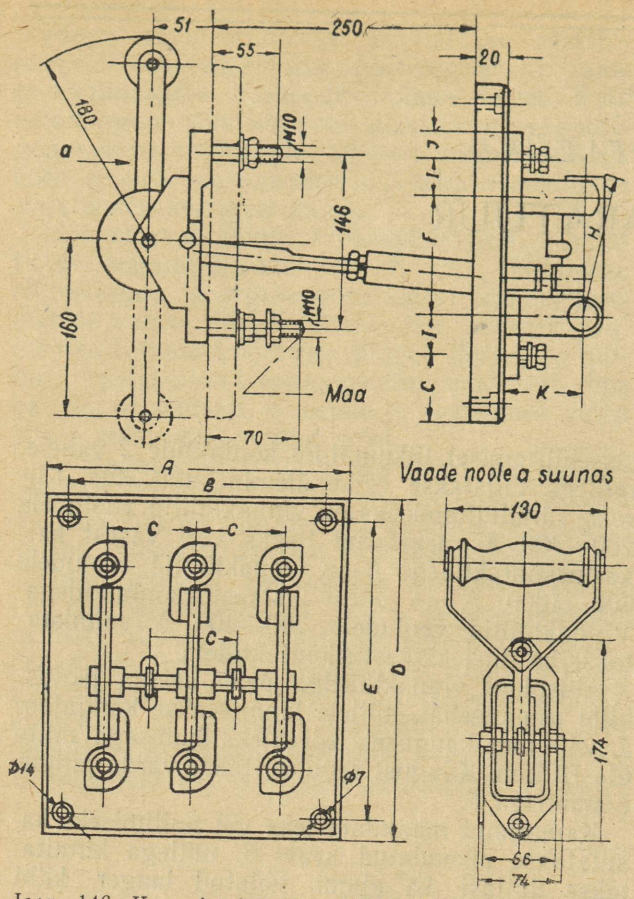
Tabel 58

Vinnaklüliti PП-3 mõõted
(joon. 146 juurde)

Nimivool A	Mõõted mm										
	A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	*H*	*I*	*J*	*K*
200	250	210	70	250	210	118	41	128	25	10	42
400	280	240	80	280	240	135	35	150	38	17	57

Valmistatakse ka distantsjuhtimisega kangajamiga vinnak-ümberlüliteid, mis sarnanevad tüübilt distantsjuhtimisega vinnaklülititele.

Kaitsekattega vinnaklüliti, mis on laialdaselt kasutusel alajaamades ja maaelektrijaamade kilpidel, on toodud joonisel 147. Vinnaklüliti noad *1* on kruvide *2* ja fiibrist vaheliistu abil kinnitatud sisemise sanga *3* külge, mis pöördub



Joon. 146. Kangajamiga vinnaklüliti PП (200 ja 400 A) monteerimismõõted.

koos välise sangaga *4* ja võlliga *5*. Mõlemad sangad kinnituvad võlli *5* nelinurkseks freesitud otstele. Välise ja sisemise sanga vahel asetseb terasplekist kate *6*, mis on seestpoolt kaetud asbestkartongist kattega *7*. Puidust käepide *8* kinnitatakse sanga *4* külge tikkpoldi *9* ja mutri abil. Joonisel 147 toodud kaitsekattega vinnaklüliti on arvestatud nimivoolule kuni 100 A.

Maaelektrijaamade jaotuskilpidel kasutatakse laialdaselt madalpingeliinide ja väikese võimsusega generaatorite juhtimiseks pakettlüliteid.

Neid aparaate kasutatakse täht-kolmnurk-ümberlülititena lühisrootoriga asünkroonmootorite käivitamisel ja tavaliste ümberlülititena mitmesugustes elektriseadmete automaatse juhtimise skeemides. Joonisel 148 on näidatud pakettlüliti või -ümberlüliti.

Pakettlüliteid ПК toodetakse ühe-, kahe- ja kolmepooluseliste aparaatidena. Joonisel 149 on toodud kolmefaasilise pakettlüliti ühendusskeem. Lüliti koosneb üksikutest pakettidest, mistõttu seda nimetataksegi pakettlülitiks. Iga pakett moodustab lüliti ühe pooluse ehk ühe vooluahela. Üksikute pooluste paketid, nagu see nähtub skeemist, erinevad ainult isoleerketta uuretesse paigutatud liikumatute kontaktide poolest.

Pakettlülititel on libisevad kontaktid; liikuvad ja liikumatud kontaktid puutuvad kokku oma tasapindadega, kusjuures vajalik surve pinnale saadakse vedrutaoliste liikuvate kontaktidega. Pakettlülitite omapäraks on see, et nad on varustatud hetkelise ümberlülitamise mehhanismiga, mistõttu sisselülitamise, väljalülitamise või ümberlülitamise operatsiooni kiirus ei sõltu käepideme pööramise kiirusest.

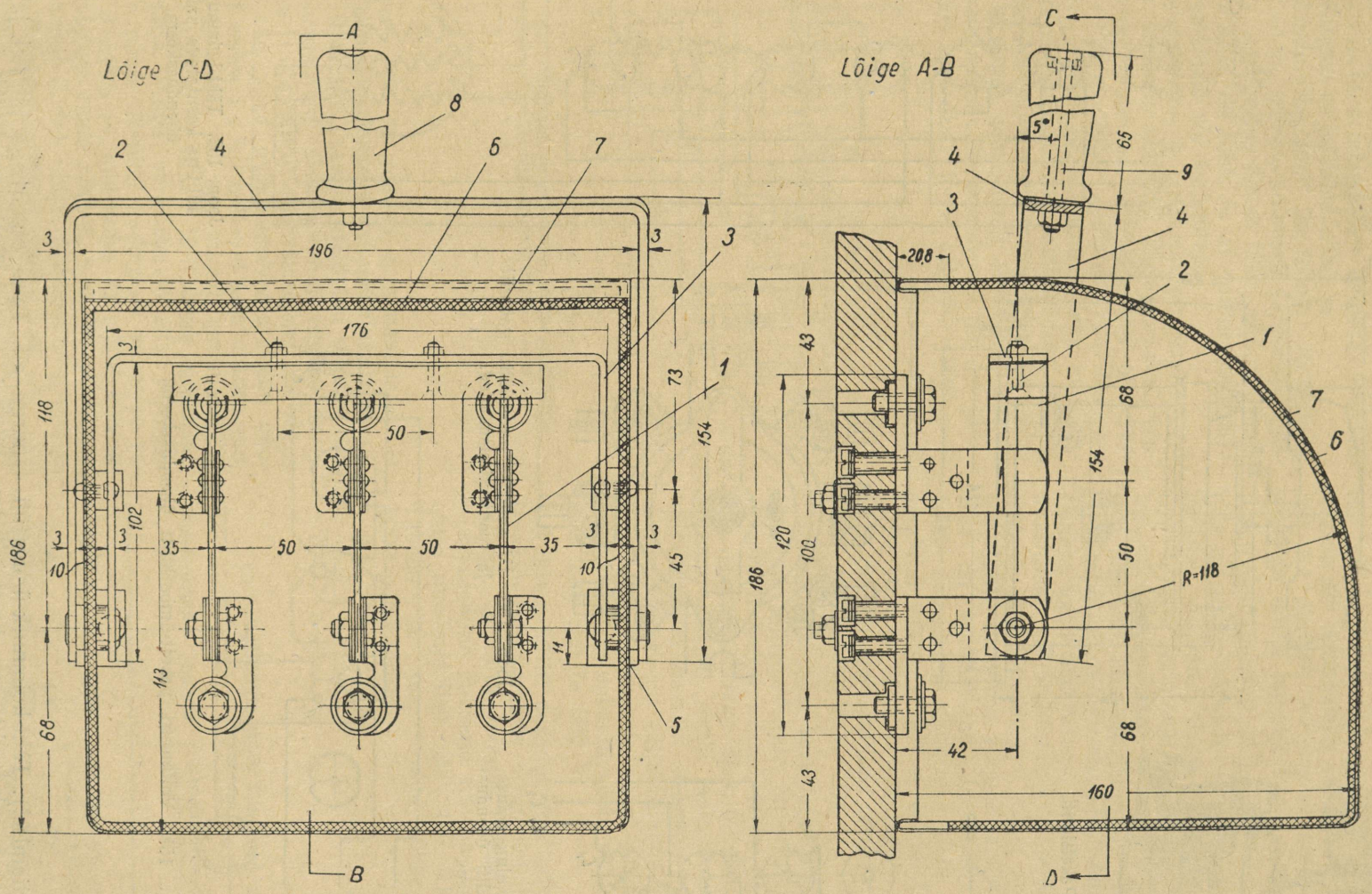
Pakettlülitid võimaldavad oma suhteliselt väikeste gabariitide juures katkestada suuri voole, sest kaarleek kustutatakse suletud kambris fiibrist sädemekustutamisketta abil. Peale selle kustutatakse kaarleek igal poolusel kahes kohas, kusjuures kontaktide lahutamise kiirus on väga suur.

Vastavalt nimivooludele toodetakse pakettlüliteid ja -ümberlüliteid neljas suuruses: I — voolule kuni 10 A, II — kuni 25 A, III — kuni 60 A ja IV — kuni 100 A. Need nimivoolud on lubatavad lülitite ПК töötamisel seadmetes pingega kuni 250 V. Mis puutub elektriseadmetesse pingega 380 V, siis tuleb pakettlülitite lubatavaid voole vähendada 60%-ni nimivoolust 250 V pinge juures. Näiteks IV suuruse kolmepooluselised pakettlülitid ПК-100 on arvestatud seadmetes pingega kuni 250 V voolule kuni 100 A; pinge puhul 380 V on maksimaalne lubatav vool ainult kuni 60 A. Joonisel 150 on toodud IV suuruse pakettlülitite monteerimis- ja gabariitmõõted.

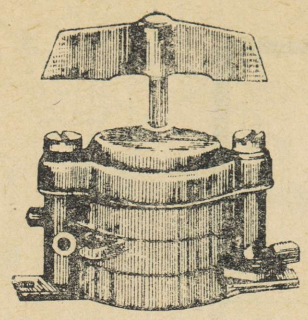
Voltmeetri pakettlüliteid ПП-3 on lülitatud joonisel 151 toodud skeemi järgi. Nagu jooniselt näha, ei anna voltmeeter joonisel kujutatud asendis hälvet. Käepideme pööramisel 90° kellaosuti pöörlemise suunas näitab voltmeeter pinget faaside *2* ja *3* vahel, järgneval pööramisel samas suunas veel 90° võrra — on voltmeeter ühendatud faaside *1* ja *3* vahele ja edasi pööramisel — faaside *1* ja *2* vahele.

Täht-kolmnurk-ümberlülitina kasutatava pakettlüliti skeem on toodud joonisel 152. Lülitit kasutatakse lühisrootoriga asünkroonmootori käivitamisel. Näidatud asendis on mootor võrgust välja lülitatud; käepideme pööramisel vasakule ühendatakse tähte ühendatud mähised võrguga ja edasisel käepideme pööramisel samas suunas ühendatakse mootori mähised kolmnurka.

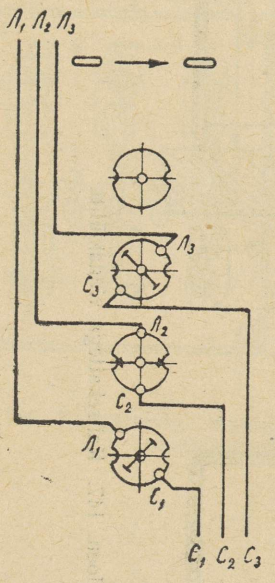
Toodud ümberlüliti konstruktsiooni juures on, erinevalt teistest konstruktsioonidest, käepideme pööramine vastassuunas võimatu (ebaõige lülitamise vältimiseks lühisrootoriga asünkroon-



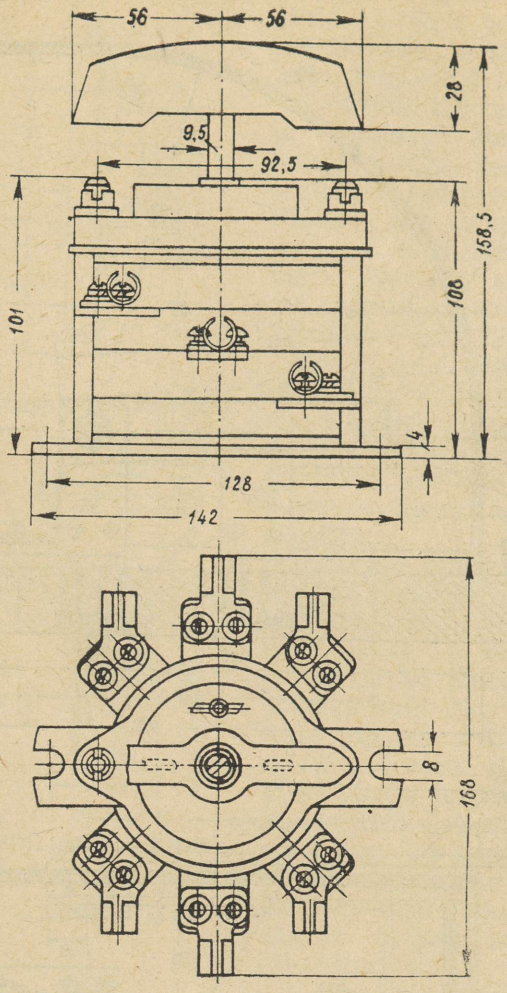
Joon. 147. Kaitsekattega vinnaklüliti.



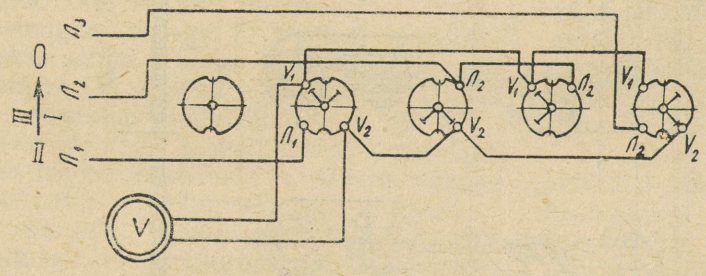
Joon. 148. Pakettlüliti.



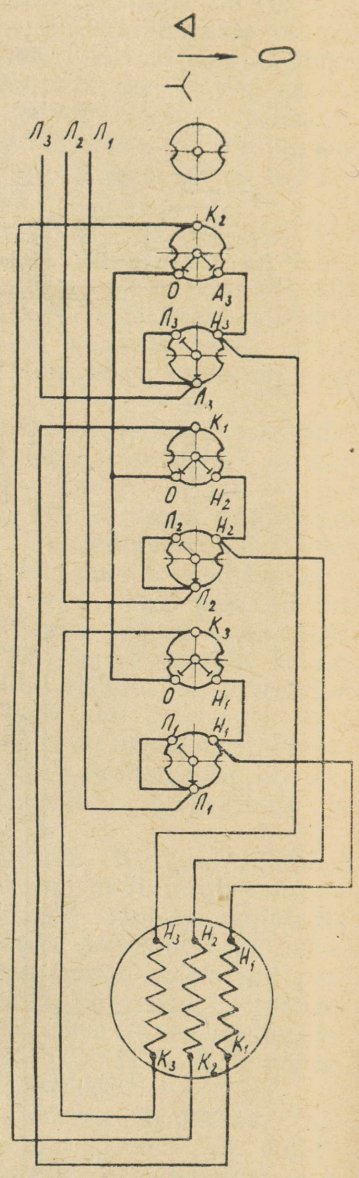
Joon. 149. Kolmepooluselise pakettlüliti ühendusskeem.



Joon. 150. IV suuruse pakettlüliti gabariit- ja monteerimismõõted.



Joon. 151. Voltmeetri pakett-ümberlüliti ühendusskeem.



Joon. 152. Täht-kolmnurk-ümberlülitina kasutatava pakettlüliti ühendusskeem.

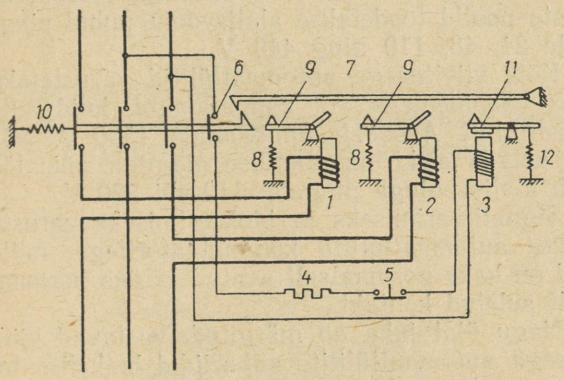
mootori käivitamisel). Täht-kolmnurk-ümberlülitina kasutataval pakettlülitil on kaanel kolm fikseerivat astet, mis asetsevad omavahel 120° nurga all. Teise otstarbega lülititel ja ümberlülititel on tavaliselt neli astet, mis asetsevad vastavalt iga 90° järel.

MADALPINGE-ÕHKAUTOMAATLÜLITID

Õhkautomaatlülitid on ette nähtud kuni 500 V alalis- ja vahelduvvooluahelate automaatseks või käsitsi distants-väljalülitamiseks.

Automaatlülitite poolt kaitstava vooluahela väljalülitamine toimub tavaliselt järgmistel juhtudel: 1) liigkoormus ületab lüliti sätteväärtuse; 2) välisvõrgus on lühis ja 3) esineb lubamatu pinge langemine või kadumine.

Maksimaalvoolu- ja minimaalpingekaitse organiteks on automaatlüliti sisse ehitatud vastavad releed. Minimaalpingerelee võib olla ühtlasi ka automaatlüliti distants-väljalülitajaks. Pingepooli ahelas peab olema selleks juhtimisnupp normaalselt suletud kontaktidega. Väljalülitamisele toimivat minimaalpingereleed võib samuti kasutada tema poolt kaitstava seadme automaatseks väljalülitamiseks väljaspool automaatlülitit asetsevate teiste releede toimel.



Joon. 153. Minimaalpingereleega kolmepooluselise maksimaalvoolu-õhkautomaatlüliti skeem.

Joonisel 153 on toodud minimaalpinge- ja maksimaalvoolureleedega kolmepooluselise automaatlüliti skeem. Skeemis näidatud asendis hoidub automaatlüliti sisselülitatud asendis kangi 7 riiviga. Lubamatutel liigkoormustel või võrgu lühisel tõmbavad maksimaalvoolureleede poolid *1—2* vedru *8* poolt hoitavat ankrut koos kangiga *9*, mis oma löögiga tõukab automaatlüliti riivi, ja vedru *10* mõjul lülitatakse automaatlüliti välja. Pinge vähenemisel alla lubatava piiri või pinge täielikul kadumisel vabastab releepool *3* ankru *11*, mis vedru *12* mõjul tõmmatakse löögiga vastu riivi *7*, mistõttu automaatlüliti samuti lülitub välja. Minimaalpinge-releepool lülitatakse kaitstava vooluahela liini- või faasipingele lisatakistuse *4* ja blokeerivate kontaktide (kommutaatori) *6* kaudu.

Samas vooluahelas on normaalselt suletud kontaktidega surunupp *5*, millele vajutades katkeb releepooli *3* vooluahel ja automaatlüliti lülitub välja. Sama releepooli *3* toiteahelat võib juhtida üle normaalselt suletud relee kontaktide, mis ise asetseb väljaspool automaatlülitit, et teostada mingi impulsi toimel lisakaitset.

Pingega 380/220 V ja maandatud nullpunktiga maaelektrivõrkudes kasutatavatel automaatlülititel peavad olema maksimaalvoolureleed igas faasis. Automaatlüliti sisse- või väljalülitamiseks kasutatakse käepidet või kangajamit neil juhtudel, kui automaatlüliti on üles seatud kilbi taha. Sisselülitamise käsimehhanism varustatakse vaba aheldusega. Seetõttu jääb käepide avariilisel väljalülitamisel sisselülitatud asendisse ja sisselülitamist ei toimu seni, kuni automaatlüliti avariilist väljalülitamist põhjustanud rike on kõrvaldatud. Jaotuskilbi esipaneelile tuleb monteerida kontroll-lambid, mis signaliseerivad automaatlüliti asendeid. Lambid lülitatakse sisse ja välja kommutaatori abikontaktide abil, mis on mehaaniliselt ühendatud automaatlüliti peakontaktide võlliga.

Kommutaator on varustatud kolme kontaktide grupiga, milledest kaks on väljalülitatud automaatlüliti korral avatud (relee ja lambi jaoks, mis signaliseerivad sisselülitatud asendit) ja kolmas suletud (lambi jaoks, mis signaliseerib väljalülitatud asendit). A-seeria automaatlülitite minimaalpinge- ja väljalülitamis-releepoolid valmistatakse alalisvoolu puhul pingetele 110, 220 ja 440 V ning vahelduvvoolu puhul — pingetele 127, 220, 380 ja 500 V.

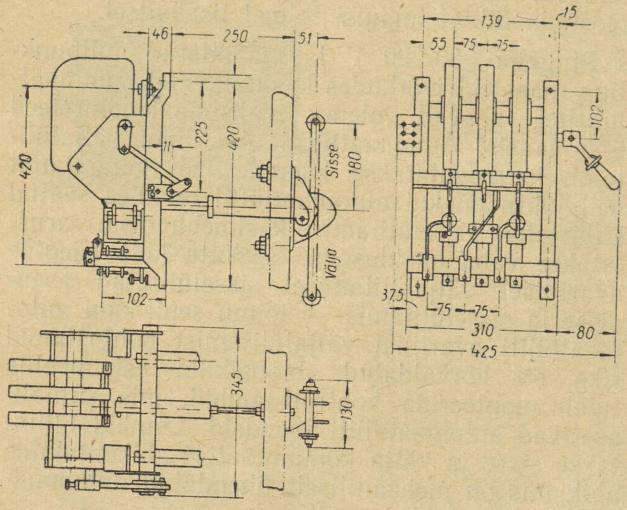
Automaatlüliti peakontaktid katkestavad kaarleegi-kustutuskambris voolu deioniseerivate võredega, mistõttu toimub intensiivne kaarleegi summutamine. A-seeria automaatlüliteid lastakse välja nimivooludele 200, 400, 600 ja 1500 A. Tabelis 59 on toodud õhkautomaatlülititе A200 põhiandmed.

Tabel 59

Automaatlülitite A200 tehnilised põhiandmed

Automaatlüliti tüüp	Nimivool A	Maksimaalvoolureleede poolide nimivoolud A	Maksimaalvoolu sätteplirid A
A200-1	200	25—35—50—70—100—140—200	25— 400
A2020	400	400	400— 800
A2030	600	600	600—1200
A2050A	1500	800—1000—1500	800—3000

Automaatlülitid lastakse välja kolme kalibreeritud rakendusvoolu punktiga, mis on kantud sättesuuruste skaalale. Maksimaalse rakendusvoolu sättesuurust võib reguleerida piirides nimivoolust kuni vooluni, mis ületab kahekordse



Joon. 154. Automaatne kolmepooluseline lüliti A200-1 voolule 200 A.

nimivoolu. Joonisel 154 on toodud kahe juhtimismoodusega (käepideme abil ja kangajami abil) kolmepooluselise automaatlüliti A200-1 joonis.

VIIVITUSEGA AUTOMAATLÜLITID

Ülaltoodud automaatlülitid on hetkelise toimega aparaadid (lühistel ja lubamatutel liigkoormustel esineva maksimaalvoolukaitse toime tõttu).

Elektrotehnilise tööstuse tehased lasevad välja viivitusega automaatlüliteid alalis- ja vahelduvvoolule [54]. Viivitusega automaatlülititel on samad gabariidid, mis automaatlülititel A200, kuid nomenklatuurse tähistuse lõpul on neil täht Б või Н. Automaatlülitid tüüp А2030Б, voolule 800 А, ja tüüp А2050, voolule 1500 А, on selektiivse toimega aparaadid, s. t. nad lülitavad välja kaitstava vooluahela viivitusega nii lühistel kui ka liigkoormustel. Lühise puhul on viivitusorganiks väljalülitamisseadise aeglustaja — viivitusega 0,25 kuni 0,6 sekundit, kuid liigkoormuste puhuks on automaatlüliti viivitusorgan varustatud kahe või kolme kellamehhanismiga väljalülitamisseadise aeglustajaga, mis võimaldab viivitust kuni 10 sekundit.

Selektiivse toimega automaatlülitid ei rakendu sel juhul, kui liigkoormus- või lühisvoolud põhjustasid samas järjestuses vooluahelas teise automaatlüliti väljalülitamise, mis asetseb lähemal rikkekohale, kui see automaatlüliti (või mõni muu kaitseseadis) on seatud palju kiiremale rakendumisele. Automaatlülitid А2030Н (nimivool 800 А) ja А4050Н (nimivool 1500 А) lülituvad välja viivitusega ainult liigkoormustel. Nad on varustatud samasuguse väljalülitamisseadise aeglustajatega kui automaatlülitid А4030Б ja А2050Б.

Lühise korral teostavad aga automaatlülitid А4030Н ja А2050Н hetkelise toimega kaitset. Nii ühtesid kui teisi automaatlüliteid võib varustada minimaalpinge- või sõltumatute lisaväljalülitamisseadistega. Maksimaalvoolu-väljalülitamisseadiste poolid valmistatakse vooludele: 100, 140, 200, 300, 400, 550, 800 А (А2030Б ja А2030Н) ja 1500 А (А2050Б ja А2050Н). Minimaalpinge-väljalülitamisseadiste poolid on arvestatud alalisvoolu puhul pingetele 110, 220, 440 V ja vahelduvvoolu puhul pingetele 127, 220, 380, 500 V. Sõltumatute väljalülitamisseadiste poolid toodetakse alalisvoolu puhul pingetele 24, 48, 110 ning 440 V.

Kõik viivitusega automaatlülitid varustatakse kas käepidemega või kangajamiga, kuid automaatlülitit А2050Н, nimivoolule 1500 А, võib varustada elektromagnetilise ajamiga, mis töötab alalisvooluga pingetel 110 või 220 V.

Signaliseerimiseks ja blokeerimiseks varustatakse automaatlülitid kommutaatoritega, millel on kaks normaalselt avatud ja üks normaalselt suletud kontakt.

Nagu ülal juba on märgitud, vastavad viivitusega automaatlülitite gabariidid hetkelise toimega automaatlülitite А200 gabariitidele.

Elektrotehnilise tööstuse tehased lasevad välja ka automaatlüliteid А-3124, nimivoolule 100 А. Need automaatlülitid on varustatud maksimaalvoolu-väljalülitamisseadisega, mis lühisel lülitab automaatlüliti välja hetkeliselt, ja soojuselemendiga, mis lülitab automaatlüliti liigkoormustel välja viivitusega.

Maksimaalvoolu-väljalülitamisseadis ja soojusreleed on paigutatud kolmepooluselise automaatlüliti igasse faasi. Automaatlüliti on ette nähtud töötamiseks maandatud nullpunktiga vahelduvvooluseadmetes pingega 380/220 V. Automaatlülititega А-3124 on varustatud jaama jaotuskilbid, mis lastakse välja maaelektriseadmete jaoks.

ELEKTROMAGNETILISED VAHELDUVVOOLUKONTAKTORID

Normaalselt avatud kontaktidega КТ-seeria vahelduvvoolukontaktorid on ette nähtud vahelduvvooluahelate sisse- ja väljalülitamiseks dis-

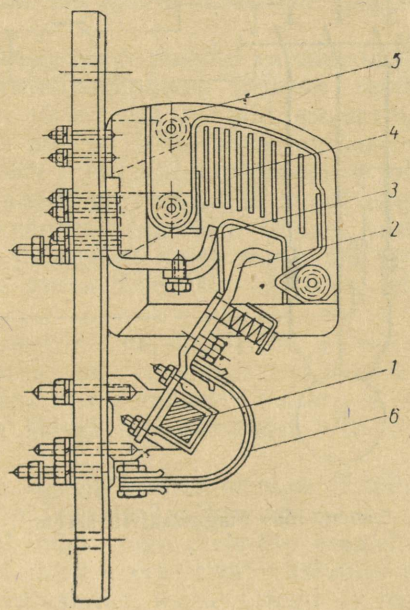
tantsjuhtimise teel ja on arvestatud nimivooludele 75 kuni 600 A ja nimipingetele kuni 500 V. Sõltuvalt kontaktorite nimivooludest liigitatakse neid järgmistesse seeriatesse (suurustesse): II — nimivooludele kuni 75 A, III — kuni 150 A, IV — kuni 300 A ja V — kuni 600 A. Tabelis 60 on toodud KT-seeria kontaktorite koormatavuse andmed.

Tabel 60

Vahelduvvoolukontaktorite lubatavad koormused ja piir-katkestusvool

Kontaktori suurus	Suurim lubatav koormus A			Piir-katkestusvool A
	Kestev režiim	Katkestustega kestev režiim	Vaheajaline režiim $t\,\% = 40\%$	
II	55	75	90	600
III	115	150	175	1100
IV	225	300	350	3000
V	450	600	700	6000

Joonisel 155 on toodud vahelduvvoolukontaktori KT kontaktide süsteem. Laagrites pöörduva võlli *1* isoleeritud osa külge on kinnitatud liikuvad kontaktid *2*, mis on ühendatud võrgu klemmidega painduva sideme *6* abil. Võlli isoleerimata osa külge on kinnitatud kontaktori elektromagneti ankur. Ankru pöördumisel surutakse liikuvad kontaktid liikumatute kontaktide *3* vastu. Nii ühed kui ka teised kontaktid valmistatakse vasest. Pinna põlemise vältimiseks nihutatakse neid lülitamisel kergelt üksteise suhtes. Kestva töörežiimi jaoks valmistatakse kontaktid hõbekattega. Kaarleegi kustutamine toimub spetsiaalsetes kaarleegile vastupidavast materjalist kambrites *5*. Neis kambrites asetsevad kaarleegi kustutamise võred *4*, mis koosnevad üksteisest isoleeritud vasetatud terasplaatidest. Kaarleek satub dünaamiliste jõudude mõjul võrele, laguneb reaks järjestikku lülitatud lühikesteks kaarteks, mis intensiivselt kustuvad. Iga faasi üksikud kambrid on liidetud üheks tervikuks, mis on tervikuna äravõetav või pealepandav.



Joon. 155. Vahelduvvoolukontaktori KT kontaktide süsteem.

Joonisel 156 on toodud kaarleegi kustutamise kambritega IV suuruse kontaktori põhimõõdetega montaažjoonis. Elektromagneti pooli *1* poolt arendatava jõu mõjul, mida läbib töö- või operatiivvooluahela vool, tõmbub ankur *2* vastu pooli südamikku ja pöörab endaga kaasa võlli *3* koos sellele kinnitatud liikuvate kontaktidega. Kaarleegi kustutamine väljalülitamisel toimub kaarleegi kustutamise kambrites *4*.

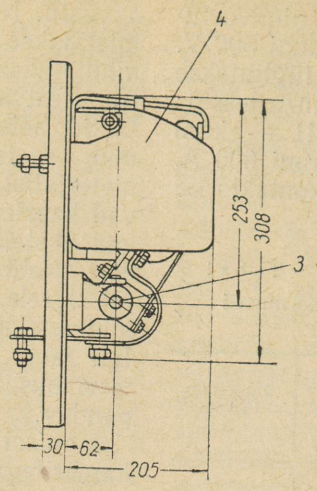
Sildavad abikontaktid (plokk-kontaktid) *5* asetsevad peakontaktidest vasakul pool — kui vaadata kontaktorile eest — ja rakenduvad praktiliselt üheaegselt peakontaktidega. Kaarleegi kustutamisega vahelduvvoolukontaktoreid võib kasutada lühisrootoriga asünkroonmootorite juhtimiseks tingimusel, et kontaktoritega järjestikku seatakse üles sulavkaitsmed või kasutatakse maksimaalvoolukaitset. Tabelis 61 on toodud 6—7-kordse käivitusvooluga lühisrootoritega asünkroonmootorite piirvõimsused, mida võib sisse ja välja lülitada kontaktorite KT abil.

Tabel 61

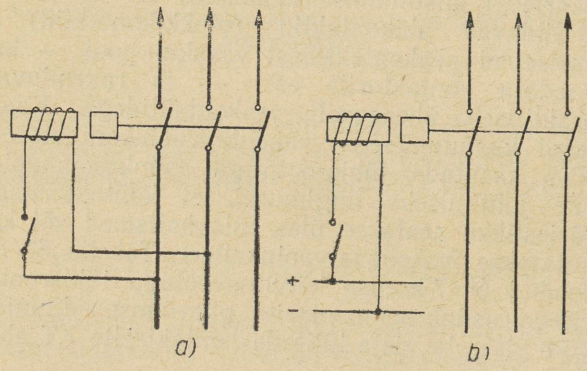
Lühisrootoritega asünkroonmootorite piirvõimsused, mida võib sisse ja välja lülitada kaarleegi kustutamisega kontaktoritega KT

Kontaktori suurus	Võimsus kW pingel V			
	127	220	380	500
II	10	20	30	30
III	20	40	65	75
IV	—	75	130	150
V	—	150	250	300

Tuleb arvestada, et ilma kaarleegi kustutamise seadiseta kontaktoreid võib tehase andmete järgi kasutada ainult tabelis 61 näidatud elektrimootorite sisselülitamiseks, kuid mitte nende väljalülitamiseks.

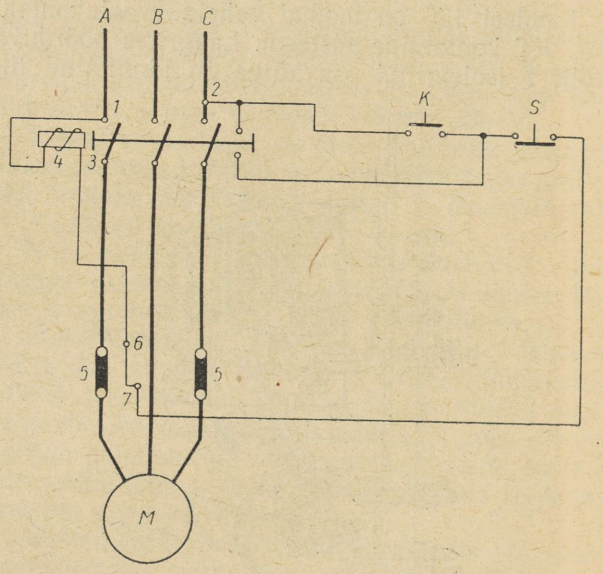


Joon. 156. IV suuruse vahelduvvoolukontaktor KT.



Joon. 157. Vahelduvvoolukontaktorite lülitusskeemid.

Joonisel 157 on toodud vahelduvvoolukontaktorite lülitusskeemid: a) hoidepooli toitmisel töövooluahelast ja b) hoidepooli toitmisel alalisvoolu-operatiivahelast.



Joon. 158. Magnetkäiviti skeem.

VAHELDUVVOOLU-MAGNETKÄIVITID

Magnetkäiviti on vahelduvvoolukontaktor, mis on varustatud liigkoormuste vastu soojuskaitsega. Ta on ette nähtud võrgupingele ühendatavate lühisrootoriga asünkroonmootorite distantsjuhtimiseks.

Joonisel 158 on toodud magnetkäiviti põhimõtteskeem. Surunupule *K* (käivitamine) vajutamisel sulgub käiviti elektromagneti pooli toitevooluahel järgmiselt: võrgu faas *C*, surunupp *K*, normaalselt suletud surunupu *S* (seiskamine) kontaktid, normaalselt suletud soojusrelee *7* kontaktid, elektromagneti pool *4*, võrgu faas *A*. Ankur *3* tõmbub vastu pooli südamikku *4*, pöörab endaga koos käiviti võlli ja suleb peakontaktid *1*. Mootor käivitub. Käivitusnupu lahtilaskmisel ei katke käiviti pooli toitevooluahel, sest surunupu *K* kontakt šunteeritakse peale sisselülitamist abikontaktide *2* poolt, mis on ühenduses käiviti võlliga.

Tabel 62

Mittereverseerivate magnetkäivitite tehnilised andmed

Tüüp	Vana tähis	Käivitatava mootori suurim võimsus 380 V puhul kW	Gabaritmõõted mm		
			kõrgus	laius	sügavus
П 222	ПМ-0	5	240	157	146
П-322	ПМ-1	15	370	280	200
П-422	ПМ-2	28	493	305	202
П-522	ПМ-3	55	630	400	260

Mootori seiskamiseks tuleb suruda nupule *S*; seejuures pooli *4* toiteahel katkeb ja liikuvad kontaktid eemalduvad oma raskuse mõjul liikumatutest kontaktidest. Liigkoormusel rakenduvad soojusreleed *5*, mis on ehitatud käiviti sisse, kontaktid *7* avanevad ja hoidepooli toiteahel katkestatakse.

Pinge kadumisel või pinge vähenemisel kuni 50—60%-ni nimipingest ei ole pool *4* võimeline hoidma käivitit sisselülitatud asendis ja peakontaktid avanevad. Pärast pinge taastumist toimub elektrimootori sisselülitamine ainult nupule *K* surumisega. Seega on magnetkäivitite korral mootorite iseenesest sisselülitumise võimalus kõrvaldatud. Releel *5* on bimetallelement *6*, mis koosneb kahest omavahel kokkuneeditud plaadist.

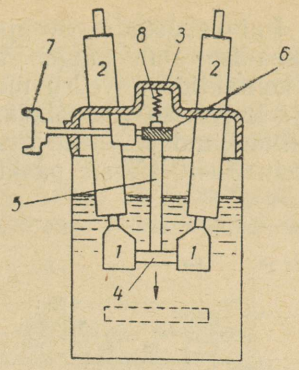
Bimetallelemendi plaadid valmistatakse erinevatest metallisulamitest. Erineva soojuspaisumisteguri tõttu need plaadid soojenemisel kõverduvad, avavad soojusrelee normaalselt suletud kontakti *7* ja katkestavad pooli *4* toiteahela. Magnetkäivitid on varustatud ainult soojusreleedega, mootorites esinevate lühiste vastu need ei kaitse ja seetõttu tuleb mootoreid toitvatesse liinidesse panna järjestikku käivitiga sulavkaitsmed.

Reverseerivad magnetkäivitid koosnevad kahest käivitist, mis on paigutatud ühisele alusele ja omavahel mehaaniliselt blokeeritud, et takistada ühe käiviti sisselülitamist teise töötamise ajal.

Tabelis 62 on toodud mõnede П-tüüpi magnetkäivitite tehnilised põhiandmed, mis lastakse välja ПМ-tüüpi magnetkäivitite asemel. Tabelis on antud mittereverseerivate käivitite andmed, mis on varustatud soojusreleega ja millel üks peakontakt on normaalselt avatud ning üks lisakontakt normaalselt avatud või normaalselt suletud.

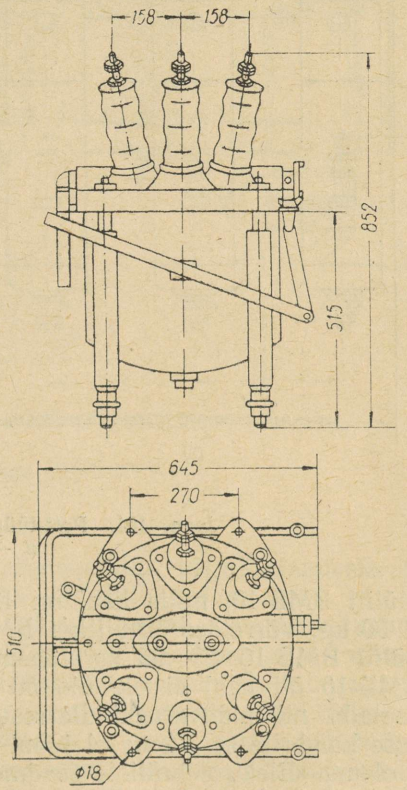
ÕLILÜLITID

Maaelektrijaamades ja -alajaamades kasutatakse suure õlihulgaga paaktüüpi ja väikese õlihulgaga pott-tüüpi õlilüliteid. Joonisel 159 on



Joon. 159. Ilma spetsiaalsete kaarleegi kustutamise seadisteta õlilüliti ehitus.

toodud spetsiaalse kaarleegi kustutamise seadiseta õlilüliti ühe faasi töötamise skeem; kaarleek tekib lüliti kontaktide avanemisel. Vool kulgeb läbi sisseviiguisolaatorite *2* (kaanel *3*), liikumatute kontaktide *1* ja traaversile *6* vardaga *5* kinnitatud liikuvate kontaktide *4*. Ajami *7* pöördumisel tõusevad omavahel ühendatud liikuvad kontaktid üles ja lähevad liikumatute kontaktide *1* vahele. Vedru *8* surutakse seejuures kokku ja hoitakse kokkusurutud asendis rii-

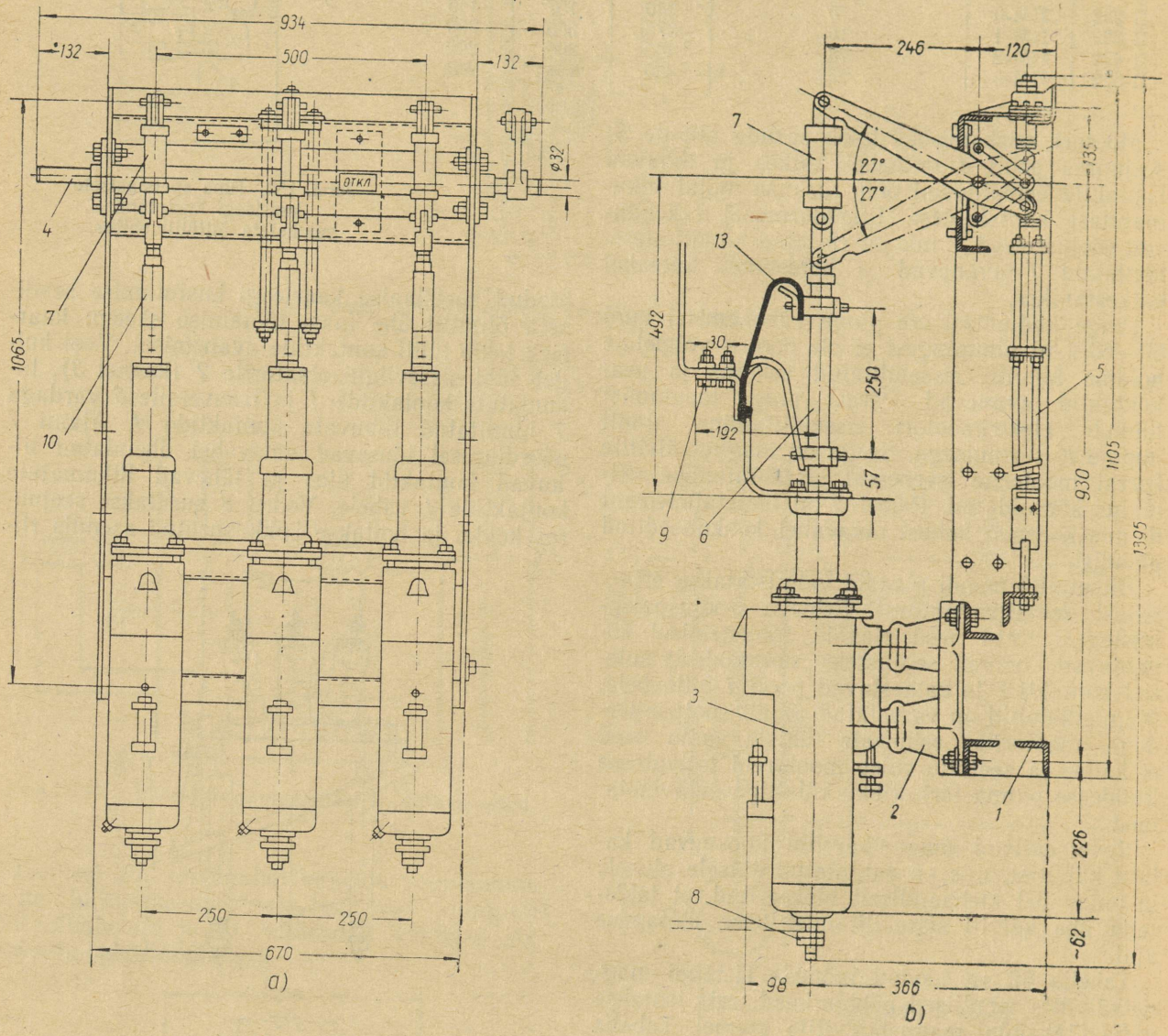


Joon. 160. Õlilüliti ВМБ-10.

viga. Kui vabastada riiv ajami või kaitse automaatseadise abil, langeb traavers koos liikuvate kontaktidega vedru mõjul suure kiirusega alla ja katkestab vooluahela.

Põllumajanduse elektrifitseerimisel on kõige olulisem 6—10 kV-ste paaktüüpi õlilülitite gru-

Joonisel 160 on toodud õlilüliti ВМБ-10. Võimsuslüliti andmed on järgmised: nimipinge 6—10 kV; nimivool 200, 400, 600 A; suurim väljalülitamisvoolu amplituud 25 kA; termilise vastupidavuse viiesekundiline vool 8,5—14 kA; lubatav katkestusvõimsus pingel 10 kV—



Joon. 161. Pott-tüüpi väikese õlihulgaga õlilüliti ВМГ-133:
a — esivaade; *b* — külgvaade.

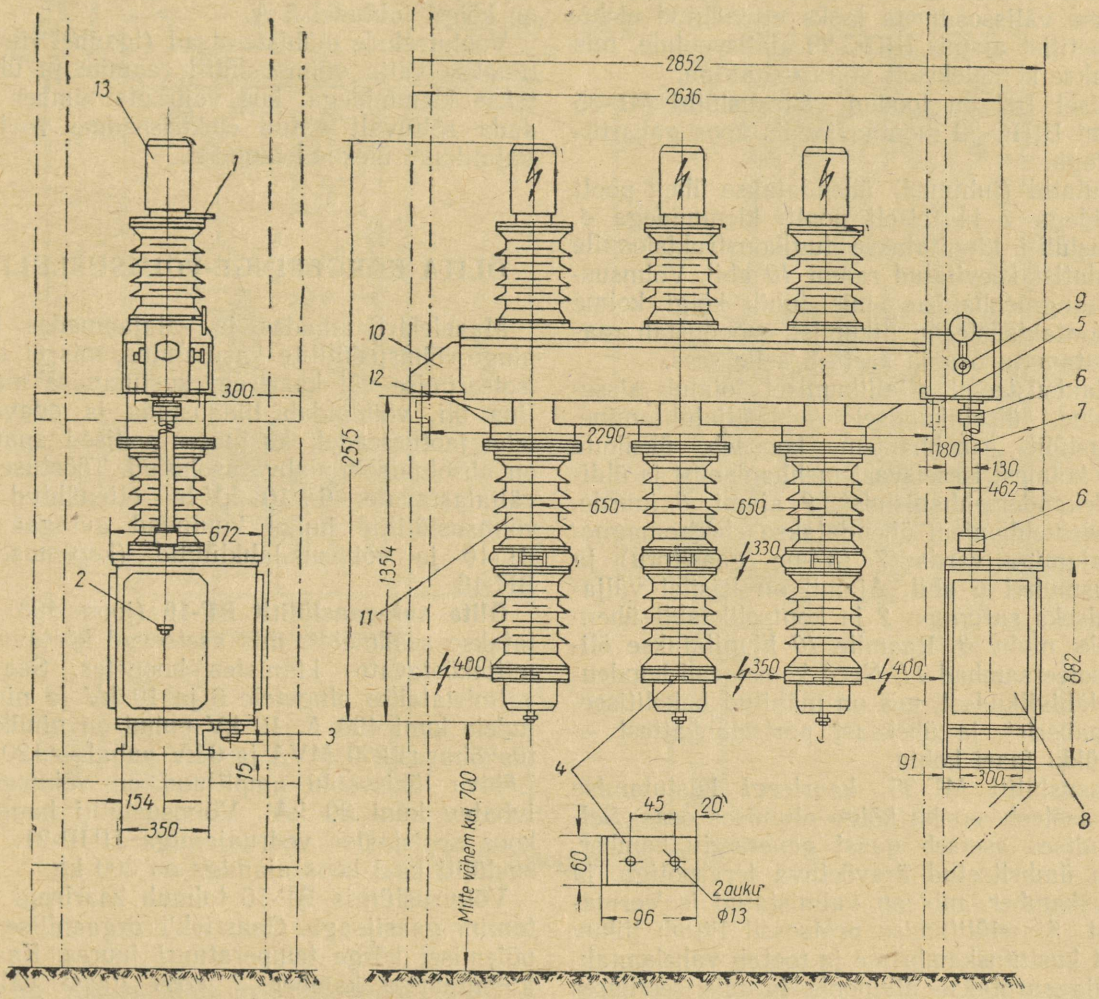
pist õlilüliti ВМБ-10, mille kaal on 120 kg ja õli kaal 50 kg. Võrreldes õlilülitiga ВМ-16 kaalub õlilüliti ВМБ-10 45—65 kg vähem. Et õlilüliti ВМБ-10 õli kaal ei ole üle 60 kg, võib teda asetada nii plahvatuskindlatesse kui ka lahtistesse kambritesse. Viimasel juhul peab õlilülititel olema «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjade» järgi mitte väiksem kui 1,5-kordne katkestatava võimsuse tagavara.

100 MVA. Võimsuslüliti ВМБ-10 varustatakse automaatse käsiajamiga — tüüp ПРА. Õlilüliti paagis olevat õli kasutatakse vahendina, mis eraldab kaarleegi kustutamise protsessil gaasi. Sellisel keskkonnal on väga hea kaarleegi kustutamise võime. Peale selle on õli jahutavaks keskkonnaks ja voolu juhtivate osade üksteisest ja korpusest isoleerimiseks.

Teine tüüp õlilüliteid on pott-tüüpi väikese

õlihulgaga õlilülitid, milledel üksikud faasid isoleeritakse üksteisest ja maast tahkete isoleerainetega. Seetõttu ei kasutata nende juures õli kui isoleerainet, vaid ainult kui kaarleegi kustutamise vahendit. Sellise võimsuslüliti iga faas varustatakse iseseisva metallist potikujulise paagiga, mis kinnitatakse portselanist tugiisolaatorile.

3. Raami ülemises osas asetseb võll *4*, mille külge on keevitatud kolm kaheharulist kangi. Distantsülekande kangid kinnitatakse võlli *4* otsa külge. Võlli kangide pikkade harude kaudu antakse liikumine portselanist varda *7* abil edasi voolu juhtivale vardale *6*. Võlli kahe äärmise lühikese kangi haru külge on kinnitatud kaks tõmbele töötavat vedru *5*. Need vedrud on ette



Joon. 162. Õlilüliti МГ-35 koos ajamiga ШПС-20.

Pott-tüüpi õlilülititest on 6—10 kV-stes maaelektrijaamades ja -alajaamades kõige enam levinud võimsuslülitid ВМГ-133. Joonisel 161 näidatud pott-tüüpi võimsuslüliti ВМГ-133 on väikese õlihulgaga kolmefaasiline aparaat. Nagu juba ülal nimetatud, on õli kaarleegi kustutamise vahendiks ega ole ette nähtud voolu juhtivate osade isoleerimiseks. Võimsuslülitil on jäik terasraam *1*, mille alumisele osale on kinnitatud tugiisolaatorid *2* koos terassilindritega nähtud võimsuslüliti väljalülitamiseks ja selle hoidmiseks väljalülitatud seisus.

Suurt tähtsust omab maaelektrijaamades ja -alajaamades väikese õlihulgaga võimsuslüliti МГ-35 välisjaotusseadmetele, pingega 35 kV. See lüliti sisaldab minimaalse hulga trafoõli, mida kasutatakse, nagu kõigis pott-tüüpi võimsuslülitites, ainult kaarleegi kustutamise vahendina. Võimsuslüliti kõigi kolme faasi õli kaal kokku on 20 kg, kuna võimsuslülitil ВМ-35 on

õli 300 kg. Võimsuslüliti kogukaal koos õliga on 946 kg ja paaktüüpi võimsuslüliti BM-35 kogukaal on 1200 kg. Oma tehniliste põhikarakteristikute poolest ei jää võimsuslüliti МГ-35 sugugi maha võimsuslülitist BM-35.

600 A nimivoolu korral on lubatav läbiva lühisvoolu amplituudi piirväärtus 20 kA, katkestusvõimsus 35 kV pinge puhul on kuni 400 MVA. Võimsuslüliti МГ-35 juhtimiseks kasutatakse välisseadmete jaoks ettenähtud elektromagnetilist ajamit ШПС-20 alalisvoolule, mis hangitakse komplektselt võimsuslülitiga.

Joonisel 162 on toodud võimsuslüliti МГ-35 ja ajami ШПС-20 montaažjoonis koos gabariitmõõdetega.

Voolulatid (juhtmed) ühendatakse ühelt poolt klemmidega *1* ja teiselt poolt klemmidega *4*. Võimsuslüliti kinnitatakse tugikonstruktsioonile *5* teraslatist keevitatud raami *10* abil. Võimsuslüliti kangmehhanism, mis juhib kõigi kolme faasi kontaktsüsteemi liikumist, moodustab raami lahutamatu osa ja asetseb selle sees.

Kontaktsüsteemi allaliikumisel toimub sisselülitamine, ülesliikumisel — väljalülitamine. Võimsuslüliti mehhanism koosneb üksikute faaside kolmest iseseisvast mehhanismist ja üldisest ülekandemehhanismist *9* ajami *8* juurde. Ülekandemehhanism ühendatakse elektromagnetilise ajamiga varda *7* (3″-ne gaasitoru) ja ühendusmuhvi *6* abil. Ajamil on käsitsi väljalülitamiseks surunupp *2* ja kontrollkaabli ühendamiseks muhv *3*. Raamile *10* kinnitatakse õlilüliti isoleersambad *11*. Need koosnevad kondensaator-läbiviikudest, mis on mähitud bakelitiseeritud paberist, ja üheksast portselankattest — kolm tükki faasi kohta.

Võimsuslüliti МГ-35 kaarleegi kustutamise seadis asetseb samba kõige alumises osas. Selles seadises asetseb gaasi genereeriv kamber, mis on ümbritsetud äravõetava teraspotiga, ja kustutuskamber, mis on valmistatud isoleermaterjalist. Sisselülitamise protsessil liigub liikuv kontakt kustutuskambrisse ja toetub vahekontaktile, mis surutakse allapoole ja mis seejuures puutub kokku liikumatu kontaktiga. Väljalülitamise protsess toimub vastupidises liikumise järjekorras, kusjuures kaarleek kustub intensiivse mitmekordse pikipuhumise tõttu 1—2 vahelduvvoolu poolperioodi vältel. Väikeste voolude korral kaarleegi kustutamise protsess pisut aeglustub, kuid ei ületa 5—7 poolperioodi.

Võimsuslüliti sammaste ülemistes osades *13* asuvad kontaktide *1* ja voolu juhtivate varraste vahelised painduvad ühendused. Võimsuslüliti МГ-35 on varustatud kuue sisseehitatud läbiviigu-voolutrafoga, iga faasi kohta kaks. Seega on olemas kaks kolmefaasilist voolutrafode komplekti. Need paiknevad silindrikujulistes karpides *12*, mis on keevitatud raami *10* alla. Mõõteotstarbeks ja maksimaalvoolukaitse releede toitmiseks kasutatakse voolutrafosid ТМГ-35 ja diferentsiaalkaitse jaoks — voolutrafosid ТМГД-35. Voolutrafod on valmistatud nimivooludele kuni 600 A ja nimivooludele kuni 300 A. Esimesel juhul valmistatakse voolutrafo haruühendustega vooludele 400, 300 ja 200 A, teisel juhul — 200, 150 ja 100 A. Sekundaarvool on kõigil juhtudel 5 A.

Voolutrafode mähiste otsad (igaühel viis otsa) tuuakse välja võimsuslüliti raamile ja ühendatakse klemmidega, kus võib otsi ümber ühendada sõltuvalt antud elektriseadme voolutrafo vajalikust ülekandetegurist.

ÕLITA KÕRGEPINGE-VÕIMSUSLÜLITID

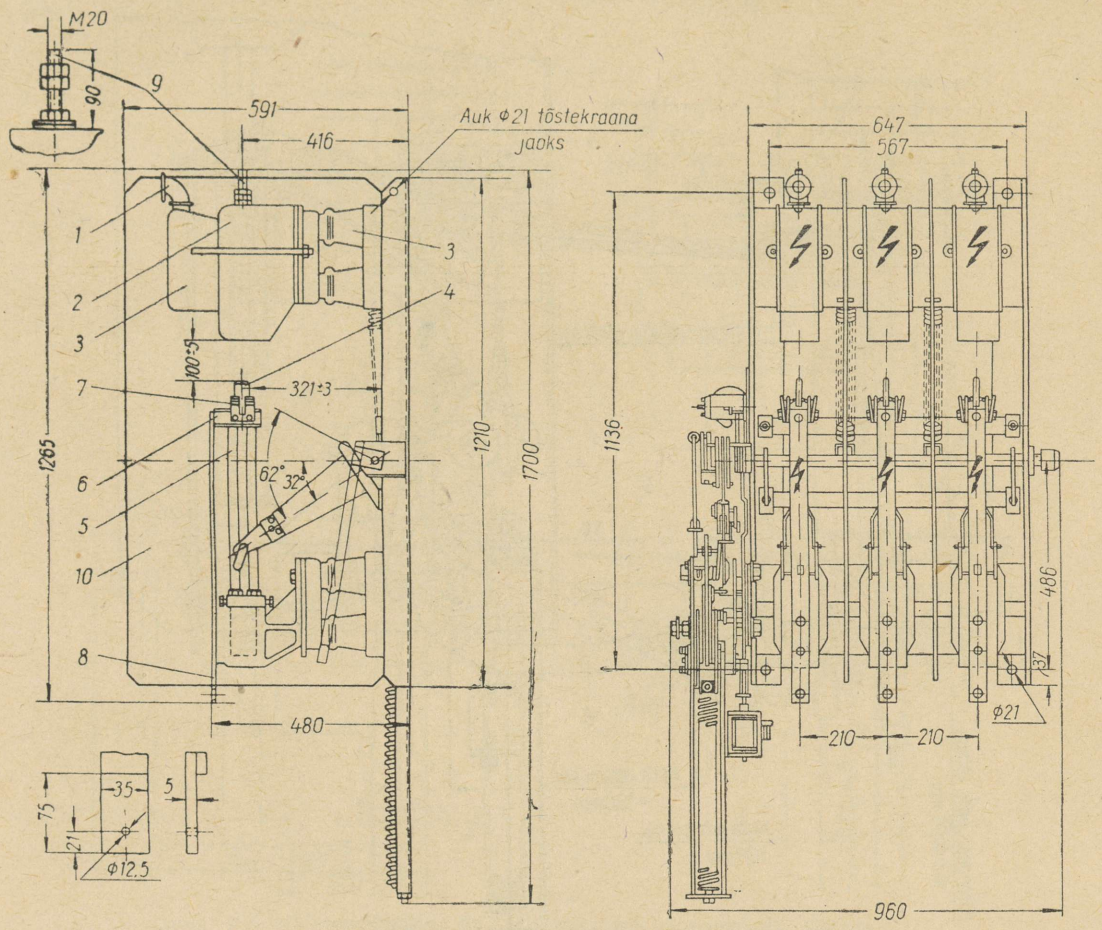
Maaelektrijaamades ja -alajaamades kõrgepinge-võimsuslülitite kasutamine, mis ei sisalda isoleerimise või kaarleegi kustutamise materjalina õli, võimaldab lihtsustada ja odavamaks teha jaotusseadet, kusjuures sellised aparaadid on absoluutselt plahvatusohutud. Tööstuse poolt väljalastavate 6—10 kV-le ettenähtud õlita võimsuslülitite hulka kuuluvad autogaaslülitid ВГ-10 ja võimsus-lahklülitid (koormuslülitid) ВН-16.

Õlita autogaaslülitit ВГ-10 (joon. 163) kasutatakse seadmetes, mis asetsevad köetavates ja mitteköetavates kinnistes hoonetes. See lüliti valmistatakse pingetele 6 ja 10 kV ja nimivooludele kuni 400 A. 10 kV puhul on nimikatkestusvõimsus 200 MVA ja 6 kV puhul — 120 MVA. Läbiva lühisvoolu amplituud on võimsuslülitil lubatav kuni 30 kA. Võimsuslüliti hangitakse koos spetsiaalse vedruajamiga ППР-21. Võimsuslüliti kaal koos ajamiga on 300 kg.

Võimsuslülitis ВГ-10 toimub kaarleegi kustutamine gaasijoaga. Gaas tekib orgaanilise klaasi põlemisel kõrge temperatuuri juures. Kaarleegi kustutamise kamber *2* koos gaasi väljumistoruga *1* asetseb isolaatoritel *3;* liikuvad kontaktid *4* valmistatakse vasklatist lamedate nugade taolistena. Neid nugasid nihutatakse sirgjooneliselt juhtseadises *5*, mille ülemisele osale on kinnitatud valgevasest liistud *6*, milledel on avad nugade jaoks ja milles libisevad sõrmkontaktid *7*. Vool juhitakse vasklattide alumistele otstele *8*, mis on ühendatud libisevate kontaktide abil võimsuslüliti nugadega, ja ülemistele klemmidele *9*, mis asetsevad kaarleegi kustutamise kambri peal. Üksikud faasid on eraldatud üksteisest pertinaksist plaadist vaheseintega *10*. Vedruajamil ППР-21 on käsitsi vinnastamisega väljalülitamisvedru.

Kui vedru on vinnastatud, võib sisselülitamise impulssi anda kas käsitsi — sisselülitamisseadise (kangi) abil, või sisselülitamis-elektromagneti abil, mille vooluahel sel juhul sisselülitamis-surunupu abil suletakse.

kangikesega või surunupuga, mis suleb sisselülitamis-elektromagneti toitevooluahela. Ajami vaba-aheldusmehhanism on lihtne šarniirliigendiga seadis, mis hoiab kinni väljalülitamisriivi. Komandot võimsuslüliti väljalülitamiseks,



Joon. 163. Autogaaslüliti ВГ-10.

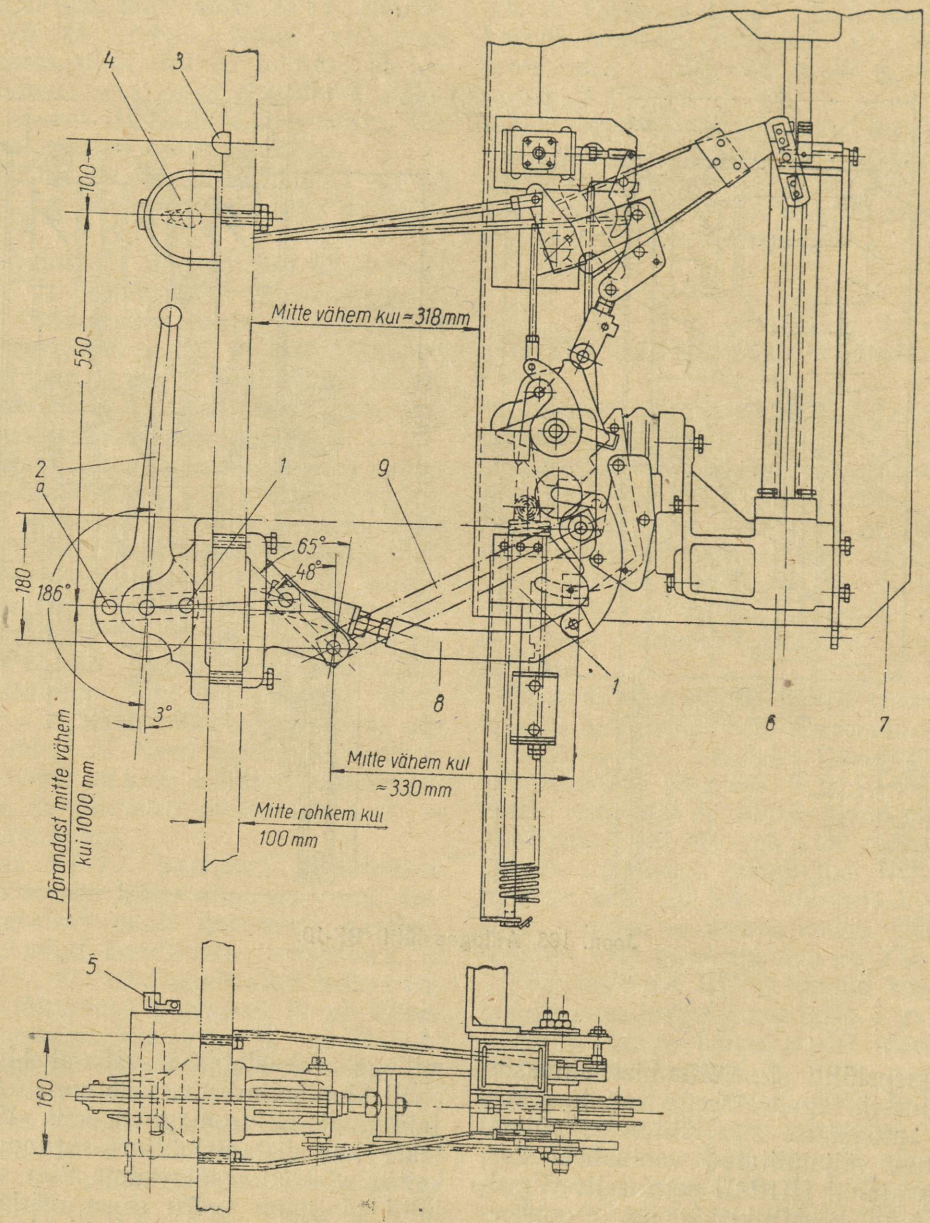
Pärast võimsuslüliti sisselülitamist vinnastatakse vedru uuesti, tagades seega vajaduse korral korduva automaatse sisselülitamise võimaluse juhuslikult väljalülitatud vooluahela korral. Seega on ajamil ППР-21 suur eelis võrreldes teiste ajami konstruktsioonide ja süsteemidega: sama ajamiga, ilma mingisuguse lisaseadiseta, on teostatav automaatne korduv sisselülitamine.

Vedru vinnastatakse ajami ППР-21 kangmehhanismi ПРВ-22 käepideme nelja liigutusega: *alla — üles — alla — üles*. Ülemises asendis lukustatakse käepide spetsiaalse seadisega. Peale seda ei toimu sisselülitamine mitte enam ajami käepideme pööramisega, vaid erilise abimillega vabastatakse vaba-aheldusmehhanismi poolt kinnihoitav riiv, võib anda käsitsi või väljalülitamis-elektromagneti abil. Viimast käitatakse kas distantsjuhtimis-surunupuga või siis kaitse- või automaatseadme relee abil. Võimsuslüliti ja ajami vedru seisu märkimiseks kasutatakse erilist juhtimis- ja signalisatsiooniplokki. Läbi selle kaanel asetseva aknakese on näha pealkirjad, mis näitavad võimsuslüliti asendit «välja lülitatud» («отключен») ja «sisse lülitatud» («включен») ja vedru vinnastamist «valmis» («готов») ja «mitte valmis» («не готов»).

Joonisel 164 on toodud võimsuslüliti taha paigutatud ajamiga ППР-21 võimsuslüliti ВГ-10 montaažjoonis. Ajamit võib üles seada ka võim-

süsiüliti ette. Siiski selle paigutamine taha, nagu see on näidatud joonisel 164, on maaelektrijaamade jaamalähedaste jaotusseadmete kujundamisel palju sobivam, eriti kui jaotusseade paigutatakse masinasaali vaheseina taha 5. Võimsuslüliti *6* koos faasidevaheliste vaheseintega *7* ühendatakse ajamiga ühenduskahvli *8* ja varda *9* abil.

Võimsuslülitit ВГ-10 võib varustada sisseehitatud releekaitseseadisega, kasutades selleks

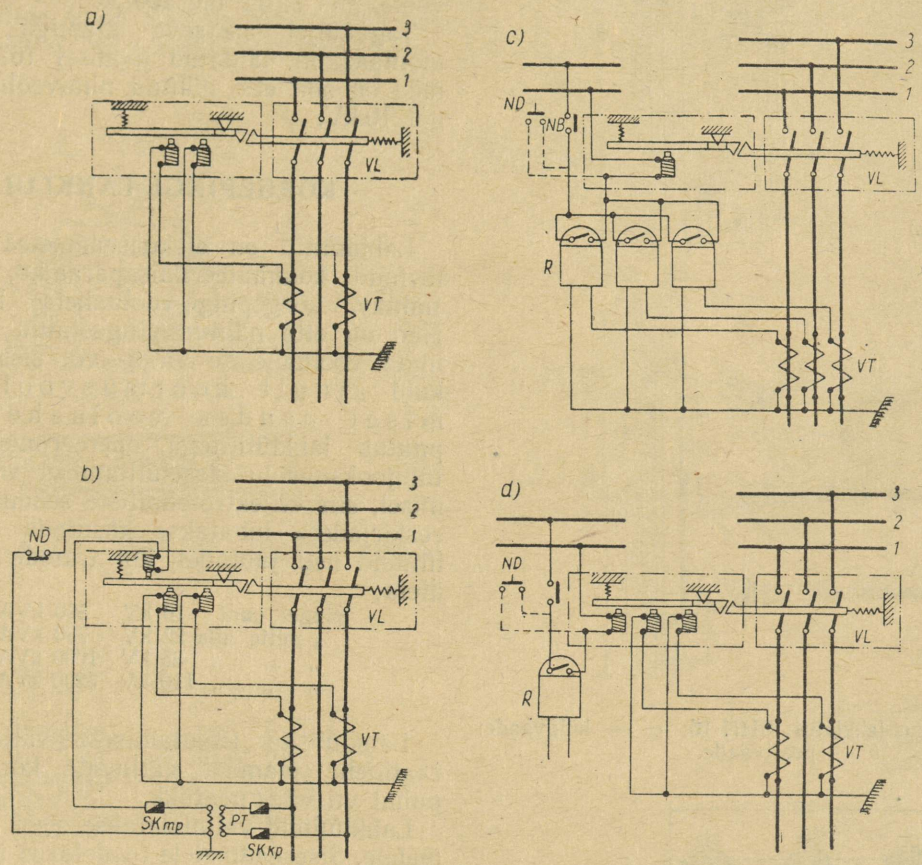


Joon. 164. Võimsuslüliti ВГ-10 montaažjoonis, kui ajam on paigutatud võimsuslüliti taha.

ja kui aparaati juhitakse samast masinasaalist. Seinale kinnitatakse vedruajam ППР-21 *1*, mis on varustatud kangmehhanismiga ПРВ-22 *2*; siia paigutatakse ka signaallambid *3*, juhtimis- ja signalisatsiooniplokk *4* ja käsijuhtimiskang

ühte joonisel 165 toodud skeemidest. Skeemi 165, *a* järgi teostatakse kaitse kahe hetkelise toimega maksimaalvoolurelee abil. Kahe hetkelise toimega maksimaalvoolureleega ja ühe minimaalpingereleega kaitse on näidatud joonisel 165, *b*.

Ülejäänud kahel skeemil on: maksimaalvoolukaitse (joon. 165, *c*), mis toimib sõltumatu alalis- või vahelduvvooluallika abil relee kontaktide sulgumisel, ja kaitse (joon. 165, *d*) hetkelise toimega maksimaalvoolurelee ja relee abil, mis suleb oma kontaktid sõltumatu operatiiv-vooluallika toimel.



Joon. 165. Võimsuslülitisse ВГ-10 ehitatavate releeseadiste skeeme.

Õlita kõrgepinge-võimsuslüliti teine liik on võimsus-lahklüliti ВНП-16 (joon. 166).

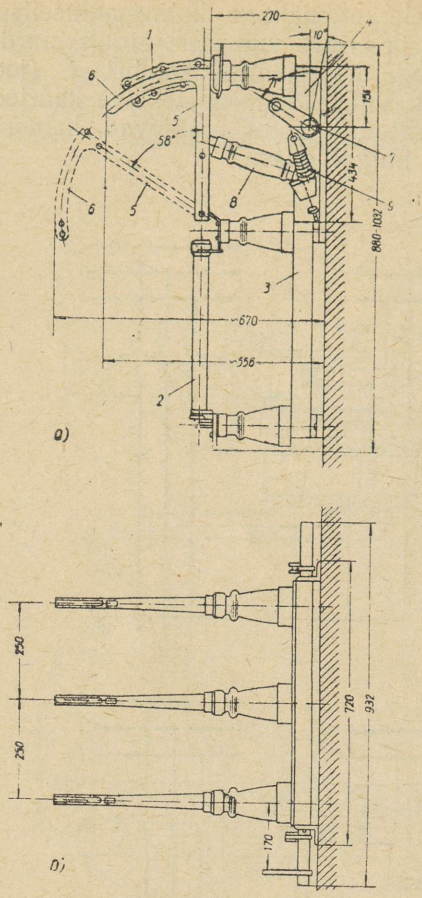
See on lihtsustatud võimsuslüliti, mis võimaldab sisse ja välja lülitada nimi-koormusvoole. Mis puutub lühisvoolude või voolude väljalülitamisesse, mis on põhjustatud suurtest liigkoormustest, siis need lülitatakse välja kvartsliivatäitega sulavkaitsmetega ПК (vt. üheteistkümnes peatükk). Sulavkaitsmeid võib asetada energia liikumise suunas kas enne või pärast võimsus-lahklülitit.

Üleliidulise Elektrotehnika Instituudi (ВЭИ) poolt koos tehasega «Elektroapparat» väljatöötatud võimsus-lahklüliti sarnaneb väliselt seisseadmele ettenähtud kolmepooluselisele lahklülitile ja erineb viimasest ainult juurdeehitatud kaarleegi kustutamise kambri *1* (joon. 166) poolest. Väljalülitamisel tekkiva kaarleegi kõrge temperatuuri mõjul eraldavad kambri seinad suurel hulgal gaasi.

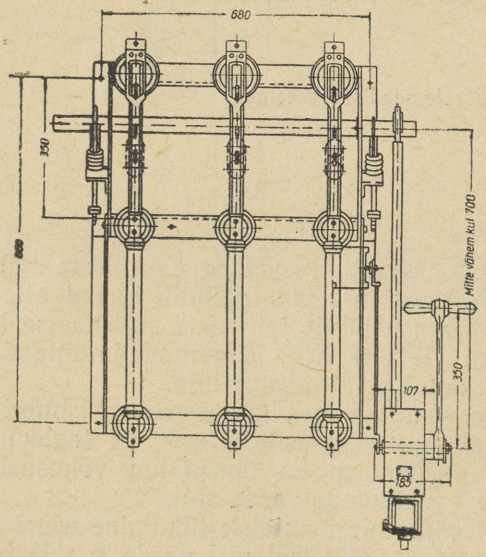
Sulavkaitsmed *2* seatakse üles lisaraamile *3*, mis on kinnitatud võimsuslüliti raami alla või peale. Võimsuslülitit juhitakse automaatse käsiajamiga ПРА-12 koos distantsväljalülitamiseks sisseehitatud elektromagnetiga.

Ajam seatakse üles jaotusseadme kambri välisseinale — võimsuslüliti esi- või tagaküljele. Ajami mehhanism on ühendatud võimsuslüliti võlliga *7* otsikutega varda abil.

Võlli pööramisel antakse liikumine edasi kangidesüsteemi ja protselanist varda *8* abil võimsuslüliti peanugadele *5* ja kaarleegi kustutamise lisanugadele *6*. Väljalülitamisprotsessi kiirendamiseks on väljalülitamismehhanism varus-



Joon. 166. Võimsus-lahklüliti ВНП-16: *a* — külgvaade; *b* — pealtvaade.



Joon. 167. Ajamiga võimsus-lahklüliti montaažjoonis.

tatud vedruga *9*. Ajamit võib asetada võimsuslülitist nii paremale kui ka vasakule poole. 6 kV-se pinge puhul on võimsuslüliti ВНП-16 arvestatud 400 A-se nimivoolu väljalülitamiseks. Läbiva lühisvoolu amplituud, mis on veel lubatav võimsuslülitile, on 25 kA. 10 kV-se võrgupinge korral katkestab võimsuslüliti ВНП-16 voole, mis ei ole üle 200 A.

Tagaküljel asetseva ajamiga võimsuslüliti montaaž on näidatud joonisel 167. Sulavkaitsmed on siin ette nähtud nimivoolule 50 A pingel 10 kV.

KÕRGEPINGE-LAHKLÜLITID

Lahklülitid on elektriseadmetes kõige enam levinud kommuteerimisaparaadid, milledel on nähtav kõrgepinge-vooluahela katkestuskoht. Nad on ette nähtud pingestatud või pingestamata vooluahelate välja- või sisselülitamiseks, kuid ainult koormusvoolu puudumisel nendes vooluahelates. Mis puutub lahklülititega opereerimisesse trafode tühijooksuvoolu sisselülitamisel või väljalülitamisel, siis «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjades» lubatakse kasutada tavalisi lahklüliteid neil juhtudel, kui trafode võimsused ei ületa:

pingel kuni	10 kV	320 kVA
„ mitte alla	22 kV	560 kVA
„ „ „	35 kV	1000 kVA
„ „ „	110 kV	3200 kVA

Lahklülitite kasutamisest väljalülitamisaparaatidena jaamast väljuvate kõrgepingeliinide puhul vt. viies peatükk.

Lahklüliteid valmistatakse sise- või välisseadmetele. Siseseadmetele toodetakse ühe- ja kolmepooluselisi nugadega lahklüliteid vooludele 400 — 1000 A.

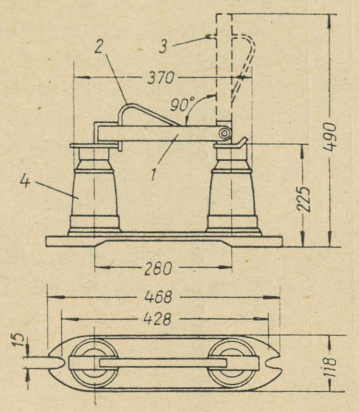
Lahklülititel vooludele 400 ja 600 A on üks nuga iga faasi kohta ja lahklülititel vooludele 1000 A on noad koostatud kahest tavalisest väiksema voolu lahklüliti noast. Lahutavate nugade otsad on varustatud terasplaatidega, mis on elektromagnetilisteks lukkudeks ja tõkestavad lahklüliti väljalülitumist suurte voolude läbimisel. Ühepooluseliste lahklülitite noad on varustatud vedruga riivistusmehhanismiga, mis takistab nugade juhuslikku avanemist. Ühepooluseline lahklüliti PBO-32 siseseadme jaoks on toodud joonisel 168. Joonisel toodud mõõted kehtivad lahklüliti kohta nimisuurustega 10 kV ja 400 A. Lahklüliti nuga *1* koos aasaga *2*, millega juhitakse isoleerridva abil lahklülitit, ja vedrutaoline lukk *3* asetsevad tugiisolaatoritel *4*. Kolmepooluseline lahklüliti PBT-32 siseseadme jaoks pingele 10 kV ja voolule 400 A on toodud

joonisel 169. Nagu jooniselt näha, on lahklüliti võll *1* pikendatud mõlemale poole, et sõltuvalt kohalikest tingimustest oleks võimalik ükskõik kummale poole ühendada ajami ПРБ või ПРТ tõmbevarrast.

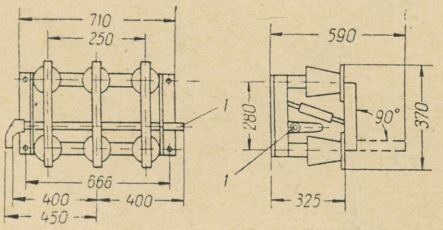
Siseseadme kolmepooluseliste lahklülitite juhtimiseks kasutatav kangsüsteemiline distantsajami ПРТ kõige enam levinud tüüp on näidatud joonisel 170, *a*. Selle ajami käepideme pöördumise suund ja tagumise laagri kangi pöördumise suund langevad kokku. Siiski võib nende kahe elemendi pöördumine ajamil ПРТ vajaduse korral toimuda erinevates suundades (näiteks käepideme pööramisel kellaosuti liikumise suunas pöördub tagumisel laagril kang vastu kellaosuti liikumise suunda). Seda teostatakse ajami tagumise laagri ümberpaigutamisega 180°, nagu see on näidatud samal joonisel (variant *b*).

Välisseadmele ettenähtud lahklülitid on laialdaselt levinud välisjaotusseadmetes, mastalajaamades ja liini jaotuspunktides.

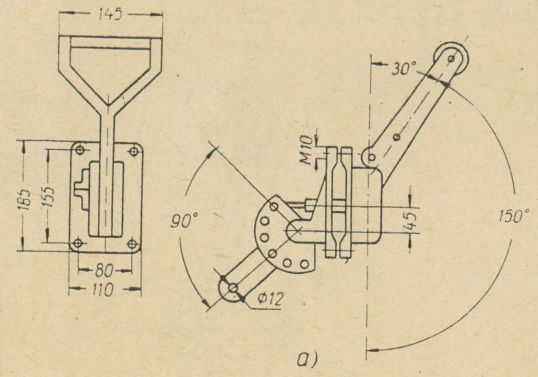
Välisseadme lahklülitid on kas horisontaalta-

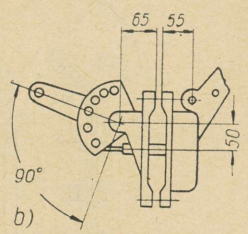


Joon. 168. Ühepooluseline siseseadme lahklüliti PBO-32.

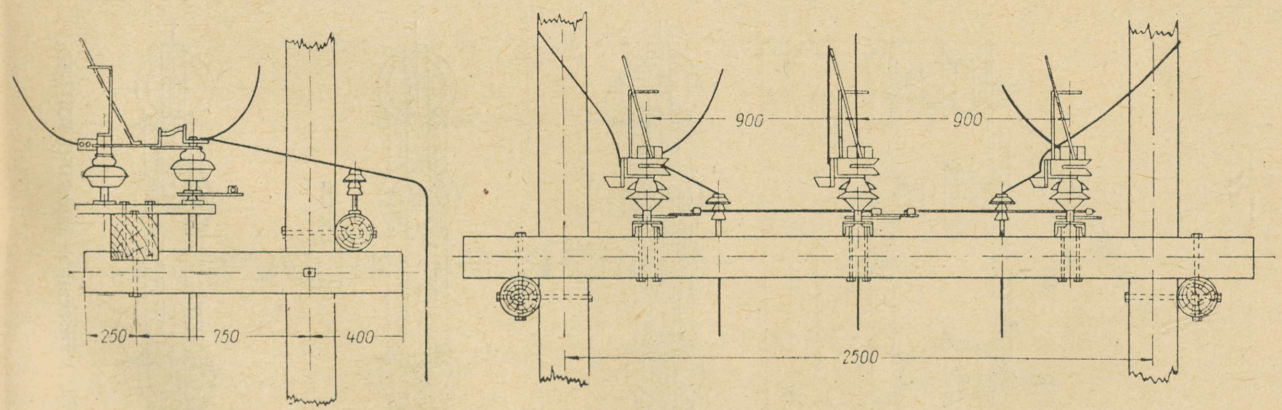


Joon. 169. Kolmepooluseline siseseadme lahklüliti PBT-32.

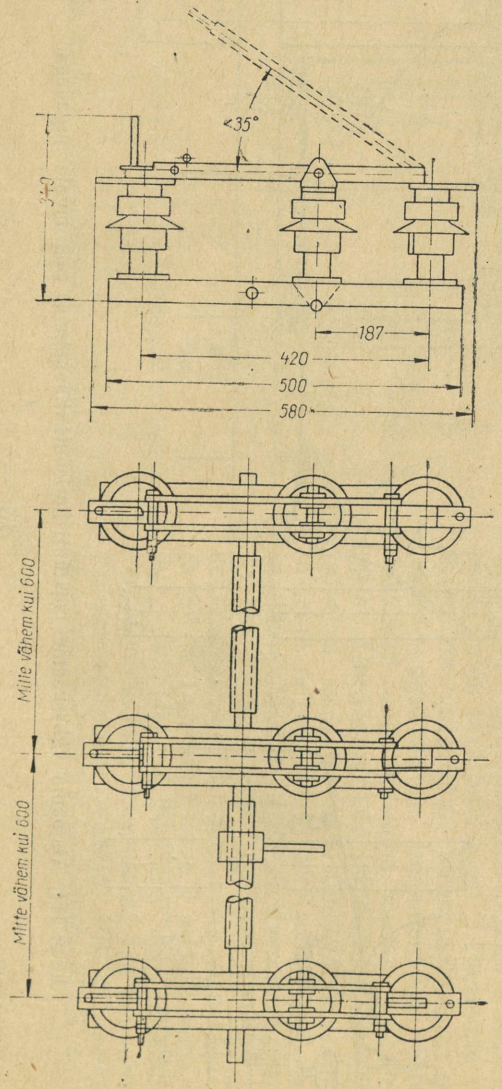




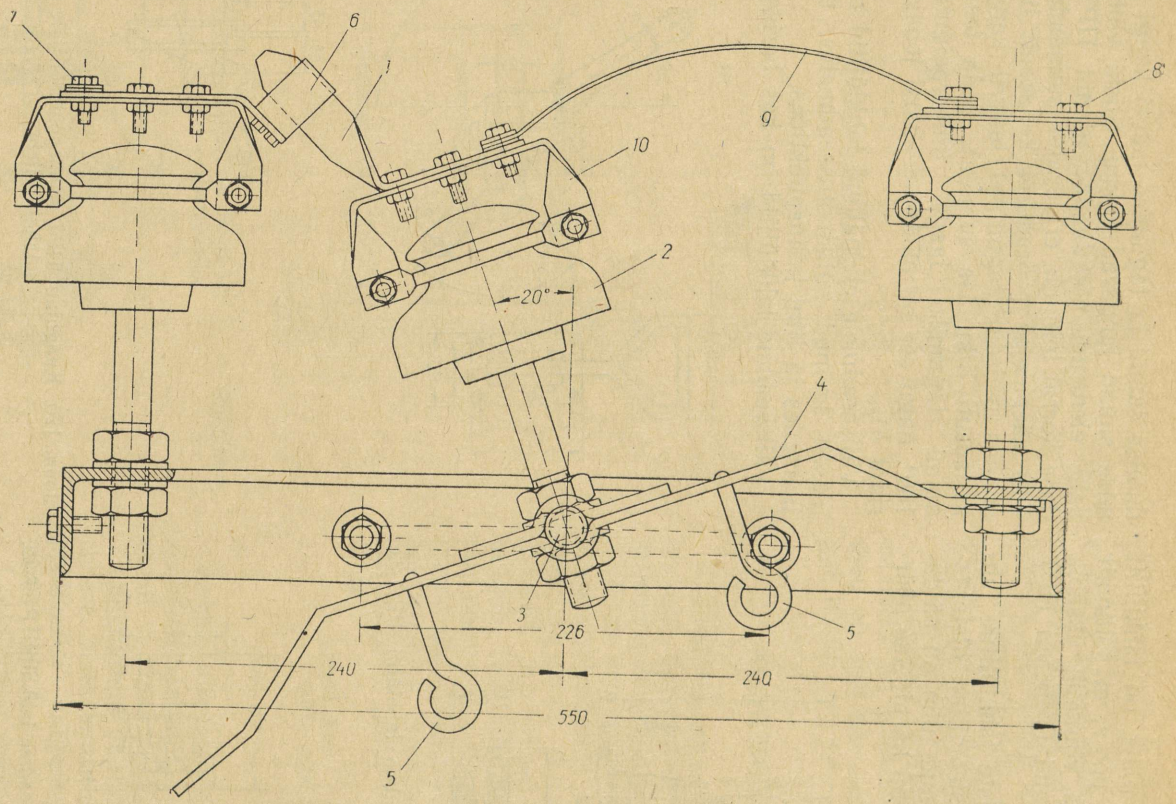
Joon. 170. Kangajam ПРТ kolmepooluselistele siseseadme lahklülititele.



Joon. 171. Alajaama välisseadme lahklüliti horisontaaltasapinnas pöörduvate nugadega.



Joon. 172. Välisseadme lahklüliti РЛН-10.



Joon. 173. Välisseadme lahklüliti РЗНП-6/10.

sapinnas pöörduvate nugadega või vertikaaltasapinnas pöörduvate nugadega. Joonisel 171 on näidatud kolmepooluseline horisontaaltasapinnas pöörduvate nugadega alajaama lahklüliti РЗНП-10, pingele 10 kV ja nimivoolule 200 A. Lahklüliti sisse- ja väljalülitamist juhitakse allaulatuva pika võlli (toru) ja pöörduvate isolaatorite pööramisega koos nende külge kinnitatud nugadega. Pöörduvad noad on ühendatud liikumatute kontaktidega painduvate juhtmete abil.

Joonisel 172 on toodud välisseadme lahklüliti РЛН-10 vertikaaltasapinnas pöörduvate nugadega, pingele 10 kV ja nimivoolule 200, 400 ja 600 A. Sellise konstruktsiooniga lahklüliti vertikaaltasapinnas pöörduvate nugade juhtimist teostatakse vardaga, mis on kinnitatud kangi abil lahklüliti võllile. Võll on samuti kangisüsteemi abil ühendatud lahklüliti keskmise horisontaaltasapinnas pöörduva isolaatoriga.

Vertikaaltasapinnas pöörduvate nugadega lahklüliteid toodavad elektrotehnilise tööstuse tehased pingetele 6, 10, 35 kV ja ka kõrgemale pingele. Nimivoolud, milledele need lahklülitid on arvestatud, on: 6 kV puhul — 200 ja 400 A; 10 kV puhul — 200, 400 ja 600 A; 35 kV ja kõrgema pinge puhul — 600 A.

NSV Liidu Põllumajanduse Ministeeriumi tehased valmistavad alajaama kolmepooluselisi lahklüliteid РЗНП-6 (10), pingetele 6 ja 10 kV ja nimivooludele kuni 200 A. Joonisel 173 on toodud sellise lahklüliti joonis. Lahklüliti vasknoad *1* on kinnitatud vertikaaltasapinnas pöörduva isolaatori *2* külge poltklemmidega ja klambriga *10*. Vertikaaltasapinnas pöörduva isolaatoriga *2* ühendatud pöörduvat võlli *3* juhitakse koogu *4*, aasade *5* ja traatvarraste abil, mis kinnitatakse ülal aasadega *5* ning all kangseadisega.

Noad *1* tungivad vaskmokkade *6* vahele, mis on ühendatud liikumatute klemmidega *7*. Teiselt poolt on noad *1* ühendatud liikumatute klemmidega *8* painduva sideme *9* abil.

ÜHEKSAS PEATÜKK

MÕÕTETRAFOD JA MÕÕTERIISTAD

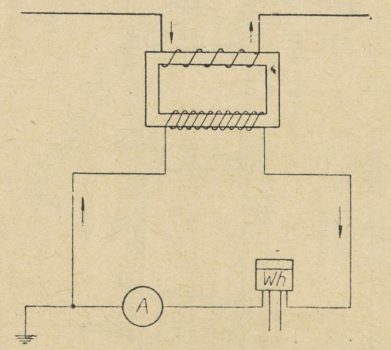
MÕÕTETRAFODE TÄHTSUS

Iga elektriseade peab olema varustatud rea mõõte-, kaitse- ning kontrollriistade ja -aparaatidega. Kõik need riistad ja aparaadid paigutatakse kilpidele ja pultidele, mis on teeninduspersonalile hästi ligipääsetavad. Et nende riistade ja aparaatide katetega võivad kokku puutuda inimesed, siis ei tohi nendesse juhtida kõrgepinget. Riistade ja kaitseaparaatide isoleerimiseks kõrgepingeahelatest kasutatakse voolutrafosid ja pingetrafosid.

Voolutrafosid kasutatakse samuti ka madalpingeseadmetes, kuid ainult tugevate voolude korral. Suurem osa mõõteriistu ja aparaate valmistatakse voolule, mis ei ületa 5 A. Üle 5 A voolu mõõtmiseks ühendatakse voolutrafo primaarmähis peavooluahelasse ning kõik mõõte-, kontroll- ning kaitseriistad ja -aparaadid ühendatakse sekundaarahelasse. Mõõteriistade skaalad ja kaitseaparaatide sätted gradueeritakse mõõtetrafode ülekandetegurite arvestamisega.

VOOLUTRAFOD

Joonisel 174 on näidatud voolutrafo skeem. Spetsiaalsest trafoplekist koostatud südamikule on mähitud primaar- ja sekundaarmähised.



Joon. 174. Voolutrafo skeem.

Primaarmähis võib olla kujundatud ühest või mitmest keerust. Ühe keeru puhul on primaarmähiseks sirge varras, mis ühendatakse järjestikku kogumislatiga. Sekundaarmähis keritakse varrast ümbritsevale rõngakujulisele südamikule. Isolatsiooni läbilöögil võib tekkida sekundaarmähises ja sellest toidetavates riistades kõrgepinge, mistõttu mõõtetrafo sekundaarmähised maandatakse. Voolutrafo sekundaarvoolu võiks leida, jagades primaarvoolu sekundaar- ja primaarmähise keerdude arvu suhtega. Kuid osa primaarvoolust kulub magnetvoo tekitamiseks ja südamikus esinevate kadude katmiseks. Kui tähistada voolutrafo primaarvoolu I_1, sekundaarvoolu — I_2 ja ülekandetegurit — k, siis suurust

$$k\,\% = \frac{k I_2 - I_1}{I_1} \cdot 100$$

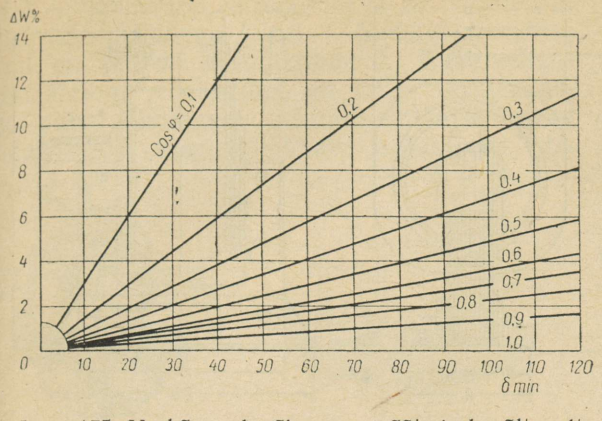
nimetatakse voolutrafo v o o l u v e a k s.

Peale vooluvea on tähtis teada ka voolutrafo n u r g a v i g a, s. t. nurka primaarvoolu vektori ja 180° pööratud sekundaarvoolu vektori vahel. Nurgaviga väljendatakse minutites.

Voolutrafode vigade vähendamiseks tuleb püüda vähendada tühijooksu-magneetimisergutust ja suurendada primaarmähise magneetimisergutust. Peale selle suureneb vooluviga sekundaarahelas faasinihke suurenemisel, kuid seejuures nurgaviga väheneb.

Nurgaviga mõjutab võimsuse ja elektrienergia mõõtmise täpsust. Isegi väga täpsete voolutrafode kasutamisel (täpsusklass 0,5 ja 1) võib nende suuruste (võimsuse ja energia) mõõtmisel viga küündida lubamatute suurusteni, mida võib näha ka joonisest 175 [23].

Nagu nähtub joonisel toodud võimsuse või energia mõõtmisel saadud vea sõltuvusest voolutrafo nurgaveast, on viga näiteks koormuse võimsusteguri $\cos\varphi = 0{,}5$ ja voolutrafo nurgavea 40′ korral 2%, vaatamata sellele et voolutrafo on võetud oma vooluvea suhtes absoluutselt täpne.



Joon. 175. Veakõverad võimsuse mõõtmisel, sõltuvalt voolutrafo nurgaveast.

Voolutrafo k ü l l a s t u m i s e k o r d s u s e k s nimetatakse suhet

$$\frac{I_1}{I_n},$$

kus: I_1 — piir-primaarvool, mispuhul voolutrafo vooluviga ulatub — 10%-ni, kui seejuures sekundaarmähis lülitada nimikoormusele, võimsusteguriga cos $\varphi = 0{,}8$;

I_n — voolutrafo nimi-primaarvool.

Voolutrafode ekspluateerimisel võib osutuda väga ohtlikuks sekundaarahela katkemine, millesse on lülitatud mõõteriistad ja releed. Voolutrafo primaarmähise vool ei sõltu sekundaarvooluahelast, vaid seda määrab ainult pea-vooluahelasse lülitatud koormus. Primaarmähise magneetimisergutus on normaalse suurusega ka täiesti avatud sekundaarmähise korral. Normaalolukorras loob sekundaarmähis, mis toidab mõõteriistade väikese takistusega järjestikku ühendatud mähiseid, demagneetiva magneetimisergutuse.

Kui avada sekundaarmähise ahel, siis demagneetiv magneetimisergutus kaob, kuid primaarmähise magneetimisergutus tekitab südamikus niivõrd tugeva magnetvoo, et see paratamatult põhjustab trafo riknemise ja sekundaarmähise klemmidel tekib personalile ja mõõteriistade isolatsioonile ohtlik kõrgepinge. Seetõttu tuleb mõõteriistade väljalülitamisel ka täiesti korras olev sekundaarahel lühistada.

Sõltuvalt voolutrafode tähtsusest esitatakse neile erisugused nõuded täpsusklassi (vea) suhtes.

Toodetavad voolutrafod liigitatakse täpsusastme järgi viide klassi: 0,2; 0,5; 1; 3 ja 10.

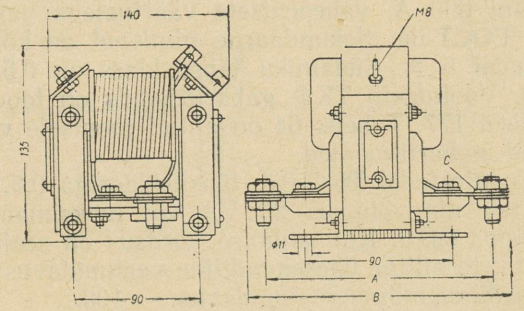
Täpsusklassi number tähendab lubatavat piirvooluviga protsentides nimikoormusel.

Klass 0,2 on ette nähtud täpseks laboratoorseks mõõtmiseks. Klassi 0,5 kasutatakse arvestitele, millede järgi teostatakse arveldust abonentidega. Klassi 1 kasutatakse ülejäänud arvestite, vattmeetriliste riistade ja samuti ampermeetrite juures. Releedele ja automaatseadistele kasutatakse voolutrafosid täpsusklassiga 3 ja 10.

Mõõteriistade ja releede erinevate töötingimuste tõttu tuleb real juhtudel valida kahe südamikuga voolutrafod. Neil voolutrafodel on üks primaarmähis ja kaks erinevate täpsusklassidega sekundaarmähist.

POOLITÜÜPI VOOLUTRAFOD

Voolutrafod TKM (катушечные модернизированные — poolitüüpi, moderniseeritud) kuuluvad paljukeeruliste madalpingeliste tugi-voolutrafode hulka ja on ette nähtud siseseadmetele. Nende voolutrafode primaarne nimivool vastab ГОСТ-i järgi standardvoolude skaalale 10 kuni 600 A piirides, pingetel kuni 500 V. Sekundaarne nimivool on 5 A. Südamiku täpsusklass on 0,5 ja 1. Voolutrafo TKM mõõted on toodud joonisel 176.



Joon. 176. Voolutrafo TKM.

Tabelis 63 on esitatud joonisele 176 vastavad gabariitmõõted.

Voolutrafodel TKM-0,5 on järgmised põhiandmed: sekundaarne nimivõimsus — 10 VA, sekundaarne nimikoormus — 0,4 Ω täpsusklassi 0,5 puhul, küllastumise kordsus — 5, ühesekundiline termiline vastupidavus — 65, dünaamiline vastupidavus — samuti 65. Toodud andmed kehtivad mistahes primaarsete nimivooludega voolutrafode korral, ainult voolutrafodel TKM-0,5-0,5/400 ja TKM-0,5-0,5/600 on küllastumise kordsus 5 asemel 7.

Tabel 63

Voolutrafode TKM gabariitmõõted

Trafo tüüp	Mõõted mm		
	A	*B*	*C*
TKM-0,5-0,5/10-200	168	194	M 10
TKM-1-0,5/10-200	168	194	M 10
TKM-0,5-0,5/300	154	184	M 10
TKM-1-0,5/300	154	184	M 10
TKM-0,5-0,5/400	154	184	M 12
TKM-1-0,5/400	154	184	M 12
TKM-0,5-0,5/600	150	200	M 12
TKM-1-0,5/600	150	200	M 12

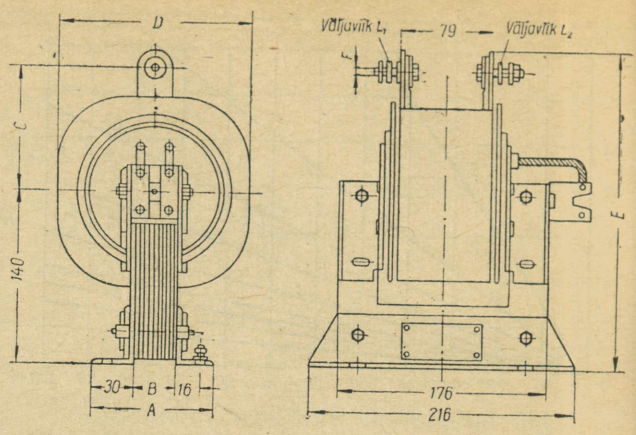
Voolutrafod TKM-1 võivad töötada täpsusklassis 1 või 3. Täpsusklassis 1 töötamisel ei tohi sekundaarne nimivõimsus ületada 15 VA või nimikoormus 0,6 Ω, kuid täpsusklassis 3 töötamisel — vastavalt 30 VA või 1,2 Ω. Küllastumise kordsus on kõigil juhtudel umbes 7 ja ühesekundiline termiline ja dünaamiline vastupidavus on 65.

Voolutrafod TKФ (катушечные с фарфоровой изоляцией — poolitüüpi, portselanist isolatsiooniga) kuuluvad samuti kui trafod TKM siseseadme paljukeeruliste tugi-voolutrafode rühma. Nende voolutrafode tugevdatud isolatsiooni tõttu võib neid kasutada seadmetes pingega kuni 3 kV.

Voolutrafode TKФ primaarne nimivool on 5 kuni 600 A, vahepealsete väärtustega vastavalt ГОСТ-ile. Sekundaarne nimivool on kõigil juhtudel 5 A. Südamiku täpsusklass on 0,5; 1 ja 3. Voolutrafo TKФ gabariitjoonis on toodud joonisel 177. Tabelis 64 on antud joonisele vastavad gabariitmõõted.

Voolutrafodel TKФ-0,5, täpsusklassiga 0,5, on lubatav nimivõimsus 20 VA või maksimaalne koormus 0,8 Ω. Küllastumise kordsus on seejuures 13, termiline ühesekundiline vastupidavus — 75 ja dünaamiline vastupidavus — 100.

Voolutrafod TKФ-1 võivad töötada täpsusklassis 1 ja 3. Täpsusklassis 1 töötamisel on sekundaarne nimivõimsus 30 VA, koormus — 1,2 Ω ja täpsusklassis 3 töötamisel on sekundaarne



Joon. 177. Voolutrafo TKФ.

nimivõimsus ning koormus vastavalt 100 VA ja 4 Ω. Mõlemate täpsusklasside korral on voolutrafo TKФ-1 küllastumise kordsus 15, ühesekundiline termiline vastupidavus — 75 ja dünaamiline vastupidavus — 100.

Voolutrafod TKФ-3 võivad töötada täpsusklassis 3 ja 10. Täpsusklassis 3 töötamisel on sekundaarne nimivõimsus 50 VA, koormus — 2 Ω, ja täpsusklassis 10 töötamisel on sekundaarne võimsus ning koormus vastavalt 100 VA ja 4 Ω. Voolutrafo TKФ-3 küllastumise kordsus on nii klassis 3 kui ka klassis 10 — 4, ühesekundiline termiline vastupidavus — 80 ja dünaamiline vastupidavus — 200.

VOOLUTRAFOD ТПФ

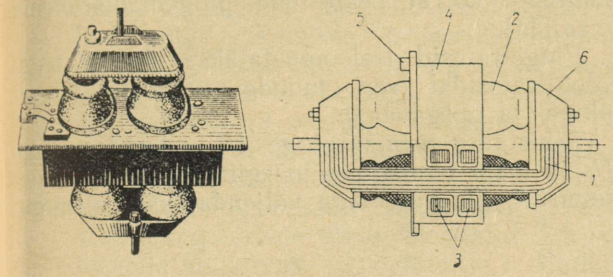
Kõrgepingeseadmetes (6—10 kV) on kõige enam levinud siseseadme voolutrafod ТПФ (трансформатор тока проходной фарфоровый — portselanist läbiviigu-voolutrafo) (joon. 178). Nagu jooniselt näha, on primaarmähisel *1* kaks silmust, mis asetsevad kahes portselanist läbiviiguisolaatoris *2*. Magnetahela südamikud, mis ümbritsevad isolaatoreid, koosnevad kahest poolest. Mõlemate südamikupoolte sekundaarmähi-

Tabel 64

Voolutrafode TKФ gabariitmõõted

Primaarne nimivool A	Mõõted mm											
	TKФ-0,5 ja TKФ-1						TKФ-3					
	A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*A*	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*
5— 40	95	35	105	164	260	M 8	85	25	90	122	245	M 8
50— 75	95	35	130	164	295	M 8	85	25	130	122	295	M 8
100—300	95	35	130	164	295	M 10	85	25	130	122	295	M 10
400—600	95	35	130	164	295	M 12	85	25	130	122	295	M 12

sed *3* on ühendatud järjestikku ja on paigutatud koos südamikkudega karpi *4*. Sekundaarmähise otsad on toodud klemmkilbile *5*. Kahe sekundaarmähisega voolutrafol on kõigi täpsusklasside puhul kummagi sekundaarmähise otsad toodud eraldi klemmkilpidele. Isolaatorite ots-



Joon. 178. Voolutrafo ТПФ.

tele on kinnitatud massiivsed valatud karbid *6*, mis vähendavad suurte dünaamiliste jõudude mõju lühisel.

Sekundaarmähiste arv ja täpsusklassid selguvad voolutrafo nomenklatuurtähistusest; näiteks ТПФ-0,5-10/300 tähendab: portselanisolatsiooniga läbiviigu-voolutrafo, kahe südamikuga ja sekundaarmähisega, täpsusklassid vastavalt 0,5 ja 3, pinge 10 kV ja nimivool 300 A.

Voolutrafod ТПФ valmistatakse nimivooludele 5 kuni 400 A, täpsusklassidega 0,5; 1 ja 3. Kahe sekundaarmähisega voolutrafod valmistatakse järgmiste täpsusklassidega: 0,5/0,5; 0,5/3; 1/1; 1/3 ja 3/3. Voolutrafo ТПФ sekundaarne nimivool on kõigi normaaltüüpide puhul 5 A.

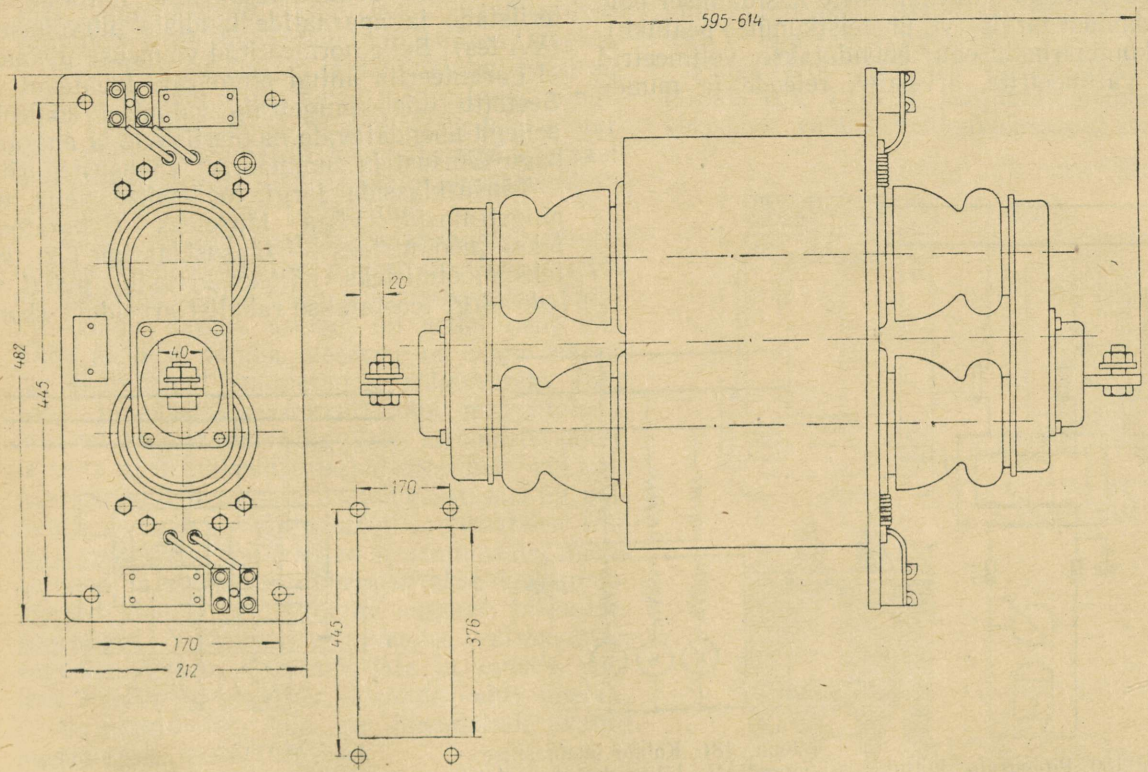
Peale mõõteriistade toitmise kasutatakse voolutrafosid ka releekaitse ja automaatikaseadiste juures mitmesuguste riistade ja aparaatide toitmiseks.

Diferentsiaal- ja maaühenduskaitse aparaatide toitmiseks toodetakse spetsiaalseid ТПФ-seeria trafosid indeksiga Д (diferentsiaalkaitse) ja З (maaühenduskaitse). Nimetatud trafodest vt. lähemalt üheteistkümnes peatükk «Releekaitse ja kaitse sulavkaitsmetega».

Tabel 65

Voolutrafode ТПФ südamikkude sekundaarsed nimikoormused

Südamiku täpsusklass	Sekundaarsed nimikoormused täpsusklassidel							
	0,5		1		3		10	
	Ω	VA	Ω	VA	Ω	VA	Ω	VA
0,5	0,6	15	1,2	30	3	75	ei normeerita	
1	—	—	0,6	15	1,6	40		
3	—	—	—	—	1,2	30	2,4	60
Д ja З	—	—	—	—	0,6	15	1,2	30



Joon. 179. Voolutrafo ТПФ-10 montaažjoonis.

Tabelis 65 on toodud voolutrafode ТПФ südamikkude sekundaarsete nimikoormuste andmed täpsusklassidele 0,5; 1; 3; Д ja З.

Voolutrafode ТПФ südamikkude küllastumise kordsus on: täpsusklassil 0,5 — 30; täpsusklassil 1 — 23 ja täpsusklassil 3 — 6 kuni 9.

Termiline vastupidavus (ühesekundiline), s. t. kordsus nimivoolu suhtes ühe sekundi vältel, kõigub normaalsetel ТПФ-seeria voolutrafodel 50 kuni 80 piirides. Dünaamiline vastupidavus samadel voolutrafodel, s. t. kordsus nimivoolu amplituudi suhtes, on 50 kuni 250 piirides. Suuremad termilise ja dünaamilise vastupidavuse väärtused vastavad suuremate primaarsete nimivooludega voolutrafodele.

Joonisel 179 on toodud voolutrafo ТПФ-10 montaažjoonis.

PINGETRAFOD

Pingetrafosid kasutatakse mõõteriistade, releekaitse- ja automaatikaseadiste ning isolatsiooni kontrollseadiste toitmiseks madaldatud pingega.

Pingetrafo (joon. 180) koosneb südamikust *1*, kõrgepinge-primaarmähisest *2* ja madalpinge-sekundaarmähisest *3*. Primaarmähis ühendatakse kõrgepingeahelasse lahklüliti *4*, voolu piirava lisatakistuse *5* ja kaitsmete *6* kaudu. Voolu piirava toimega sulavkaitsmete kasutamisel pole lisatakistust tarvis (vt. üheteistkümnes peatükk).

Sekundaarmähisega ühendatakse voltmeetrid ning vattmeetrite, arvestite, releede ja muude riistade ning aparaatide pingemähised. Pingetrafo madalpinge-poolele seatakse samuti üles sulavkaitsmed, mis põlevad läbi sekundaarahela või aparaatide lühiste korral. Personali ja aparatuuri kaitseks kõrgete potentsiaalide eest kõrge- ja madalpingemähiste vahelise isolatsiooni läbilöögi korral peab madalpingemähis olema maandatud.

Pingetrafosid iseloomustatakse samuti nagu voolutrafosidki rea muude tunnuste kõrval pinge- ja nurgaveaga.

Tähistades primaarpinge U_1, sekundaarpinge U_2 ja trafo nimisildile märgitud nimi-ülekandeteguri k, siis pingeviga väljendatakse valemiga:

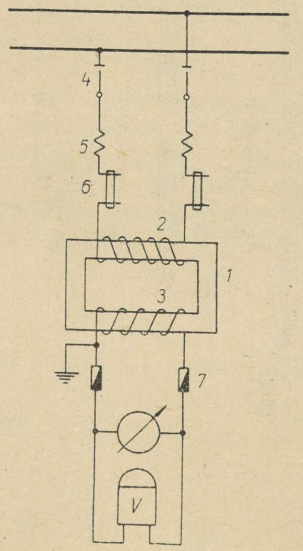
$$k\,\% \frac{U_2 - \frac{U_1}{k}}{\frac{U_1}{k}} \cdot 100,$$

Pingetrafosid, samuti kui voolutrafosidki, iseloomustab minutites väljendatav nurgaviga.

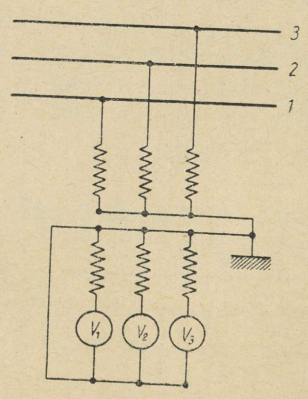
Pingetrafo nurgaviga sõltub suurel määral sisemistest aktiiv- ja reaktiivtakistustest. Nende vähendamiseks tuleb suurendada aktiivsete materjalide hulka ja kasutada kvaliteetset terast.

Pingetrafo sekundaarmähis on tavaliselt arvestatud pingele 100 V. Iga pingetrafo on ette nähtud tema sekundaarahelasse lülitatud mõõteriistade ja aparaatide kindlale piirvõimsusele (VA-tes). Selle normeeritud võimsuse ületamisel ei garanteerita antud pingetrafo lubatavat viga. Seetõttu tuleb pingetrafo valimisel kontrollida sellega ühendatavate mõõteriistade ja aparaatide koguvõimsust ja summaarset võimsustegurit.

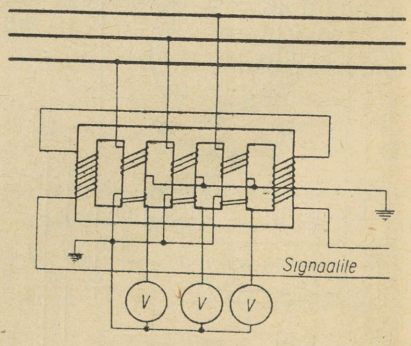
Täpsusklasside järgi toodetakse nelja tüüpi pingetrafosid: väga täpseteks (laboratoorseteks) mõõtmisteks — täpsusklassiga 0,2; täpseteks mõõtmisteks, näiteks arvestite puhul, millede järgi teostatakse rahalist arveldust abonen-



Joon. 180. Pingetrafo lülitusskeem.



Joon. 181. Kolme ühefaasilise pingetrafo lülitusskeem isolatsiooni kontrollimiseks.



Joon. 182. Viie sambaga kolmefaasilise pingetrafo lülitusskeem isolatsiooni kontrollimiseks.

tidega — 0,5; tavalisteks võimsuse ning energia mõõtmisteks ja vattmeetri põhimõttel töötavatele releedele — 1; voltmeetritele ja releedele, milledel on ainult üks mähis — 3.

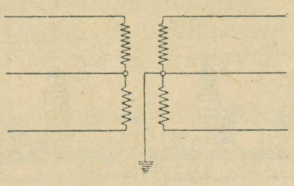
Pingetrafode üheks põhiülesandeks on kõrgepingeseadmete isolatsiooni kontroll ja mõõtefunktsioonid. See kontroll seisab seadme iga faasi pinge mõõtmises (isoleeritud nullpunktiga süsteemis) maa suhtes ja signaliseerimises sel juhul, kui ühes faasis tekib maaühendus või esineb isolatsiooni osaline riknemine.

Joonisel 181 on näidatud kolme ühefaasilise pingetrafo normaalne lülitusskeem kolmefaasilise kõrgepingeseadme isolatsiooni kontrollimiseks. Pingetrafode tähte ühendatud kõrgepingemähiste nullpunkt maandatakse. Madalpingesekundaarmähiste nullpunkt maandatakse samuti kõrge- ja madalpingemähiste vahelise isolatsiooni läbilöögi kaitseks. Kui ühes kõrgepingemähise faasis tekib maaühendus, siis pingetrafo vastav kõrgepingemähis osutub lühistatuks. Seetõttu ei näita selle sekundaarmähise ahelasse ühendatud voltmeeter mingit pinget. Samal ajal suurenevad kahe teise terve faasi pinged maa suhtes (ehk rikkis faasi maaühenduse suhtes) täie liinipingeni, s. t. kahe teise voltmeetri näidud suurenevad 1,73 korda.

Isolatsiooni kontrollimiseks ei tohi mingil juhul kasutada kolmesambalisi tavalisi kolmefaasilisi pingetrafosid. Ühe faasi maaühendusel suureneb kahe teise faasi südamikes magnetvoog niivõrd, et sulgub läbi lühistatud faasi südamiku ja läbi trafo katte, põhjustades pingetrafo kuumenemist ja riknemist. Selleks otstarbeks võib takistamatult kasutada aga ühefaasilisi pingetrafosid, sest nende magnetahelad on teineteisest täielikult isoleeritud.

Kõige kohasem aparaat isolatsiooni kontrollimiseks on viiesambaline pingetrafo. Joonisel 182 on näidatud sellise trafo põhimõtteskeem. Tavalise kolme samba asemel on sellel neid viis. Kahe äärmise samba ülesanne on anda võimalus suurenenud magnetvoole sulgumiseks (ühe faasi maaühenduse korral) läbi magnetahela, mis on kujundatud külgmiste sammaste poolt, ja toita spetsiaalseid releesid ning heli- või valgussignaalide aparaate lisamähisest, mis on paigutatud nendele külgmistele sammastele. Ühe faasi maaühendusel tekivad lisasammastes magnetvood ja mähistes indutseeritakse elektromotoorsed jõud, mis käivitavad signaal- ja kaitseaparatuuri. Voltmeetrite, arvestite, vattmeetrite, sagedusmõõtjate, faasimõõtjate ja muude riistade toiteks on soovitav kasutada kahte ühefaasilist pingetrafot, mis on ühendatud avatud kolmnurka (joon. 183).

Kui väikese ja keskmise võimsusega seadmetes kasutatakse kõrgepingeahelate isolatsiooni kontrollimiseks pingetrafosid, siis on otstarbekas neid kasutada ka pea- või liini-vooluahelates tavaliste mõõteriistade toitmiseks. Sel juhul ühendatakse mõõteriistad sekundaarsele liinipingele, mitte aga faasipingele.



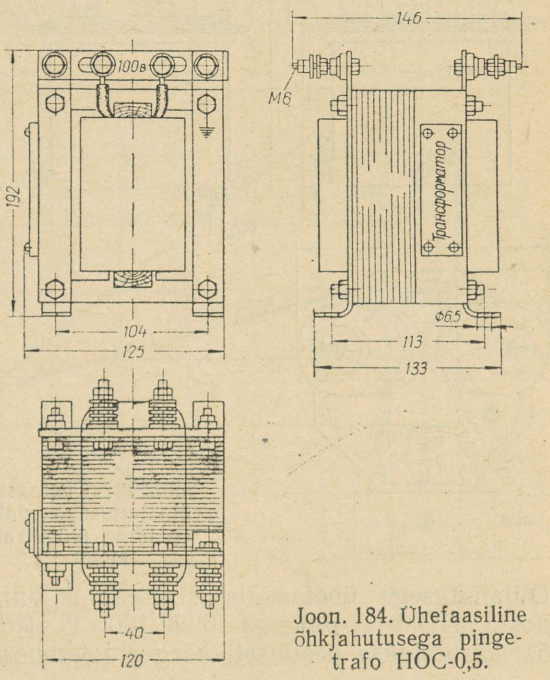
Joon. 183. Kahe ühefaasilise pingetrafo ühendamine avatud kolmnurka.

PINGETRAFODE TÜÜBID

Maaelektrijaamades ja -alajaamades kasutatakse ühefaasilisi ja kolmefaasilisi pingetrafosid primaarpingega 380, 6000, 10 000, 35 000 V ja sekundaarpingega — 100 V.

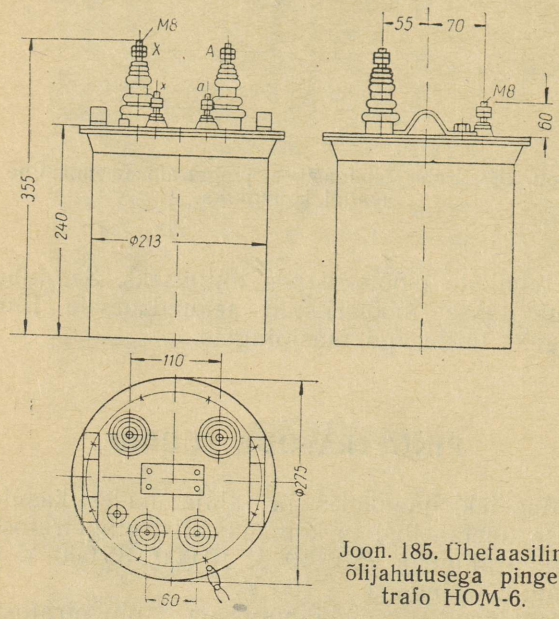
Ühefaasilisi õhkjahutusega pingetrafosid HOC-0,5 (joon. 184) kasutatakse madalpingelistes siseseadmetes. Need transformeerivad pinge 380 V-lt 100 V-le mõnede kaitse- ja mõõteriistade toitmiseks, mida ei saa lülitada liinipingele 380 V ega faasipingele 220 V.

Pingetrafod HOC-0,5 võivad töötada täpsusklassis 0,5; 1 ja 3, kusjuures nendele täpsusklassidele vastavad nimivõimsused on 25, 40 ja

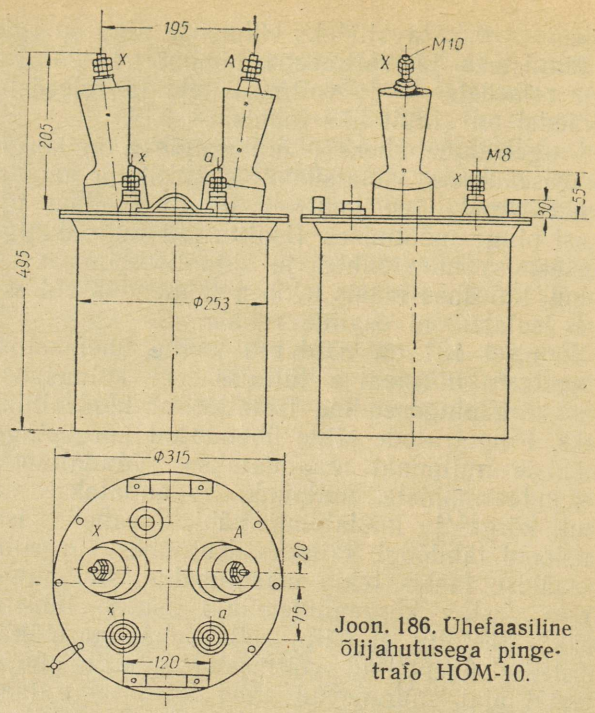


Joon. 184. Ühefaasiline õhkjahutusega pingetrafo HOC-0,5.

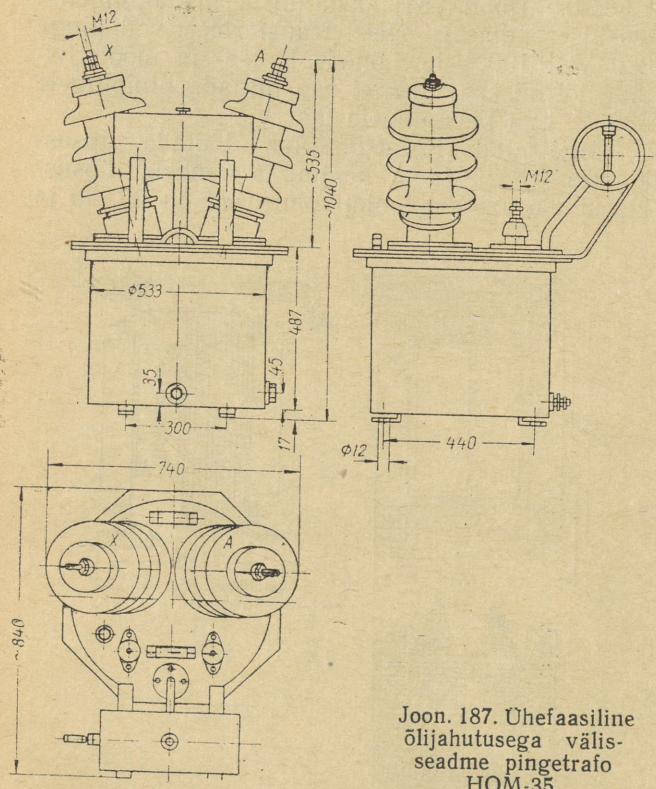
100 VA. Kõige halvema täpsusklassi korral on maksimaalne võimsus 200 VA. Ülempingemähise proovipinge on 6 kV, alampingemähisel — 2 kV.



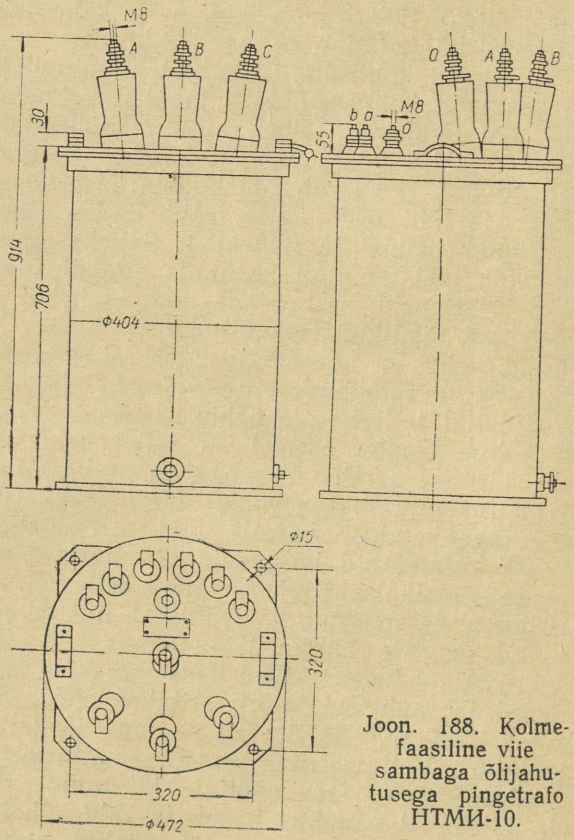
Joon. 185. Ühefaasiline õlijahutusega pingetrafo HOM-6.



Joon. 186. Ühefaasiline õlijahutusega pingetrafo HOM-10.



Joon. 187. Ühefaasiline õlijahutusega välisseadme pingetrafo HOM-35.



Joon. 188. Kolmefaasiline viie sambaga õlijahutusega pingetrafo НТМИ-10.

Õlijahutusega ühefaasilisi siseseadme pingetrafosid HOM-6, pingega 6000/100 V (joon. 185), kasutatakse peamiselt kõrgepingegeneraatorite vooluahelates, pingega 6 kV. Nende nimivõimsused on täpsusklasside 0,5; 1 ja 3 korral vastavalt 50, 80 ja 200 VA. Maksimaalne võim-

sus on 400 VA. Ülempingemähise proovipinge on 32 kV, alampingemähisel — 2 kV.

Maaelektrijaamades ja -alajaamades on laialdaselt levinud ühefaasilised õlijahutusega siseseadme pingetrafod HOM-10 (joon. 186) pingele 10 000/100 V.

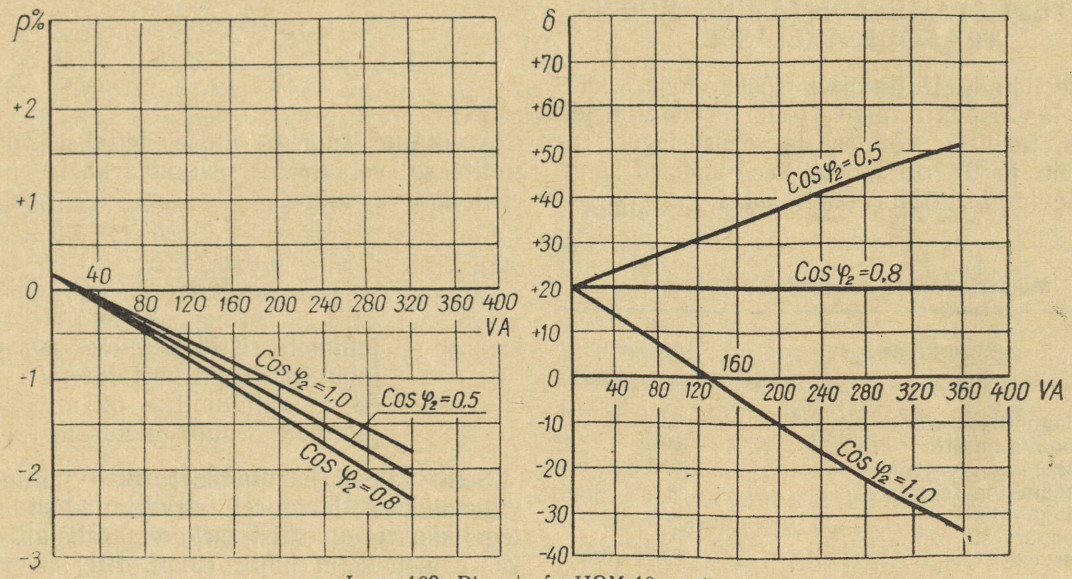
Nende trafode nimivõimsused on 80, 150 ja 320 VA täpsusklasside puhul vastavalt 0,5; 1 ja 3. Maksimaalne võimsus on 640 VA.

Erinevalt ülalkirjeldatud pingetrafodest HOM-6 ja HOM-10 on ühefaasilised pingetrafod HOM-35 (joon. 187), pingele 35 000/100 V, ette nähtud ülesseadmiseks mitte kinnistesse ruumidesse, vaid välisseadmetesse.

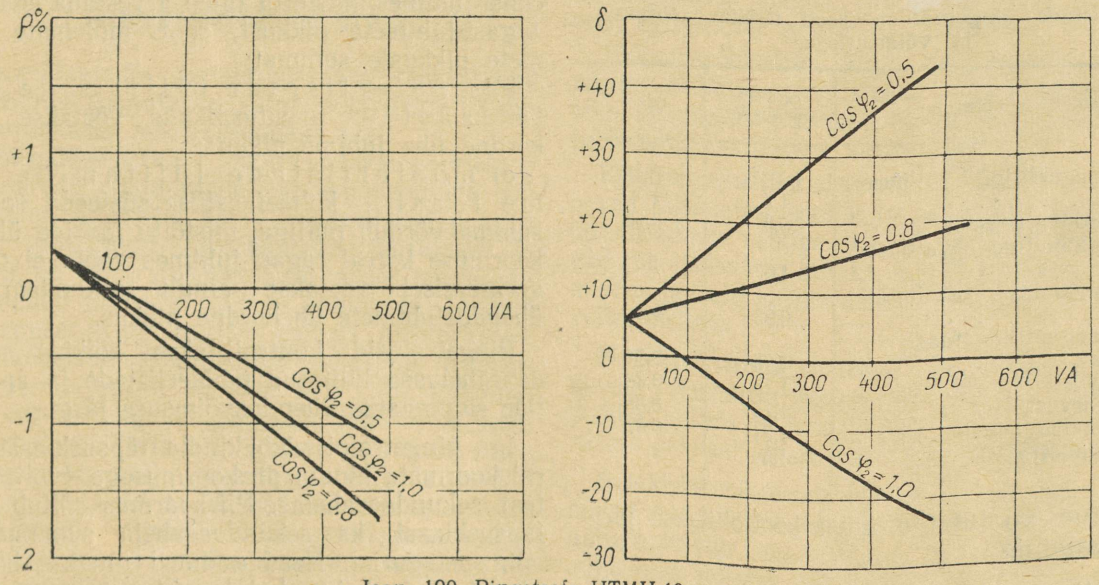
Nagu joonisel 187 näidatud, on see pingetrafode tüüp varustatud õlipaisunõuga.

Pingetrafo HOM-35 nimivõimsused on tavaliste täpsusklasside korral vastavalt 150, 250 ja 600 VA.

Kolmefaasilised pingetrafod ehitatakse kolme sambaga (HTMK-6 ja HTMK-10) ja viie sambaga (НТМИ-6 ja НТМИ-10). Nii ühed kui ka teised aparaadid on ette nähtud ülesseadmiseks siseseadmetesse.



Joon. 189. Pingetrafo HOM-10 vead.



Joon. 190. Pingetrafo НТМИ-10 vead.

Viiesambalised pingetrafod НТМИ-6, pingele 6000/100 V, on ette nähtud võimsustele 50, 80 ja 200 VA; tüüp НТМИ-10 (joon. 188), pingele 10 000/100 V, võimsustele 120, 200 ja 480 VA ning vastavalt täpsusklassidega 0,5; 1 ja 3.

Pingetrafode pinge ülekandeviga $p\%$ ja nurgaviga δ suurenevad sekundaarkoormuse suurenemisel.

Need vead sõltuvad samuti ka koormuse võimsustegurist.

Joonisel 189 on näidatud pingetrafo НОМ-10 vead ja joonisel 190 — pingetrafo НТМИ-10 vead (faasid *A* — *C*).

MÕÕTERIISTADE LÜLITAMINE MÕÕTETRAFODE AHELASSE

Mõõteriistade lülitamisel mõõtetrafode sekundaarahelasse peab olema teada nende riistade takistus, tarbitav võimsus ja võimsustegur. Tabelites 66 ja 67 on toodud need andmed kõige enam levinud mõõteriistade kohta.

Tabel 66

Mõõteriistade voolumähiste takistused

Mõõteriista nimetus	Kogutakistus
Elektromagnetiline ampermeeter	0,07
Induktsioonvattmeeter	0,053
Ferrodünaamiline vattmeeter	0,05
Ferrodünaamiline faasimõõtja	0,05
Elektromagnetiline „	0,09
Induktsioonarvesti	0,021
Reaktiivarvesti	0,011—0,022

Tabel 67

Mõõteriistade pingemähiste poolt tarbitav võimsus ja võimsustegur

Mõõteriista nimetus	Tarbitav võimsus VA	Cos φ
Elektromagnetiline voltmeeter	4,7	1
Induktsioonvattmeeter	5,0	0,12
Ferrodünaamiline vattmeeter	1,6	1
Ferrodünaamiline faasimõõtja	0,93	1
Elektromagnetiline faasimõõtja	1,25	0,77
Aktiivarvesti	1,75	0,38
Reaktiivarvesti	1,73	0,38
Vibratsioonsagedusmõõtja	1,24	0,87
Sagedusmõõtja ВБ	1,5	1

Valitud voolutrafo tüüpi kontrollitakse järgmise valemiga:

$$S_2 = I_2^2 \, (Z_{\text{mõõter}} + R_{\text{juht}} + R_{\text{kont}}),$$

kus: S_2 — voolutrafo sekundaarne koormus VA (valitakse kataloogi järgi vastavalt täpsusklassile);

I_2 — voolutrafo sekundaarne nimivool (5 A);

$Z_{\text{mõõter}}$ — voolutrafo sekundaarahelasse lülitatavate kõigi mõõteriistade voolumähiste kogutakistus (tabeli 66 järgi);

R_{kont} — kontaktide takistus (võetakse 0,1 Ω);

R_{juht} — voolutrafo sekundaarahela antud faasi kõigi juhtmete takistus.

Valemis toodud suuruste järgi leitakse juhtmete takistus:

$$R_{\text{juht}} = \frac{S_2}{I_2^2} - Z_{\text{mõõter}} - R_{\text{kont}}.$$

Arvutatud suuruse alusel leitakse või kontrollitakse voolutrafo sekundaarahela juhtmete ristlõiget valemiga:

$$q = \frac{l}{kR_{\text{juht}}},$$

kus: q — juhtmete ristlõige mm;

k — juhtmematerjali erijuhtivus (vasel — 53, alumiiniumil — 32);

l — juhtmete arvutuspikkus m.

Selle valemi kasutamisel tuleb juhtmete arvutuspikkuse leidmisel arvestada ka voolude tegelikku jagunemist sekundaarahelas. Praktikas esineb kolm juhtu (joon. 191):

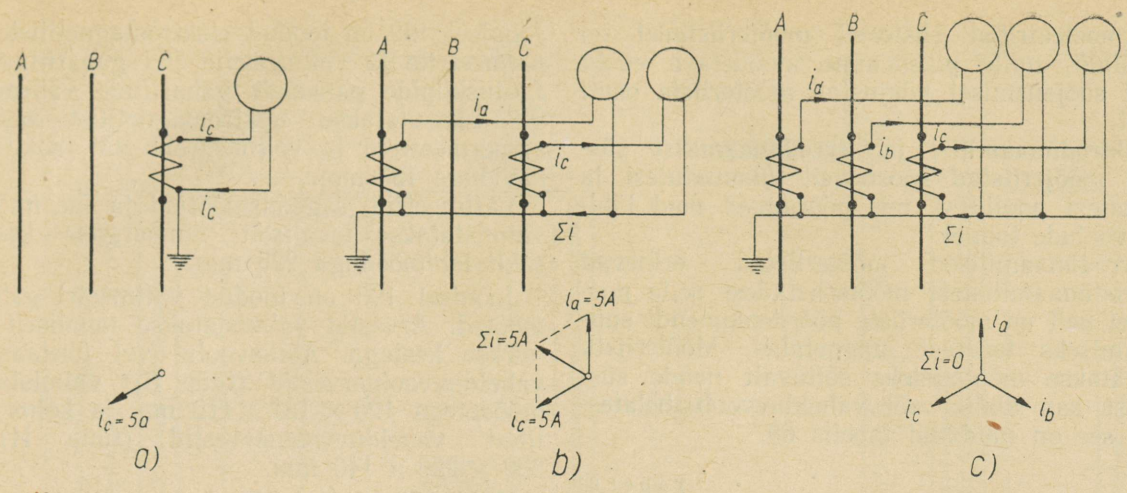
a) mõõteriistade lülitamine ühte faasi — tagasi-juhtmes esineb sama vool mis edasi-juhtmes, mistõttu tuleb arvestada edasi- ja tagasi-juhtmete pikkust, s. t. mõlemate juhtmete pikkuste summat;

b) mõõteriistade lülitamine kahte faasi — arvutuspikkus võetakse 1,73-kordne ühe juhtme pikkus;

c) mõõteriistade lülitamine kolme faasi — kolmefaasilise süsteemi voolude summa võrdub nulliga, mistõttu faaside ühtlase koormuse korral tagasi-juhtmes voolu ei ole ja arvutamisel võetakse ainult sekundaarahela ühendusjuhtmete ühekordne pikkus.

Pingetrafosid kontrollitakse kõikide sekundaarahelasse lülitatud mõõteriistade ja aparaatide summaarse ühendusvõimsuse järgi.

Iga pingetrafot võib kindla täpsusklassi korral koormata kindla piirkoormusega (voltampri-tes) sekundaarahelas. Piirkoormus sõltub peale täpsusklassi ka sekundaarahela summaarsest võimsustegurist. Need andmed tuuakse kõikide pingetrafode kohta kataloogides.



Joon. 191. Mõõteriistade lülitamine voolutrafo abil: *a* — lülitamine ühte faasi; *b* — lülitamine kahte faasi; *c* — lülitamine kolme faasi.

Summaarse võimsuse arvutamisel tuleb arvestada seda, et üksikute mõõteriistade näivvõimsusi ei tule liita aritmeetiliselt, sest igal mõõteriistal on teistest riistadest erinev võimsustegur. Mõõteriista aktiiv- ja reaktiivvõimsus arvutatakse valemitega:

$$P = S \cos\varphi,$$
$$Q = S \sin\varphi.$$

Järgnevalt summeeritakse aritmeetiliselt eraldi mõõteriistade aktiiv- ja reaktiivvõimsused. Peale selle leitakse pingetrafo sekundaarahela näivvõimsus valemiga:

$$\Sigma S = \sqrt{(\Sigma P)^2 + (\Sigma Q)^2}.$$

ELEKTRIMÕÕTERIISTAD

Elektrijaamades ja alajaamades kasutatavad mõõteriistad jaotatakse kahte põhirühma: kilbi- ja kantavateks mõõteriistadeks [24].

Kilbi-mõõteriistad monteeritakse elektrijaamade ja alajaamade jaotuspaneelidele või jõuseadme kilpidele. Need mõõteriistad peavad olema varustatud hästinähtava skaalaga ja osutiga, et teeninduspersonalil oleks kerge jälgida nende näitusid. Kõige enam on levinud ümmarguse ja nelinurkse kujuga mõõteriistad, mis monteeritakse jaotuskilbi esiküljele, ja ühendused nende juurde tuuakse läbi kilbi. Ekspluatatsioonil on kõige mugavamad kilbi sisse monteeritavad mõõteriistad, olgugi et nende monteerimine on palju keerukam. Kilbi paneelile saetakse vastavad avad, milledesse paigutatakse mõõteriistad, kusjuures kilbi pealispinnast ulatub välja ainult mõõteriista ümmargune või nelinurkne ääris või mõõteriista esiosa raam.

Kantavaid mõõteriistu kasutatakse ekspluatatsioonilisteks ja laboratoorseteks mõõtmisteks juhul, kui pole vaja pidevalt jälgida elektriseadme seisukorda. Sõltuvalt tähtsusest valmistatakse laboratoorseid mõõteriistu mitmesuguse täpsusklassiga. Ekspluatatsioonilised kantavad mõõteriistad paigutatakse tavaliselt puidust kastidesse, mille esiküljel on avatav aknake skaala jälgimiseks mõõtmise ajal. Laboratoorsed mõõteriistad on kõige täpsemad ja kallimad. Need on ette nähtud mõõtmiseks laboratoorsetes tingimustes ja antud hoones ringikandmiseks ning need ei ole kohased sagedasteks ja kaugeteks transportimisteks.

Mõõteriistade tüüpide ja arvu valimine igale elektrijaamale toimub vastavalt selle võimsusele, agregaatide arvule ja tähtsusele.

Töötamispõhimõtte järgi liigitatakse mõõteriistu elektromagnetilisteks, magnetelektrilisteks, induktsioon-, soojus-, elektrodünaamilisteks ja ferrodünaamilisteks mõõteriistadeks.

Elektromagnetilist süsteemi mõõteriistad koosnevad liikumatust poolist ja liikuvast osast, mis on ühenduses osutiga. Need mõõteriistad sobivad nii alalisvoolu kui ka vahelduvvoolu mõõtmiseks ja neid kasutatakse ampermeetritena ja voltmeetritena.

Magnetelektrilist süsteemi mõõteriistad koosnevad liikumatust püsivmagnetist ja liikuvast poolist, millele on kinnitatud osut. Need mõõteriistad sobivad ainult alalisvoolu mõõtmiseks.

Induktsioonsüsteemilised mõõteriistad koosnevad terasest magnetsüdamikust mitme liikumatu mähisega, mis tekitavad pöörleva magnetvälja, mis kallutab mõõteriista liikuvat osa koos osutiga.

Termoelektrilist süsteemi mõõteriistadel on metallniit, mille pikenemine mõõdetava voolu mõjul soojenemisel põhjustab mõõteriista osuti hälvet.

Elektrodünaamilist ja ferrodünaamilist süsteemi mõõteriistad koosnevad liikumatutest ja liikuvatest poolidest, mis pöörduvad neid läbivate voolude toimel.

Ferrodünaamilised mõõteriistad erinevad elektrodünaamilistest mõõteriistadest selle poolest, et neil on mõõteriista pöördemomendi suurendamiseks terasest magnetahel. Mõõteriistu kasutatakse mõõtmisteks sõltuvalt nende süsteemist kas alalis- või vahelduvvooluahelates, nagu see on näidatud tabelis 68.

Tabel 68

Mitmesugust süsteemi mõõteriistade kasutamine elektrivooluahelates

Süsteem	Alalisvool	Vahelduvvool
1. Elektromagnetiline	Ampermeetrid Voltmeetrid	Ampermeetrid Voltmeetrid Faasimõõtjad
2. Magnetelektriline	Ampermeetrid Voltmeetrid	— —
3. Induktsioon-süsteemiline	—	Ampermeetrid Voltmeetrid Vattmeetrid Arvestid
4. Termoelektriline	Ampermeetrid Voltmeetrid	Ampermeetrid Voltmeetrid
5. Elektrodünaamiline ja ferrodünaamiline	Ampermeetrid Voltmeetrid Vattmeetrid Arvestid	Ampermeetrid Voltmeetrid Vattmeetrid Sagedusmõõtjad Faasimõõtjad

Joonisel 192 on toodud elektromagnetiliste ampermeetrite ja voltmeetrite ЭН gabariitmõõted. Jaotuskilpide paneelide gabariitide vähendamiseks kasutatakse elektromagnetilist süsteemi ampermeetreid ja voltmeetreid ЭМ, sokli läbimõõduga 135 mm.

Vattmeetrid, sagedusmõõtjad ja faasimõõtjad valmistatakse tavaliselt ümmarguse kestaga, sokli läbimõõduga 225 mm.

Joonisel 193 on toodud vattmeetri gabariitmõõted. Arvestid valmistatakse tavaliselt nelinurkse kestaga. Alalisvoolu- või ühefaasilised vahelduvvooluarvestid (tüüp $Б_2$) valmistatakse mõõdetega 126 × 182 × 112 mm ja kolmefaasilised vahelduvvooluarvestid (tüüp И) — 200 × 256 × 140 mm.

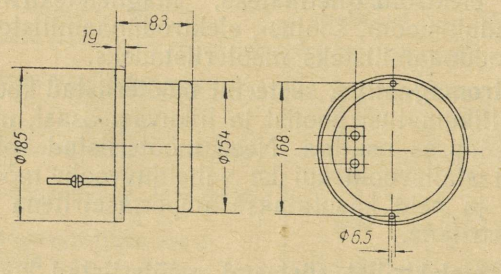
Kilbi-mõõteriistad ЭН, ümmarguse kestaga ja sokli läbimõõduga 185 mm, valmistatakse nii otseseks ühendamiseks vooluahelasse kui ka ühendamiseks vastavate mõõtetrafode kaudu.

Ampermeetrid ja voltmeetrid ЭМ, sokli läbimõõduga 135 mm, valmistatakse ainult otseseks ühendamiseks vooluahelasse (ampermeetrid kuni 50 A ja voltmeetrid kuni 260 V).

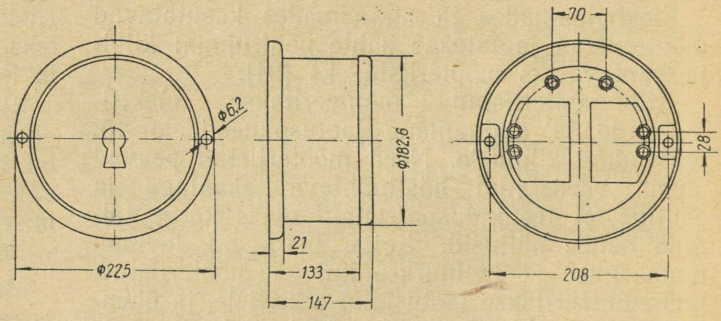
Suurte voolude ja pingete mõõtmisel tuleb elektromagnetiliste mõõteriistade puhul kasutada voolu- ja pingetrafosid. Alalisvoolu mõõtmiseks piirides 50 kuni 200 A kasutatakse ampermeetrite juures väliseid šunte.

Kilbi-vattmeetrid ümmarguse kestaga valmistatakse voolule 5 A ja pingele 110 V ning voolule 5 A ja pingele 220 V, s. t. neid tuleb ühendada mõõteahelasse voolutrafo abil ja pingel üle 220 V — pingetrafo abil.

Ümmarguste kestadega kilbi-faasimõõtjad ЭБФ valmistatakse voolule 5 A ja pingele: 120, 220, 380 ja 500 V.



Joon. 192. ЭН-tüüpi ampermeetrite ja voltmeetrite gabariitmõõted.



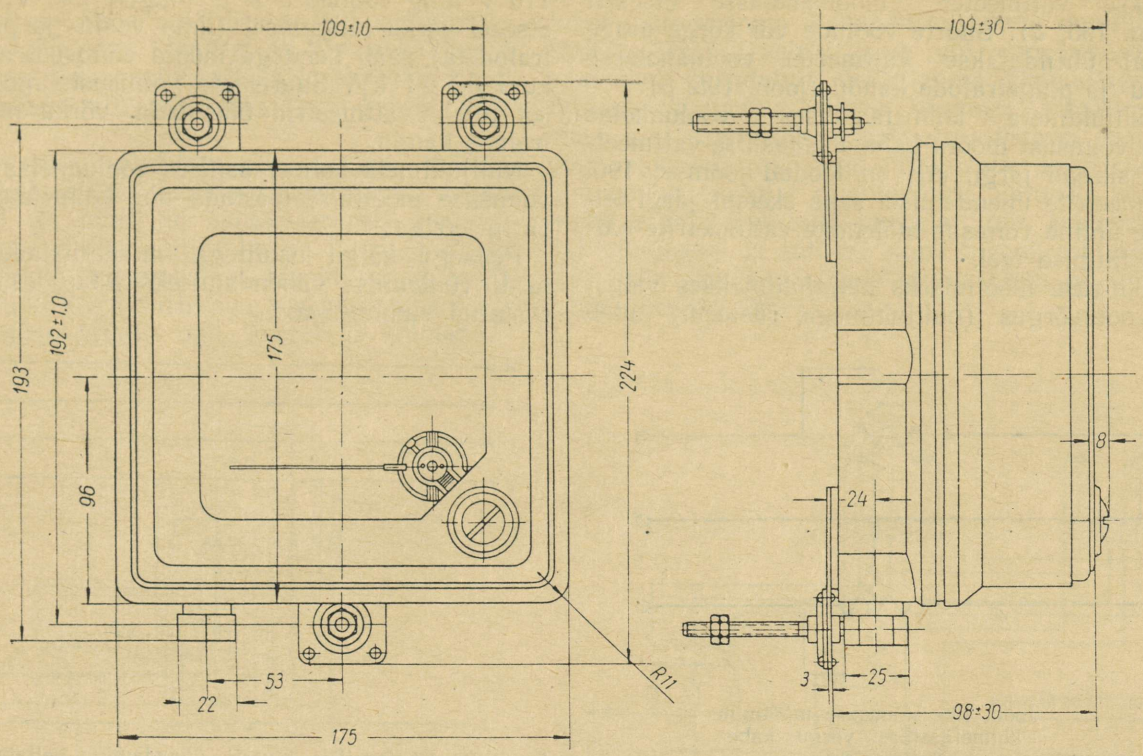
Joon. 193. Vattmeetri gabariitmõõted.

Kilbi-mõõteriistade kest on ümmarguse või nelinurkse kujuga.

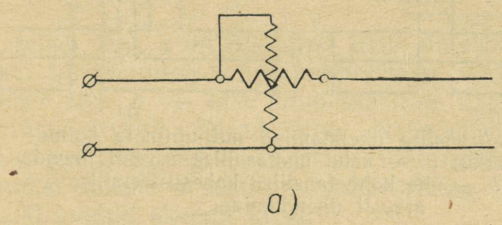
Ümmarguste kestadega mõõteriistad valmistatakse sokli läbimõõduga 135, 185 ja 225 mm.

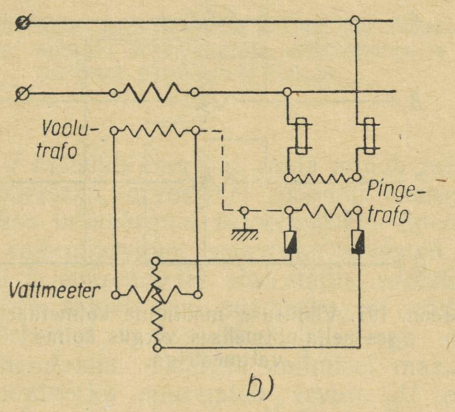
Ümmarguste kestadega kilbi-sagedusmõõtjad ВЧ valmistatakse sageduse mõõtmiseks piirides 45 kuni 55 Hz pingetel: 127, 220, 380 ja 500 V.

Elektromagnetilist süsteemi vahelduvvoolu-



Joon. 194. Mõõteriistade Э 113/1 gabariitmõõted.





Joon. 195. Ühefaasiliste vattmeetrite ühendusskeemid: *a* — otsene ühendamine; *b* — voolu- ja pingetrafo abil ühendamine.

ampermeetrite ja -voltmeetrite Э 113/1 mõõted on toodud joonisel 194.

Need mõõteriistad on ette nähtud monteerimiseks lülituskilbi peale.

Ampermeetrid Э 113/1 on arvestatud otseseks ühendamiseks vooluahelasse vooludele kuni 20 A ja ühendamiseks voolutrafo kaudu — mistahes standardvooludele.

Voltmeetrid on ette nähtud otseseks lülitamiseks pingetele 30, 50, 150, 250, 450 ja 600 V.

VÕIMSUSE JA ENERGIA MÕÕTMINE

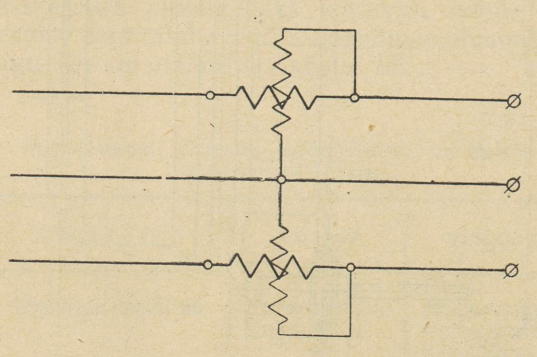
Ühefaasilise vahelduvvoolu võimsuse mõõtmiseks kasutatakse vattmeetrit, millel on kaks pooli: liikumatu — voolupool ja liikuv — pingepool. Vattmeetri voolupool lülitatakse vooluahelasse analoogiliselt ampermeetri mähisega, s. t. järjestikku, pingepool — sarnaselt voltmeetri mähisega, s. t. paralleelselt.

Väikeste voolude ja madala pinge korral ühen-

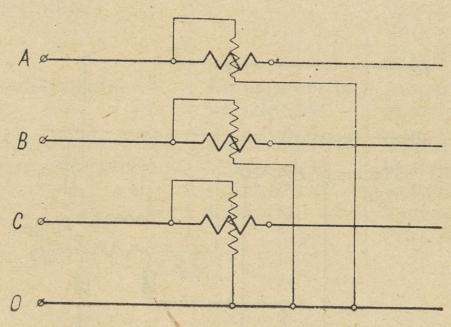
datakse vattmeeter mõõteahelasse otseselt (joon. 195, *a*). Suurte voolude või kõrge pinge korral ühendatakse vattmeeter vooluahelasse voolu- ja pingetrafode kaudu (joon. 195, *b*).

Nulljuhtmeta kolmefaasilises vooluahelas saab võimsust mõõta kahe ühefaasilise vattmeetriga skeemi järgi, mis on toodud joonisel 196. Vattmeetrite ühendamisel selle skeemi järgi leitakse üldine võimsus mõlemate vattmeetrite näitude liitmise teel.

Võimsuse mõõtmiseks neljajuhtmelises vahelduvvooluvõrgus (nulljuhtmega süsteem) tuleb



Joon. 196. Võimsuse mõõtmine kolmefaasilises võrgus kahe vattmeetriga.



Joon. 197. Võimsuse mõõtmine kolmefaasilises neljajuhtmelises võrgus kolme vattmeetriga.

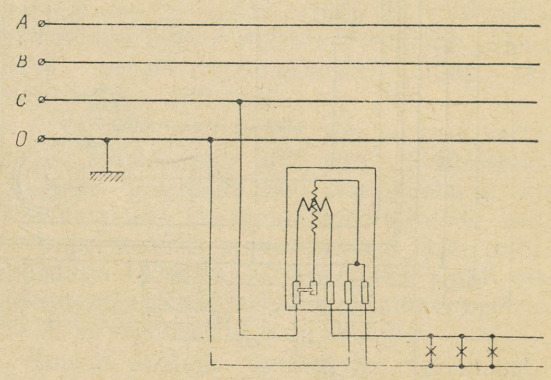
kasutada kolme ühefaasilist vattmeetrit, mis ühendatakse nii, et igaüks neist mõõdab ühe faasi võimsust (joon. 197).

Kolme vattmeetri näitude summa võrdub üldise võimsusega. Kui kolmefaasilises vooluahelas on kõik faasid koormatud täiesti ühtlaselt ja seadmel on välja toodud nulljuhe, siis võib mõõtmist teostada ühe vattmeetriga. Seadme koguvõimsuse leidmiseks sellise ühenduse korral tuleb ühefaasilise vattmeetri näit korrutada kolmega.

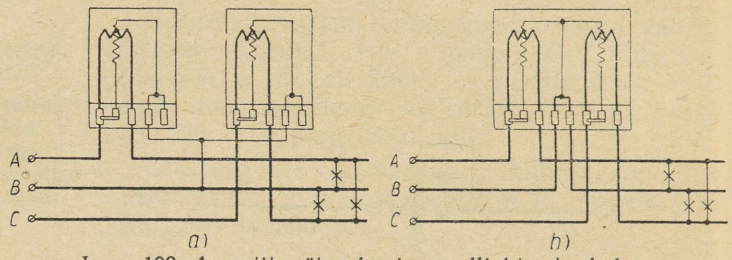
Nagu ülal nimetatud, valmistatakse ühefaasilised kilbi-vattmeetrid voolule 5 A ja pingele 110 V ning voolule 5 A ja pingele 220 V, s. t. otsesel võrku lülitamisel (ilma voolu- ja pingetrafodeta) saab nendega mõõta võimsust ainult kuni 0,5—1 kV. Suuremate võimsuste mõõtmisel tuleb vattmeetrid ühendada võrku mõõtetrafode kaudu.

Nulljuhtmeta kolmefaasilises vooluahelas võib võimsuse mõõtmist teostada ühe kolmefaasilise vattmeetriga.

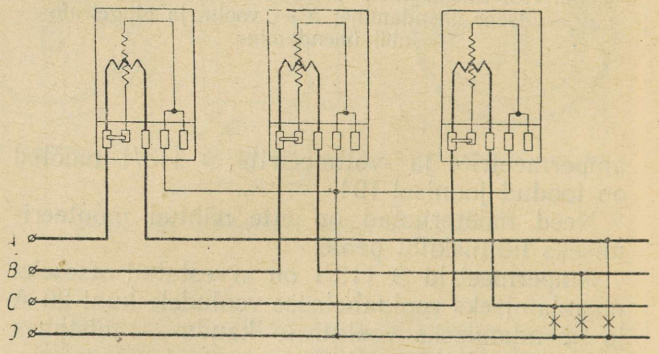
Peaaegu kõigil osutitega mõõteriistadel on osuti võnkumise vähendamiseks liikuv osa varustatud summutiga.



Joon. 198. Ühefaasilise arvesti ühendamine neljajuhtmelisse võrku faaside ühtlase koormuse korral.



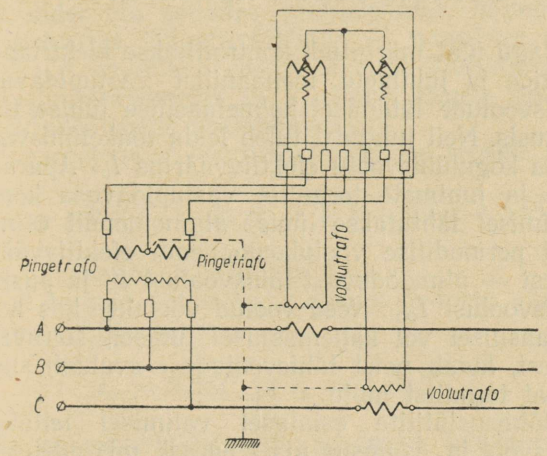
Joon. 199. Arvestite ühendamine nulljuhtmeta kolmefaasilisse võrku: *a* — kahe ühefaasilise arvesti ühendamine; *b* — ühe kolmefaasilise kahesüsteemilise arvesti ühendamine.



Joon. 200. Energia mõõtmine kolmefaasilises neljajuhtmelises võrgus kolme ühefaasilise arvestiga.

Paljudel mõõteriistadel on spetsiaalne kruvi osuti nullasendisse seadmiseks. Kui mõõteriista osuti mingisugusel põhjusel on kõrvalekaldunud asendis, s. t. ei peatu nullväärtusel, tuleb osuti nullasendisse tagasiviimiseks kruvi kergelt pöörata.

Ühefaasilise vahelduvvoolu energiat mõõdetakse ühefaasilise induktsioonarvestiga. Joonisel 198 on näidatud sellise arvesti ühendamine maandatud nulljuhtmega neljajuhtmelisesse võrku, tingimusel et faasid on ühtlaselt koormatud. Kogu tarbitava elektrienergia leidmiseks tuleb arvesti näit korrutada kolmega.

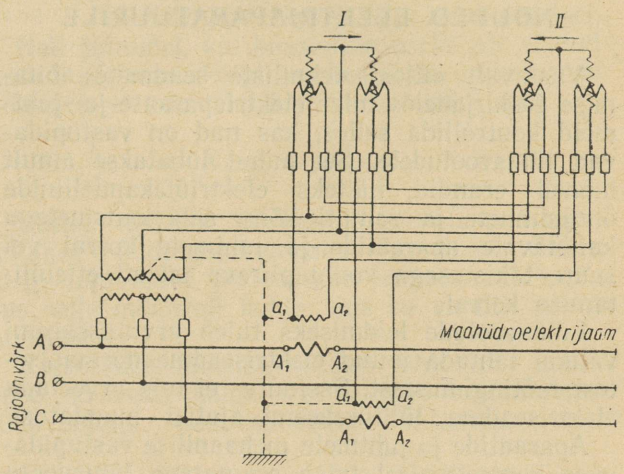


Joon. 201. Kolmefaasilise arvesti ühendamine kõrgepingevõrguga pinge- ja voolutrafode abil.

Joonisel 199, *a* on näidatud kahe ühefaasilise arvesti ühendamine kolmejuhtmelisesse võrku ja joonisel 199, *b* — ühe kolmefaasilise kahesüsteemilise arvesti ühendamine. Neljajuhtmelise võrgu (nulljuhtmega) energia mõõtmiseks kasutatakse kolme arvestit, mis lülitatakse joonisel 200 toodud skeemi järgi.

Joonisel 201 on näidatud kolmefaasilise arvesti ühendamine voolu- ja pingetrafode kaudu energia mõõtmiseks kõrgepingevõrgus.

Ülal vaadeldi mõningaid arvestite võrguga ühendamise skeeme, kui energia ülekandmise suund oli muutumatu. Kuid võivad esineda juhud, kus energia ülekandmise suund muutub. Näiteks üks maaelektrijaam või mitu väikest omavahel ühendatud elektrijaama ühendatakse rajoonielektrijaama võimsa võrguga. Tippkoormuse ajal saab väike maaenergiasüsteem energiat rajoonivõrgust, kuid minimaalse koormuse ajal annab energiat rajoonivõrku. Et oleks võimalik eraldi arvestada energiat, mis saadakse rajoonivõrgust ja antakse sinna tagasi, seatakse üles kaks arvestit, millede lülitusskeem on näidatud joonisel 202.



Joon. 202. Kahe kolmefaasilise arvesti ühendamine võrguga energia arvestamiseks elektrijaama ja süsteemi paralleeltöö korral.

Arvesti *I* mõõdab energiat, mida annab rajoonivõrk maavõrku, arvesti *II* mõõdab energiat, mis antakse maavõrgust rajoonivõrku. Energia andmisel rajoonivõrgust maavõrku arvestab seda arvesti *I*, suurendades oma näitu; arvesti *II* pidurdatakse spetsiaalse seadisega, et vältida selle pöörlemist vastassuunas ja seega selle näidu vähendamist. Energia andmisel maavõrgust rajoonivõrku suurendab arvesti *II* oma näitu, kuid arvesti *I* ketas jääb liikumatuks. Kummagi arvesti näit vastab eri suunas läbivale elektrienergiale [24].

KÜMNES PEATÜKK

ELEKTRIAPARAATIDE JA JUHTMETE VALIK LÜHISVOOLUDE JÄRGI

NÕUDED ELEKTRIAPARATUURILE

Vastavalt «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjadele» tuleb elektriaparaate ja -juhtmeid kontrollida selles, kas nad on vastupidavad lühisvooludele. Sel puhul lubatakse ainult mõned erandid, näiteks elektriülekandeliinide õhujuhtmete ja samuti kõigi sulavkaitsmetega kaitstavate aparaatide ja juhtmete korral või suure takistusega voolu piirava takisti ettelülitamise korral.

Lühisvoolude leidmiseks tuleb arvutusskeemi valikul lähtuda antud elektriseadme normaalsetest töötingimustest. Seejuures ei tule arvestada elektriseadme lülitusskeemi ajutisi muudatusi.

Aparaatide ja juhtmete mehaanilise vastupidavuse kontrollimisel tuleb arvutatava lühisvoolu liigiks võtta kolmefaasiline lühis. Võimsuslülitite väljalülitamisvoolu leidmisel tuleb samuti lähtuda kolmefaasilisest lühisest. Mis puutub aparaatide ja juhtmete soojusliku vastupidavuse leidmisesse, siis sel puhul tuleb lähtuda kas kolmefaasilisest või kahefaasilisest lühisest, sõltuvalt sellest, kumb neist põhjustab suurema soojushulga eraldamise.

Juhtmete ja aparaatide vastupidavuse kontrollimisel valitakse lühise arvutuspunktiks selline punkt, kus elektriseadme kontrollitavad elemendid on lühise korral kõige raskemates tingimustes.

Lühisvoolust tingitud soojenemise leidmisel võetakse arvutusajaks lühisekohale lähima võimsuslüliti juures ülesseatud kaitse toimimise aja ja selle võimsuslüliti toimimise aja summa. Juhtmete ja aparaatide valimiseks lühisvoolude arvutamisel tuleb lähtuda vastavalt «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjadele» [18] sellest tingimusest, et kõik elektrijaama ja süsteemi toiteallikad töötavad üheaegselt oma nimikoormusel ja et kõigil sünkroongeneraatoritel on automaatsed pingeregulaatorid või muud seadised, mis on ette nähtud pinge langemisel ergutuse suurendamiseks (ergutuse forsseerimine, kompaundeerimine).

LÜHISVOOLUDE ALGVÄÄRTUS

Nagu ülal märgitud, kontrollitakse elektriaparaatide ja juhtmete mehaanilist vastupidavust lühisvoolude läbimisel kolmefaasilise lühise tingimusis. Neil juhtudel tuleb leida tõukelühisvool i_p ja kogulühisvoolu efektiivväärtus I_p. Aparaatide ja juhtmete termilise vastupidavuse kontrollimisel lähtutakse lühise algmomendil esinevast perioodilise voolukomponendi efektiivväärtusest — ülimööduvast lühisvoolust I'' ja püsivlühisvoolust I_∞. Need voolud võetakse kas kolmefaasilisel või kahefaasilisel lühisel, sõltuvalt sellest, kumb neist lühisvooludest avaldab suuremat termilist mõju.

Võimsuslülitite esialgsel valimisel leitakse lühisvool ja -võimsus aja t pärast, mis võetakse 0,2 sec ja vastav vool tähistatakse $I_{0,2}$.

Lühisvoolude algväärtused, nimelt I'', I_p ja i_p, leitakse arvutamise teel, lähtudes baasipingest ja lühisahela resulteerivast takistusest, mis on taandatud baasitingimustele. Lühisahela resulteeriva takistuse leidmisest baasitingimustel räägitakse allpool.

Teades baasipinget ja baasivõimsust, leitakse baasivool valemiga:

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}U_b},$$

kus: I_b — nimi-baasivool A;
S_b — baasivõimsus kVA;
U_b — baasipinge kV.

Ülimööduv lühisvool leitakse valemiga:

$$I'' = \frac{I_b}{X_{*res}},$$

kus: X_{*res} — lühisahela resulteeriv suhteline takistus.

Tuleb silmas pidada seda, et induktiiv- ja aktiivtakistuste arvestamisel tuleb X_{*res} asemel

kasutada Z_{*res}, mis omakorda leitakse induktiivtakistuse X_{*res} ja aktiivtakistuse R_{*res} kaudu valemiga:

$$Z_{*res} = \sqrt{X_{*}^{2}{}_{res} + R_{*}^{2}{}_{res}}.$$

Kahefaasilisel lühisel leitakse vool $I''^{(2)}$ valemiga:

$$I''^{(2)} = \frac{\sqrt{3}I_b}{2X_{*res}}.$$

Ülimööduva lühisvoolu arvutatud suuruse järgi leitakse analüütilisel teel tõukelühisvool i_p ja kogulühisvoolu suurim efektiivväärtus I_p.

Voolude i_p ja I_p arvutamisel vaatleme kahte juhtu: 1) lühis arvutatakse kas generaatorite klemmidel või sellistes vooluahelates, milledes on ülekaalus induktiivtakistus — nagu see on tavaliselt enamikes elektriülekande-õhuliinidega kõrgepingeseadmetes ja 2) lühis esineb suure aktiivtakistusega vooluahelates.

Esimesel juhul kehtivad järgmised seosed:

$$i_p = p\sqrt{2}\,I'' \text{ ja } I_p = I''\sqrt{1+2(p-1)^2},$$

kus tõuketegur p võetakse 1,8.

Kui toodud valemites p asendada tema väärtusega (1,8), saame:

$$i_p = 2{,}55I'' \text{ ja } I_p = 1{,}52I''.$$

Suure aktiivtakistusega seadmete lühisahelates, näiteks kaablivõrkudes või mitte üle 100 kVA paralleelselt töötavate trafode sekundaarpoolel esineval lühisel, võetakse tõuketegur 1,3 [25].

Sellise tõuketeguri p väärtuse korral saame järgmised seosed tõukelühisvoolu ning ülimööduva voolu ja kogulühisvoolu suurima efektiivväärtuse ning ülimööduva lühisvoolu (lühise algmomendil esineva lühisvoolu perioodilise komponendi efektiivväärtuse) vahel:

$$i_p = 1{,}85I'' \text{ ja } I_p = 1{,}1I''.$$

LÜHISVOOLUDE ARVUTAMINE SUMBUMISTABELITE JÄRGI

Püsivlühisvoolu ja samuti vahepealsete voolude (peamiselt 0,2 sekundi pärast esineva lühisvoolu) analüütiline arvutamine on küllaltki raske. Projekteerivad ja ekspluateerivad organisatsioonid kasutavad sel juhul sumbumiskõveraid või -tabeleid. Tabelis 69 on toodud lühisvoolu perioodilise komponendi sumbumise andmed suhtelistes ühikutes nimivoolu suhtes. Tabelid on koostatud automaatsete ergutusregulaatoritega ja ilma nendeta hüdrogeneraatorite jaoks. Hüdrogeneraatorid on tabelis jaotatud ka veel summutusmähistega ja -mähisteta masinateks. Sumbumistabelite abil leitakse lühisvoolud järgmisel viisil.

Lühisahela jaoks leitud resulteeriva baasitakistuse X_{*res} abil leitakse arvutustakistus valemi järgi:

$$X_{*arv} = X_{*res}\frac{\Sigma S_n}{S_b},$$

kus: ΣS_n — kõigi vooluallikate summaarne võimsus, mis toidavad antud lühispunkti;

S_b — baasivõimsus, mida kasutati resulteeriva takistuse X_{*res} arvutamisel.

Neil juhtudel, kui baasivõimsuseks oli võetud antud süsteemi kõigi vooluallikate summaarne võimsus, ei tule teha ümberarvutamist, sest

$$X_{*arv} = X_{*res}.$$

Võttes aluseks lühisahela arvutustakistuse, leitakse hüdrogeneraatorite sumbumistabelite järgi lühisvoolu perioodilise komponendi kordsus selle momendi kohta, mis on vajalik antud arvutuses.

Korrutades tabelist saadud lühisvoolu kordsuse süsteemi kõigi vooluallikate summaarse nimivooluga, saadakse otsitav lühisvool.

Tabel 69

Lühisvoolu perioodilise komponendi sumbumistabel hüdrogeneraatorite kohta

	Arvutustakistus X_{*arv}	Aeg sekundites					
		0	0,2	∞	0	0,2	∞
		Summutusmähisega			Summutusmähiseta		
Ergutusregulaatoriga	0,270	5,55	3,76	3,34	4,30	3,739	3,34
	0,345	3,89	2,95	2,94	3,25	2,94	2,94
	0,445	2,80	2,27	2,54	2,44	2,27	2,54
	0,545	2,19	1,86	2,22	1,95	1,86	2,22
	0,645	1,80	1,57	1,93	1,64	1,564	1,93
	0,895	1,24	1,12	1,43	1,165	1,125	1,43
	1,145	0,94	0,88	1,13	0,896	0,877	1,135
	1,645	0,64	0,61	0,72	0,618	0,611	0,725
	2,145	0,48	0,47	0,53	0,470	0,468	0,533
	2,645	0,39	0,38	0,42	0,380	0,380	0,421
	3,145	0,33	0,32	0,35	0,318	0,318	0,348
	5,145	0,20	0,20	0,20	0,195	0,195	0,205
Ergutusregulaatorita	0,270	5,55	3,71	1,91	4,30	3,711	1,91
	0,345	3,89	2,93	1,69	3,25	2,92	1,695
	0,445	2,80	2,26	1,47	2,44	2,26	1,47
	0,545	2,19	1,85	1,30	1,96	1,85	1,305
	0,645	1,80	1,56	1,17	1,64	1,56	1,17
	0,895	1,24	1,12	0,92	1,165	1,12	0,918
	1,145	0,94	0,87	0,73	0,896	0,875	0,735
	1,645	0,64	0,61	0,55	0,618	0,61	0,552
	2,145	0,48	0,47	0,43	0,470	0,467	0,435
	2,645	0,39	0,38	0,36	0,380	0,378	0,358
	3,145	0,33	0,32	0,31	0,318	0,318	0,304
	5,145	0,20	0,19	0,19	0,195	0,195	0,190

Vastavalt «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjade» soovitustele tuleb püsivlühisvoolude ja t sec pärast esinevate lühisvoolude arvutamisel arvesse võtta automaatse ergutusregulaatori olemasolu. Lühisvoolude algväärtusele ei avalda pinge automaatse reguleerimise seadis mingit mõju. See on näha ka sumbumistabelis algmomendil ($t = 0$) esineva lühisvoolu perioodilisest komponendist.

Sumbumistabeleid ja -kõveraid kasutatakse ka lühisvoolu algväärtuse leidmiseks.

Näide lühisvoolude arvutamiseks sumbumistabelite abil. Olgu elektrijaama generaatorite võimsus $S_n = 3000$ kVA, $\cos\varphi = 0{,}8$ ja pinge 6,3 kV. Generaatorid on ühendatud liiniga pingettõstvate 6/10 kV trafode kaudu. Lühisekohaks on valitud punkt ühel 10 kV liinil. Lühisahela resulteeriv takistus baasivõimsusel 10 000 kVA $X_{*res} = 1{,}18$. Arvutustakistus suhtelistes ühikutes:

$$X_{*arv} = X_{*res}\frac{S_n}{S_b} = 1{,}18\,\frac{3000}{10000} = 0{,}35.$$

Generaatorite nimivool nimipingel 10,5 kV:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_n} = \frac{3000}{\sqrt{3}\cdot 10{,}5} = 165 \text{ A}.$$

Oletades, et generaatorid ei ole varustatud summutusmähistega, kuid omavad automaatse ergutusregulaatori, saame $X_{*arv} = 0{,}35$ korral (tabeli 69 järgi) järgmised lühisvoolude kordsused:

$$I_{*0} = 3{,}25,\ I_{*0{,}2} = 2{,}94 \text{ ja } I_{*\infty} = 2{,}94.$$

Sellest leitav ülimööduv lühisvool (lühisvoolu perioodilise komponendi efektiivväärtus algmomendil):

$$I'' = I_n I_{*0} = 165 \cdot 3{,}25 = 540 \text{ A}.$$

Tõukelühisvool (kogulühisvoolu suurim hetkväärtus):

$$i_p = 2{,}55I'' = 2{,}55 \cdot 540 = 1380 \text{ A}.$$

Kogulühisvoolu suurim efektiivväärtus:

$$I_p = 1{,}52I'' = 1{,}52 \cdot 540 = 820 \text{ A}.$$

Lühisvool 0,2 sec pärast (sumbumistabeli järgi):

$$I_{0{,}2} = I_n I_{*0{,}2} = 165 \cdot 2{,}94 = 485 \text{ A}.$$

Püsivlühisvool:

$$I_\infty = I_n I_{*\infty} = 165 \cdot 2{,}94 = 485 \text{ A}.$$

Näeme, et automaatse ergutusregulaatori olemasolu tõttu ei ole püsivlühisvoolu väärtus väiksem kui lühisvoolu väärtus 0,2 sec pärast lühise tekkimist.

Automaatse ergutusregulaatori puudumisel saaksime teistsugused lühisvoolude väärtused.

Lühise algmomendil voolud I'', i_p ja I_p e erine ülal arvutatud vooludest, mis esinevad automaatse ergutusregulaatoriga varustatud generaatorite korral. Voolud $I_{0{,}2}$ ja I_∞ on aga väiksemad:

$$I_{0{,}2} = I_n I_{*0{,}2} = 165 \cdot 2{,}92 = 480 \text{ A};$$

$$I_\infty = I_n I_{*\infty} = 165 \cdot 1{,}695 = 280 \text{ A}.$$

Näeme, et automaatse ergutusregulaatori puudumisel on generaatorite püsivlühisvool tunduvalt väiksem kui lühisvool 0,2 sec pärast.

Sumbumistabeleid võib kasutada ka kahefaasilise lühisvoolu arvutamiseks, et mõnel juhul kontrollida aparaatide ja juhtmete termilist vastupidavust. Lühisahela arvutustakistus suhtelistes ühikutes X_{*arv} korrutatakse kahega, leitakse selle kahekordistatud suuruse $2X_{*arv}$ abil lühisvoolu kordsus, mis korrutatakse veel $\sqrt{3}$-ga.

Jätkame ülaltoodud näidet ja kasutame sumbumistabelit kahefaasiliste lühisvoolude leidmiseks.

Lühisahela kahekordistatud arvutustakistus $2X_{*arv} = 2 \cdot 0{,}35 = 0{,}7$. Interpoolides väärtuste $X = 0{,}645$ ja $X = 0{,}895$ vahel saame järgmised lühisvoolu perioodilise komponendi kordsused: ergutusregulaatoritega generaatorite korral

$$I_{*0} = 1{,}5;\ I_{*0{,}2} = 1{,}42;\ I_{*\infty} = 1{,}8;$$

ergutusregulaatoriteta generaatorite korral

$$I_{*0} = 1{,}5;\ I_{*0{,}2} = 1{,}40;\ I_{*\infty} = 1{,}1.$$

Need kordsused tuleb kahefaasilise lühise jaoks suurendada 1,73 korda. Seega on kahefaasilisel lühisel voolu kordsused: ergutusregulaatoritega generaatorite korral

$$I^{(2)}_{*0} = 2{,}6;\ I^{(2)}_{*0{,}2} = 2{,}45;\ I^{(2)}_{*\infty} = 3{,}1;$$

ergutusregulaatoriteta generaatorite korral

$$I^{(2)}_{*0} = 2{,}6;\ I^{(2)}_{*0{,}2} = 2{,}42;\ I^{(2)}_{*\infty} = 1{,}9.$$

Kahefaasilised lühisvoolud leitakse ülaltoodud kordsuste ja nimivoolu (meie näites 165 A) korrutamisel.

Sumbumistabeli järgi teostatud lühisvoolude arvutamise tulemused nii kahefaasilisel kui ka kolmefaasilisel lühisel on koondatud tabelisse 70.

Tabel 70

Sumbumistabeli järgi arvutatud lühisvoolud

Lühisvool	Kolmefaasiline lühis		Kahefaasiline lühis	
	Ergutusregulaatoriga	Ergutusregulaatorita	Ergutusregulaatoriga	Ergutusregulaatorita
Ülimööduv ühisvool I'' . .	540	540	420	420
Kogulühisvoolu suurim efektiivväärtus I_p	820	820	640	640
Tõukelühisvool i_p	1 380	1 380	1 075	1 075
Lühisvool 0,2 sec pärast $I_{0,2}$	485	480	405	400
Püsivlühisvool I_∞	485	280	506	315

LÜHISAHELA ELEMENTIDE TAKISTUSE LEIDMINE

Lühisvoolude arvutamisel väljendatakse lühisahela elementide takistused suhtelistes ühikutes R_*, X_* ja Z_*, mis tähendavad vastavalt: suhteline aktiiv-, reaktiiv- ja näivtakistus. Vooluahela mingi elemendi takistus suhtelistes ühikutes on antud voolu läbimisel temas esineva pingelangu ja faasipinge suhe, s. t.

$$X_* = \frac{\sqrt{3}XI}{U},$$

kus: X_* — takistus suhtelistes ühikutes faasi kohta;
X — vooluahela sama elemendi takistus oomides;
I — vooluahela elementi läbiv vool A;
U — liinipinge V.

Korrutades toodud valemi lugejat ja nimetajat liinipingega U, saame sõltuvuse, milles suhteline takistus avaldub takistuse (oomides), võimsuse (voltamprites) ja pinge (voltides) kaudu, nimelt:

$$X_* = \frac{XS}{U^2}. \qquad (17)$$

Valem (17) jääb kehtima, kui selles võimsus väljendada MVA-tes ja pinge kV-des.

Analoogilised sõltuvused kehtivad ka R ja Z korral.

Samade takistuste korral oomides võib nendesamade seadmeelementide takistus suhtelistes ühikutes omada erinevaid väärtusi, sõltuvalt võetud voolu ja pinge või võimsuse ja pinge väärtustest. Arvutusskeemides näidatakse tavaliselt üksikute elementide nimiparameetrid ja suhtelised takistused, mis vastavad nendele nimiparameetritele.

Sünkroongeneraatorite suhteline takistus võetakse lühisvoolude arvutamisel võrdseks lühise algmomendil esineva induktiivtakistusega, s. t. pikitelje ülimööduva takistusega X''_d.

Selle takistuse väärtus võetakse tehase andmete järgi või käsiraamatutest. Täpsemate andmete puudumisel võib kasutada järgmisi ülimööduva takistuse väärtusi:

summutusmähisteta hüdrogeneraatoritel . . .	0,27
summutusmähistega hüdrogeneraatoritel . . .	0,20
turbogeneraatoritel	0,125
sünkroonkompensaatoritel	0,16
sünkroonmootoritel	0,20

Trafode suhteline induktiivtakistus võetakse lühisvoolude arvutamisel võrdseks lühispingega u_k, mis väljendatakse samuti suhtelistes ühikutes. Nagu näha tabelist 51 (vt. neljas peatükk), on u_k väärtus 0,055 kuni 0,07 (trafodel võimsusega 10 kuni 3200 kVA). Lühisvoolude arvutamisel madalpingevõrkudes, mida toidetakse pingetmadaldavatest trafodest, arvestatakse ka trafo mähiste aktiivtakistust. See takistus leitakse vaseskadude järgi valemiga:

$$R_* = \frac{P_v}{S_t},$$

kus: R_* — trafo mähiste suhteline aktiivtakistus,
P_v — trafo vaseskaod kW,
S_t — trafo nimivõimsus kVA.

Õhuliini takistus leitakse lähtudes liinijuhtmete ühe faasi takistusest, võimsusest ja pingest valemi järgi $X_* = \frac{XS}{U^2}$, mis on juba toodud ülal.

Täpsemate andmete puudumisel võetakse värvilistest metallidest juhtmetega ühe ahelaga õhuliini ühe faasi takistus lühisvoolude arvutamisel: kõrgepingeliinides — 0,4Ω/km, madalpingeliinides — 0,3Ω/km. Terasjuhtmetega õhuliini korral, kui vool on üle 500 A, võetakse lühisvoolude arvutamisel ühe faasi takistuseks 0,5Ω/km [26]. See suurus sisaldab mitmesoonelise terasjuhtme nii sisemise kui ka välise induktiivtakistuse. Lühisvoolude arvutamise iseärasust terasjuhtmetega võrkudes vt. [52].

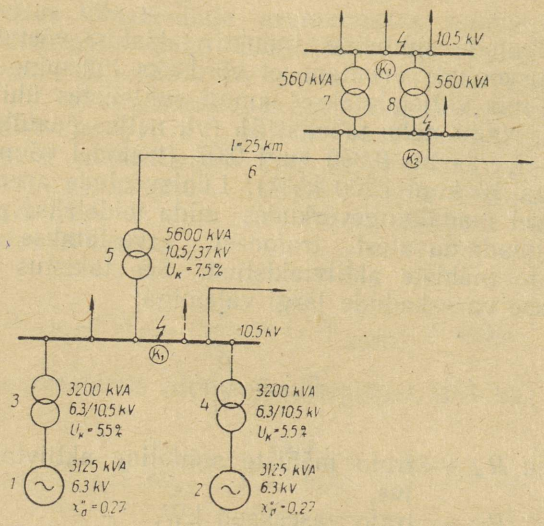
Lühisvoolude arvutusskeemid kujutatakse ühejoonelisena ja sellel nummerdatakse kõik seadmeelemendid, märgitakse nende nimisuurused ja suhtelised takistused nimisuuruste järgi. Seejärel joonestatakse arvutusskeemi alusel valitud lühispunktide kohta ekvivalentne aseskeem. Üksikute elementide suhteliste takistuste kaudu, mis on taandatud baasisuurustele, leitakse lühisahela resulteeriv suhteline takistus.

Resulteeriva suhtelise takistuse X_{*res} leidmine toimub üksikute järjestikuste ja paralleel-

sete takistuste liitmise teel. Kui see on vajalik, teisendatakse takistuste kolmnurgad tähte ja ümberpöördult.

LÜHISVOOLUDE ARVUTAMISE NÄIDE

Valime lühisvoolude arvutamise näiteks suure võimsusega maaelektrivõrgu. Joonisel 203 on toodud hüdroelektrijaama ja rajooni elektrivõrgu skeem.



Joon. 203. Maaelektrivõrgu skeem lühisvoolude arvutamise juurde.

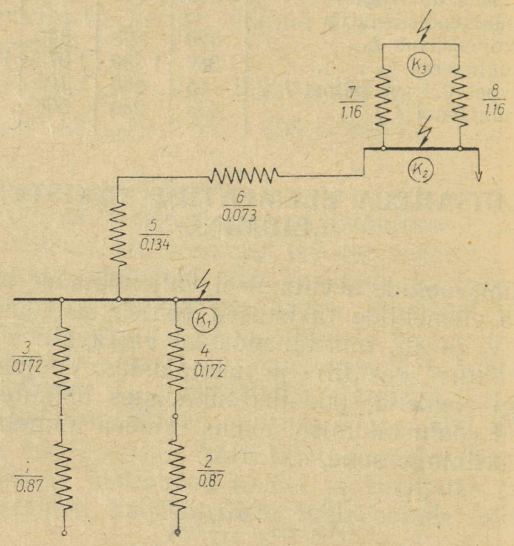
Elektrijaama on üles seatud kaks generaatorit BГС-1-325/49-32, kumbki võimsusega 3125 kVA, pingega 6,3 kV, pöörlemiskiirusega 187 p/min. Hüdrogeneraatori ülimööduvaks takistuseks on võetud 0,27.

Generaatorid on ühendatud plokki pingettõstvate trafodega 6,3/10,5 kV, kumbki võimsusega 3200 kVA. Trafo lühispinge $u = 0{,}055$ (vt. neljas peatükk tabel 51). Elektrijaama 10 kV pingega kogumislattidelt väljub rida õhuliine kuni 15 km raadiusega põllumajandusrajooni varustamiseks elektrienergiaga. Kaugematesse rajoonidesse antakse elektrienergiat pingel 35 kV (keskmine nimipinge 37 kV). Selleks on hüdroelektrijaamas pingettõstev trafo 10,5/38,5 kV, võimsusega 5600 kVA. Selle trafo lühispinge on 7,5% ehk $X_t = u_k = 0{,}075$.

Hüdroelektrijaamast 25 km kaugusel asub transiitalajaam 35/10 kV, kus lähedalasuva põllumajandusrajooni toitmiseks on üles seatud kaks trafot 35/10 kV, kumbki võimsusega 560 kVA; $u_k = 0{,}065$. Alajaama 35 kV lattidelt väljuvad liinid pingega 35 kV, kusjuures üks neist võib olla ette nähtud sideks energiasüsteemiga.

Kõik elektrivõrgu elemendid, mis on takistusteks lühisvoolude kulgemisel, tähistatakse järjekorranumbritega — alates hüdroelektrijaama generaatoritest.

Joonisel 204 on toodud elektrivõrgu aseskeem. Edaspidi toimub lühisvoolude arvutamise käigus selle skeemi teisendamine, lähtudes valitud lühispunktidest *1*, *2* ja *3*. Reaalsetes tingimustes



Joon. 204. Aseskeem lühisvoolude arvutamiseks (1).

tuleb mõnikord valida suurem arv arvutuslikke lühispunkte. Meie näite jaoks on valitud mõned kõige iseloomustavamad punktid. Lühisvoolude leidmine punktides *1*, *2* ja *3* võimaldab kontrollida ja valida aparatuuri elektrijaama kogumislattidel ning 10 kV liinidel, ja 35 ning 10 kV kogumislattide aparatuuri 35/10 kV alajaamas. Elektrivõrgu ülejäänud elementide aparatuur töötab palju kergemates tingimustes, võrreldes neisse punktidesse ülesseatud aparatuuriga, kus antud juhul arvutatakse lühisvoolusid.

Skeemil (joon. 204) iga elemendi juurde märgitud murrus näitab nimetaja antud elemendi baasitingimustele ümberarvutatud suhtelist reaktiivtakistust.

Baasivõimsuseks on võetud võimsus 10 MVA. Kõik suhtelised takistused arvutame baasivõimsuse suhtes, kusjuures takistuste indeksid vastavad skeemides (joon. 203 ja 204) märgitud seadmeelementide numbritele. Takistustel jätame ära suhteliste suuruste märgi (*).

Seadmeelementide suhtelised takistused:

Generaatorid:

$$X_1 = X_2 = \frac{X''_d S_b}{S_n} = \frac{0{,}27 \cdot 10}{3{,}125} = 0{,}87;$$

trafod 6/10 kV, 3200 kVA;

$$X_3 = X_4 = \frac{u_k S_b}{S_n} = \frac{0{,}055 \cdot 10}{3{,}2} = 0{,}172;$$

trafod 10/35 kV, 5600 kVA:

$$X_5 = \frac{u_k S_b}{S_n} = \frac{0{,}075 \cdot 10}{5{,}6} = 0{,}134;$$

liin 35 kV, pikkusega 25 km:

$$X_6 = \frac{xlS_b}{U_n^2} = \frac{0{,}4 \cdot 25 \cdot 10}{37^2} = 0{,}073;$$

pingetmadaldavad trafod 35/10 kV, 560 kVA:

$$X_7 = X_8 = \frac{u_k S_b}{S_n} = \frac{0{,}065 \cdot 10}{0{,}56} = 1{,}16.$$

Liites elementide *1* ja *3*, *2* ja *4*, *5* ja *6* takistused, saame:

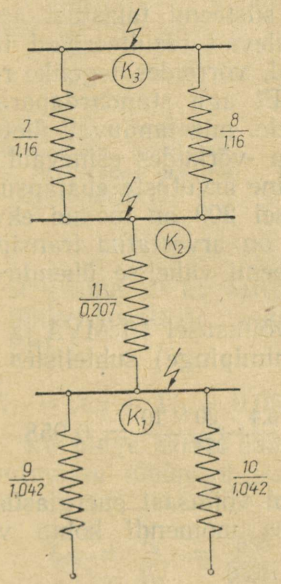
$$X_9 = X_1 + X_3 = 0{,}87 + 0{,}172 = 1{,}042;$$
$$X_{10} = X_2 + X_4 = 1{,}042;$$
$$X_{11} = X_5 + X_6 = 0{,}134 + 0{,}073 = 0{,}207.$$

Pärast neid teisendusi omandab ekvivalentne aseskeem joonisel 205 toodud kuju.

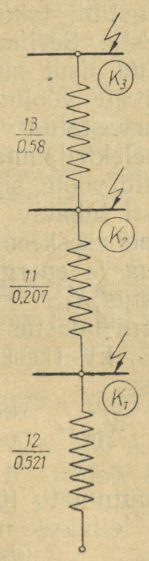
Järgnevalt asendame paralleelselt ühendatud takistused X_9 ja X_{10}, samuti X_7 ja X_8, ekvivalentsete takistustega X_{12} ja X_{13}:

$$X_{12} = X_9 : 2 = 1{,}042 : 2 = 0{,}521;$$
$$X_{13} = X_7 : 2 = 1{,}16 : 2 = 0{,}58.$$

Nende teisendustega skeem on toodud joonisel 206.



Joon. 205. Aseskeem lühisvoolude arvutamiseks (2).



Joon. 206. Aseskeem lühisvoolude arvutamiseks (3).

Teisendades elektrivõrgu skeemi lihtsaks aseskeemiks on kerge leida lühisvoolusid märgitud punktides.

Lühispunkt K_1. Algmomendil esinevaid lühisvoole võib arvutada nii sumbumistabeli kui ka valemi järgi:

$$I'' = \frac{I_b}{X_{*res}}.$$

Tabelite järgi arvutamisel arvutame resulteeriva suhtelise takistuse X_{12} ümber arvutustakistuseks, mis on taandatud generaatorite nimivõimsusele.

$$X_{arv} = \frac{X_{12} \Sigma S_n}{S_b} = \frac{0{,}521 \cdot 6{,}25}{10} = 0{,}326.$$

10,5 kV pinge korral esinev generaatorite nimivool

$$I_n = \frac{\Sigma S_n}{\sqrt{3} U_n} = \frac{6250}{1{,}73 \cdot 10{,}5} = 345 \text{ A}.$$

Sumbumistabeli alusel on takistuse 0,326 korral lühisvoolu suhteline suurus:

$$I_{*0} = 3{,}25; \quad I_{*0{,}2} = 2{,}94; \quad I_{*\infty} = 2{,}94.$$

Järelikult:

$$I'' = I_n I_{*0} = 345 \cdot 3{,}25 = 1120 \text{ A};$$
$$I_{0{,}2} = I_n I_{*0{,}2} = 345 \cdot 2{,}94 = 1010 \text{ A};$$
$$I_\infty = I_n I_{*\infty} = 345 \cdot 2{,}94 = 1010 \text{ A}.$$

Kogulühisvoolu suurim efektiivväärtus

$$I_p = 1{,}52\, I'' = 1{,}52 \cdot 1120 = 1700 \text{ A}.$$

Tõukelühisvool

$$I_p = 2{,}55\, I'' = 2{,}55 \cdot 1120 = 2850 \text{ A}.$$

Lühisvoolu perioodilise komponendi algväärtust võib leida mitte ainult sumbumistabeli järgi, vaid ka valemiga $I'' = \frac{I_b}{X_{*res}}$. Sel juhul pole tarvis resulteerivat takistust X_{12} ümber arvutada generaatori nimisuurustele taandatud arvutustakistuseks. Teatavasti leitakse baasivool 10,5 kV pinge korral (käesoleva näite puhul on baasivõimsus 10 000 kVA):

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3} U_b} = \frac{10000}{1{,}73 \cdot 10{,}5} = 550 \text{ A},$$

millest

$$I'' = \frac{I_b}{X_{12}} = \frac{550}{0{,}521} = 1050 \text{ A}.$$

Sumbumistabeli järgi oli momendile $t = 0$ vastav ülimööduv lühisvool $I_0 = 1120$ A, mis on lähedane valemiga arvutatud suurusele.

Lühispunkt K_2. Lühisvoolude leidmiseks punktis K_2 teisendame uuesti joonisel 206 toodud skeemi, asendades takistused *11* ja *12* summaarse takistusega *14:*

$X_{14} = X_{11} + X_{12} = 0{,}207 + 0{,}521 = 0{,}728.$

Arvutame baasi- ja nimivoolu ümber pingele 37 kV:

$$I_n = \frac{\Sigma S_n}{\sqrt{3}\,U_n} = \frac{6250}{1{,}73 \cdot 37} = 98 \text{ A}.$$

$$I_b = \frac{S_b}{\sqrt{3}\,U_n} = \frac{10000}{1{,}73 \cdot 37} = 156 \text{ A}.$$

Arvutustakistus

$$X_{arv} = \frac{X_{14} S_n}{S_b} = \frac{0{,}728 \cdot 6250}{10000} = 0{,}455.$$

Kasutades interpoolimist, saame sumbumistabelist $I''_* = 2{,}40$; $I_{*0,2} = 2{,}24$; $I_{*\infty} = 2{,}51$.

Järelikult:

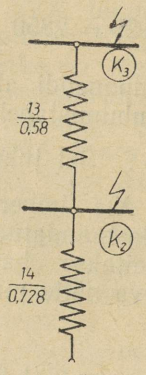
$$I'' = I_n I''_* = 98 \cdot 2{,}40 = 235;$$
$$I_{0,2} = I_n I_{*0,2} = 98 \cdot 2{,}24 = 220;$$
$$I\infty = I_n I_{*0,2} = 98 \cdot 2{,}51 = 245.$$

Kogulühisvoolu suurim efektiivväärtus

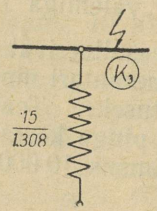
$$I_p = 1{,}52\, I'' = 1{,}52 \cdot 235 = 357 \text{ A}.$$

Tõukelühisvool

$$i_p = 2{,}55\, I'' = 235 \cdot 2{,}55 = 600 \text{ A}.$$



Joon. 207. Aseskeem lühisvoolude arvutamiseks (4).



Joon. 208. Aseskeem lühisvoolude arvutamiseks (5).

Lühispunkt K_3. Liites järjestikused takistused *13* ja *14*, saame joonisel 208 toodud skeemi, kus

$X_{15} = X_{13} + X_{14} = 0{,}58 + 0{,}728 = 1{,}308.$

Nagu lühispunkti K_1 puhulgi on 10,5 kV pinge korral baasivool $I = 550$ A ja nimivool $I_n = 345$ A.

Arvutustakistus generaatorite nimisuurustel

$$X_{arv} = \frac{X_{15} \Sigma S_n}{S_b} = \frac{1{,}308 \cdot 6250}{10000} = 0{,}82.$$

Sumbumistabelist saame:

$I''_* = 1{,}31$; $I_{*0,2} = 1{,}29$; $I_{*\infty} = 1{,}58$.

Järelikult:

$$I'' = I_n I''_* = 345 \cdot 1{,}31 = 453 \text{ A},$$
$$I_{0,2} = I_n I_{*0,2} = 345 \cdot 1{,}29 = 445 \text{ A},$$
$$I_\infty = I_n I_{*\infty} = 345 \cdot 1{,}58 = 545 \text{ A},$$
$$I_p = 1{,}52\, I'' = 1{,}52 \cdot 453 = 690 \text{ A},$$
$$i_p = 2{,}55\, I'' = 2{,}55 \cdot 453 = 1150 \text{ A}.$$

Kõigil arvutustel sumbumistabeli järgi on arvestatud, et generaatoritel on automaatne ergutusregulaator (pingeregulaator, kompaundeerimisseadis või kiirelttoimiv ergutuse forsseerimise releeseadis).

Toome siinkohal ka lühisvoolude arvutamise juhuks, kui maaelektrijaam töötab paralleelselt võimsa energiasüsteemiga.

Oletame, et transiitalajaama ja energiasüsteemi rajoonialajaama vahel on 35 kV ühendusliin. Selle liini pikkus olgu 20 km. Süsteemi võimsus võetakse täpsemate andmete puudumisel, nagu see tavaliselt esineb maaelektrijaamade projekteerimisel, lõpmatult suur, võrreldes maaelektrijaama võimsusega. Seetõttu võtame arvutustakistuse juures arvesse ainult sidestusliini takistuse, süsteemi takistust aga ei arvesta. Seejuures tulevad resulteerivad lühisvoolud pisut suuremad, võrreldes tegelike resulteerivate vooludega. Et aga standardaparatuur on arvestatud vooludele, mis tunduvalt ületavad maaelektrijaamades ja -võrkudes esinevaid suurimaid voole, siis selline arvutuste ebatäpsus on täiesti lubatav. Joonisel 209 on toodud ekvivalentne aseskeem, kus on arvestatud transiitalajaama ja energiasüsteemi vahelise ühendusliini takistus X_{16}.

Liini takistus baasivõimsusel 10 MVA ja pingel 37 kV (keskmise nimipinge) suhtelistes ühikutes:

$$X_{16} = \frac{x l S_b}{U^2} = \frac{0{,}4 \cdot 20 \cdot 10}{37^2} = 0{,}058.$$

Muutumatu lühisvool võimsast energiasüsteemist leitakse mistahes momendi kohta valemiga:

$$I_{süs} = \frac{I_b}{X_{res}},$$

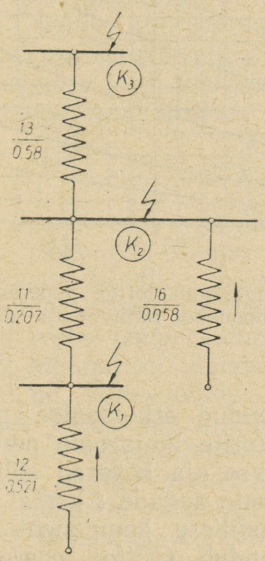
kus: I_b — baasivool pingel 37 kV, mis on 156 A.
Siit leiame:

$$I_{süs} = \frac{156}{0{,}058} = 2700 \text{ A.}$$

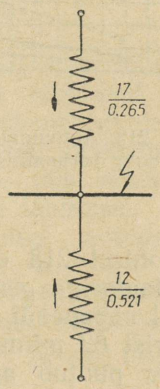
Arvutatud lühisvool esineb sel juhul, kui lühis on 35 kV transiitalajaama lattidel. Näiteks soovitakse valida 35 kV lattide ja ühe 560 kVA trafo vahele ülesseatavat võimsuslülitit (vt. joon. 203), mis kontrollitakse lühisvoolule $I_{0,2}$. Lühispunkti K_2 korral tuleb siis ülalarvutatud suurusele liita vool süsteemist $I_{süs}$, s. t.

$$I_{0,2\Sigma} = I_{0,2} + I_{süs} = 220 + 2700 = 2920 \text{ A.}$$

Süsteemist tulevate lühisvoolude arvutamiseks, mis esinevad lühisel elektrijaama 10 kV lattidel või transiitalajaama 10 kV lattidel, tuleb takistusele X_{16} liita esimesel juhul takistus X_{11} (joon. 209) ja teisel juhul takistus X_{13}.



Joon. 209. Aseskeem lühisvoolude arvutamiseks, arvestades energiasüsteemiga (1).



Joon. 210. Aseskeem lühisvoolude arvutamiseks, arvestades energiasüsteemiga (2).

Elektrijaama 10 kV lattidel (punktis K_1) esineva lühise korral on vastav skeem toodud joonisel 210.
Siin:

$$X_{17} = X_{16} + X_{11} = 0{,}058 + 0{,}207 = 0{,}265.$$

10,5 kV pinge korral baasivool $I_b = 550$ A.
Muutumatu lühisvool punktis K_1 (tuleb süsteemist):

$$I_{süs} = \frac{I_b}{X_{17}} = \frac{550}{0{,}265} = 2080 \text{ A.}$$

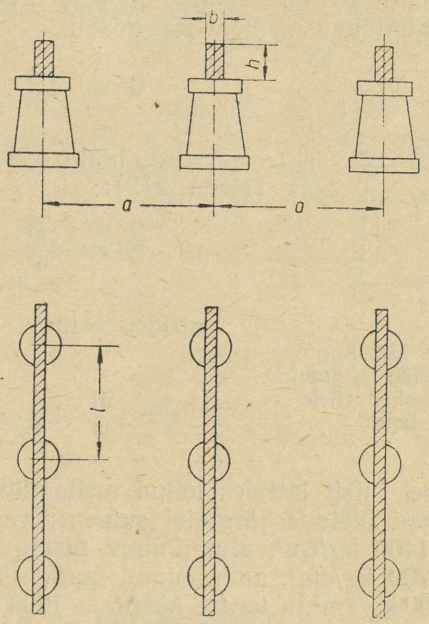
Liites selle voolu varem arvutatud vooluga, mida annavad elektrijaama generaatorid lühispunkti, saame aja $t = 0{,}2$ sec pärast esineva summaarse lühisvoolu:

$$I_{0,2\Sigma} = I_{süs} + I_{0,2} = 2080 + 1010 = 3090 \text{ A.}$$

Näeme, et lühispunkti K_1 suhtes on energiasüsteemi mõju lühisvoolude suurenemisele suurema kauguse tõttu väiksem kui lühispunkti K_2 suhtes.
Analoogiliselt joonisel 210 kujutatud skeemile võib arvutada lühisvoolu ka punktis K_3, arvestades energiasüsteemi mõjuga.

APARATUURI VASTUPIDAVUS LÜHISVOOLUDELE

Lühisvoolude läbimisel elektriaparaatide voolu juhtivatest osadest tekivad suured elektrodünaamilised jõud, mis võivad põhjustada tervete apa-



Joon. 211. Skeem kogumislattide dünaamilise vastupidavuse arvutamise selgitamiseks.

raatide või nende üksikute osade purunemist. Vastavalt «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjadele» (II osa, lk. 58), tuleb juhtmetele ja isolaatoritele mõjuv jõud leida kogulühisvoolu hetkväärtuse järgi, arvestades erinevates faasides kulgevate voolude vahelist nihkenurka. Seega tuleb elektrodünaamilise vastupidavuse leidmiseks võtta arvutusvooluks tõukelühisvool, mis teatavasti leitakse ülimöödu va lühisvoolu korrutamisel 2,55-ga.
Jaotusseadme kogumislattide (joon. 211) dünaamilise vastupidavuse arvutamisel leitakse suurim jõud, mis mõjub keskmisele latile tõukelühisvoolu läbimisel, järgmise valemiga:

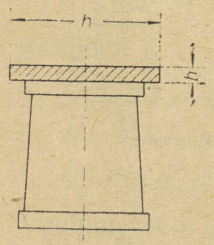
$$F = 1{,}76\ i_p^2\ \frac{l}{a}\ 10^{-8}\ \text{kg},$$

kus: i_p — tõukelühisvool kolmefaasilisel lühisel A;
l — tugiisolaatoritevaheline kaugus cm;
a — lattide telgjoonte vaheline kaugus cm.

Latile mõjuv paindemoment arvutatakse rohkem kui kahe visangu korral valemiga:

$$M = \frac{Fl}{10}\ \text{kgcm}.$$

Dünaamiliste jõudude mõjul esineva paindepinge leidmiseks kogumislatis tuleb arvutada lati vastupidavusmoment. Lattide serviti asetamisel, nagu see on näidatud joonisel 211, avaldub vastupidavusmoment järgmiselt:



Joon. 212. Kogumislattide asetamine isolaatoritele lapiti.

$$W = \frac{b^2 h}{6}.$$

Lattide lapiti asetsemisel (joon. 212):

$$W = \frac{bh^2}{6}.$$

Lattides esinev paindepinge

$$\sigma = \frac{M}{W}\ \text{kg/cm}^2.$$

Sellisel viisil lattides leitud mehaaniline pinge ei tohi ületada järgmisi suurusi: vase korral — 1400 kg/cm², alumiiniumi mark AT korral — 700 kg/cm², alumiiniumi mark ATT korral — 900 kg/cm² ja terase korral — 1600 kg/cm².

Lühisel ei tohi kogumislattide temperatuur tõusta vasklattide korral üle 250°, alumiiniumlattide korral üle 150°, teraslattide korral, kui puudub vahetu ühendus aparaatidega, üle 350° ja teraslattide korral, kui esineb vahetu ühendus aparaatidega, üle 250°.

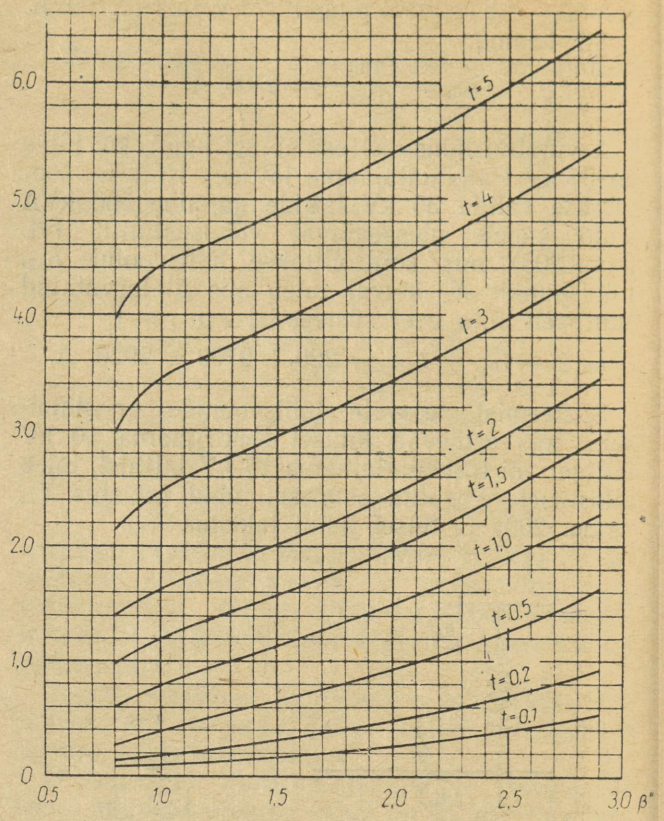
Juhtmete soojenemistemperatuur leitakse järgmises järjekorras.

Arvutatakse ülimööduva lühisvoolu I'' ja püsivlühisvoolu I_∞ suhe, s. t. tegur

$$\beta'' = I'' : I_\infty.$$

Tehakse kindlaks releekaitse viivitus t_r ja võimsuslüliti omatoimeaeg t_l. Kogu väljalülitamise aeg

$$t = t_r + t_l.$$



Joon. 213. Automaatse pingeregulaatoriga generaatorite lühisvoolu perioodilise komponendi fiktiivse aja kõverad.

Joonisel 213 on toodud automaatse pingeregulaatoriga generaatorite lühisvoolu perioodilise komponendi fiktiivse aja kõverad sõltuvalt tegurist β'' mitmesuguste aegade t korral.

Mis puutub aperioodilisse komponenti, siis, juhul kui kaitse rakendub (võttes arvesse ka võimsuslüliti omatoimeaega) hiljem kui 1 sekundi pärast, seda ei arvestata.

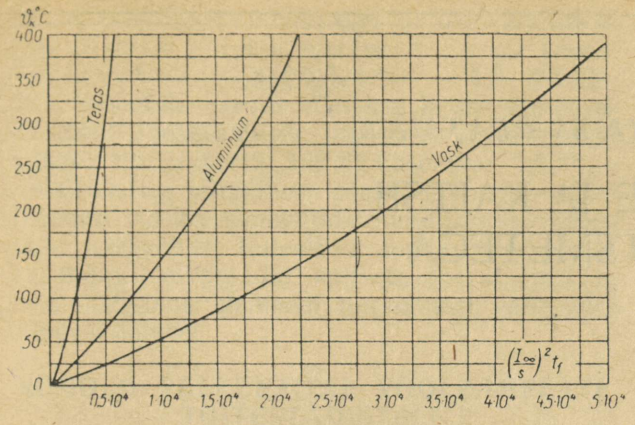
Joonisel 213 toodud kõverate järgi leitakse antud β'' ja t puhul fiktiivne aeg t_f.

Juhtmete soojenemistemperatuuri leidmiseks lühisvoolude läbimisel kasutatakse joonisel 214 toodud kõveraid. Need annavad mitmesugustest metallidest juhtmete soojenemistemperatuuri sõltuvalt tegurist a:

$$a = \left(\frac{I_\infty}{s}\right)^2 t_f,$$

kus: I_∞ — püsivlühisvool A;
s — juhtme (lati) ristlõige mm;
t_f — fiktiivne aeg sec.

Nende kõverate järgi leitakse kõigepealt antud lattide materjali kohta suurus a_1, mis vastab nimikoormusvoolude läbimise korral esinevale



Joon. 214. Kõverad voolu juhtivate osade temperatuuri leidmiseks lühisel.

kestvalt lubatavale lattide temperatuurile. Selleks temperatuuriks võetakse paljasjuhtmete korral «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjade» järgi temperatuur 70°; järgnevalt arvutatakse analüütiliselt suurus

$$a_2 = \left(\frac{I_\infty}{s}\right)^2 t_f .$$

Liites $a_1 + a_2 = a$, leitakse joonise 214 kõverate järgi [25] lühisvoolude läbimisel esinev juhtmete tegelik soojenemistemperatuur. Siis võrreldakse seda suurust nende maksimaalselt lubatavate temperatuuridega, mis võivad esineda lühiajalisel lühisvoolude läbimisel.

Tõime lühisvoolude läbimisel jaotusseadme lattide elektrodünaamilise ja -termilise vastupidavuse kontrollimise kohta põhjalikumad juhendid, olgugi et see töö sooritatakse suhteliselt võimsate elektriseadmete korral projekteerijate ja ekspluateerijate poolt.

Aparatuuri kontrollimisel elektrodünaamilisele ja -termilisele vastupidavusele võrreldakse tehase andmeid või ГОСТ-i nõudeid lühisvoolude arvutuse resultaatidega.

Elektriaparaatide kohta tuuakse vastavates kataloogides andmed aparaate läbiva voolu suurima amplituudi I_{ampl} kohta (läbivate lühiste korral), ja kestva lühisvoolu efektiivväärtuse I_{ef} kohta. Igas elektriseadmes tuleb kontrollida, et oleks täidetud järgmised tingimused:

$$I_{ampl} > i_p \text{ ja } I_{ef} > I_p ,$$

kus: i_p — tõukelühisvool;

I_p — kogulühisvoolu suurim efektiivväärtus.

Voolutrafode kohta antakse tavaliselt kataloogides nende elektrodünaamiline kordsus, mis väljendatakse valemiga:

$$k_{dün} = \frac{I_{ampl}}{\sqrt{2}\, I_n},$$

kus: I_n — voolutrafo nimivool.

Voolutrafo valimisel tuleb leida arvutuslik elektrodünaamiline kordsus:

$$k_{dün.\,arv} = \frac{i_p}{\sqrt{2}\, I_n} .$$

Seejuures peab olema täidetud tingimus:

$$k_{dün.\,arv} \leqslant k_{dün.\,kat.}$$

Kontrollides aparaatide termilist vastupidavust lühisvoolude läbimisel, peab veenduma, et ükski aparaadiosa ei soojeneks üle maksimaalselt lubatava temperatuuri. Kataloogides tuuakse termilise vastupidavuse andmed 1, 3, 5 või 10 sekundi kohta. Arvutamisel tuleb samuti arvestada, et

$$k_{t\ term.\ kat} \geqslant k_{t\ term.\ arv.}$$

$K_{t\ term.\ kat}$ — võetakse antud aparaadi kohta kataloogist;

$K_{t\ term.\ arv}$ — leitakse valemiga:

$$k_{t\ term.\ arv} = \frac{I_\infty \sqrt{\frac{t_f}{t}}}{I_n},$$

kus: $I\infty$ — püsivlühisvool;

t_f — fiktiivne aeg, mis leitakse kõverate (joon. 213) abil;

t — aeg (1, 3, 5 või 10 sec);

I_n — aparaadi nimivool.

Võimsuslülititel kontrollitakse ka veel piirkatkestusvoolu või piir-väljalülitamisvõimsust. Need andmed on iga aparaaditüübi kohta toodud kataloogides, arvutussuuruseks võetakse aja $t = 0{,}2$ sec pärast lühise tekkimist esinev lühisvool $I_{0,2}$.

ÜHEKSATEISTKÜMNES PEATÜKK

RELEEKAITSE JA KAITSE SULAVKAITSMETEGA

KAITSELE ESITATAVAD NÕUDED

Maaelektrijaamade, -alajaamade ja -võrkude projekteerimisel tuleb pöörata suurt tähelepanu releekaitse ja sulavkaitsmetega kaitse ratsionaalse lülituse ja aparatuuri valikule. Ekspluatatsiooni tingimustes peab olema tagatud nende seadmete katkestamatu töö.

Vastavalt «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjadele» on releekaitsel järgmised ülesanded:

1) lülitada võimsuslülitiga automaatselt välja kaitstav element, kui see on riknenud või kui esineb selle riknemise oht, samuti energiasüsteemi normaalse töörežiimi rikkumiste kõigil muudel juhtudel;

2) signaliseerida heli- või valgussignaali abil kaitstava elemendi töös esineva mittenormaalse režiimi tekkimisest (näiteks liigkoormus, maaühendus maandatud nullpunktiga võrkudes).

Releekaitseseadis peab olema tundlik ja kiiresti toimiv, tagades elektriseadme töökindluse. Ta peab samuti olema selektiivne, lülitades välja ainult rikkis piirkonna ja jättes töösse korras elemendid. Piirkonnad, kus toimus lühis, peab välja lülitatama võimalikult minimaalse ajaga, kusjuures kiireks väljalülitamiseks lubavad normid ka kaitse selektiivse toime rikkumist, kusjuures see parandatakse järgneva automaatse korduvlülitamisega (AKL).

Releekaitse töökindlus tagatakse tavaliselt sellega, et kasutatakse minimaalse releede, vooluahelate ja kontaktide arvuga lihtsaid skeeme.

See asjaolu on eriti tähtis maaelektrijaamade ja -alajaamade korral, mispuhul teenindamise lihtsusel on eriti suur tähtsus. «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjad» soovitavad releekaitse projekteerimisel mitte arvestada elektrijaamade, -alajaamade ja -võrkude vähetõenäolisi riknemise juhte ja töörežiime.

Releekaitse projekteerimisel tuleb tähelepanu pöörata tema toime kooskõlastamisele atmosfääriliste liigpingete kaitse toimega (vt. kuueteistkümnes peatükk). Kiiresti toimiv releekaitse ei tohi liini välja lülitada liini lahendajate rakendumise ajal. Seetõttu peab releekaitse minimaalne toimimisaeg (kuni väljalülitamise impulsi andmiseni) olema suurem liini lahendajate rakendumisajast (3—4 perioodi). Peale selle peab kaitse käivitusorganitel, mis rakenduvad lahendajate vooluimpulsist, olema lühike tagastumisaeg, ligikaudu 0,5 perioodi impulsi kadumise momendist.

Mistahes kaitse toimimine peab fikseeritama rakendumise näitajatega — indikaator-releedega (blinkeritega) või muude signaalseadistega.

Mistahes tüüpi releekaitse tundlikkust hinnatakse kaitse tundlikkuseteguriga. See tegur on metallilisel lühisel kaitstava tsooni piirides esineva avariisuuruse (näiteks voolu) ja kaitse rakendumissuuruse suhe. See definitsioon kehtib neil juhtudel, kui kaitse reageerib avariitingimustes suurenevatele suurustele. Kaitsete korral, mis reageerivad avariitingimustes vähenevatele suurustele (näiteks pingele), leitakse tundlikkusetegur kaitse rakendumissuuruse ja kaitstava tsooni piirkonnas esineva metallilise lühise avariisuuruse suhtega. Tundlikkuseteguri arvutamisel võetakse kaitse toimimise seisukohast lähtudes kõige ebasoodsamad rikkeliigid ja energiasüsteemi minimaalsed reaalselt võimalikud režiimid. «Põllumajanduslike elektriseadmete projekteerimise eeskirjades» antakse releekaitse tundlikkusetegurid mõnede iseloomustavate avariijuhtude puhuks. Näiteks tuleb kaitse tundlikkuse hindamisel väikese maaühendusvooluga võrkudes faasidevahelise lühise korral võtta releekaitse viivituseta käivitusorgani tundlikkuseteguri minimaalseks suuruseks ligikaudu 1,3; põhikaitse poolt haaratava kaitstava

tsooni piirkonnas viivitusega kaitse käivitusorganite korral — 1,6 ja reservkaitse poolt haaratava kaitstava tsooni piirkonnas — 1,3. Viivituseta voolulõike korral võetakse kaitse ülesseadmiskohal (generaatorid, trafod, elektrimootorid) esineva lühise korral tundlikkusetegur 1,6.

Releekaitse selektiivse toime tagamiseks tuleb üksikute kaitse elementide tundlikkust vähendada rikkekohast toiteallika suunas. See ei ole kasutatav sellist liiki kaitsete korral, mis ei toimi kaitstava elemendi piirkonnast väljaspool esineval lühisel.

NÕUDED RELEEKAITSE VOOLUAHELATE TOITESEADISTELE

Voolutrafod, mis on ette nähtud kaitseseadise vooluahelate toitmiseks, tuleb valida nende kümneprotsendilise kordsuse järgi.

Nagu üheksandas peatükis on märgitud, nimetatakse kümneprotsendiliseks kordsuseks sellise primaarvoolu ja primaarse nimivoolu suhet, mille korral voolutrafo vooluviga küünib miinus 10% ja nurgaviga ei ületa 7% mistahes võimsusteguriga sekundaarkoormuse korral. Tegelik primaarvool määratakse sel juhul sümmeetrilisel kolmefaasilisel lühisel. Kui kümneprotsendilise kordsuse nõue on täidetud, siis lubatakse voolutrafode samu mähiseid kasutada releekaitseseadiste, mõõteriistade ja arvestite toitmiseks. Kuid generaatorite, trafode ja lattide diferentsiaalkaitse vooluahelate kohta tuleb teha erand («Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjad» osa «Releekaitse», § 25).

Releekaitseseadiste pingeahelaid toidetakse kaitstava elemendi juurde üles seatud pingetrafodest või kaitstavat elementi toitva jaama või alajaama lattide pingetrafodest. 35 kV pingega elementide releekaitseseadiste pingeahelaid (kui selliseid ahelaid esineb) on lubatav toita pingetrafodest, mis on üles seatud jõutrafo alampinge-poolele.

«Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjad» soovitavad kasutada iga liiki releekaitse korral operatiivvooluallikaks sõltumatut alalisvooluallikat siis, kui selline vooluallikas on olemas. Kui alalisvooluallikas puudub, samuti ka otsese toimega releede toitmiseks (näiteks võimsuslüliti automaatajami väljalülitamise relee), kasutatakse operatiiv-vahelduvvoolu.

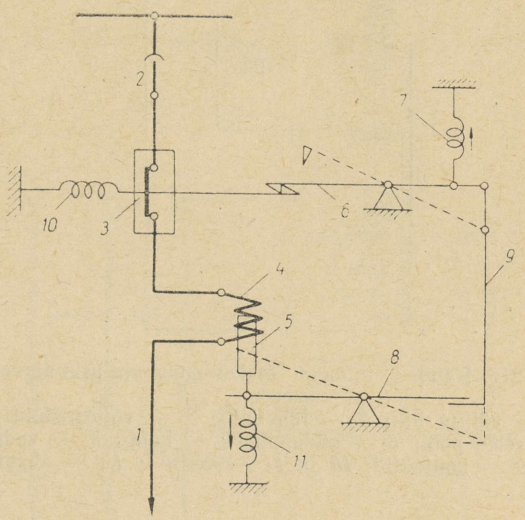
Lühisvoolukaitse operatiiv-vahelduvvooluallikana kasutatakse voolutrafosid.

Alajaamades, kus puudub operatiiv-alalisvool, toidetakse väikese maandusvooluga võrkudes maaühenduse kaitseseadist tavaliselt pingetrafodest; trafode gaaskaitse vooluahelaid — kas pingetrafodest või kaitstava jõutrafo alampingepoolelt. Kaitstavate elementide korral pingega 6 kV ja üle selle, samuti ükskõik missuguse pingega omatarbeseadmete korral toidetakse releekaitse operatiivvooluahelaid ja võimsuslülitite juhtimisahelaid omaette kaitsmete kaudu.

Operatiiv-alalisvooluga maaelektrijaamades ja -alajaamades on laialdaselt kasutusel pinge 24 V.

RELEEDE KLASSIFIKATSIOON LÜLITUSVIISI JA VÕIMSUSLÜLITILE MÕJUMISE VIISI JÄRGI

Lülitusviisi järgi liigitatakse releed primaar- ja sekundaarreleedeks [25]. Joonisel 215 on toodud primaarrelee töötamise skeem. Elektrijaama või trafoalajaama lattidelt väljub tarbijatele liin *1* lahklüliti *2* ja võimsuslüliti *3* kaudu. Liiniga on ühendatud järjestikku terassüdamikuga *5* primaarrelee pool *4*. Võimsuslüliti *3* hoitakse



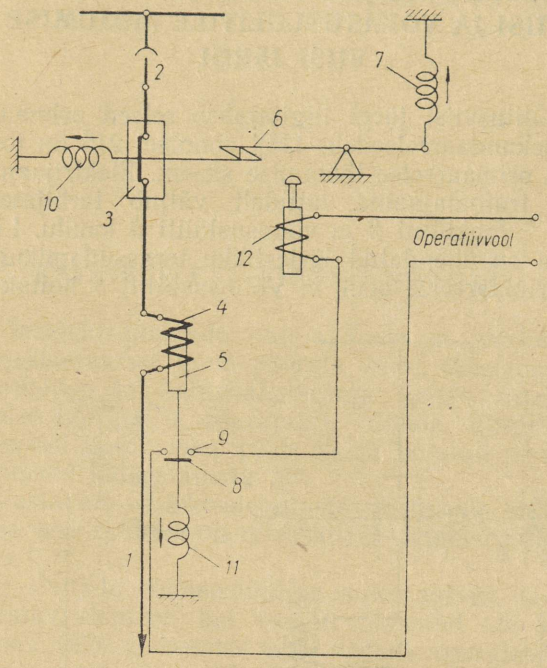
Joon. 215. Otsese toimega maksimaalvoolu-primaarrelee.

sisselülitatud asendis riiviga, kangiga *6* ja vedruga *7*. Kui kaitstavas liinis ületab vool varem sisseseatud väärtuse, nn. sätteväärtuse, siis terassüdamik *5* tõmbub poolisse *4*, tõmmates endaga kaasa kangi *8*, mis omakorda nihutab varda *9* abil kangi *6*. See kang vabastab võimsuslüliti riivi noka ja võimsuslüliti lülitatakse vedru *10* abil välja.

Südamikuga *5* ühendatud kangi *8* isetahtlikku nihkumist takistab vedru *11*. Nagu on näha toodud skeemist, töötab relee *4* vahetult liini väljalülitamisele ja seepärast nimetatakse seda otsese toimega primaarreleeks.

Erinevalt otsese toimega primaarreleest ei tööta kaudse toimega primaarrelee (joon. 216) võimsuslüliti väljalülitamisele mitte

vahetult, vaid operatiivvoolu abil. Nagu selgub toodud skeemist, tõmbub südamik *5* voolu suurenemisel liinis üle sätteväärtuse pooli *4* sisse; südamikuga ühendusesolev liikuv kontakt *8* suleb seejuures abipooli *12* toitva vooluahela. Abipooli südamik tõmbub mähisesse, tõukab oma otsikuga vastu kangi *6*, vabastades võimsuslüliti riivi ja vedru *10* lülitab võimsuslüliti välja.



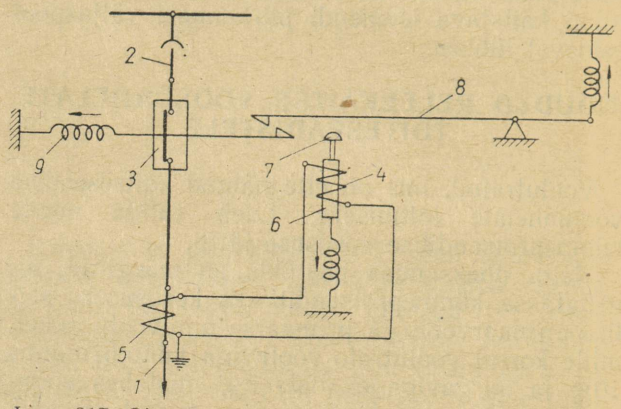
Joon. 216. Kaudse toimega maksimaalvoolu-primaarrelee skeem:
1 — väljuv liin; *2* — lahklüliti; *3* — võimsuslüliti; *4* — relee pool; *5* — südamik; *6* — kang; *7* — vedru; *8* ja *9* — kontaktid; *10* ja *11* — vedrud; *12* — abipool.

Otsese toimega primaarreleesid kasutatakse peamiselt väikese võimsusega elektrijaamades ja alajaamades, eriti madalpinge-automaatlülitite korral. Need releed on tavaliselt üsna kogukad ja massiivsed, sest nende mehhanism peab tegema küllalt suure töö võimsuslüliti väljalülitamiseks.

Et relee on lülitatud kaitstava liini peavooluahelasse järjestikku, tuleb relee kontrollimiseks, reguleerimiseks ja kordaseadmiseks välja lülitada peavooluahel, jättes seejuures tarbijad toiteta.

Kaudse toimega maksimaalvoolu-primaarreleed ei ole küll nii suured, kuid neil on sama puudus, mis otsese toimega primaarreleedelgi, sest nende kontrollimine ja reguleerimine on seotud peavooluahela katkestamisega. Peale selle vajatakse kaudse toimega releede juures alalis- või vahelduv-operatiivvoolu. Nimetatud puuduste tõttu kasutatakse kaudse toimega primaarreleesid harva.

Joonisel 217 on toodud otsese toimega maksimaalvoolu-sekundaarrelee lülitusskeem. Relee pooli *4* toidetakse siin voolutrafo *5* sekundaarmähisest. Kui voolud saavutavad relee rakendumiseks vajaliku väärtuse, tõmbub terassüdamik *6* pooli sisse ja tõukab



Joon. 217. Otsese toimega maksimaalvoolu-sekundaarrelee skeem.

oma otsikuga *7* kangi *8*. Viimane pöördub, vabastab võimsuslüliti *3* riivi ja vedru *9* mõjul lülitub võimsuslüliti välja. Liinile *1* on enne võimsuslülitit *3* üles seatud lahklüliti *2*.

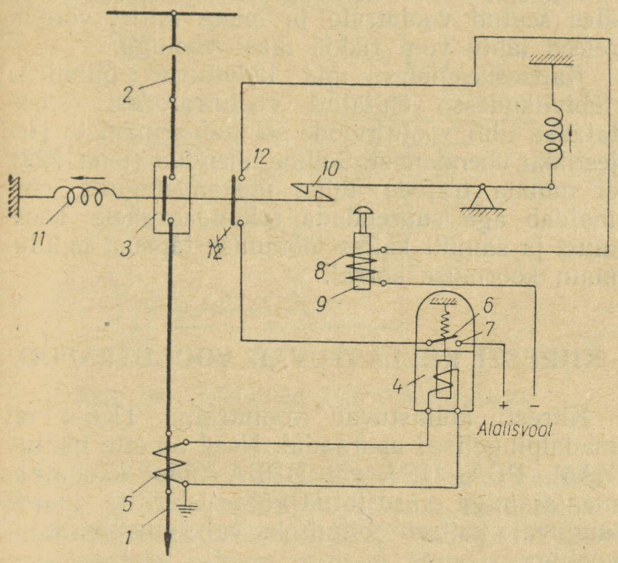
Otsese toimega sekundaarreleed on elektrijaamades ja alajaamades laialt levinud ja nad on tavaliselt automaatsete ajamite PBA ning KAM osadeks. Seda tüüpi releed ei vaja operatiivvoolu. Kuna väljalülitamispooli ei läbi mitte primaarvool, vaid voolutrafo sekundaarvool, on releed ise kompaktsed. Siiski peab otsese toimega sekundaarrelee tegema küllaltki suure töö võimsuslüliti riivi vabastamisel ja seetõttu pole nad kuigi täpsed.

Kui vajatakse suurema täpsuse ja tundlikkusega kaitset, kasutatakse kaudse toimega sekundaarreleesid.

Joonisel 218 on toodud sellise relee põhimõtteline lülitusskeem. Relee on kasutatav jaama lattidelt väljuva liini *1* maksimaalvoolukaitsena. Liin on ühendatud lattidega lahklülitiga *2* ja võimsuslülitiga *3*. Kui vool liinis suureneb sellise väärtuseni, mis vastab relee *4* rakendusvoolule, tõmbab voolutrafo *5* sekundaarmähisest toidetav relee pool terassüdamiku endasse. Südamikuga on ühendatud liikuv kontakt *6*. Kontakt *6* suleb seejuures liikumatud kontaktid *7* ja lülitades seega sisse operatiivvoolu (antud juhul sõltumatu alalisvoolu akupatareist) väljalülita-

mispooli *8* ahelasse. Väljalülitamispooli *8* südamik *9* tõmbub pooli sisse ja oma tõukega vabastab riivi *10* noka. Võimsuslüliti *3* lülitatakse vedru *11* abil välja.

Operatiivvooluahelas on liikumatud kontaktid *12*, mis võimsuslüliti sisselülitamisel suletakse tema võllil asetsevate liikuvate abikontak-



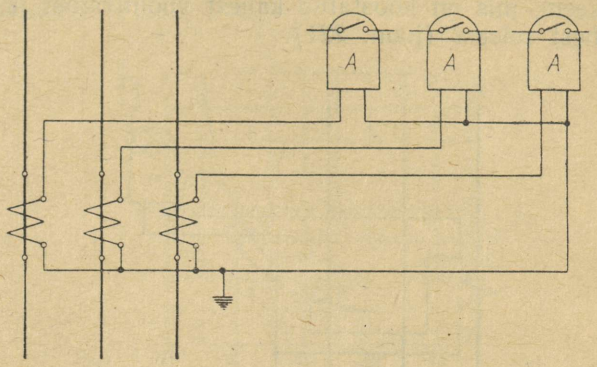
Joon. 218. Kaudse toimega maksimaalvoolu-sekundaarrelee skeem.

tidega (plokk-kontaktidega). Kaitse toimimise ajal ja võimsuslüliti väljalülitamise momendil katkestavad viimase abikontaktid operatiivvooluahela. Järgmisel momendil, kui relee *4* tagastub lähteasendisse, s. t. kui relee pooli südamik tõmmatakse vedru poolt tagasi, avanevad kontaktid *7*. Kuid nende avanemisel ei teki kontaktide vahel sädemeid, sest võimsuslüliti blokkkontaktid *12* on sel hetkel operatiivvooluahela juba katkestanud. Seega kergendab blokkkontaktide *12* olemasolu relee kontaktide tööd ning kaitseb neid pinna põlemise eest ja seoses sellega kaitse normaalse töö rikkumise eest.

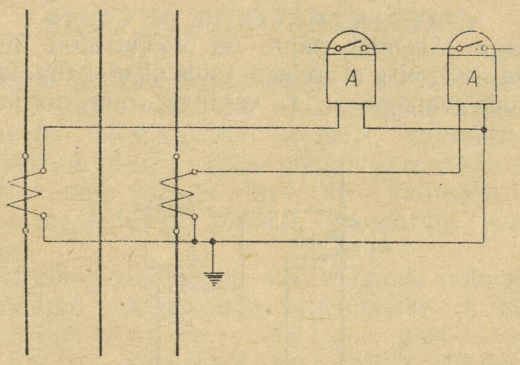
RELEESID TOITVATE VOOLUTRAFODE ÜHENDUSSKEEMID

Joonisel 219 on näidatud kolme voolutrafo ja kolme relee tähtühenduse skeem. Seda liiki kaitse toimib kaitstavas vooluahelas iga liiki lühise korral — kolmefaasilisel, kahefaasilisel ja ühefaasilisel lühisel (viimasel juhul — võrgu otseselt maandatud nullpunkti korral); samuti ka isoleeritud nullpunktiga süsteemis võrgu erinevates faasides kahekordsel maaühendusel. Väga levinud on ka kaitse skeemid kahe voolutrafo ja kahe releega, mis on ühendatud mittetäielikku tähte (joon. 220).

Selle skeemi järgi koostatud kaitse toimib kolmefaasilisel lühisel alati normaalselt. Kahefaasilisel lühisel faaside vahel, milledes on voo-



Joon. 219. Kolme voolutrafo ja kolme relee ühendamine tähte.



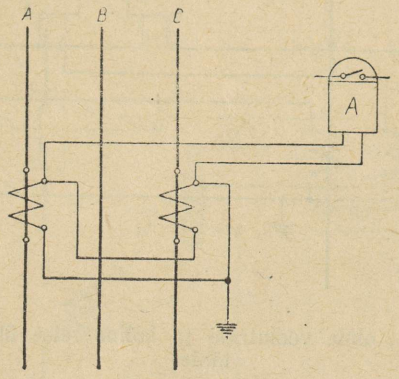
Joon. 220. Kahe voolutrafo ja kahe relee ühendamine mittetäielikku tähte.

lutrafod, läbib mõlemaid releesid voolutrafode sekundaarvool (rikkevool) ja kaitse toimib normaalselt. Juhul kui lühis on faaside vahel, millest ühes on voolutrafo ja teises see puudub, rakendub kaitse ikkagi, sest ühte releed läbib avariivool. Ühefaasilisel lühisel (ühe faasi maaühendusel) selles faasis, kuhu voolutrafot pole üles seatud, samuti ka mõnda liiki kahekordsetel lühistel, ei läbi releed avariivool ja kaitse ei rakendu.

Vaatamata nimetatud puudustele kasutatakse voolutrafode ja releede mittetäielikku tähtühen-

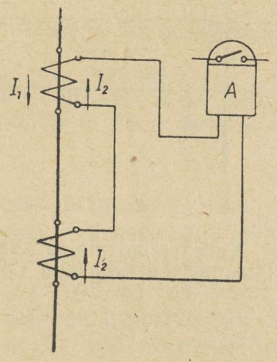
dust sageli tema ökonoomsuse tõttu. Eriti laialdaselt on see kasutusel väikese maaühendusvooluga (isoleeritud nullpunktiga) võrkudes, sealhulgas ka maavõrkudes — faasidevaheliste lühiste kaitseks.

Väga levinud on kuni 10 kV (kaasa arvatud) õhuliinide mitmefaasiliste lühiste kaitseks skeem, mis on koostatud kahest voolutrafost ja ühest releest (joon. 221).



Joon. 221. Kahe voolutrafo ja ühe releega skeem.

Nagu skeemist näha, on voolutrafod ühendatud selliselt, et releed toidetakse kahe faasi voolude vahega, s. t. vooluga, mis normaalrežiimil ja kolmefaasilisel lühisel leitakse valemiga:



Joon. 222. Kahe voolutrafo järjestikku-ühendus ühes faasis.

$$i_r = 1{,}73\ i_A ,$$

kus: i_r — relee mähist läbiv vool.
i_A — vool ühes faasis (faasis A), kuhu on üles seatud üks voolutrafodest;

Kahefaasilisel lühisel faaside *A* ja *C* vahel, s. t. faaside vahel, milledesse on üles seatud voolutrafod, on releed läbiv vool:

$$i_r = 2 i_A ,$$

s. t. kahekordne ühe rikkis faasi vool.

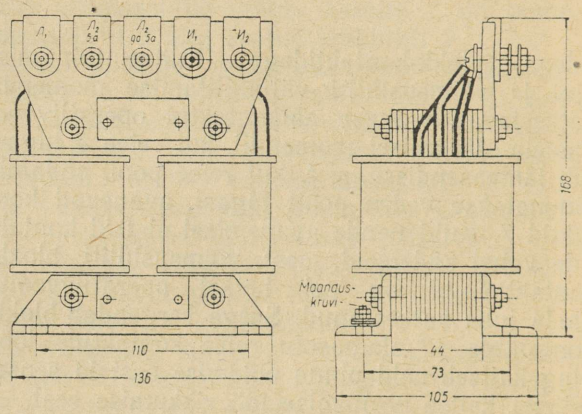
Kahefaasilisel lühisel faaside *A* ja *B* või *C* ja *B* vahel, s. t. faaside vahel, milledest ühes on üles seatud voolutrafo ja teises mitte, võrdub releed läbiv vool rikkis faasi vooluga.

Kaitseskeemides, mis käivituvad õlilülitite läbiviikudesse ehitatud voolutrafodest, kasutatakse tihti voolutrafode sekundaarmähiste järjestikku ühendamist. Selline ühendus (joon. 222) ei muuda trafode üldist ülekandetegurit, võimaldab aga suurendada sekundaarahela koormust ja samuti kaitse töötamise täpsust muutumatu koormuse korral.

KIIRESTI KÜLLASTUVAD VOOLUTRAFOD

Kiiresti küllastuvad voolutrafod ТКБ-1 on madalpingelised aparaadid. Need on ette nähtud КАМ, РБА, ПРА või ПРБА tüüpi käsi-automaatajamiga varustatud võimsuslülitite juurde kuuluvate kaitsete toitmiseks vahelduv-operatiivvooluga.

Joonisel 223 on toodud voolutrafo ТКБ-1 konstruktsiooni skits ja monteerimismõõted.

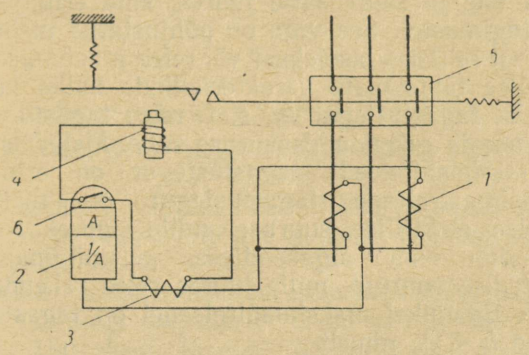


Joon. 223. Kiiresti küllastuva voolutrafo ТКБ-1 gabariitmõõted.

Trafo südamik on koostatud Г-kujulistest plekkidest ja primaar- ning sekundaarmähised asetsevad südamiku erinevatel sammastel. Mähiste otsad on toodud välja südamiku ülemisele osale kinnitatud paneelile. Kui voolutrafo ТКБ-1 nimiprimaarvool, s. t. pea-voolutrafo nimi-sekundaarvool, on 5 A, ühendatakse voolutrafo ТКБ-1 primaarvooluahel kahe vasakpoolse klemmi

külge ($Л_1$ ja $Л_2$ — 5 a); kui nimi-primaarvool on väiksem kui 5 A, ühendatakse vooluahel klemmidega $Л_1$ ja $Л_2$ — до 5 a. Kestvalt lubatav vool primaarmähises on 9,5 A ja maksimaalne vool sekundaarmähises — 8 A. Proovipinge on 1 min vältel 2 kV.

Joonisel 224 on näidatud voolutrafo TKБ-1 lülitusskeem. Pea-voolutrafod *1* on ühendatud



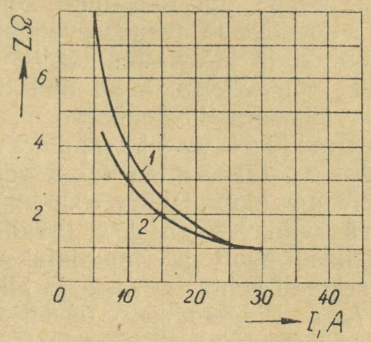
Joon. 224. Voolutrafo TKБ-1 lülitusskeem.

käesolevas peatükis eespool kirjeldatud ühendusskeemi järgi — piiratult sõltuva karakteristikuga maksimaalvoolureleed *2* toidetakse kahe faasi voolude vahega. Kiiresti küllastuv voolutrafo TKБ-1 *3* on oma primaarmähisega ühendatud pea-voolutrafo *1* sekundaarahelasse järjestikku maksimaalvoolurelee pooliga. Elektriseadme normaalse töö korral on voolutrafo TKБ-1 sekundaarahel avatud, sest sellesse ahelasse, mis toidab võimsuslüliti *5* ajami väljalülitamispooli *4*, on järjestikku ühendatud maksimaalvoolurelee normaalselt avatud kontaktid *6*.

Nagu skeemist näha, on voolutrafo TKБ-1 normaalseks töörežiimiks, erinevalt kõigist ülejäänud voolutrafodest, avatud sekundaarmähisega režiim. Niipea kui kaitstava vooluahela avariivool faasidevahelise lühise tõttu saavutab suuruse, mis vastab maksimaalvoolurelee rakendusvoolule, sulguvad relee *2* kontaktid *6*, automaatajami pooli läbib voolutrafo TKБ-1 sekundaarmähise vool, pooli südamik vabastab oma löögiga riivi ja võimsuslüliti lülitub välja. Järgnevalt, seoses kaitstavast vooluahelast lühisvoolu kõrvaldamisega, lähevad relee kontaktid oma esialgsesse asendisse tagasi ja pärast avarii likvideerimist ning võimsuslüliti sisselülitamist on seadis valmis uuesti töötama.

Voolutrafo TKБ-1 magnetahel on arvestatud kiirele küllastumisele, seetõttu ei ületa vool relee kontaktide ja ajami väljalülitamispooli vooluahelas primaarahela mistahes voolu korral ülaltoodud suurust 8 A. Kui voolutrafo TKБ-1 sekundaarmähis on avatud ja tema primaarmähist läbib kestvalt lubatav vool, on sekundaarmähise klemmidel pinge amplituud kuni 200—300 V.

Joonisel 225 on toodud voolutrafo TKБ-1 kogutakistuse sõltuvus avatud sekundaarmähise korral tema primaarmähises esinevast voolust. Võimsustegur on trafo avatud sekundaarmähise korral (kõige halvematel tingimustel) ligikaudu 0,1.



Joon. 225. Voolutrafo TKБ-1 näivtakistuse sõltuvus primaarvoolust avatud sekundaarmähise korral:
1 — primaarmähis on ühendatud klemmidega $Л_1$ ja $Л_2$ до 5 a; *2* — primaarmähis on ühendatud klemmidega $Л_1$ ja $Л_2$ 5 a.

RELEEDE PÕHIPARAMEETRID

Releel peavad olema sellised karakteristikud, mis täielikult vastaksid elektriseadme katkestamatu ja laitmatu töö nõuetele. Valmistavate tehaste andmeil on relee põhiparameetreiks kõigepealt tema vool ja pinge. Need suurused võetakse voolude ja pingete standardse skaala järgi.

Releede poolidega ja mõõteriistade mähistega ühendatud voolutrafode ratsionaalne ja täpne töö sõltub nende seadiste poolt tarbitavast võimsusest. Mida väiksem on tarbitav võimsus, seda suurem on voolutrafo ja koos sellega ka kogu kaitsesüsteemi töötamise täpsus. Võimsus määratakse normaaltingimustel ja nimiparameetritel voolu ja pinge järgi ning väljendatakse kas vattides või voltamprites.

Tänapäeval toodetavate releede voolumähise poolt tarbitav võimsus on nimivoolu korral 0,1—15 VA ja pingemähise poolt tarbitav võimsus 1—30 VA.

Üks tähtsamatest relee omadustest on tema pidev valmisolek toimimiseks. See valmisolek tagatakse relee konstruktsiooni ja mehhanismi korrasolekuga, mis võib saada rikutud väliste mõjudega (tolmuga kattumine, telgede, laagrite, summutite määrdumine ja vigastumine). Et vältida relee riknemist, tuleb relee sulgeda tolmu- ja niiskusekindlasse kesta ja kindlus-

tada korrapärast määrimist, järelevalvet, kontrolli jne. Kaitsesüsteemi laitmatu töötamise tagamisel on oluline tähtsus relee kontaktsüsteemi korrasolekul. Kontaktide kokkukeevitumise põhjuseks on nendele lubatavate koormuste ületamine. Eriti ohtlik on kontaktide ülekoormamine nende avamisel. Seetõttu on lubatavad võimsused kontaktide avamisel väiksemad kui nende sulgumisel. Kataloogides ja käsiraamatutes on ära toodud iga releetüübi kohta tema kontaktide sulgemise ja avamise võimsus. Peale selle on kontaktide töö juures tähtis, et pinge ja voolu liik vooluahelas, kuhu nad on lülitatud, vastaks tehase andmetele.

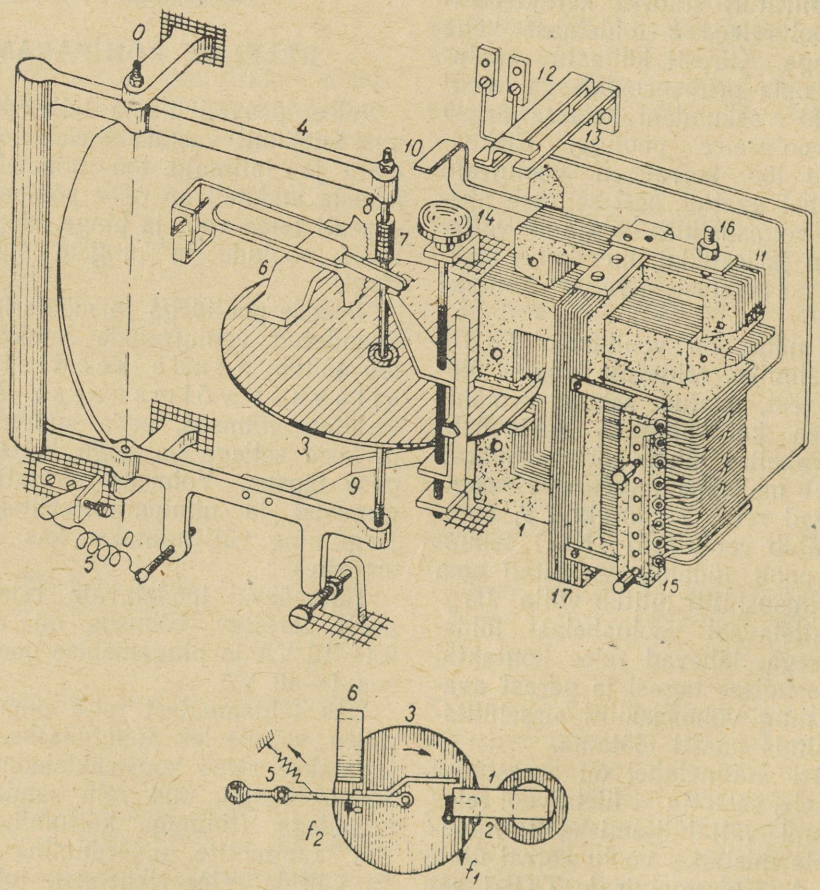
Relee termilist vastupidavust iseloomustatakse vooluga, mida talub voolumähis teatud kindla aja jooksul ilma riknemata. Relee termiline vastupidavus antakse tavaliselt valmistava tehase poolt ja taandatakse kahele ajale: ühe sekundi kohta — I_{term1} ja pikema aja kohta — I_{term}. Pingemähiste termilist vastupidavust iseloomustatakse kõrgeima pingega, mida nad kestvalt taluvad.

Peale loetletud relee parameetrite on releekaitse projekteerimisel ekspluateerimisel oluline tähtsus ka nende toimimise täpsusel. Eristatakse kahte liiki relee täpsusi: skaala täpsus ja toimimise täpsus. Relee skaala täpsus on tema sätte täpsus. Maksimaalvoolureleel on näiteks rakendusvoolu sätte täpsus 5%, aegrelee viivituse sätte täpsus peab olema 0,1—0,15 sec. Mis puutub toimimise täpsusesse, siis selle all mõeldakse relee toimimise viga ühe ja sama sätte juures, kuid erinevatel töötingimustel. See viga on põhjustatud mehaanilisest mittekorrasolekust või relee mustumisest.

Relee tähtsamate karakteristikute hulka kuulub ka tagastustegur k_t, s. t. relee tagastumissuuruse ja rakendumissuuruse suhe. Maksimaal- ja minimaalreleede tagastustegur on erinev. Maksimaalreleede tagastustegur on maksimaalse elektrilise suuruse, mille juures relee tagastub oma algasendisse, ja minimaalse elektrilise suuruse, mille juures relee rakendub, suhe. Enamikel maksimaalreleedel on tagastustegur $k_t < 1$, nimelt

$$k_t = 0{,}8 \div 0{,}95.$$

Minimaalreleede juures on tagastustegur minimaalse elektrilise suuruse, mille juures relee



Joon. 226. Relee ИТ-80 konstruktsioon.

tagastub oma algasendisse, ja maksimaalsuuruse, mille juures relee rakendub, jagatis.

Enamikel minimaalreleedel on tagastustegur $k_t > 1$, nimelt

$$k_t = 1{,}1 \div 1{,}3.$$

Meie tehaste poolt väljalastavatest paljudest releetüüpidest kirjeldame alamal maaelektrijaamades ja -alajaamades kõige enam levinud releesid.

SÕLTUVA KARAKTERISTIKUGA MAKSIMAALVOOLURELEED ИТ-81 JA ИТ-82

Nimetatud releesid kasutatakse generaatorite, trafode ja ülekandeliinide kaitseks liigkoormuste ja lühiste vastu.

Relee ühendusviisi ja võimsuslülitile mõjumisviisi järgi on releed ИТ-80 kaudse toimega sekundaarreleed. Joonisel 226 on toodud induktsioonsüsteemiliste releede ИТ-81 ja ИТ-82 skemaatiline konstruktsioon.

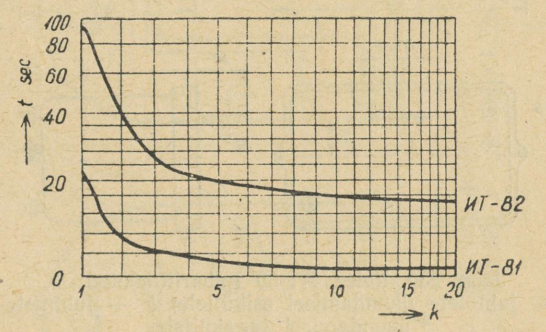
Ekraneeritud magnetsüsteemi pooluste *1* vahel asetseb alumiiniumketas *3*; ketta telg on kinnitatud raamile *4*, mis omakorda võib pöörduda väikese nurga võrra ümber liikumatu telje *0—0*. Elektromagneti pooluste *1* sisse on paigutatud lühiskeerd *2*. Ketas *3* pöörleb ühtlasi ka püsivmagneti *6* vahel. Magnetsüsteem *1* tekitab jõu f_1, mis paneb ketta *3* pöörlema kellaosuti liikumise suunas niipea, kui relee mähist läbiv vool suureneb väärtuseni, mis võrdub 20—40% rakendusvoolust. Vaatamata ketta pöörlemisele ei rakendu kontaktsüsteem, sest raam *4* hoitakse vedruga *5* äärmises asendis ja ketta teljel olev tigukruvi *7* ei aheldu hammassektoriga *8*.

Kettale mõjub selle pöörlemisel peale jõu f_1 veel jõud f_2, mis tekib püsivmagneti *6* ja ketta pöörlemise vastastikusel toimel. Voolu suurenemisel relee mähises suurenevad ka ketta *3* pöördemoment ja pöörlemise nurkkiirus. Seetõttu suureneb ka jõud f_2. Mähise kindla toitevoolu korral, s. o. relee rakendusvoolu korral, ületab jõudude f_1 ja f_2 resultantjõud vedru *5* tõmbejõu ja raam *4* koos temale kinnitatud kettaga *3* ja võlliga pöördub väikese nurga võrra. Selle tagajärjel aheldub ketta *3* võllil asetsev tigukruvi *7* hammassektoriga *8*. Sektor *8* hakkab tõusma ülespoole ja teatud aja pärast tõukab sektori saba vastu kangi *10* vasakut õla.

Aeg, mille vältel sektori *8* saba toetub vastu kangi *10*, määratakse sektori pöördumise nurgaga. Kang *10* pöördub ümber telje, kangi paremal poolel olev õhupilu väheneb ja ta tõmbub kiiresti vastu magnetsüdamikku *1*, sulgedes relee normaalselt avatud kontaktid *12—13*. Relee töötamise ajal ketta pöörlemiskiirus väheneb sektori *8* tõstmiseks kulutatava töö tõttu. Selleks et seejuures ei toimuks hambumise lahtiaheldumine, on relee varustatud klambriga *9*, millele mõjub magnetsüsteemi *1* puistevoog. Klamber tõmmatakse seetõttu ligi ja antakse raamile *4* lisajõud, mis surub hammassektori vastu tigukruvi *7*. Kangi parem õlg *11* kujutab endast elektromagnetilise lisarelee ankrut, mille südamikuks on osa magnetsüsteemist *1* ja magnetsammas *17*.

Seega koosneb relee ИТ-80 kahest süsteemist: induktsioon- ja elektromagnetilisest süsteemist. Alates kindlatest rakendusvoolu kordsustest tõmbub kang hetkeliselt magnetsüsteemi *1* vastu ilma pöörleva ketta *3* ja ülestõusva sektori *8* abita. Sellega saadakse relee kontaktide sulgumine viivituseta, s. t. saadakse voolulõige.

Induktsioonrelee rakendusvoolu reguleeritakse astmeliselt pistikseadise *15* abil, ilma et seejuures oleks vaja katkestada releed toitva voolutrafo sekundaarmähise ahelat. Relee rakendumiseks vajalik magneetimisergutus jääb seejuures konstantseks. Viivitust reguleeritakse seadise *14* abil, mis nihutab tuge, millele sektor *8* toetub oma algasendis, ja muudab sellega viimase pöördenurka. Voolulõike rakendusvoolu reguleeritakse kruvi *16* abil õhupilu muutmisega kangi parempoolse osa *11* ja magnetsüdamiku *1* vahel. Voolulõike reguleerimisel induktsioonrelee rakendusvool ja viivitus ei muutu. Relee ИТ-80 ajakarakteristik, s. t. viivituse sõltuvus relee mähise voolust, on toodud joonisel 227.

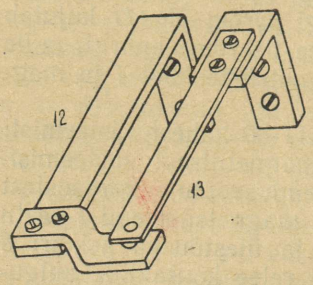


Joon. 227. Relee ИТ-80 viivituse sõltuvus voolust.

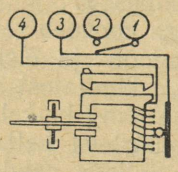
Karakteristiku vasakpoolne, voolust sõltuv osa vastab ketta kiiruse suurenemisele voolu suurenemisel relee mähises.

Alates teatud kindlast rakendusvoolu kordusest jääb ketta pöörlemiskiirus muutumatuks, mis vastab relee karakteristiku sõltumatule osale. Relee ИТ-80 on varustatud käsitsi algasendisse tagastatava rakendumist näitava indikaatoriga. Releesid toodetakse normaalselt avatud kontaktiga. Vajaduse korral on normaalselt

avatud kontakt kergesti ümberasetatav normaalselt suletud kontaktiks. Selleks pööratakse kontaktnurgik ja vedru *13* 180° (joon. 228). Joonisel 228 on näidatud normaalselt suletuks muudetud kontaktsüsteem.

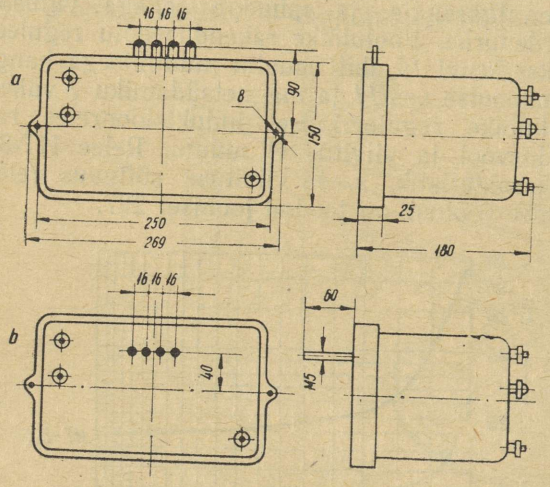


Joon. 228. Relee ИТ-80 normaalselt suletud kontaktid.



Joon. 229. Relee ИТ-80 sisemiste ühenduste skeem.

Joonisel 229 on toodud relee sisemiste ühenduste skeem ja joonisel 230 — relee gabariitmõõted sõltuvalt juhtmete ühendamisest esi- või tagaküljele.



Joon. 230. Relee ИТ-80 gabariitmõõted:
a — juhtmete ühendamisel esiküljele; *b* — juhtmete ühendamisel tagaküljele.

Relee normaalselt avatud kontaktid on ette nähtud kuni 5 A vahelduv- või alalisvooluahelate sulgemiseks pingel kuni 220 V. Vooluahela peab katkestama teiste kontaktidega (vahereleega või võimsuslüliti võllil asetsevate abikontaktidega). Normaalselt suletud kontaktidega relee katkestusvool on kuni 2 A pingel kuni 220 V.

Tabelis 70 a on toodud ülevaade relee ИТ-80 variantidest. Kui maksimaalne aeg karakteristiku sõltumatus osas on 4 sekundit, tähistatakse releed ИТ-81 ja 16 sekundi korral — ИТ-82.

Tabel 70a

Releede ИТ-80 variandid

Relee tüüp	Nimivool A	Induktsioonrelee rakendusvoolu sättepiirid A	Karakteristiku sõltumatu osa maksimaalne aeg sec
ИТ-81/1	10	4—10	4
ИТ-81/2	5	2— 5	4
ИТ-82/1	10	4—10	16
ИТ-82/2	5	2— 5	16

Maksimaalne lubatud vool kestva režiimi puhul on releedel ИТ-81-1 ja ИТ-82-1 11 A, releedel ИТ-81-2 ja ИТ-82-2 aga 5,5 A.

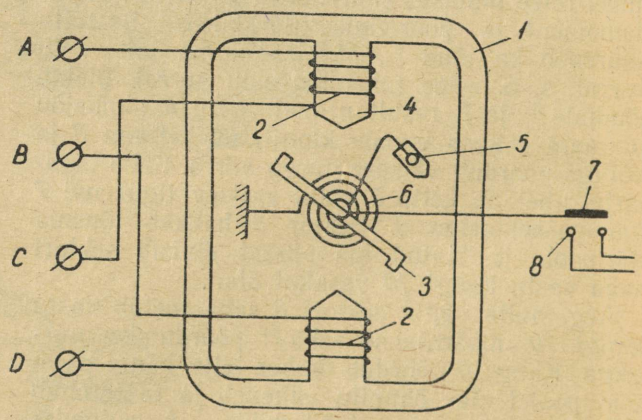
Relee nomenklatuurtähistuses on murru nimetajas arvud 1 ja 2, mis vastavad nimivoolule 10 A ja 5 A.

Relee mähise termiline vastupidavus on: kestvalt — 1,1 I_n ja ühesekundine — 40 I_n. Tagastustegur on 0,85, relee mähise poolt tarbitav võimsus — 15 VA voolu korral, mis on võrdne rakendusvooluga. Relee isolatsioon talub pinget 2000 V ühe minuti kestel.

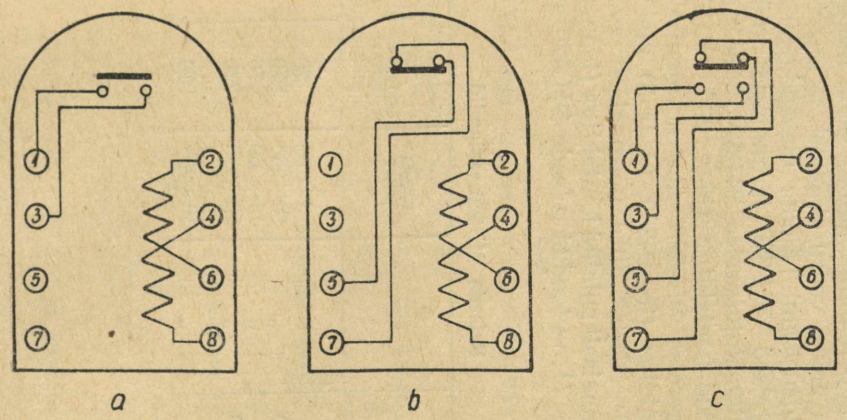
MAKSIMAALVOOLURELEE ЭТ-520

Relee ЭТ-520 on kõige enam levinud ja lihtsa ehitusega relee. Ta kuulub elektromagnetiliste releede rühma ja on pöörduva ankruga ning hetkelise toimega.

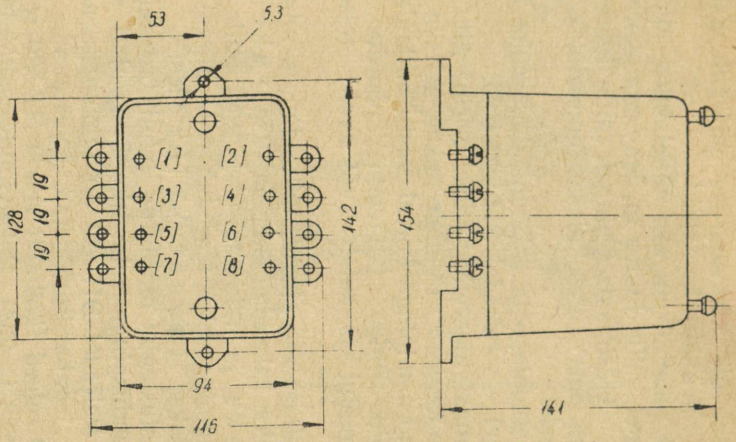
Joonisel 231 on toodud pöörduva ankruga elektromagnetilise relee skeem. Magnetsüdamiku *1* väljaulatavatele poolustele *4* on keritud kaks mähist *2*. Mähiste otsad on toodud välja neljale klemmile nii, et mähiseid saab ühen-



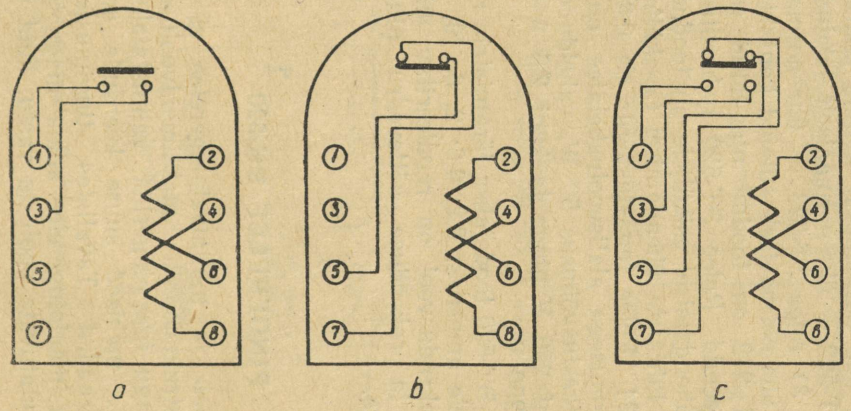
Joon. 231. Pöörduva ankruga elektromagnetilise relee skeem.



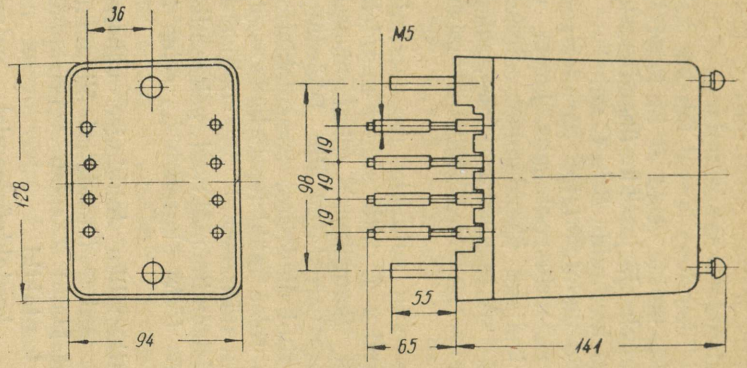
Joon. 232. Releede ЭТ-520 ühendusskeemid:
a — relee ЭТ-521; *b* — relee ЭТ-522; *c* — relee ЭТ-523.



Joon. 233. Relee ЭТ-520 gabariitmõõted juhtmete ühendamisel esiküljele.



Joon. 235. Releede ЭН-520 ühendusskeemid:
a — relee ЭН-524; *b* — relee ЭН-528; *c* — relee ЭН-526.



Joon. 234. Relee ЭТ-520 gabariitmõõted juhtmete ühendamisel tagaküljele.

dada järjestikku või paralleelselt. Relee toitevooluahel ühendatakse klemmidega *A* ja *D*. Poolide paraleelühenduse korral tehakse kaks ühendust: üks klemmide *A* ja *B* ja teine klemmide *C* ja *D* vahel; järjestikku-ühenduse korral — üks ühendus klemmide *B* ja *C* vahel.

Kui poolid on ühendatud paralleelselt, suureneb relee rakendusvool kaks korda, võrreldes poolide järjestikku ühendamisel esineva rakendusvooluga. Astmeliseks jämereguleerimiseks kasutatakse seega relee mähiste ümberühendamist.

Rakendusvoolu sujuvaks reguleerimiseks kasutatakse vedru *6*, mille pinget muudetakse erilise näitaja (kangikese) nihutamisega mööda sätteskaalaga varustatud silti. Pöörduv ankur *3* on valmistatud õhukesest terasplekist, mis küllastub juba relee mähiste nõrkade voolude korral. Seetõttu nõrgenevad lühisvoolude läbimisel liikuvale süsteemile mõjuvad mehaanilised jõud. Küllastumise tõttu suureneb ka relee tagastustegur.

Relee katkendliku toimimise vähendamiseks on pöörduv ankur ühendatud õlisummutiga *5*. Liikuv kontaktsild *7* suleb ankru pöördumisel liikumatud kontaktid.

Sõltuvalt kontaktsüsteemist valmistatakse ЭТ-520 kolmes variandis: 1) relee ЭТ-521 valmistatakse ühe normaalselt avatud kontaktiga, 2) relee ЭТ-522 — ühe normaalselt suletud kontaktiga ja 3) relee ЭТ-523 — ühe normaalselt avatud ja ühe normaalselt suletud kontaktiga.

Joonisel 232 on toodud nimetatud releede ühendusskeemid. Relee ЭТ-520 gabariitmõõted juhtmete ühendamisel esiküljele on toodud joonisel 233, juhtmete ühendamisel tagaküljele — joonisel 234. Relee tagastustegur on 0,85, induktiivkoormusega alalisvooluahelates on kontaktide katkestusvõimsus 50 W, vahelduvvooluahelas kuni 250 V pinge ja kuni 2,5 A voolu korral — 250 W.

Releesid ЭТ-520 toodetakse järgmistele rakendusvooludele amprites: 0,2; 0,6; 2; 6; 10; 20 ja 50; iga rakendusvool on reguleeritav mähiste ühenduse ja rakenduse sättevedru pingsuse muutmisega.

PINGERELEE ЭН-520

Maksimaal- ja minimaalpingerelee ei erine oma konstruktsioonilt maksimaalvoolureleest ЭТ-520. Nagu iga pingeriist, valmistatakse ka pingereleede mähised suure keerdude arvuga peenest traadist. Tavalistes tingimustes ei tõmbu maksimaalpingerelee ankur magnetsüdamiku väljaulatuvate pooluste vastu, kuid pinge tõusmisel üle sättesuuruse pöördub ankur ja suleb (või avab) kontaktid.

Relee rakenduspingeks nimetatakse minimaalset pinget, mille juures maksimaalpingerelee rakendub. Maksimaalset pinget, mille juures relee tagastub oma algasendisse, nimetatakse tagastuspingeks.

Tagastuspinge ja rakenduspinge suhe (tagastustegur) on releedel ЭН-520 0,85.

Minimaalpingerelee korral, erinevalt maksimaalpingereleest, tõmbub ankur kaitsva vooluahela normaalpinge korral vastu väljaulatuvaid pooluseid. Pinge langemisel pöördub ankur vedru mõjul ja suleb (või avab) relee kontaktid.

Maksimaalset pinget, mille juures minimaalpingerelee rakendub, nimetatakse r a k e n d u s p i n g e k s ja minimaalset pinget, mille juures minimaalpingerelee tagastub oma algasendisse, nimetatakse t a g a s t u s p i n g e k s.

Tagastustegur on antud juhul tagastuspinge ja rakenduspinge suhe ning on alati suurem ühest. Releedel ЭН-520 on tagastustegur 1,25.

Oma gabariitmõõdetelt vastavad seeria ЭН-520 releed täielikult seeria ЭТ-520 releedele (joon. 233 ja 234). Rakendumise sättepinge reguleerimine on täpselt samasugune kui voolureleede korral ja toimub poolide ümberühendamisega ning näitaja nihutamisega, mis muudab pöörduva ankru vedru pingsust.

Kontaktsüsteemi ja oma ülesande järgi liigitatakse releed ЭН-520 järgmisteks tüüpideks: 1) maksimaalpingerelee ЭН-524, ühe normaalselt avatud kontaktiga (joon. 235, *a*), 2) minimaalpingerelee ЭН-528, ühe normaalselt suletud kontaktiga (joon. 235, *b*) ja 3) maksimaalpingerelee ЭН-526, ühe normaalselt avatud ja ühe normaalselt suletud kontaktiga (joon. 235, *c*).

Tabelis 71 on toodud releede ЭН-520 andmed.

Tabel 71

Releede ЭН-520 variandid

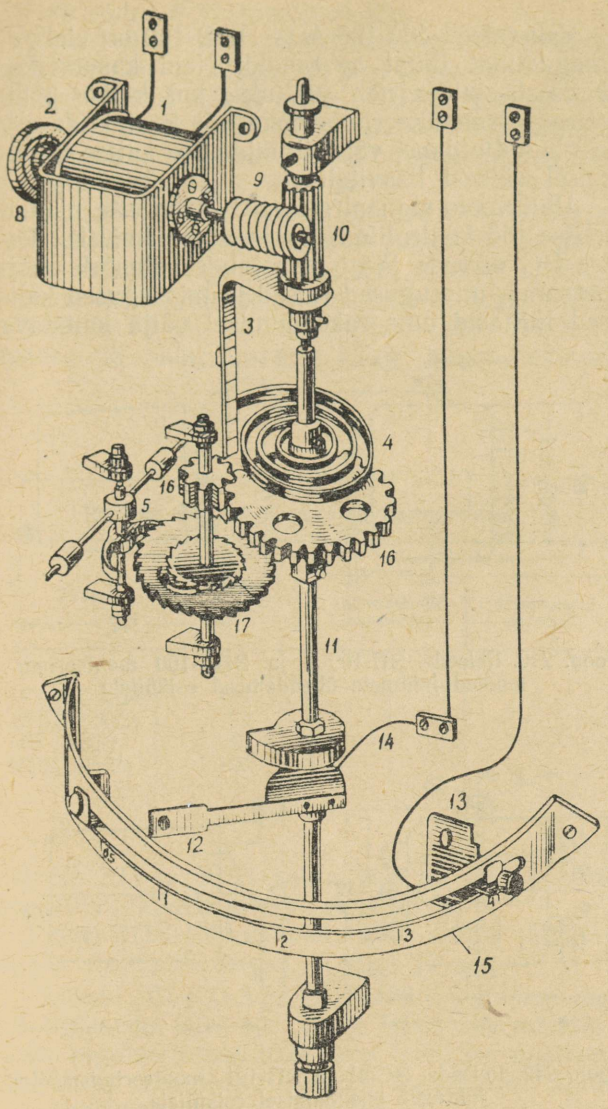
Tüüp	Liik	Skaala piirid	Kestvalt lubatav pinge V	
			poolide järjestikkuühendusel	poolide paralleelühendusel
ЭН-524/60	Maks.-pingerelee	15— 60	70	35
ЭН-524/200	„	50—200	220	110
ЭН-526/60	„	15— 60	70	35
ЭН-526/200	„	50—200	220	110
ЭН-528/48	Min.-pingerelee	15— 60	70	35
ЭН-528/60	„	50—200	220	110

ELEKTROMAGNETILISED AEGRELEED ЭВ-180 JA ЭВ-200

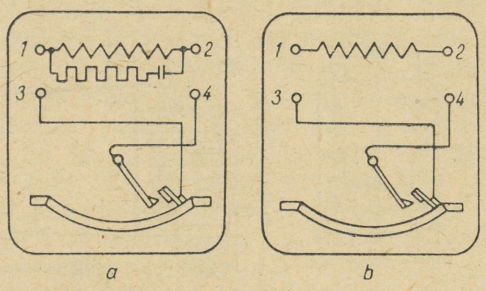
Aegreleesid kasutatakse generaatorite, trafode ja liinide mitmesugustes kaitselülitustes, kus on vajalik põhi-kaitserelee parameetritest sõltumatu viivitus. Releesid ЭВ-180 kasutatakse seadmetes, kus operatiivvooluks on alalisvool ja releesid ЭВ-200 neis seadmeis, kus operatiivvooluks on vahelduvvool sagedusega 50 Hz. Aegreleede aja sättepiirid on 0,25 — 4 sec (releed ЭВ-181 ja ЭВ-201) ja 0,5 — 10 sec (releed ЭВ-182 ja ЭВ-202).

Releed ЭВ-180 on arvestatud alalispingele 12, 24, 48, 110 ja 220 V; releed ЭВ-200 — vahelduvpingele 110, 127, 220 ja 380 V. Esimesed tarbivad nimiparameetritel 40 W, teised — 70 W. Kõik nimetatud tüüpi releed on varustatud ühe normaalselt avatud kontaktiga.

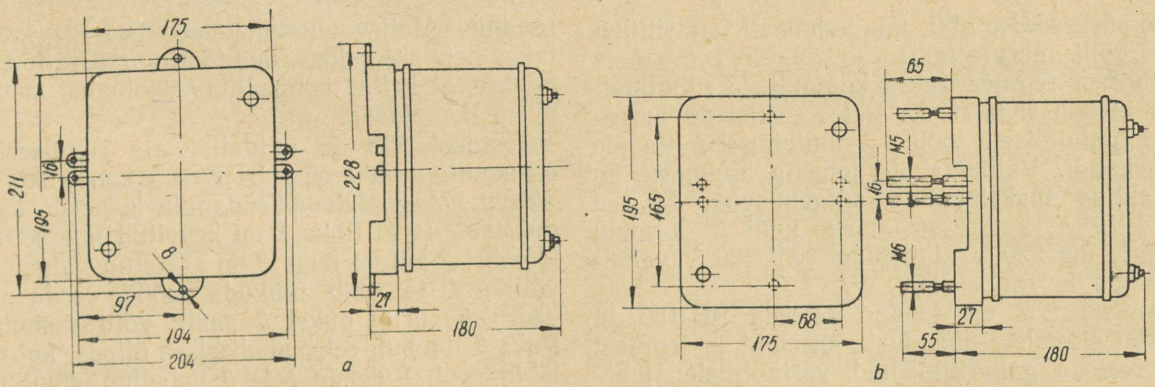
Joonisel 236 on toodud aegrelee töötamist selgitav skeem. Voolu läbimisel relee mähisest *1* liigub ankur *8* vasakult paremale ja pöörab hammaslatikesega *9* hammasratast *10* vastassuunas kellaosuti liikumissuunale. Koos sellega pöördub ka klamber *3*, mis keerab üles kellamehhanismi spiraalvedru *4*. Ankur *8* tõmmatakse



Joon. 236. Aegrelee töötamist selgitav skeem.

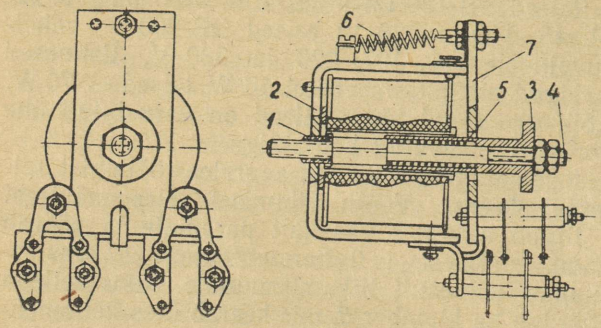


Joon. 237. Aegreleede sisemiste ühenduste skeemid: *a* — relee ЭВ-180; *b* — relee ЭВ-200.



Joon. 238. Aegreleede ЭВ-180 ja ЭВ-200 gabariitmõõted: *a* — juhtmete ühendamisel esiküljele; *b* — juhtmete ühendamisel tagaküljele.

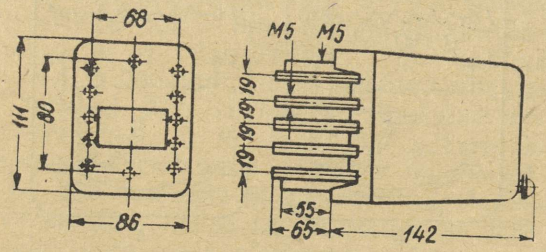
tema algasendisse tagasi koonilise vedruga *2*. Pärast vedru *4* üleskeeramist hakkab hammasrattaga *10* mitteühendatud võll *11* pöörduma ja koos sellega pöördub ka painduva juhtmega *14* ühendatud relee liikuv kontakt *12*. Vajaliku viivituse loomiseks aeglustatakse võlli *11* pöördumist ankruga kellamehhanismi abil, mis koosneb ühest hammasrattapaarist *16*, ankrurattast *17*, ankrust *5*, põrkseadisest *6* ja toest. Vastupäeva liikumisel aheldub võll *11* ankrurattaga *17* ja paneb liikuma ankru *5*, mis oma võnkumistega aeglustab võlli pöördumist. Võlli kiire tagasipöördumine tagakse põrkseadise abil, mis vabastab tagasiliikumisel võlli ankrurattast.



Joon. 239. Vaherelee ЭПВ-105.

Viivitust reguleeritakse kontakti *13* nihutamisega mööda skaalat *15*. Relee mähis on arvestatud lühiajalisele tööle — nimipingel mitte üle 30 sekundi. Valmistavate tehaste andmetel on kontaktide maksimaalne sulgemisvool 30 sec vältel 10 A, katkestusvõimsus kuni 5 A voolu ja mitte üle 220 V alalispinge või 380 V vahelduvpinge korral — 200 W.

Joonisel 237 on toodud releede ЭВ-180 ja ЭВ-200 sisemiste ühenduste skeemid ja joonisel 238 releede gabariitmõõted variantidele: juhtmete ühendamisel esiküljele (joon. 238, *a*) ning juhtmete ühendamisel tagaküljele (joon. 238, *b*).

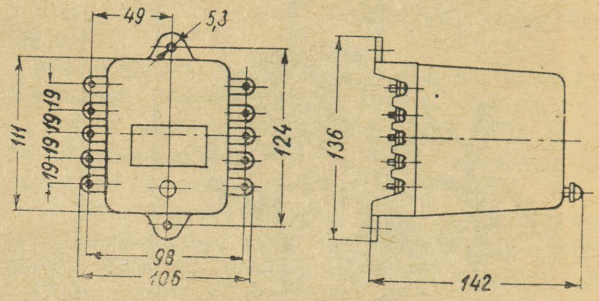


Joon. 241. Releede ЭП-100-A ja ЭПВ-100 monteerimismõõted juhtmete ühendamisel tagaküljele.

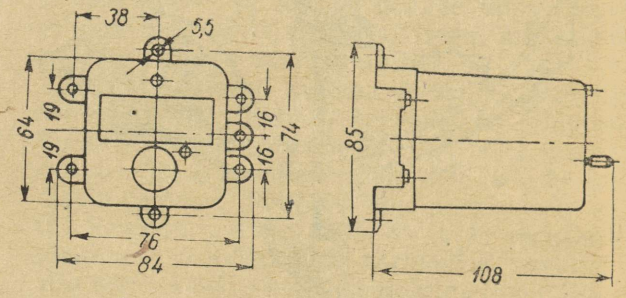
VAHE- JA SIGNAALRELEED

Vahereleed ЭП-100-A ja ЭПВ-100 on elektromagnetilist tüüpi aparaadid. Neid kasutatakse kaitseskeemides neil juhtudel, kui kaitse põhireleede kommuteerimisvõime või kontaktide arv ei ole küllaldane, või kui vajatakse kaitse toimimisel väikest lisaviivitust.

Alalisvoolu-signaalrelee ЭС-21 on ette nähtud kaitse töö kontrollimiseks ja arvestamiseks. Relee ЭС näitude järgi otsustab ekspluatatsioonipersonal, missugused releed ja missugused kaitsed lülitasid oma rakendumisel välja kaitstava



Joon. 240. Releede ЭП-100-A ja ЭПВ-100 monteerimismõõted juhtmete ühendamisel esiküljele.



Joon. 242. Releede ЭС-21 ja ЭП-121 monteerimismõõted juhtmete ühendamisel esiküljele.

seadme. Alalisvoolu-vahereleed ЭП-121 kasutatakse neis skeemides, kus töötingimuste tõttu on nõutav, et kaitse kontrollitav vooluahel suletaks pikemaks ajaks.

Joonisel 239 on näidatud aja reguleerimiselemendiga vaherelee ЭПВ-105 konstruktsiooni skeem. Magnetahela südamik koosneb kahest puksist *1* ja *3*. Puks *1* on kruvitud magnetahela klambri *2* külge; puks *3* on asetatud valgevasest võllile *4* ja võib nihkuda mööda seda võlli; vedru *5* surub puksi *3* vastu võlli *4* mutreid. Puks *3* tõmbub relee pooli sisse niipea, kui pooli läbib vool. Pukside *1* ja *3* vaheline õhupilu väheneb vastavalt puksi *3* liikumisele pooli sisse, kusjuures ankru *7* voog ja tõmbejõud suurene-

vad. Relee rakendub siis, kui ankru tõmbejõud ületab vedru *6* vastumõjuva jõu.

Relee ЭПВ-105 rakendumisaega reguleeritakse puksi *3* algasendi muutmisega. Relee ЭПВ-106 pool erineb relee ЭПВ-105 poolist sellega, et tal on peale töömähise veel lühismähis, mis tagab töömähise väljalülitamisel liikuva osa tagastumise väikese viivitusega.

Joonisel 240 on toodud releede ЭП-100-А ja ЭПВ-100 monteerimismõõted juhtmete ühendamisel esiküljele ja joonisel 241 mõõted samade releede kohta juhtmete ühendamisel tagaküljele.

Tabelis 72 on toodud andmed maaelektrijaamades ja -alajaamades kõige enam levinud

Tabel 72

Releede ЭП-100 А ja ЭПВ-100 variandid

Tüüp	Takistus Ω	Kontaktide arv	
		normaalselt avatud	normaalselt suletud
ЭП-101-А/24	100	2	2
ЭП-103-А/24	100	4	—
ЭП-105/24	45	4	—
ЭПВ-106/24	100	1	1

releede ЭП ja ЭПВ kohta, mis on ette nähtud operatiiv-alalisvoolule pingega 24 V.

Relee ЭПВ-105 valmistatakse ainult lühiajaliseks sisselülitamiseks — kuni 10 sec.

Releede ЭП-100-А ja ЭПВ-106 rakendumisaeg on ligikaudu 0,01 sec. Relee ЭПВ rakendumisaega reguleeritakse 0,01 kuni 0,05 sec piirides, kusjuures reguleerimine on ligikaudne, ilma ajasätteskaalata.

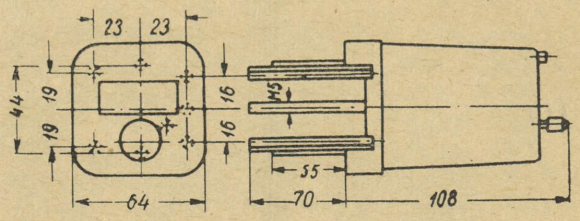
Releede ЭП-100-А ja ЭПВ-100 kontaktid taluvad kestvalt 5 A voolu ja avanemisel maksimaalset voolu, sõltuvalt voolu ja pinge liigist, tabeli 73 järgi.

Tabel 73

Koormuse iseloom	Pinge V		Maksimaalne vool avanemisel A
	alalisvool	vahelduvvool	
Endainduktsioonita	220		1
„	110		5
Endainduktsiooniga	220		0,5
„	110		4
„		220	5
„		127	10

Elektromagnetiline vaherelee ЭП-121 ja signaalrelee ЭС-21 on ehitatud selliselt, et ankru külgetõmbumisel vabaneb eriline värvitud lipuke, mis vabanemisel pöördub ja tuleb nähtavale relee kesta ümmarguses klaasitud aknakeses. Üheaegselt lipukesega pöördub ka kontaktsild, mis lühistab kolm liikumatut kontakti.

Lipuke ja kontaktid jäävad rakendunud asendisse ka pärast seda, kui vool pooli mähises katkeb. Lipuke ja kontaktsild viiakse algasendisse tagasi käsitsi vastava nupu pööramisega, mis asetseb relee kesta esiseinal.



Joon. 243. Releede ЭС-21 ja ЭП-121 monteerimismõõted juhtmete ühendamisel tagaküljele.

Joonisel 242 on toodud releede ЭС-21 ja ЭП-121 monteerimismõõted juhtmete ühendamisel esiküljele ja joonisel 243 nende releede mõõted variandi kohta, kui juhtmed on ühendatud tagaküljele. Relee ЭС-21 kontaktide kommuteerimisvõime on induktiivse koormusega alalisvooluahelas 50 W, vahelduvvooluahelas — 260 VA pingel kuni 250 V ja voolul kuni 2 A. Relee ЭП-121 kommuteerimisvõime on kontaktide avanemisel 3 A, kui koormus alalisvooluahelas on ilma endainduktsioonita ja 1 A, kui alalisvooluahelas on induktiivne koormus. Vahelduvvooluahelates võib kõigil juhtudel katkestada kuni 3 A voolu. Pinge alalis- ja vahelduvvooluahelates ei tohi olla üle 220 V.

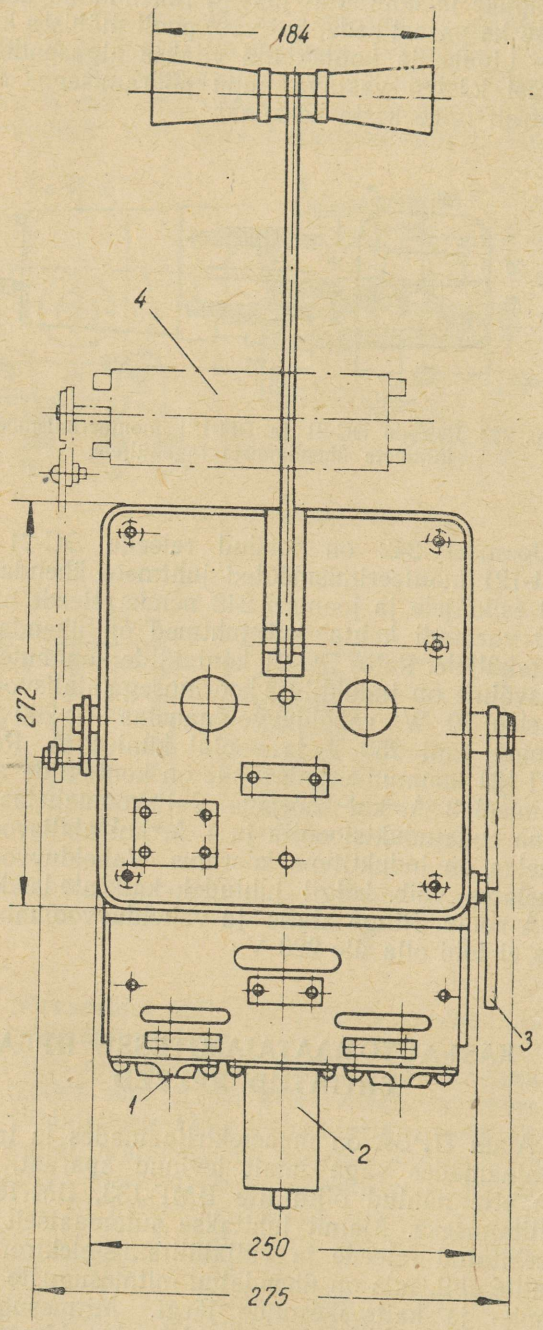
KÄSI-AUTOMAATAJAMITESSE ПРБА EHITATUD RELEED

Ajam ПРБА on maaelektrijaamades ja trafoalajaamades väga laialt levinud aparaat, mis on ette nähtud õlilülitite ВМГ-133, ВМ-16 jt. lülitamiseks. Ajamit juhitakse automaatselt sisseehitatud releede ja väljalülitamis-elektromagnetite abil, mis on ühendatud mitmesuguste juhtimis- ja kaitseskeemide järgi. Mitmesuguste kaitseskeemide põhielementideks on järgmised sisseehitatud releed.

Viivitusega maksimaalvoolurelee PMB väljalülitamisvooludele 5, 6, 7, 8, 9 ja

10 A väljalülitamisvoolu sättetäpsusega ±10%. Viivitust reguleeritakse 0 kuni 4 sec piirides, täpsusega ±0,3 sec. Relee poolt tarbitav võimsus on ligikaudu 50 VA.

Sisseehitatud minimaalpingerelee PMH on hetkelise toimega aparaat. Väljalülitamispinge on 65 kuni 35% piirides nimipingest. Kui pinge on alla 35% nimipingest, toimub alati väljalülitamine. Võimsuslüliti sisselülitamist lubav pinge poolil võib olla 65 kuni 85% piirides nimipingest. Relee PMH nimipinge on 110, 127, 220 ja 380 V.



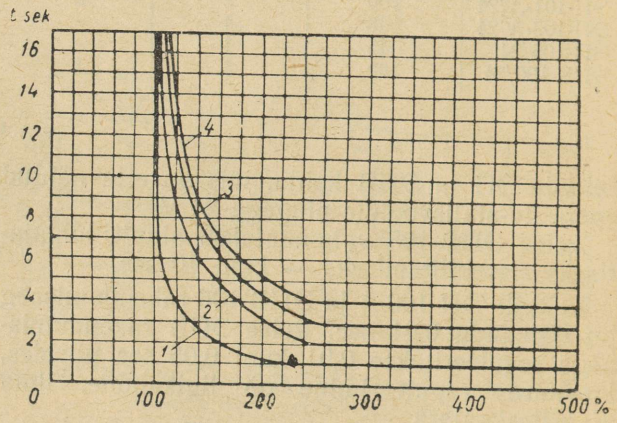
Joon. 244. Releede paigutus ajamisse ПРБА:
1 — viivitusega maksimaalvoolurelee PMB; *2* — pingerelee PMH; *3* — rakendumisnäitaja; *4* — abikontaktid (plokk-kontaktid) КСА.

Sisseehitatud maksimaalvoolurelee PMT toimib hetkeliselt. Relee sätteskaala vastab väljalülitamisvooludele 5, 7, 9, 11, 13 ja 15 A väljalülitamisvoolu sätte täpsusega ±10%. Relee poolt tarbitav võimsus on ligikaudu 50 VA.

Ajamisse ПРБА ehitatud väljalülitamis-elektromagneteid toidetakse sõltumatust vooluallikast alalisvooluga pingetel 24, 48, 110 ja 220 V ning vahelduvvooluga pingetel 110, 127, 220 ja 380 V. Väljalülitamis-elektromagneteid ehitatakse ka kiiresti küllastuvate voolutrafode ТКБ-1 toitele.

Joonisel 244 on näidatud viivitusega maksimaalvoolurelee PMB ja minimaalpingerelee PMH paigutus käsi-automaatajamisse ПРБА.

Ajamisse ПРБА sisseehitatavad releed on sarnased nende releedega, milledega varem varustati ajameid КАМ.



Joon. 245. Viivitusega maksimaalvoolupooli karakteristikud:
1 — säte on 1 sec; *2* — säte on 2 sec; *3* — säte on 3 sec; *4* — säte on 4 sec.

Joonisel 245 on toodud mehaanilise viivitusega sisseehitatud maksimaalvoolurelee PMB karakteristikud.

ÜLDISED NÕUDED GENERAATORITE KAITSELE

Sõltuvalt kaitsele esitatavatest nõuetest liigitatakse elektrigeneraatorid kahte kategooriasse. Esimesse kategooriasse kuuluvad generaatorid võimsusega üle 1250 kVA ning teise — gene-

raatorid võimsusega 1250 kVA ja alla selle. Enamik töötavatest ja ka projekteeritavatest maaelektrijaamadest on varustatud ja varustatakse teise kategooria generaatoritega, s. o. võimsusega kuni 1250 kVA. Seetõttu käsitletakse siinkohal kuni 1250 kVA võimsusega generaatoritega elektrijaamade releekaitse ja sulavkaitsmetega kaitse küsimusi. Kuid mõne kaitseliigi vaatlemisel näidatakse ka palju võimsamate generaatorite kaitse omapära.

Vastavalt «Maaelektriseadmete projekteerimise juhenditele» tuleb elektrijaama generaatoritele võimsusega 1250 kVA ja alla selle ette näha releekaitseseadised järgmiste rikkeliikide ja mittenormaalsete töörežiimide jaoks: 1) staatorimähise mitmefaasiliste lühiste vastu; 2) staatorimähise maaühenduse vastu, kui mahtuvuslik maaühendusvool generaatoripingevõrgus on üle 5 A; 3) staatorimähise maaühenduse vastu otseselt maandatud nullpunktiga generaatori korral võimsusega 200 kVA ja üle selle ning pingega 0,4 kV; 4) staatorimähise liigvoolude vastu, mis on põhjustatud välistest lühistest; 5) staatorimähise pinge tõusu vastu (hüdrogeneraatoritel).

Palju suuremate võimsustega generaatorite jaoks näevad «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjad» ette ka kaitse staatori ühe faasi keerdudevahelise lühise vastu, kaitse staatorimähise voolude vastu, mis on põhjustatud liigkoormusest, ja generaatori ergutusahelas teise maaühenduse tekkimisele reageeriva kaitse, mis lülitatakse sisse ergutusahela ühes punktis avariilise maaühenduse tekkimisel. Signaalile töötavat kaitset staatorimähises liigkoormustest põhjustatud voolude vastu on otstarbekas ette näha mõnedele teise kategooria generaatoritele. Signaalile peab töötama samuti ka generaatori ergutusahelas teise maaühenduse tekkimisele reageeriv kaitse. Kõik ülejäänud kaitsed toimivad generaatori väljalülitamisele ja samaaegselt ka generaatori magnetvälja summutamisele automaatse väljasummutusseadise (AVS) töölerakendamisega.

Generaatori kaitseskeemides on kaudse toimega releede tõttu otstarbekas kasutada operatiivvooluks 24 V pingega alalisvoolu, sest igas lahus töötavas elektrijaamas peab avariilise seiskamise juhuks olema sõltumatu vooluallikas.

GENERAATORITE VÄLJASUMMUTUSSEADIS

Generaatorite automaatne väljasummutusseadis on vajalik selleks, et kiirendada avarii likvideerimist generaatorite sisemiste avariide korral. Peale selle esineb generaatorite avariilistel väljalülitamistel, mis pole otseselt põhjustatud samade generaatorite riketest (näiteks väljalülitamistel, mis on põhjustatud välistest lühistest), järsk koormuse äralangemine. See võib põhjustada masina pöörlemiskiiruse suurenemist, eriti hüdrogeneraatoritel, kui hüdroturbiinil puudub kiirusregulaator või kui see on koormuse muutumise suhtes väikese tundlikkusega. Neil juhtudel võib generaatori pinge tõusta sellise väärtuseni, mis on ohtlik staatorimähise isolatsioonile. Automaatse väljasummutusseadise ülesandeks on vältida ka seda liiki avariisid.

Vastavalt «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjade» soovitusele tuleb generaatoritele võimsusega üle 1250 kVA ette näha automaatne väljasummutusseadis, mis lülitab generaatori ergutusahela ümber summutustakistusele. Üheaegselt generaatori ergutusahela lühistamisega takistuse abil lühistatakse takistusega ka ergutaja ergutusahel. «Eeskirjade» poolt soovitatakse 1250 kVA ja väiksema võimsusega generaatorite korral teostada automaatset väljasummutamist ainult ergutaja ergutusahela lühistamise teel takistusega.

Summutustakistus generaatori ergutusahelas tuleb valida ligikaudu neli-viis korda suurem kui generaatori ergutusmähise takistus soojas olekus.

Joonisel 246 on näidatud automaatne väljasummutusseadis suure võimsusega generaatoritele. Generaatori ergutusahel lühistatakse summutustakistusega. Lisatakistuse lülitamist ergutaja ergutusahelasse ei ole siin näidatud.

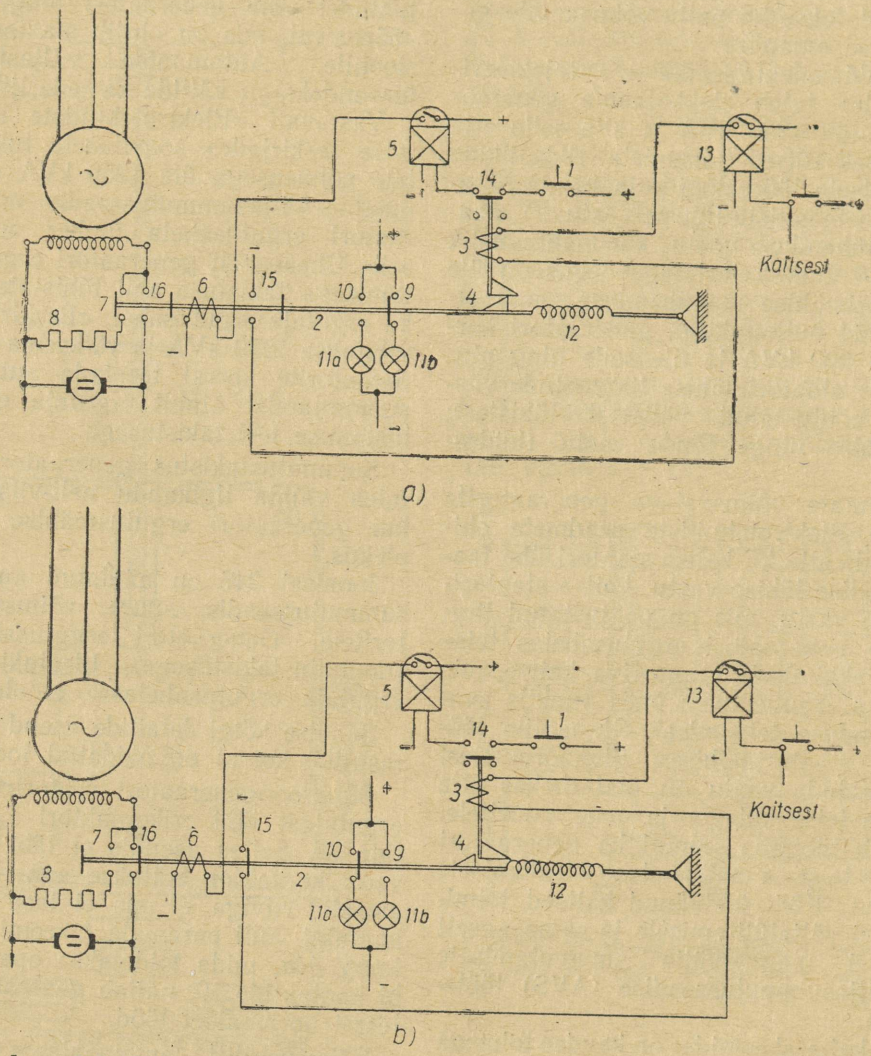
Seadise kõigi detailide asend generaatori normaaltöö korral on näidatud joonisel 246, *b*.

Sünkroongeneraatori rootorimähist toidetakse ergutajast läbi erikontaktori *6* suletud kontaktide *16*. Selles asendis ei läbi kontaktori pooli vool; kontaktor hoitakse aga skeemil näidatud asendis riiviga *4*, mis ei lase vedrul tõmmata kontakti võlli paremale (skeemi järgi). Signaallamp *11a*, mida toidetakse operatiivvooluga läbi kontaktide 10, näitab generaatori ergutussüsteemi normaalset tööd.

Võimsuslüliti automaatse väljalülitamisega seosesoleva avarii korral, mis on põhjustatud generaatori sisemisest rikkest või pinge tõusust üle lubatava piiri, annab kaitserelee impulsi vahereleele *13*, viimane suleb oma kontaktid ja käivitab riivi *4* elektromagneti *3*. Magneti *3* südamik tõmbub pooli sisse, vabastab riivi *4* ja samaaegselt suleb kontaktid *14*. Vedru *12* tõmbab kontaktori võlli *2*; seejuures avanevad kontaktid *16*, kuid eelnevalt sulguvad kontaktid *7*. Generaatori rootorimähis jääb ergutuseta ja järsul väljalülitamisel tekkiva liigpinge vältimiseks lühistatakse mähis summutustakistusega *8*.

Samaaegselt avanevad kontaktid *15* ja katkestavad elektromagneti *3* pooli toitevooluahela.

See kergendab relee *13* kontaktide tööd, mis täielikult vabanevad koormatud vooluahela katkestamise funktsioonist. Nagu teada, ei põhjusta vooluahela sisselülitamine kontaktide põlemist datud riivistusseadise *4* asendis hoitakse elektromagneti *3* südamik ülemises asendis vaatamata sellele, et elektromagneti pooli ei läbi vool. Kontaktid *14* jäävad suletuks senikauaks, kuni taastatakse generaatori ergutuse normaalne lülitus.



Joon. 246. Generaatori väljasummutusseadise skeem; summutustakistus lülitatakse generaatori ergutusahelasse: *a* — väljasummutamine; *b* — normaalne töö.

või muid rikkeid. Relee *13* tagastub oma algasendisse niipea, kui on kõrvaldatud tema rakendumist esilekutsunud põhjused. Joonisel 246, *a* on näidatud skeemi kõigi elementide asend pärast seda, kui toimus väljasummutamine.

Seda elementide asendit signaliseerib lambi *11b* põlemine, mida toidetakse sõltumatust vooluallikast üle sulgunud kontaktide 9. Joonisel näidatud ergutuse normaalne lülitus taastatakse nupule *1* surumisega. Seejuures rakendub vaherelee *5*, tema kontaktid sulguvad ja kontaktori sisselülitamispool *6* viib kogu seadise normaaltöö asendisse (joon. 246, *b*).

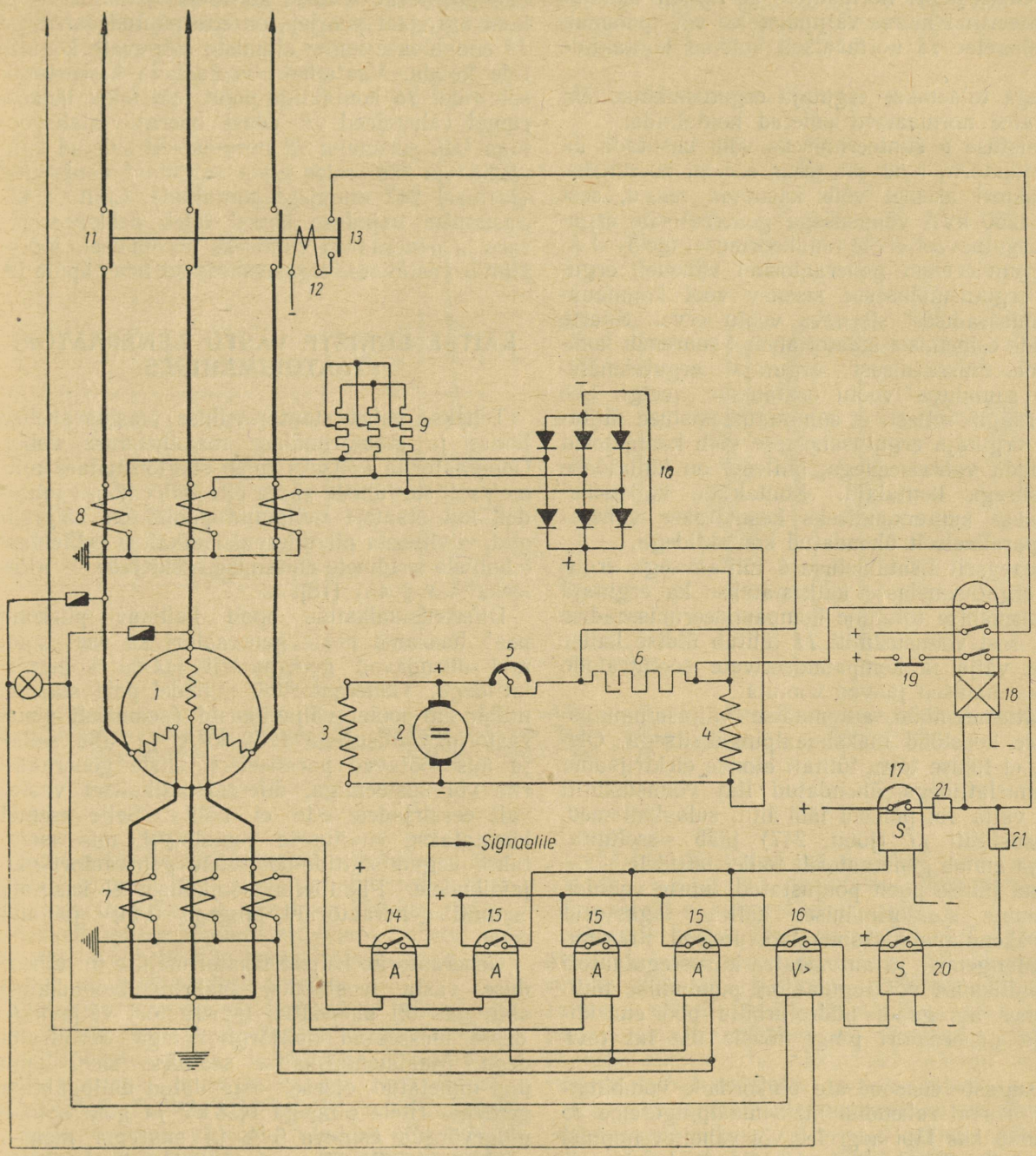
Joonisel 247 on toodud automaatse väljasummutusseadise skeem, kus lisatakistus lülitatakse ergutaja ergutusahelasse. Siin on antud

ka kaitse täielik skeem, mille kõiki elemente kirjeldatakse käesoleva peatüki järgnevates osades.

Vaatleme automaatse väljasummutusseadise tööd. Nagu tavaliselt, kasutatakse ka käesoleval juhul generaatori ergutuse paralleelset kompaundeerimist.

Normaaltöö korral toidetakse generaatori *1* rootorimähist *3* ergutajast *2*.

Ergutaja ergutusmähist *4* toidetakse erguta-



Joon. 247. Generaatori kaitse skeem koos automaatse väljasummutusseadisega, mis on teostatud takistuse lülitamisega ergutaja ergutusahelasse:
1 — generaator; *2* — ergutaja; *3* — generaatori ergutusmähis; *4* — ergutaja ergutusmähis; *5* — ergutaja ergutusreostaat; *6* — väljasummutustakistus; *7* — kaitse voolutrafod; *8* — kompaundeerivad voolutrafod; *9* — reostaat; *10* — alaldaja; *11* — võimsuslüliti; *12* — võimsuslüliti pool; *13* — abikontakt; *14, 15* — maksimaalvoolurelee; *16* — maksimaalpingerelee; *17* ja *20* — aegrelee; *18* — vaherelee; *19* — surunupp; *21* — signaalrelee.

jast *2* läbi haruvoolureostaadi *5*. Ergutaja ergutusmähise toiteahelas on takistus *6*, mille suurus peab võrduma vastavalt «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjadele» ergutaja ergutusmähise kümnekordsele takistusele soojas olekus. Generaatori normaaltöö korral on takistus *6* šunteeritud kaitse väljumisrelee või spetsiaalse vaherelee *18* normaalselt suletud kontaktide abil.

Seega toidetakse ergutaja ergutusmähist läbi vaherelee normaalselt suletud kontaktide.

Takistuse *6* šunteerimiseks võib kasutada ka erikontaktorit, kuid see teeks skeemi keerukaks. Kontaktori asemel võib kasutada releed, sest kuni 1250 kVA võimsusega generaatorite ergutaja ergutusvool ei ole nimikoormusel üle 3—4 A. Kompaundeeritud generaatoritel väheneb ergutaja ergutusmähisesse sisenev vool kompaundeerimisseadisest siseneva voolu arvel. Suurte voolude esinemisel staatoriahelas suureneb kompaundeerimisseadisest ergutaja ergutusmähisesse suunduva voolu osatähtsus veelgi. See kõik räägib sellest, et summutustakistuse lülitamisel ergutaja ergutusahelasse võib kontaktorid asendada vahereleedega, milledel on küllaldase võimsusega kontaktid. Kontaktide katkestusvõimsuse suurendamiseks kasutatakse vahereleed paralleelselt ühendatud kontaktidega.

Üheaegselt lisatakistuse *6* lülitamisega ergutaja ergutusahelasse katkestatakse ka ergutaja ergutusmähise toitmine kompaundeerimisseadise poolt, sest võimsuslüliti *11* lülitub üldise kaitse toimel välja ja kompaundeerivate voolutrafode primaarmähised jäävad vooluta.

Vaatleme nüüd automaatse väljasummutusseadise koostööd maksimaalpingekaitsega. Oletame, et lühise tõttu lülitati ainuke elektrijaama kogumislattidega ühendatud liin võimsuslüliti poolt välja või põlesid läbi liini sulavkaitsmed. Võimsuslüliti *11* (joon. 247) jääb sisselülitatuks ja annab generaatorilt toidet lattidele.

Kuna lühise poolt põhjustatud suurte voolude kulgemine staatorimähises katkes, tagastusid mitterakendunud maksimaalvoolureleed. Koormuse äralangemise ja automaatse kiirusregulaatori ebatundlikkuse või regulaatori puudumise tõttu suurenes agregaadi hüdroturbiini pöörlemiskiirus ja generaatori pinge tõusis üle lubatava piiri.

Niisuguste ebasoodsate olukordade kombinatsiooni korral rakendub maksimaalpingerelee *16* ja annab kas läbi aegrelee või vahetult impulsi vahereleele *18*, mis avab oma ülemised normaalselt suletud kontaktid ja lülitab ergutaja ergutusahelasse summutustakistuse *6*. Väli summutatakse, sest rikkis liini väljalülitamise momendil katkeb ka ergutaja ergutusmähise toitmine kompaundeerimisseadisest.

Pärast väljasummutusseadise rakendumist väheneb generaatori klemmipinge miinimumini. Relee *16* avab oma kontaktid. Selleks et vältida algolukorra taastumist, s. o. relee *18* kontaktide poolt takistuse *6* šunteerimist ja sellele järgnevat seadise korduvat toimimist seni, kuni agregaat pöörleb, on ette nähtud vaherelee *18* endablokeerimine alumiste sulguvate kontaktide kaudu. Vaatamata vooluahela katkestamisele relee *16* kontaktide poolt toidetakse blokeerunud vahereleed *18* edasi operatiiv-alalisvooluga läbi surunupu *19* normaalselt suletud kontaktide ja läbi relee enda sulgunud kontaktide (joonisel 247 alumised kontaktid). Lülituse tagastamise vajaduse korral tuleb deblokeerimiseks ja generaatori viimiseks normaalsele töörežiimile vastavasse algasendisse suruda nupule 19.

KAITSE LÜHISTE VASTU GENERAATORI STAATORIMÄHISES

Tehakse vahet staatorimähise faasidevahelise lühise ja staatorimähise maaühenduse vahel. Generaatorite kaitseks tuleb staatorimähise mitmefaasiliste lühiste vastu ette näha kõigil juhtudel, kui staatori nullpunkti-poolel on väljaviigud, viivituseta pikidiferentsiaalkaitse («Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjad» — «Releekaitse» § 45) [18].

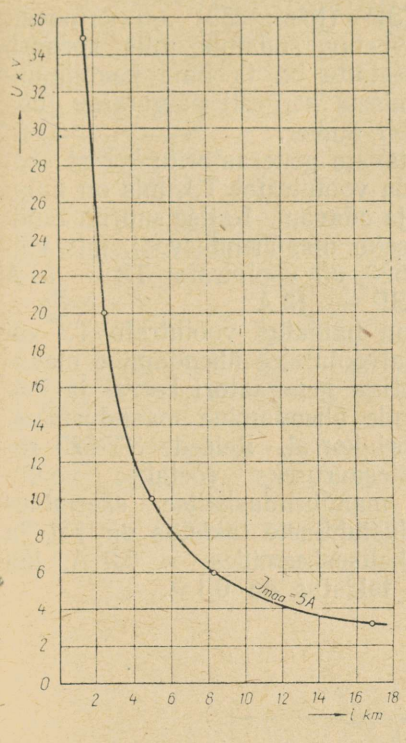
Diferentsiaalkaitse poolt kaitstav piirkond peab haarama peale generaatori ka veel latid, mis ühendavad generaatorit jaama kogumislattidega. Generaatoritel, milledel pole staatori nullpunkti-poolel väljaviikusid (peamiselt generaatorid võimsusega 1250 kVA ja alla selle) ja mis töötavad paralleelselt teiste generaatorite või süsteemiga, diferentsiaalkaitset vastavalt eeskirjadele ette ei nähta. Selle asemel kasutatakse viivituseta voolulõiget, mis asetatakse kogumislattide-poolsetele generaatori väljaviikudele. Pikidiferentsiaalkaitset ei kasutata samuti generaatoritel pingega 0,4 kV ja alla selle.

Generaatorite kaitset staatorimähise maaühenduse vastu teostatakse maksimaalvoolukaitse abil, mis on ühendatud generaatori väljaviikudesse ülesseatud nulljärgnevusega voolutrafodega. Maaühenduskaitse seatakse üles, nagu ülal nimetatud, otseselt maandatud nullpunktiga generaatoritele pingega 0,38 kV ja generaatoripingevõrgus esineva 5 A ja suurema mahtuvusliku maaühendusvoolu korral. Madalpingegeneraatorite nullpunkti (neutraali) maandamine on maaelektrijaamades laialt kasutusel. Maaelektrijaamade generaatoripinge võrgus on mahtuvuslik vool harva üle 5 A, sest neis ei kasutata kaabelliine ja generaatorid on ühenda-

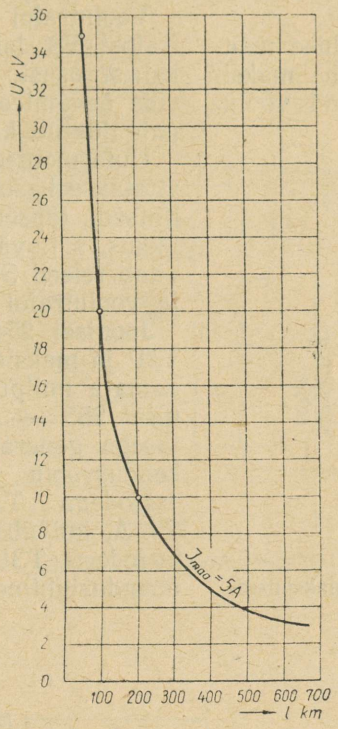
tud õhuliinidega enamikel juhtudel pingettõstvate trafode kaudu.

Joonistel 248 ja 249 on toodud kõverad, mis näitavad mahtuvusliku voolu sõltuvust liini pikkusest, pingest ja selle tüübist [28]. Liini pikkuse all mõeldakse siin omavahel elektriliselt sidestatud ühe ja sama pingega liinide pikkust.

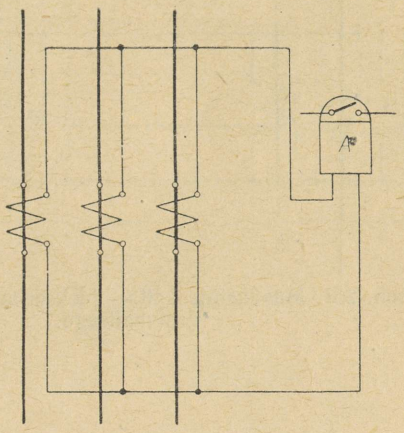
hangitakse voolutrafod komplektis, mis koosneb ühe ja sama nimivooluga voolutrafodest; nende trafode südamikud on spetsiaalselt valitud karakteristikutega (südamikud «3»). Selliste nulljärgnevusega filtriks ühendatavate südamikkude komplekti ebabalanssvool ei ületa 10—15 mA (tehase andmetel). See ebabalanssvoolu



Joon. 248. Mahtuvusliku maaühendusvoolu sõltuvus kaabelliini pikkusest ja pingest (vool 5A).



Joon. 249. Mahtuvusliku maaühendusvoolu sõltuvus õhuliini pikkusest ja pingest (vool 5A).



Joon. 250. Nulljärgnevusega voolufiltri skeem.

Nagu näha toodud kõverast, on vaja selleks, et 6 kV pingega generaatori mahtuvuslik maaühendusvool oleks 5 A, vähemalt 350 km pikkust generaatoripinge-kogumislattidele ühendatud õhuliini. Kaabelliinide korral esineb sama vool juba 8 km pikkuse liini juures.

Kaitse generaatori staatorimähise mitmefaasiliste lühiste vastu ja staatorimähise ühefaasiliste maaühenduste vastu teostatakse maksimaalvoolureleedega, mida toidetakse erivoolutrafodest ТПФД, ТПФЗ, ТПФЗД, ТЗ ja ТЗР. Tähed Д ja З märgivad, et voolutrafod on ette nähtud vastavalt diferentsiaal- ja maaühenduskaitse jaoks.

Joonisel 250 on näidatud kolme voolutrafo ТПФЗ-10 ühendamine nulljärgnevusega voolufiltriks generaatori maaühenduskaitse, s. t. staatorimähise maaühenduskaitse jaoks. Selleks piirväärtus garanteeritakse juhul, kui voolutrafode vooluahelat toidetakse nimisuurusega sümmeetrilise siinuselise vooluga.

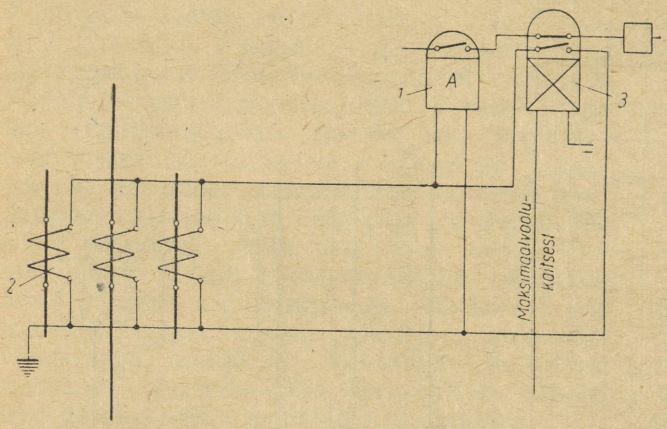
Skeemis (joon. 250) on voolutrafod ühendatud maksimaalvoolureleega kahe kokkukeeratud võrdse pikkusega juhtmega ristlõikega 6 mm². Juhtmete pikkus ei tohi ületada 5 m. Ühe faasijuhtme (staatorimähise) maaühendusel tekkiva voolude sümmeetria rikkumisel läbivad releed suured ebabalanssvoolud ja relee rakendub.

Kui primaarvoolude sümmeetria ei ole rikutud mitte maaühenduse tõttu, vaid muudel põhjustel, näiteks kahefaasilise lühise tõttu, siis peab maaühenduskaitse automaatselt välja lülituma.

Joonisel 251 on toodud skeem, mis võimaldab maaühenduskaitse väljalülitamist (blokeerimist). Kaitse töötab nulljärgnevusega voolufiltri põhimõttel ja lülitatakse välja generaatori maksi-

maalvoolukaitse toimimisel. Kolmest nulljärgnevusega filtriks ühendatud voolutrafost *2* toidetav maksimaalvoolurelee *1* šunteeritakse generaatori tavalise maksimaalvoolukaitse rakendumisel vaherelee *3* alumiste normaalselt avatud kontaktide abil ja ühtlasi katkestatakse ka relee *1* operatiivvooluahel. Nulljärgnevusega voolufiltriga ühendatud relee rakendusvool on 15—20 mA.

Teiseks palju lihtsamaks staatorimähise maaühenduskaitse mooduseks on kaitse ühe maksimaalvoolurelee abil, mis on ühendatud voolutrafoga T3 või T3P. Need voolutrafod on ette nähtud nulljärgnevusega voolude transformeerimiseks ja nad paigutatakse generaatorit (või trafot) lattidega ühendava kolmefaasilise kaabli ümber. Voolutrafo T3 (joon. 252) koosneb rõngakujulisest südamikust, millele on mähitud sekundaarmähis. Primaarmähiseks on vastava isolatsiooniga kaabel.

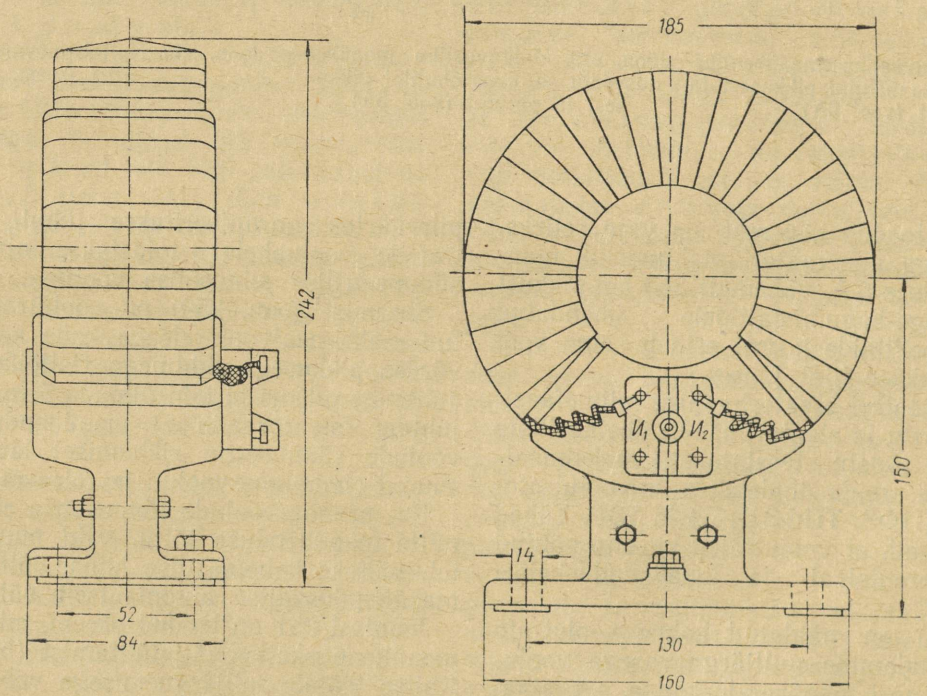


Joon. 251. Maaühenduskaitse blokeerimine maksimaalvoolukaitsega.

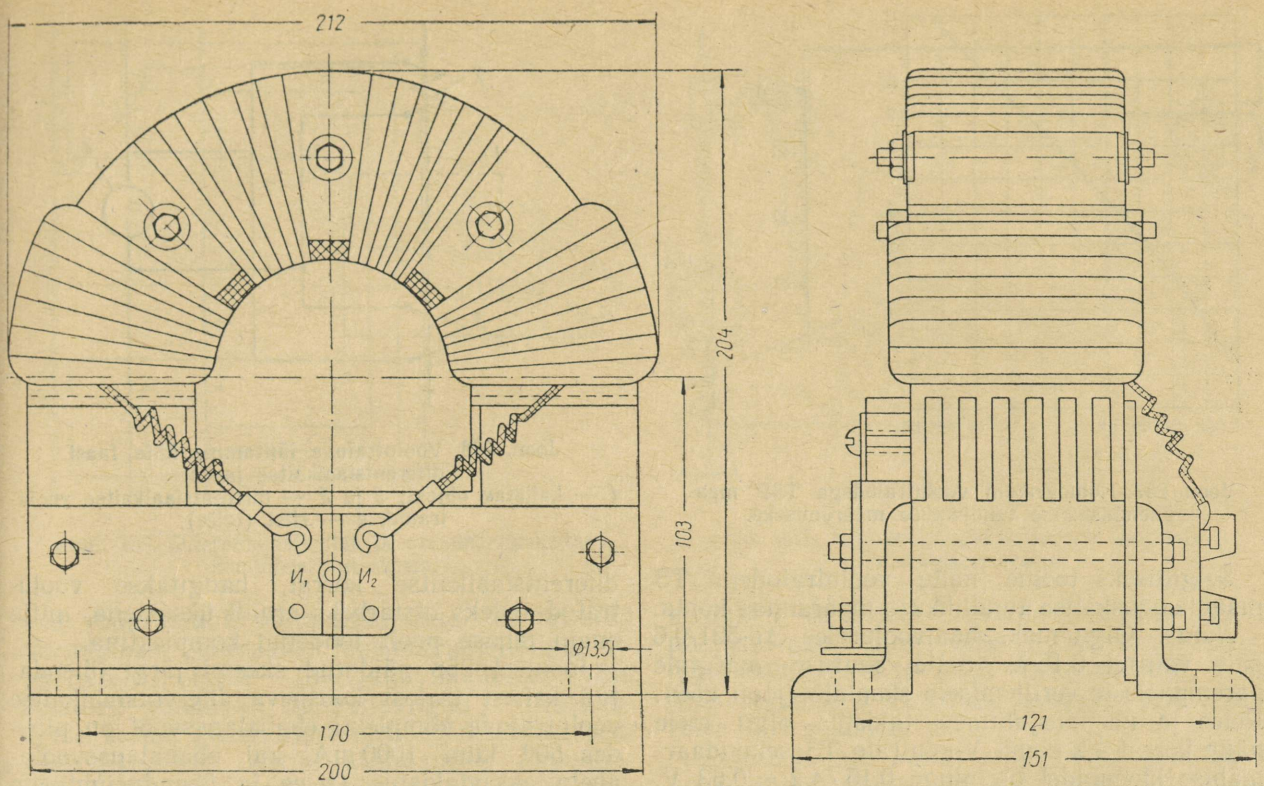
Voolutrafol T3P (joon. 253) on erinevalt trafost T3 lahtivõetav südamik, mis koosneb kahest osast. Seetõttu on ta ilma kaablimuhvide demonteerimiseta kergesti paigutatav juba paigaldatud kaabli ümber.

Uute monteeritavate generaatorite korral soovitatakse kasutada voolutrafot T3, mis on palju lihtsam, täpsem ja odavam. Kaitse suurim tundlikkus, s. t. väikseim maaühendusvool, mis käivitab releed ЭТ-520, on voolutrafol T3 — 10 A ja voolutrafol T3P — 13 A.

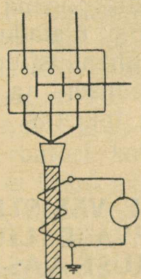
Joonisel 254 on näidatud voolutrafo T3 või T3P ja maksimaalvoolurelee ühendamine maandamata nullpunktiga generaatori korral ja joonisel 255 — nende ühendamine maandustakistusega generaatori korral. Releede ЭТ-520 rakendusvoolu sättesuuruseks võetakse voolutrafodega T3 maaühenduskaitse skeemides 0,1 A, kui ühendusjuhtmete takistus on 1 Ω, ja trafodega T3P kaitseskeemides — 0,3 A, kui ühendusjuhtmete takistus on 0,1 Ω.



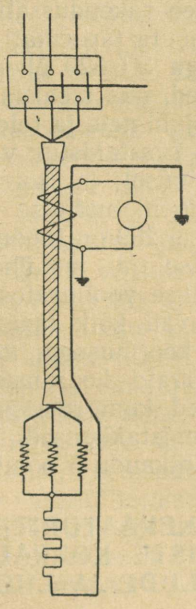
Joon. 252. Voolutrafo T3.



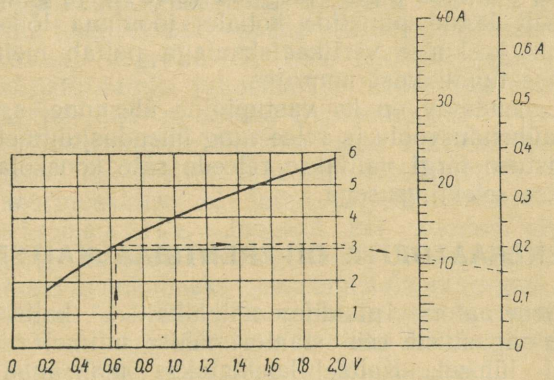
Joon. 253. Voolutrafo T3P.



Joon. 254. Voolutrafode T3 ja T3P ühendusskeem ilma maandustakistuseta seadmes.

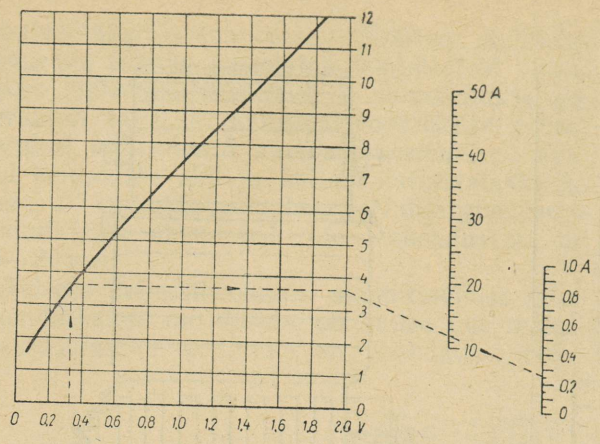


Joon. 255. Voolutrafode T3 T3P ühendusskeem maandustakistusega seadmes.

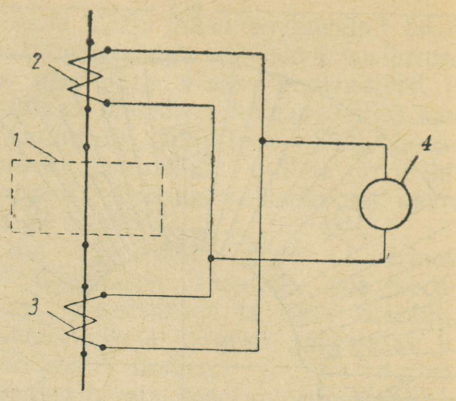


Joon. 256. Nomogramm voolutrafodega T3 maaühenduskaitse tundlikkuse määramiseks.

Voolutrafot T3 või T3P saab kasutada kaablite korral välisläbimõõduga kuni 75. Elektrotehnilise Tööstuse Ministeeriumi materjalides [29] on toodud nomogrammid voolutrafodega T3 ja T3P maaühenduskaitse tundlikkuse määramiseks (joon. 256 ja 257). Kaitse selektiivset toimet hargnevates võrkudes tagatakse erinevate tundlikkuse astmete kasutamisega. Tundlikkus suureneb astmeliselt generaatoritest tarbijate suunas.



Joon. 257. Nomogramm voolutrafodega T3P maaühenduskaitse tundlikkuse määramiseks.



Joon. 258. Voolutrafode lülitamine ühte faasi diferentsiaalkaitse jaoks:
1 — kaitstav objekt; *2* ja *3* — diferentsiaalkaitse voolutrafod, *4* — riist (relee).

Selgituseks toome näite voolutrafodega T3 maaühenduskaitse tundlikkuse määramise kohta.

Näide. Olgu maksimaalvoolurelee ЭТ-521/0,6 säte valitud 0,15 A. Selle suuruse märgime parempoolsele vertikaalsele skaalale (joon. 256). Relee ja ühendusjuhtmete takistus olgu meie näite korral 4,2 oomi. Voolutrafo T3 sekundaarmähise klemmidel on pinge $0{,}15 \cdot 4{,}2 = 0{,}63$ V. Selle suuruse kanname vasakpoolse ruudustiku abstsissteljele ja teostame joonisel punktiirjoontega näidatud konstruktsiooni. Järgnevalt asetame joonlaua algul märgitud (0,15 A) ja graafiliselt leitud punktide kohale; joonlaua lõikepunkt keskmise vertikaalskaalaga näitab meile kaitse tundlikkust amprites.

Lahendatav on ka vastupidine ülesanne, s. t. maaühendusvoolu ja relee ning ühendusjuhtmete takistuse järgi valitakse releede säte kooskõlas kaitse selektiivsusega.

GENERAATORITE DIFERENTSIAALKAITSE

Generaatori pikidiferentsiaalkaitse kaitseb teda vigastuste eest staatorimähise mitmefaasilisel lühisel. Kaitse koostatakse maksimaalvoolureleedega, mis on lülitatud tsirkuleerivate vooludega skeemi järgi. Voolutrafosid tüüp ТПФД diferentsiaalkaitse jaoks ja tüüp ТПФ3Д kombineeritud maaühendus- ja diferentsiaalkaitse lastakse valmistavate tehaste poolt välja kahest voolutrafost koosneva komplektina (joon. 258). Trafode südamikkudel on spetsiaalselt valitud karakteristikud ja nad on ette nähtud generaatori ühe faasi või muude kaitstavate objektide kaitsmiseks neil juhtudel, kui töövool ja -pinge on kaitstavas tsoonis muutumatud. Kui aga töövool kaitstavas tsoonis muutub, nagu näiteks trafo või generaator-trafo bloki diferentsiaalkaitse korral, hangitakse voolutrafod selleks otstarbeks eraldi üksustena, mitte enam tehase poolt toodetud komplektina.

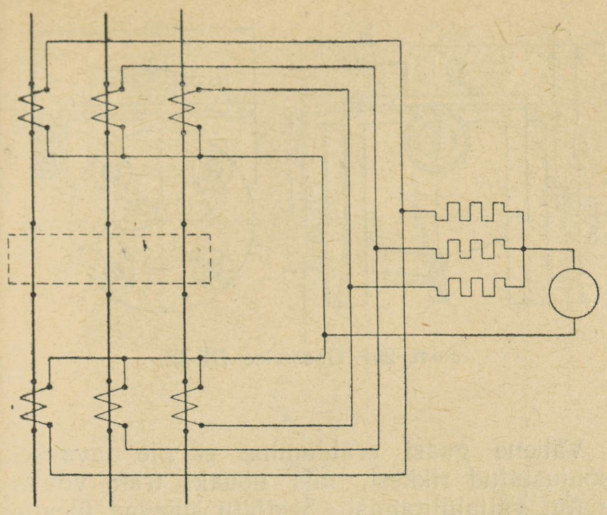
Joonisel 258 näidatud skeemi järgi ühendatud kahest trafost koosneva diferentsiaalkaitse voolutrafode komplekti ebabalanssvool on piirides 500 kuni 1000 mA, kui ebabalanssvooluahela aktiivtakistus (relee ja ühendusjuhtmete takistused) on 5 oomi ja kui primaarvoolu kordsus nimivoolu suhtes $k \leqslant 12$. Seejuures võetakse diferentsiaalkaitse voolutrafode poolt tsirkuleerivate vooludega toidetava maksimaalvoolurelee rakendussätteks tavaliselt 1,2—1,5 A, kui ei nõuta täpsemat arvutust.

Releega ЭТ-520 ühendatakse järjestikku lisatakistused, mis tasakaalustavad üksikute faaside ühendusjuhtmete ja relee takistuste vahelist ebaühtlust. Lisatakistus valitakse ja reguleeritakse monteerimisel ja korrastustöödel objekti ekspluatatsiooni andmise perioodil.

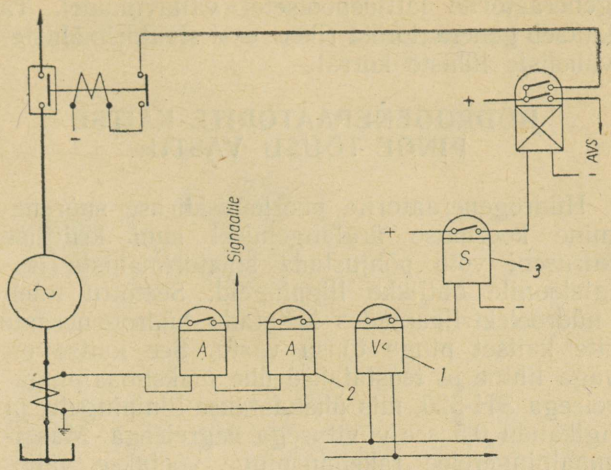
Joonisel 259 on toodud kombineeritud diferentsiaalkaitse ja maaühenduskaitse skeem, kus kasutatakse voolutrafosid ТПФ3Д. Selles skeemis peavad kõik kuus voolutrafot olema ühesuguse koormusega, mis ei tohi ületada 0,25 oomi. Trafo koormuseks on ühendusjuhtmete takistused kuni releesse hargnemiseni ja tasakaalustamistakistused. Relee takistus peab olema ligikaudu 5 oomi.

GENERAATORITE KAITSE VÄLISTE LÜHISTE KORRAL ESINEVATE LIIGVOOLUDE JA LIIGKOORMUSE VASTU

Generaatorite kaitseks väliste lühiste poolt põhjustatud liigvoolude vastu kasutatakse maksimaalvoolureleesid, mida toidetakse voolutrafodest ja mis toimivad aegrelee ja vaherelee



Joon. 259. Diferentsiaalkaitse ja maaühenduskaitse kombineeritud skeem.



Joon. 260. Minimaalpingekäivitusega maksimaalvoolukaitse skeem.

abil võimsuslüliti väljalülitamisele. Voolutrafod ühendatakse generaatori faasimähiste nullpunktipoolsetele otstele (nullväljaviikudesse); kui staatoril puuduvad nullväljaviigud — ühendatakse kaitse generaatori lattidepoolsetesse peaväljaviikudesse. Kaitse ühendamisel nullväljaviikudesse on ilmne paremus, võrreldes peaväljaviikude-poolse ühendamisega. Sellise ühenduse korral toimib kaitse nii välistel lühistel kui ka staatorisisestel lühistel. Selline kaitse on kasutatav mitte ainult generaatoritel, mis töötavad paralleelselt teiste generaatoritega või süsteemiga, vaid ka isoleeritult töötavate generaatorite korral. Kui näiteks joonisel 247 toodud skeemis paigutada maksimaalvoolukaitse voolutrafod *7* ümber lattidepoolsetele generaatori peaväljaviikudele, siis isoleeritult töötava generaatori staatorimähise sisemise lühise korral ei läbi kaitse voolutrafosid vool, kaitse ei rakendu, võimsuslüliti jääb sisselülitatuks ja välja ei summutata. Ühendades kaitse voolutrafod selliselt, nagu see on näidatud skeemis (joon. 247), toimib maksimaalvoolukaitse sama kindlalt nii väliste kui ka sisemiste lühiste korral.

«Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjades» on ette nähtud järgmine nõue. Välistest lühistest põhjustatud liigvoolude korral tuleb generaatori kaitseks valida sellised lülitused, mis ei toimi generaatori väljalülitamisele selliste liigkoormuste korral, millega ei kaasu suur pinge langus. Selleks kasutatakse minimaalpingekäivitusega maksimaalvoolukaitset.

Nimetatud kaitse ühefaasiline põhimõtteskeem on näidatud joonisel 260. Alalisvoolu-operatiivahel läbib kaitse minimaalpingerelee *1* normaalselt avatud kontakte ja maksimaalvoolurelee *2* kontakte. Juhuslike liigvoolude korral, mis ei põhjusta suurt pinge langust, rakendub maksimaalvoolurelee *2* ja suleb oma kontaktid. Siiski jääb aegrelee *3* vooluahel avatuks, sest pingerelee *1* ei rakendu.

Kaitse toimib ainult siis, kui liigvoolud ja suur pinge langus esinevad üheaegselt. Generaatoritel võimsusega 500 kVA ja alla selle lubatakse «Maaelektriseadmete projekteerimise juhendite» järgi maksimaalvoolukaitset ilma minimaalpingekäivituseta, nagu see on näidatud joonisel 247 toodud skeemis. Blokeerimist teostab aegrelee *17,* mis takistab generaatori väljalülitamist juhuslike ja lühiajaliste avariide korral, mis on seotud liigvooludega.

Generaatorite liigkoormuste kaitseks kasutatakse ühefaasilist maksimaalvoolukaitset. Liigkoormuskaitse ei toimi väljalülitamisele, vaid signaalile. Joonisel 247 toodud skeemi järgi kasutatakse signaalile töötavaks maksimaalvoolukaitseks maksimaalvoolureleed *14.* Relee *14* kontaktide vooluahelasse on soovitav lülitada aegrelee, mis väldiks kaitse toimimist lühiajalistel juhuslikel liigkoormustel.

Nagu toodud skeemidest nähtub, teostatakse maksimaalvoolukaitset hetkelise toimega maksimaalvoolurelee ja aegrelee abil, s. t. voolust sõltumatu viivitusega. Kasutatakse ka voolust piiratud sõltuva viivitusega kaitset relee ИТ-80 abil.

Peale viivitusega maksimaalvoolukaitse kasutatakse mõnel juhul ka voolulõiget.

Hetkelise toimega voolulõige seatakse üles generaatoritele, mis töötavad paralleelselt teiste generaatoritega või energiasüsteemiga, neil juhtudel, kui nullpunkti-poolel puuduvad väljaviigud. Viivituseta voolulõige peab asetsema

generaatorite lattidepoolsetel väljaviikudel. Ta kaitseb generaatoreid rikete eest staatorimähiste-vaheliste lühiste korral.

HÜDROGENERAATORITE KAITSE PINGE TÕUSU VASTU

Hüdrogeneraatorite pöörlemiskiiruse suurenemine koormuse äralangemisel kuni kriitilise kiiruseni võib põhjustada staatorimähiste isolatsioonile ohtlikke liigpingeid. Seetõttu tuleb hüdroelektrijaamades kasutada hüdrogeneraatorite kaitset pinge tõusu vastu. See kaitse on väga lihtne ja teostatakse ühe maksimaalpingereleega ЭН-520, mis ühendatakse liinipingele, ja ligikaudu 0,5 sec viivitusega aegreleega. Maksimaalpingerelee rakenduspinge võetakse vähemalt 1,5 U_n.

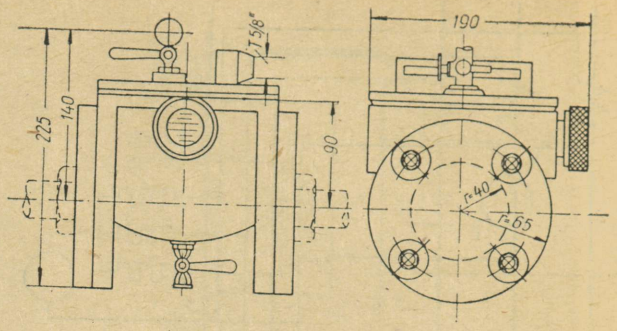
Kõrgepingegeneraatorite korral ühendatakse releed pingetrafode kaudu. Maksimaalpingekaitse töötamist selgitab joonisel 247 toodud skeem. Liinipinge tõusmisel üle 1,5 U_n suleb maksimaalpingerelee *16* oma kontaktid ja annab sellega aegrelee *20* mähisele operatiivvoolu. Relee rakendub viivitusega 0,5 sec, suleb oma kontaktid ja käivitab vaherelee. Viimane annab impulsi võimsuslüliti *11* väljalülitamiseks ja lülitab sisse väljasummutusseadise. Selleks et ekspluatatsioonipersonal teaks generaatori väljalülitamise põhjust, on maksimaalvoolukaitse vooluahelas ja maksimaalpingekaitse vooluahelas signaalreleed (blinkerid) *21*; vastava signaalrelee lipukese pöördumine näitab agregaadi avarii iseloomu.

JÕUTRAFODE KAITSE

Trafode kaitsele esitatavate nõuete järgi liigitatakse nad kahte kategooriasse, kusjuures kategooriatevaheliseks piiriks on võimsus 1000 kVA. Trafode paagis esinevate rikete korral on üheks põhikaitseks gaaskaitse, mida tuleb kasutada kõigil jõutrafodel võimsusega 1000 kVA ja üle selle.

Tehaste, vabrikute ja töökodade tsehhides ülesseatud trafodel peab olema gaaskaitse alates võimsusest 320 kVA («Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjad» § 56 — «Releeseadised»).

Gaasrelee (joon. 261) reageerib trafo paagi sees oleva gaasi mahu ja õlinivoo muutumisele. Ta seatakse üles torustikule, mis ühendab trafot õlipaisunõuga. Gaasrelee malmist kestas on kaks õõnsat hermeetiliselt suletud metallist ujukit, mis on mehaaniliselt ühendatud kontaktidega. Vähesel gaasi eraldumisel pöördub ja suleb oma kontaktid ülemine ujuk, intensiivsel gaasi eraldumisel — alumine ujuk.



Joon. 261. Gaasrelee ПГ-22.

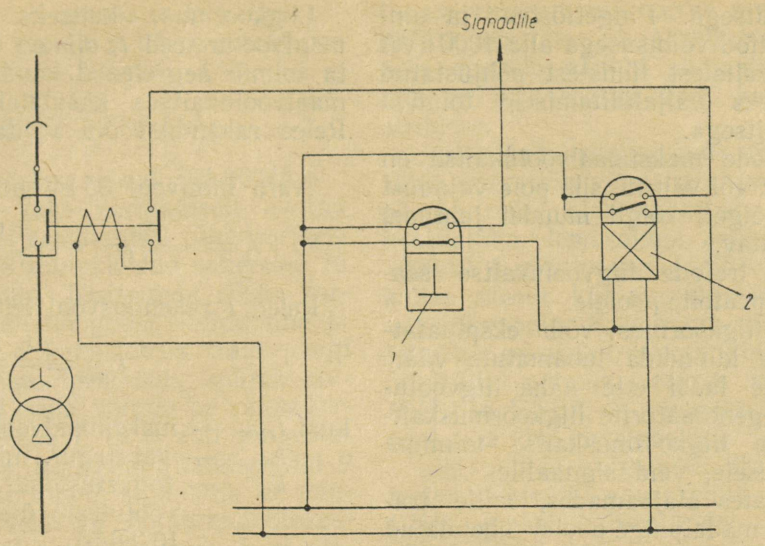
Vähene gaasi eraldumine ei ole tavaliselt põhjustatud rikkest, mis nõuaks trafo viivitamatut väljalülitamist. Seetõttu sulevad ülemise ujuki kontaktid signaalvooluahela, mitte aga väljalülitamis-vooluahela. Tõsiste rikete korral esineb intensiivne gaasi eraldumine, mis põhjustab tugeva õlivoolu trafo paaki ja õlipaisunõud ühendavas torustikus. Suure kiirusega liikuva õlijoa tõttu pöördub alumine ujuk, suleb temaga ühenduses oleva kontakti, mis annab impulsi riknenud trafo väljalülitamiseks.

Joonisel 262 on toodud trafo gaaskaitse skeem. Operatiivvooluahelat võib toita kas alalis- või vahelduvvooluga pingel kuni 220 V. Kontaktid on arvestatud sulgemisel voolule 0,6 A pingel 110 V ja 0,3 A pingel 220 V.

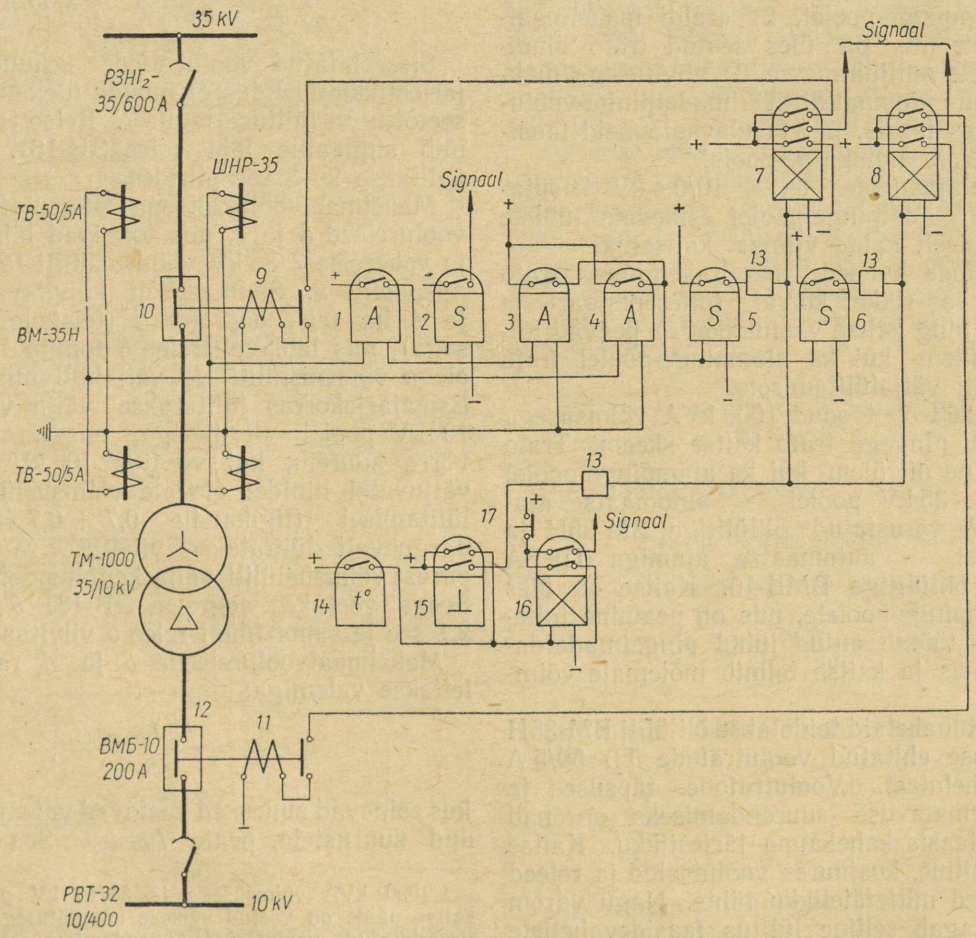
Kui puuduvad automaatse ajamiga võimsuslülitid, toimib gaaskaitse ainult signaalile. Võimsatele trafodele (võimsusega 7500 kVA ja üle selle) soovitatakse eeskirjades kasutada peale gaaskaitse ka veel viivituseta pikidiferentsiaalkaitset tsirkuleerivate vooludega skeemi järgi. Niisugune kaitse on vajalik ka väiksema võimsusega trafodele (kuid mitte alla 1000 kVA) neil juhtudel, kui nad töötavad paralleelselt teiste trafodega ja nende summaarne võimsus ei ole alla 10 MVA. Pikidiferentsiaalkaitse võimaldab riknenud trafo selektiivset väljalülitamist paralleelselt töötavate trafode hulgast.

Pikidiferentsiaalkaitse teostatakse nii, et tema kaitsetsoonis oleksid ka trafot kogumislattidega ühendavad kaablid ja latid. Pingetmadaldavate trafode kaitse korral kasutatakse operatiivvooluks enamikel juhtudel kiiresti küllastuvatest voolutrafodest saadavat vahelduvvoolu, kusjuures nende voolutrafode primaarmähised on ühendatud pea-voolutrafode sekundaarahelaga.

Trafod võimsusega 1000 kVA ja üle selle peavad olema varustatud välistest lühistest põhjustatud liigvoolude kaitseks järgmiste väljalülitamisele toimivate kaitsetega: 1) pingettõstev trafo — minimaalpingekäivitusega maksimaalvoolukaitsega ja 2) pingetmadaldav trafo —



Joon. 262. Trafo gaaskaitse skeem:
1 — gaasrelee; *2* — vaherelee.



Joon. 263. 1000 kVA jõutrafo kaitse operatiiv-alalisvoolu **korral.**

maksimaalvoolukaitsega. Pingettõstvad ja pingetmadaldavad trafod võimsusega alla 1000 kVA tuleb varustada välistest lühistest põhjustatud liigvoolude kaitseks väljalülitamisele toimiva maksimaalvoolukaitsega.

Kui nende trafode maksimaalvoolukaitse on viivitusega 0,7 sec või vähem, siis pole vajadust üles seada voolulõiget; kõigil muudel juhtudel on voolulõige nõutav.

Kahemähiseliste trafode liigvoolukaitse seatakse üles ainult peatoite-poolele.

Trafodel, mille liigkoormus võib ekspluatatsiooni tingimustes küündida lubamatute väärtusteni, tuleb ühte faasi ette näha liigvoolukaitse. Sarnaselt generaatorite liigkoormuskaitsele peab trafode liigkoormuskaitse toimima mitte väljalülitamisele, vaid signaalile.

Pingetmadaldavates alajaamades, mille trafode mähised on madalpinge-poolel ühendatud tähte ja maandatud, tuleb madalpinge-poolel ette näha ühefaasiliste lühiste kaitse. Eeskirjad soovitavad sel juhul, sõltuvalt trafo võimsusest ja alajaama ühendusskeemist, kasutada kaitseks ühte järgmistest seadistest: 1) maksimaalvoolukaitset ülempinge-poolel, 2) eraldi maksimaalvoolukaitset, mis on üles seatud trafo alampinge-poolele nulljuhtmesse, 3) viivitusega maksimaalvoolu-automaatlülitit madalpinge-vooluahela kolmes faasis, ja 4) sulavkaitsmeid faasijuhtmetes trafo alampinge-poolel.

Tarbija-alajaamades 6 — 10/0,4 kV kasutatakse trafo madalpinge-poolel esinevate lühiste vastu peamiselt kahte viimast kaitseliiki.

Kõik trafode kaitsed, mis rakenduvad trafo paagis oleva rikke korral (diferentsiaal- ja gaaskaitse ning kaitse voolulõikega) peavad toimima nii ülem- kui ka alampinge-poolel trafo võimsuslüliti väljalülitamisele.

Joonisel 263 on toodud 1000 kVA võimsusega ja 35/10 kV pingega trafo kaitse skeem. Trafo on varustatud nii ülem- kui ka alampinge-poolel õlilülititega: 35 kV poolel — automaatse ajamiga ШНР varustatud õlilülitiga BM-35H ja 10 kV poolel — automaatse ajamiga ПРБА varustatud õlilülitiga ВМБ-10. Kaitse on üles seatud ülempinge-poolele, mis on peamine toitepool. Trafo töötab antud juhul pingetmadaldavas alajaamas ja kaitse toimib mõlemale võimsuslülitile.

Kaitse vooluahelaid toidetakse õlilüliti BM-35H läbiviikudesse ehitatud voolutrafode TB 50/5 A sekundaarahelatest. Voolutrafode täpsuse ja nende koormatavuse suurendamiseks on nad ühendatud faasis kahekaupa järjestikku. Kaitse on kahefaasiline, kusjuures voolutrafod ja releed on ühendatud mittetäielikku tähte. Nagu varem märgitud, tagab selline lülitus faasidevaheliste lühiste korral täiusliku kaitse.

Liigkoormuse kaitseks kasutatakse maksimaalvoolureleed *1*, mis on ühendatud ühte faasi; ta toimib aegrelee *2* kaudu signaalile. Maksimaalvoolukaitses kasutatakse releed ЭТ-521/6. Relee rakendusvoolu valitakse arvutuste teel[1].

Trafo nimivool 35 kV poolel

$$I_n = \frac{S_n}{1{,}73\,U_n} = \frac{1000}{1{,}73 \cdot 35} = 16{,}5 \text{ A}.$$

Relee *1* rakendusvool leitakse valemiga:

$$i_{r\,rak} = \frac{k_k\, I_n}{k_t\, n_v}, \qquad (18)$$

kus: $i_{r\,rak}$ — maksimaalvoolurelee rakendusvool;
k_k — varutegur, mis on 1,05;
k_t — tagastustegur, mis on 0,85;
n_v — voolutrafo ülekandetegur, mis on 10 (50/5).

Asetades arvutatud ja antud suurused valemisse, saame:

$$i_{r\,rak} = \frac{1{,}05 \cdot 16{,}5}{0{,}85 \cdot 10} = 2{,}05 \text{ A}.$$

Sisseehitatud voolutrafode sekundaarmähiste järjestikku-ühendus ei muuda ülekandetegurit ja seetõttu on lülituse tegur *1*. Relee ЭТ-521/6 toimib signaalile läbi relee ЭВ-181, mille säte valitakse 2—3 sec piirides.

Maksimaalvoolukaitsena kasutatakse kaht voolureleed *3* ja *4*, mis toimivad läbi aegrelee *5* ja vaherelee *7* 35 kV võimsuslüliti *10* väljalülitamispoolile *9*. Samaaegselt käivitavad releed *3* ja *4* ka teise aegrelee *6* (teistsuguse viivitusega), mis läbi vaherelee *8* toimib 10 kV poolel oleva võimsuslüliti *12* väljalülitamispoolile *11*. Esmajärjekorras lülitatakse välja võimsuslüliti 10 kV poolel viivitusega, mis on ühe astme võrra suurem, kui viivitus 10 kV alajaamast väljuvatel liinidel olevate võimsuslülitite väljalülitamisel (ligikaudu $0{,}7 + 0{,}7 = 1{,}4$ sec). Järgnevalt lülitatakse viivituse $\triangle t = 0{,}7$ sec pärast võimsuslüliti välja ka toitepoolel (35 kV). Seega võetakse aegrelee ЭВ-181 *5* viivituseks 2,1 sec ja sama tüüpi relee *6* viivituseks 1,4 sec.

Maksimaalvoolureleede *3* ja *4* rakendusvool leitakse valemiga:

$$i_{r\,rak} = \frac{k_k\, I_{töö\ maks}}{k_t\, n_v},$$

kus esinevad suurused vastavad valemis (18) toodud suurustele, peale $I_{töö\ maks}$. See on maksi-

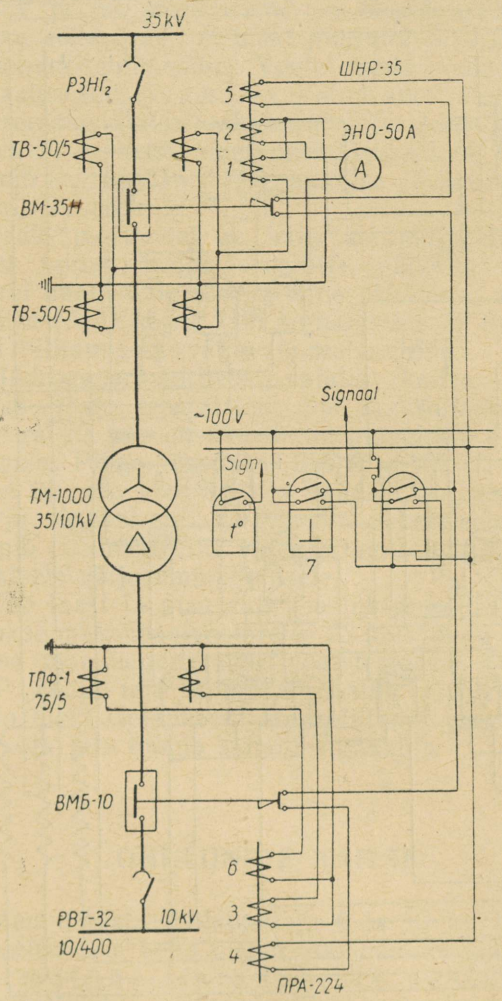
[1] 1000 kVA võimsusega ja 35/10 kV pingega trafo kaitse näide on võetud väikese muudatusega (õlilülitisse sisseehitatud voolutrafode ühendamise osas) Gidroselelektro tüüp-projekteerimiskontori albumist T-35.

maalne koormusvool, mis esineb trafo kõige raskemal töörežiimil ja võetakse 1,5 I_n. Asetades antud suurused valemisse, leiame

$$i_{r\,rak} = \frac{1{,}05 \cdot 1{,}5 \cdot 16{,}5}{0{,}85 \cdot 10} = 3{,}1 \text{ A}.$$

Vahereleena kasutatakse releed ЭП-103/А.

Gaasreleel *15* on kaks normaalselt avatud kontakti. Nõrgal gaasi eraldumisel tühiste rikete korral sulgub ülemine kontakt, mis vahereleе *16* kaudu toimib signaalile. Tõsisemate rikete korral, kui esineb intensiivne gaasi eraldumine ja õli ning gaasi suur liikumiskiirus trafo paagi ja õlipaisunõu vahelises torustikus, sulgub alumine kontakt. Pärast seda sulgub ka operatiivvooluahel ja vahereleede *7* ja *8* abil pingestatakse õlilülitite *10* ja *12* väljalülitamispoolid *9* ja *11*. Peale gaasrelee toimib signaalile ka temperatuurinäitaja *14*. Relee *16* töötab endablokeerimisega, s. t. signaal kestab niikaua, kuni alajaama valveametnik surub nupule *17*. Võimsuslülitite avariilise väljalülitamise põhjuse leidmiseks on ette nähtud signaalreleed ЭС-21/0,15, mis on üles seatud kõigi kolme kaitse vooluahelasse.



Joon. 264. 1000 kVA trafo kaitse operatiiv-vahelduvvoolu korral.

Ülaltoodud kaitseskeemis (joon. 263) kasutatakse operatiivvooluna alalisvoolu. Alajaamades ei saa mitte alati arvestada sõltumatu alalisvooluallika olemasoluga. Joonisel 264 on toodud 1000 kVA võimsusega ja 35/10 kV pingega trafo kaitse skeem, kus operatiivvooluna kasutatakse vahelduvvoolu. Kaitse on siin teostatud otsese toimega sekundaarreleede abil, mis on ehitatud õlilülitite automaatsetesse ajamitesse. Ajamid ШНР ja ПРБА on varustatud kahe maksimaalvoolu- ja ühe pingepooliga.

Liigvoolude kulgemisel trafot toitvates juhtmetes läbivad suurenenud voolud ka ajami ШНР maksimaalvoolurelee poole *1* ja *2* või ajami ПРБА poole *3* ja *6*. Need voolud ületavad nimetatud releede sättevoolu, mistõttu releed rakenduvad ja vabastavad õlilülitite ВМ-35Н või ВМБ-10 riivistuse. Gaaskaitse toimimisel ja gaasrelee 7 kontaktide sulgumisel läbivad voolud pingepoole *5* ja *4*, mis samuti toimivad õlilülitite ВМ-35Н ja ВМБ-10 väljalülitamisele. Samuti nagu operatiivvooluahela toitmisel alalisvooluga, nii kasutatakse ka vahelduvvooluga toitmise korral temperatuurisignalisatsiooni.

Automaatajamite maksimaalvoolupoolide rakendusvool valitakse 2,5 korda suurem kui jõutrafo (kaitstava objekti) nimikoormusel voolutrafo sekundaarmähises esinev vool.

Antud juhul on trafo 35 kV poolel nimivool 16,5 A. Õlilülititesse ehitatud voolutrafode ülekandetegur on 50/5, 35 kV poolel on voolutrafo sekundaarvool

$$I_{2n} = \frac{I_{1n}}{n_v} = \frac{16{,}5}{10} = 1{,}65 \text{ A}.$$

Rakendumise sättevool

$$I_{r\,rak} = 1{,}65 \cdot 2{,}5 = 4{,}1 \text{ A}.$$

Trafo nimivool 10 kV poolel

$$I_n = \frac{1000}{1{,}73 \cdot 10} = 58\text{A}.$$

Seadmele valitud voolutrafod ТПФ on ülekandeteguriga 75/5, s. t. 15.

10 kV poolel on voolutrafode sekundaarvool trafo nimikoormusel:

$$I_{2n} = I_{1n} : n_v = 58 : 15 = 3{,}9 \text{ A}.$$

Rakendumise sättevool

$$i_{r\,rak} = 3{,}9 \cdot 2{,}5 = 9{,}7 \text{ A}.$$

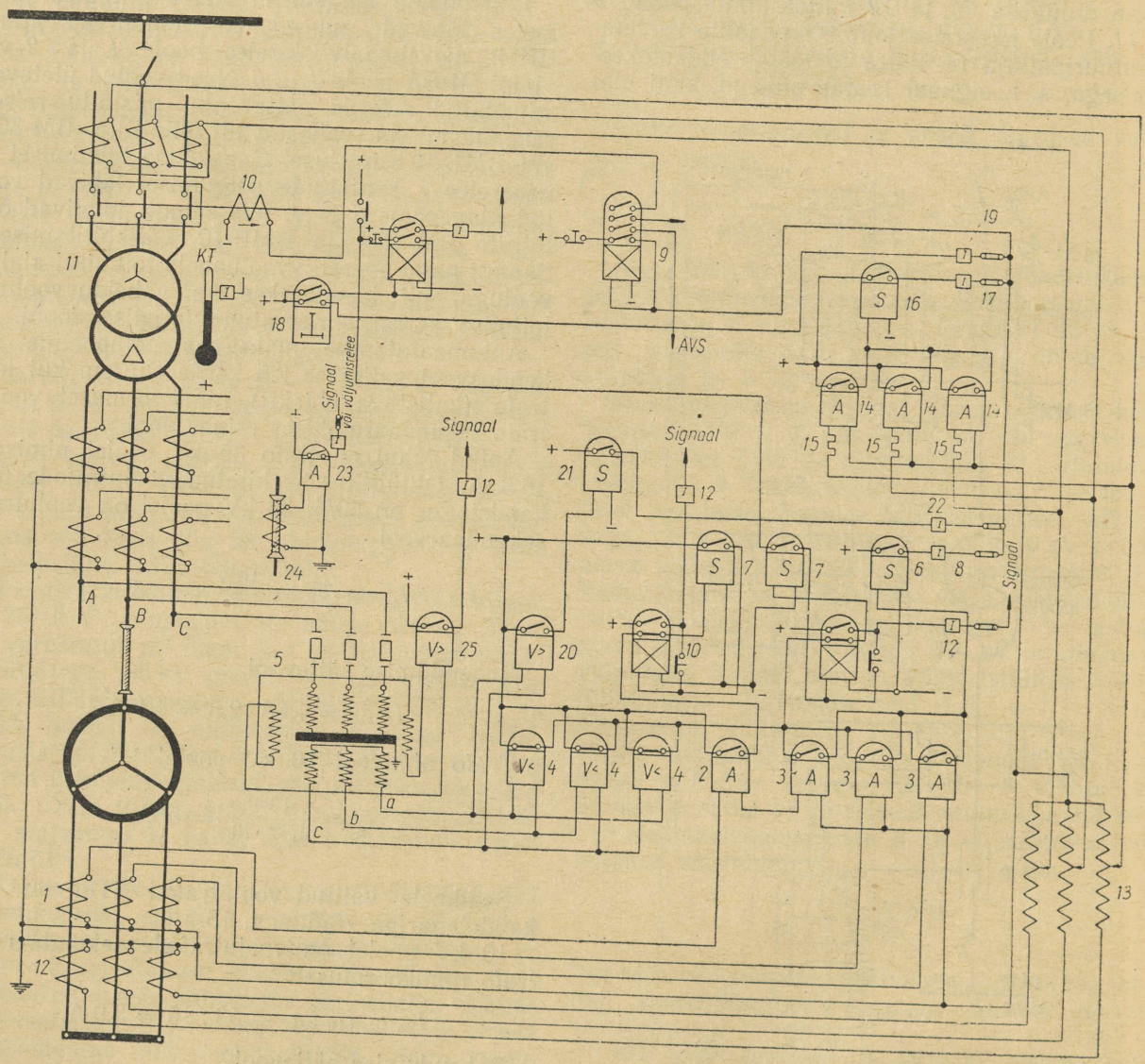
Ka sel juhul, samuti nagu kaitse operatiivvooluahelate toitmisel alalisvooluga, valitakse viivitus astmeliselt suurenev, alates väljuvatest liinidest ja lõpetades jõutrafo 35 kV poolega.

GENERAATOR-TRAFO BLOKI KAITSE

Kõik nõuded generaatorite ja trafode kaitse kohta jäävad muutmatuks ka sel juhul, kui nad on ühendatud generaator-trafo blokki. Generaatori ja trafo eraldi diferentsiaalkaitse asemel seatakse siin üles nende ühine diferentsiaalkaitse. Ainult väga suure võimsusega agregaatidele (30 MVA ja rohkem) nõutakse «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjade» järgi peale bloki ühise diferentsiaalkaitse veel eraldi diferentsiaalkaitset generaatorile.

Joonisel 265 on toodud ligikaudu 1000—3000 kVA võimsusega generaator-trafo bloki kompleksne kaitse. Generaatori pinge on 6,3 kV ja trafo pinge — 6/10 kV. Minimaalpingekäivitusega maksimaalvoolukaitset toidetakse voolutrafodest *1*, mis on üles seatud generaatori nullpunkti-poolsetele väljaviikudele.

Liigkoormustel rakendub maksimaalvoolurelee *2*, mis toimib signaalile. Seda releed toidetakse generaatori ühe faasi voolutrafost. Kolm maksimaalvoolureleed *3* tagavad agregaadi väljalülitamise lubamatutel liigvooludel, mis on põhjustatud välistest lühistest. Need releed on blo-



Joon. 265. 1000—3000 kVA generaator-trafo bloki kaitse skeem.

keeritud kolme minimaalpingereleega *4*, mida toidetakse 6/0,1 kV pingetrafost *5*.

Kaitse toimib läbi aegrelee *6* ja *7* viivitusega, mis on kooskõlastatud elektrijaama kõigi ülejäänud osade (alates tarbijatest ja lõpetades elektrijaama 10 kV lattidelt väljuvate liinide) kaitsete toimimisaja sätetega. Voolude läbimisel, mis ületavad relee *3* sättesuuruse ja samaaegsel pinge langemisel allapoole pingerelee *4* sättenivood, toimib maksimaalvoolukaitse läbi signaalrelee väljuvale vahereleele *9*. See rakendub ja suleb bloki võimsuslüliti 11 väljalülitamispooli 10 vooluahela ning käivitab samuti automaatse väljasummutusseadise.

Bloki diferentsiaalkaitset generaatori ning trafo mähiste ja ühenduskaablite faasidevaheliste lühiste vastu toidetakse kahelt poolt: voolutrafodest (või voolutrafode üksikutest südamikkudest *12*), mis on üles seatud generaatori nullväljaviikudesse, ja voolutrafodest, mis asetsevad 10 kV poolel; need trafod on ühendatud kolmnurka sellepärast, et bloki jõutrafol 6/10 kV on kolmnurk-tähtühendus. Voolutrafode voolude tasakaalustamiseks on üles seatud autotrafo *13* ja diferentsiaalkaitse maksimaalvoolureleede vooluahelasse — tasakaalustamistakistused *15*. Kaitse toimib aegrelee 16 ja signaalrelee *17* kaudu väljuvale vahereleele.

Trafo gaasreleel on kaks kontakti: esimene neist annab trafos esinevate väikeste rikete korral impulsi signaalile, teine (alumine) annab ohtlike rikete korral läbi signaalrelee *19* impulsi väljalülitamiseks väljuvale vahereleele.

Hüdrogeneraatoritele vajalik kaitse pinge tõusu vastu teostatakse ühe maksimaalpingereleega *20*, mis on ühendatud pingetrafo *5* liinipingele. Pinge tõusmisel üle $U = 1{,}5\ U_n$ suleb relee *20* oma kontaktid ja saadab läbi aegrelee *21* ja signaalrelee *22* impulsi vahereleele, mis toimib võimsuslüliti väljalülitamisele ja automaatsele väljasummutamisele.

Ühe faasi ja maa vahelise lühise kaitse teostatakse maksimaalvoolurelee *23* abil, mida toidetakse maaühenduskaitse voolutrafodest ТЗ või ТЗР *24* ja mis toimib signaalile. Generaatortrafo bloki isolatsiooni kontrollitakse pingerelee *25* abil, mis toimib samuti signaalile.

ÕHULIINIDE KAITSE

Maandamata nullpunktiga 6 ja 10 kV kõrgepingeliinidele peab olema ette nähtud kaitse mitmefaasiliste lühiste vastu.

Mõnel juhul nõuavad «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjad» samuti kaitse ülesseadmist ühefaasiliste maaühenduste vastu, mis toimib signaalile. Sellist signaalile toimivat kaitset on vaja keerukates hargnevates võrkudes kahepoolse toitmisega liini korral ja ühepoolse toitmisega suure arvu radiaalliinide korral.

6—10 kV maaliinides kontrollitakse isolatsiooni seisukorda alajaama (või elektrijaama) lattidele ülesseatud isolatsioonikontrollimise seadise abil. Seetõttu ei ole neil liinidel vaja kasutada ühefaasilisel maaühendusel signaalile toimivat kaitset.

Kaitse mitmefaasiliste maaühenduste vastu nähakse ette kahefaasiline (kahe voolutrafoga), mis teostatakse enamikel juhtudel ühe releega. Kaitse tuleb lülitada kogu antud pingega võrgu ulatuses samadesse faasidesse ja üles seada ainult kaitstavate piirkondade toitepoolsetele otstele («Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjad», «Releekaitse» § 70) [18].

Õhu- ja kaabelliinid, mis väljuvad elektrijaama generaatoripinge-kogumislattidelt ega ole varustatud reaktoritega, peavad omama põhikaitsena viivituseta voolulõike. Voolulõike hetkelise toime korral võib väljuvate liinide kaitse olla liinide kaitseseadiste suhtes ebaselektiivne. Siiski on see «Eeskirjades» lubatud, kuid sel juhul soovitatakse väljalülitataval liinil kasutada automaatset korduvlülitamist, mis likvideerib hetkelise kaitse ebaselektiivse toime.

Maandamata nullpunktiga 35 kV liinide korral on kaitsele esitatavad nõuded sarnased nende nõuetega, mis esitatakse 6—10 kV liinide kaitsetele.

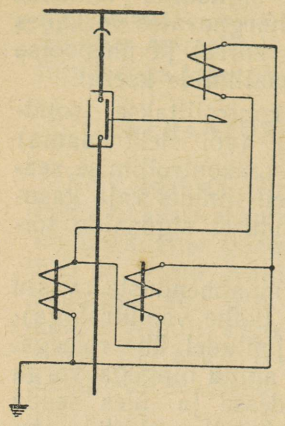
Joonisel 266 on toodud liini maksimaalvoolukaitse skeem ühe otsese toimega sekundaarreleega, mis on ühendatud kahe faasi voolude diferentsile. Relee on ehitatud õlililiti ajami sisse ja teda toidetakse voolutrafodest.

Joonisel 267 on toodud ühe kaudse toimega sekundaarreleega väljuva liini kaitse skeem, kus releed toidetakse kahe faasi voolude diferentsile ühendatud voolutrafodest. Väljalülitamispooli vooluahelat toidetakse küllastuvast voolutrafost ТКБ-1. Kasutatakse piiratult sõltuva karakteristikuga releed ИТ-81, mis võimaldab suurte avariivoolude korral teostada voolulõiget.

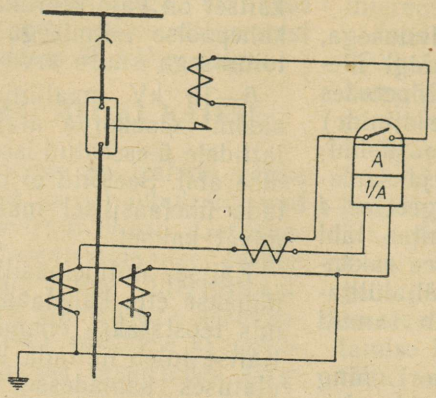
Joonisel 268 on toodud liini kaitse skeem ühe releega ИТ-81, mida toidetakse kahe faasi voolude diferentsile ühendatud kahest voolutrafost. Operatiivvooluks on alalisvool.

Operatiiv-alalisvoolu kasutamisega ja mittetäielikku tähte ühendatud kahe releega ИТ-81 kaitse skeem on toodud joonisel 269.

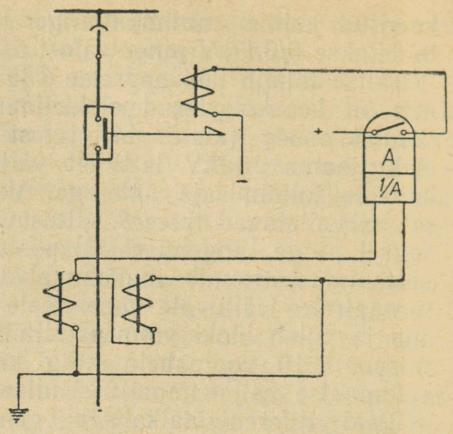
Hetkelise toimega maksimaalvoolurelee ЭТ-520 kasutamisel täiendatakse skeemi aegrelee ja vahereleega. Viimane on vajalik selleks, et vältida aegrelee kontaktidega suurte voolude lülitamist, mis esinevad võimsuslüliti väljalülitamis-



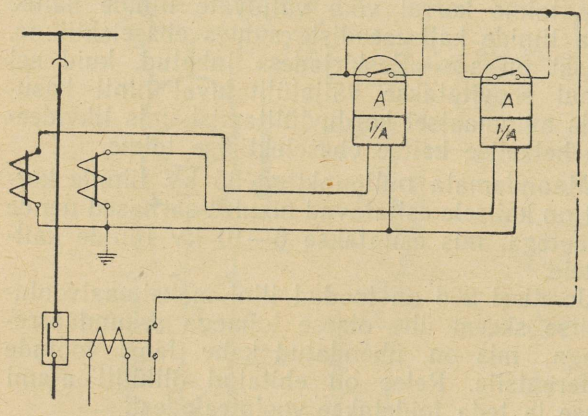
Joon. 266. Liini kaitse skeem ühe otsese toimega sekundaarrelee abil, mis on ühendatud kahe faasi voolude diferentsile.



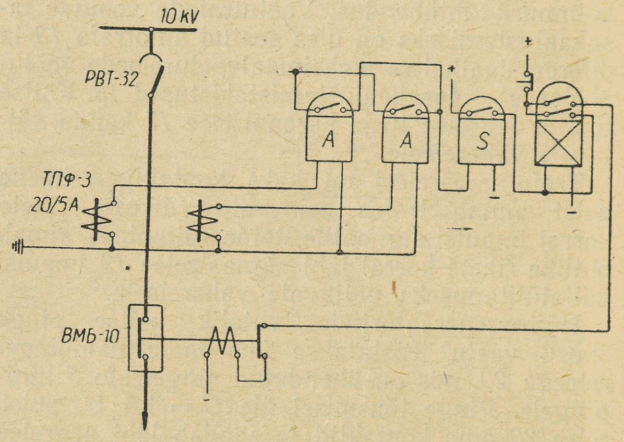
Joon. 267. Liini kaitse skeem ühe kaudse toimega sekundaarrelee abil, mis on ühendatud kahe faasi voolude diferentsile.



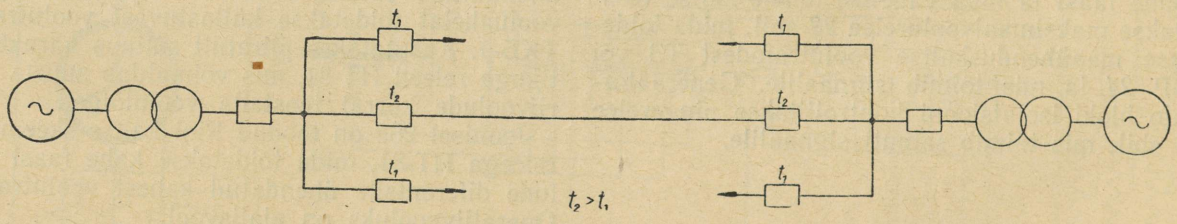
Joon. 268. Liini kaitse skeem operatiiv-alalisvooluga ja ühe releega ИТ-81, mis on ühendatud kahe faasi voolude diferentsile.



Joon. 269. Liini kaitse skeem kahe releega ИТ-81, mis on ühendatud mittetäielikku tähte.



Joon. 270. Liini kaitse skeem releedega ЭТ-520, mis on ühendatud mittetäielikku tähte.



Joon. 271. Kahe elektrijaama vahelise otsese sidestusliini maksimaalvoolukaitse.

pooli ahelas. Selline skeem on toodud joonisel 270.

Seoses kohalike energiasüsteemide ehituse arenguga esitatakse elektrijaamadevaheliste sidestusliinide releekaitsele, samuti liinidele, millega on ühendatud mitu alajaama ja mida toidetakse mitmest jaamast, erinõudeid. Kohalike süsteemide sidestusliinide kaitse küsimused on praegu spetsiaalsel uurimisel. Siiski võib maaelektrijaamade projekteerimise kogemuste alusel siinkohal tuua mõned sidestusliinide releekaitse kohta soovitatud ettepanekud.

Esmajärjekorras selgitame mõningaid sidestusliinide kohta käivaid termineid. Otseseks sidestusliiniks nimetatakse liini, mis ühendab kahte elektrijaama, millede vahel ei ole ühtegi trafoalajaama. Otsene sidestusliin ehitatakse tavaliselt kõige lühemat vahemaad mööda elektrijaamade vahel.

Kahe elektrijaama vahelist sidestusliini, millest toidetakse üht või mitut trafoalajaama, nimetame koormatud sidestusliiniks. Nagu selgub ülaltoodust, on koormatud sidestusliin kummastki elektrijaamast väljuvate tavaliste radiaalliinide ja sidestusliini kombinatsioon. Rääkides kaitsest, käsitleme me ainult üksikute liinide kaitset, sest paralleelliine kasutatakse maaenergiasüsteemides ainult erandjuhtudel.

Kahe elektrijaama vahelise otsese sidestusliini kaitset teostatakse maksimaalvoolureleede abil viivitusega, mis on ühe astme võrra suurem kui kummagi elektrijaama lattidelt väljuvate teiste radiaalliinide kaitse viivitus.

Joonisel 271 on toodud kahe elektrijaama vahelise otsese sidestusliini maksimaalvoolukaitse skeem. Faasidevahelise lühise korral sidestusliinil lülitatakse rikkes liin välja mõlemapoolse kaitse poolt. Ühe radiaalliini lühise korral lülitub rikkis liini võimsuslüliti välja, sest selle kaitse on väiksema viivitusega kui otsesele sidestusliinile ülesseatud kaitse viivitus. Mõnel juhul on otstarbekas sidestusliinile üles seada ühefaasilise maaühenduse kaitse, mis toimib signaalile.

Koormatud sidestusliinide korral on otstarbekas kasutada suunatud maksimaalvoolukaitset. Kui sidestusliinil on haruühendused alajaamadesse või trafoalajaama kogumislattidele on ühendatud transiitliinid, võimaldab selline kaitse rikkis liiniosa välja lülitada mõlemalt poolt. Alajaamad, mis asuvad väljaspool rikkis liiniosa, jäävad ühendatuks ja töötavad edasi.

Suunatud voolukaitse toime selgitamiseks arutame läbi koormatud sidestusliini kaitse näite (joon. 272).

Näide. Kaks elektrijaama *A* ja *B* toidavad põllumajanduslikku rajooni rea radiaalliinide *E* ja *F* abil. Need liinid on ühendatud ka paralleeltööle koormatud sidestusliini abil, mis transiitliinina läbib alajaama *C* ja *D*, milledest omakorda väljuvad kõrgepingeliinid (10 kV).

Generaatorid pingega 6,3 kV on ühendatud läbi pingettõstvate trafode generaator-trafo blokkskeemi järgi 35 kV kogumislattidega, milledelt väljuvad radiaalliinid ja sidestusliin.

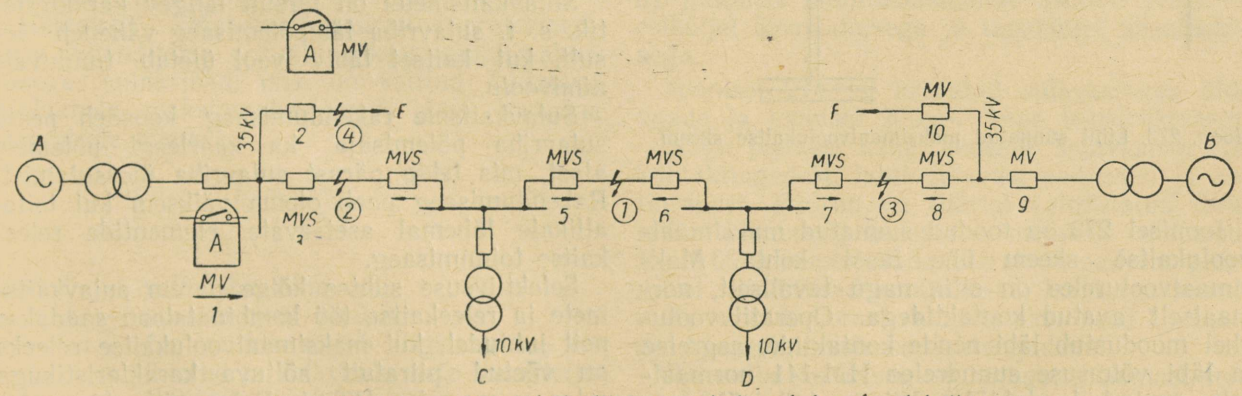
Elektrijaamade ja trafoalajaamade kogumislattide juurde- ja väljaviikudele on üles seatud võimsuslülitid koos kaitsetega, mis joonisel on nummerdatud *1* kuni *10*. Tähtedega MV märgitakse maksimaalvoolukaitset, tähtedega MVS — suunatud maksimaalvoolukaitset. Kaitse MVS tähtede juures olev nool näitab kaitse rakendumissuunda.

Kui võimsuse suund muutub vastupidiseks noole suunale, siis kaitse ei toimi mingisuguse avariivoolu korral. Kaitse toimib ainult sel juhul, kui avariirežiimidel langeb võimsuse suund kokku kaitsetele sisseseatud suunaga, mis joonisel on näidatud noolega.

Suunatud maksimaalvoolukaitse peab olema reguleeritud selliselt, et ta toimiks siis, kui energia suund on kogumislattidelt lähema kaitstava objekti poole, mitte aga siis kui suund on lattide poole. Seega on joonisel 272 suunatud maksimaalvoolukaitsetel *3*, *5* ja *7* nooled suunaga paremale, kaitsetel *8*, *6* ja *4* — vasakule.

Generaator-trafo blokkidele *A* ja *B* seatakse üles maksimaalvoolukaitse *1* ja *9* ning radiaalliinidele — maksimaalvoolukaitse *2* ja *10*. Kaitsete selektiivne toime tagatakse kõigi kaitsete viivituse õige valikuga.

Väikseim viivitus peab olema radiaalliinidel *E* ja *F;* võtame selle oma näite puhul 0,7 sec. Viivitusaste võetakse nagu tavaliselt samuti 0,7 sec. Suunatud kaitsetele valitakse viivitus vastuast-



Joon. 272. Koormatud sidestusliini suunatud maksimaalvoolukaitse.

melise süsteemi järgi. See tähendab, et kummagi suuna puhul suureneb viivitus suunas, mis on vastupidine kaitsete rakendumissuunale.

Seega on kaitse *7* viivitus $t_7 = 1{,}4$ sec ja edasi $t_8 = 2{,}1$ sec, $t_3 = 2{,}8$ sec ning bloki *A* kaitse viivitus — $t_1 = 3{,}5$ sec. Analoogiliselt saame vastassuunas $t_4 = 1{,}4$ sec, $t_6 = 2{,}1$ sec, $t_8 = 2{,}8$ sec ja lõpuks $t_9 = 3{,}5$ sec.

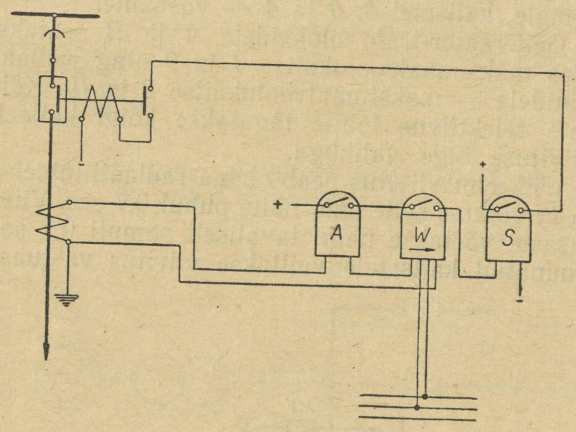
Analüüsime kompleksse kaitse toimet kaitstava objekti mitmesuguste osade lühiste korral.

Lühise korral punktis *1* hakkavad tööle kaitsed *5*, *3*, *1* ja teises suunas — kaitsed *6*, *8* ja *9*.

Nagu nähtub valitud viivitustest, on kaitsetel *5* ja *6*, mis on kõige ligemal rikkekohale, ka kõige väiksem viivitus. Kaitsed lülitavad rikkis osa välja, jättes kõik ülejäänud osad tööle. Süsteem jaguneb seejuures kaheks iseseisvalt töötavaks pooleks.

Avarii korral punktis *2* lülitub välja kõigepealt võimsuslüliti *4* suunatud maksimaalvoolukaitse toimel viivitusega 1,4 sec, ja järgnevalt võimsuslüliti *3*, mille kaitse viivitus on 2,8 sec. Avarii punktis *3* on analoogiline avariiga punktis *2*. Sel juhul lülituvad välja võimsuslülitid *7* ja *8*.

Huvitav on jälgida ka suunatud maksimaalvoolukaitse tööd ühe radiaalliini faasidevahelise lühise korral, näiteks avarii korral punktis *4*. Sel juhul hakkavad tööle kaitsed *1, 2, 4, 6, 8* ja *9*. Kuid kõige lühem viivitus on kaitsel *2*, mis lülitabki välja rikkis liini.



Joon. 273. Liini suunatud maksimaalvoolukaitse skeem.

Joonisel 273 on toodud suunatud maksimaalvoolukaitse skeem ühe faasi kohta. Maksimaalvoolurelee on siin, nagu tavaliselt, normaalselt avatud kontaktidega. Operatiivvooluahel moodustub läbi nende kontaktide, aegrelee ja läbi võimsuse suundrelee ИМ-141 normaalselt avatud kontaktide. Niipea kui võimsuse suund muutub lattidelt liini poole, suleb suunatud võimsusrelee oma kontaktid. Võimsuse vastupidise suuna korral jäävad relee kontaktid avatuks. Seega vastab selle suunatud maksimaalvoolukaitse skeem täielikult koormatud sidestusliini kaitse skeemile, mida selgitati joonise 272 abil.

KAITSE SULAVKAITSMETEGA

Töökindluse suurendamiseks ja elektrijaamade ning alajaamade maksumuse vähendamiseks, samuti ka nende ekspluatatsiooni lihtsustamiseks kasutatakse automaatse aparatuuri ja releekaitseseadiste asemel sulavkaitsmeid juhul, kui neid saab valida nõutavate parameetritega ja kui nad tagavad selektiivsuse ja kaitsele vajaliku tundlikkuse. Sulavkaitsmete parameetriteks on nende nimivool, nimipinge ja nende poolt katkestatav piirvool.

Maaelektrijaamades kasutatakse sulavkaitsmeid generaatorite kaitseks siis, kui generaatori võimsus on alla 105 kVA.

Pingettõstvate ja pingetmadaldavate trafode kõrgepinge-poolel võib kasutada sulavkaitsmeid koos võimsus-lahklülititega või tavaliste lahklülititega trafode võimsuste kindlates piirides. Koos võimsus-lahklülititega kasutatakse sulavkaitsmeid selliste elementide kaitseks, millede juures katkestatav võimsus ei ületa võimsus-lahklüliti katkestusvõimsust. Mis puutub tavalistesse lahklülititesse, siis «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjad» lubavad sulavkaitsmetega kaitstavate jõutrafode lülitamist tühijooksul tavaliste lahklülititega sel juhul, kui trafodele võimsus ei ületa: kuni 10 kV pinge korral — 320 kVA ja kuni 35 kV pinge korral — 1000 kVA (vt. kaheksas peatükk).

Igas maaelektrijaamas ja -alajaamas peab olema kontrollitud sulavkaitsmete omavahelise toime selektiivsus ja samuti ka sulavkaitsmete ning releekaitseaparatuuri vaheline selektiivsus.

Sulavkaitsmetel on järsult langev karakteristik, s. t. sulavriba läbipõlemisaeg väheneb järsult, kui kaitset läbiv vool ületab tunduvalt nimivoolu.

Sulavkaitsme rakendumisaeg koosneb peale sulavriba põlemisaja ka kaarleegi põlemise ajast, mis tekib pärast sulavriba ülessulamist. Rakendumisaeg peab olema väiksem kui toiteallikale lähemal asetsevate elementide releekaitse toimimisaeg.

Selektiivsuse suhtes kõige parem sulavkaitsmete ja releekaitse töö kombinatsioon saadakse neil juhtudel, kui maksimaalvoolukaitse releeks on võetud piiratult sõltuva karakteristikuga relee, s. o. relee ИТ-81. Relee sätte ja voolu-

allikast palju kaugematele elementidele ülesseatud sulavkaitsmete nimiparameetrite valimiseks võrreldakse sulavkaitsmete karakteristikuid relee karakteristikuga.

Elektrotehniliste seadmete projekteerimisel ja ekspluateerimisel on samuti tähtis ka sulavkaitsmete töö kooskõlastamine (selektiivsuse seisukohast) pingetmadaldavate trafoalajaamade ülem- ja alampinge-poole vahel. Vastavalt «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjadele» peavad trafo alampinge-poole sulavkaitsmed kaitsma trafot liigkoormuse ja madalpingevõrgu lühiste vastu. Sulavkaitsmete tähtsus ülempinge-poolel seisab trafo kaitsmises väljaviikudes esinevate lühiste ja tema raskete paagisiseste lühiste vastu. Rääkides pingetmadaldavatest trafodest, tuleb märkida, et sulavkaitsme rakendumisaeg peab jõutrafo alampinge-poolel olema lühem kui sulavkaitsme rakendumisaeg ülempinge-poolel.

Väga väikese võimsusega trafode korral pole mõnel juhul vaja üles seada sulavkaitsmeid trafo kaitseks kõrgepinge-poolel, mis kaitseks trafot sisemiste lühiste või alampinge-väljaviikude lühiste korral. Nagu «Maaelektriseadmete ehitamise eeskirjades» § 10 märgitud, pole see nõutav väikese võimsusega trafode korral sel juhul, kui kaitseks vajalik peenike sulavriba ei talu trafo sisselülitamisel tekkivat voolutõuget.

Sulavkaitsmed tuleb üles seada kaitstava elemendi kõikidesse faasidesse.

Et lahendada trafo ülem- ja alampinge-poolele ülesseatud sulavkaitsmete selektiivsuse ja sulavkaitsmete ning releekaitse aparatuuri õige koostöö küsimust, tuleb uurida ja kõrvutada nende karakteristikuid. Enne kõrgepinge- ja madalpinge-sulavkaitsmete tehniliste põhiparameetrite selgitamisele asumist tuleb vaadelda «Maaelektriseadmete projekteerimise juhendite» poolt soovitatud sulavkaitsmete valimise meetodit.

Sulavkaitsmeid varustatakse kahte liiki sulavribadega: a) väikese soojusmahtuvusega (vask, tsink) ja b) suure soojusmahtuvusega — inertsed sulavribad (plii, plii sulamid).

Vastavalt «Maaelektriseadmete projekteerimise juhenditele» peavad väikese soojusmahtuvusega sulavribad, mis on valitud kaitstava vooluahela maksimaalse voolu järgi, vastama järgmisele nõudele:

$$I_{sr} \geqslant \frac{I_m}{\alpha},$$

kus: I_{sr} — sulavriba nimivool;
I_m — suurim vool ahelas;
α — tegur, mis sõltub liigkoormuse režiimist ja sulavkaitsmete karakteristikutest.

Üksikute voolutarbijate haruühendustel peab I_m olema võrdne käivitusvooluga või suurima koormusvooluga, sõltuvalt sellest, kumb neist on suurem.

Tarbijaid toitvates vooluahelates arvutatakse I_m valemiga:

$$I_m = \sum_{1}^{n-1} I_p + I_k,$$

kus: $\sum_{1}^{n-1} I_p$ — sulavkaitsmete poolt kaitstavate tarbijate maksimaalsete töövoolude summa ilma tarbijata, millel on suurim käivitusvool I_k;

α valitakse normaalsete käivitustingimustega elektrimootoritele 2,5 ja raskete käivitustingimustega elektrimootoritele 1,6—2 .

Normaalsed käivitustingimused — harvad käivitamised 5—10 sec käivitusajaga; rasketeks loetakse tingimusi, mille korral käivitamised on sagedased ja elektrimootori käivitusaeg ületab 10 sec.

Suure soojusmahtuvusega sulavribad valitakse elektrimootorite normaalsete käivitustingimuste korral töövoolu järgi — ilma neid käivitusvoolule kontrollimata.

SULAVKAITSMED ПР-1

Kuni 500 V pingega elektriseadmetele on kõige täiuslikumateks sulavkaitsmed ПР-1. Need sulavkaitsmed on ühefaasilised, kusjuures neid valmistatakse kas isoleeralusega või ilma selleta.

Oma nimiparameetrite ja konstruktsiooni poolest liigitatakse sulavkaitsmed ПР: 1) pinge järgi — kuni 250 V ja kuni 500 V; 2) padrunite nimivoolu järgi — alates 15 kuni 1000 A ja sulavribade järgi — alates 6 kuni 1000 A; 3) juhtmete kinnitusklemmide asetuse järgi — esiküljel ühendamisega ja tagaküljel ühendamisega.

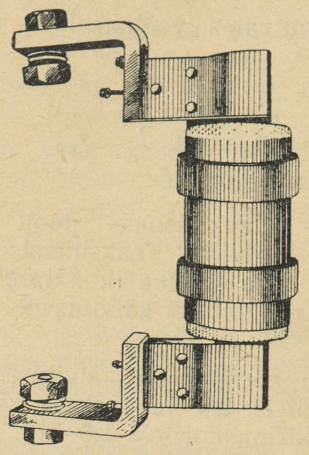
Joonisel 274 on näidatud sulavkaitsme üldvaade ja joonisel 275 — tema konstruktsioon.

Nagu joonisel näha, koosneb sulavkaitse ПР kontakttugedest, lahtivõetavast padrunist ja sulavribast. Padrun on fiibrist valmistatud toru, mille kummaski otsas on metallist pidemed. Kuni 60 A nimivoolude korral on padruni pidemetel silindrilised kontaktosad, kuna aga suuremate voolude korral valmistatakse need kontaktosad tasapinnaliste kontaktnugadena.

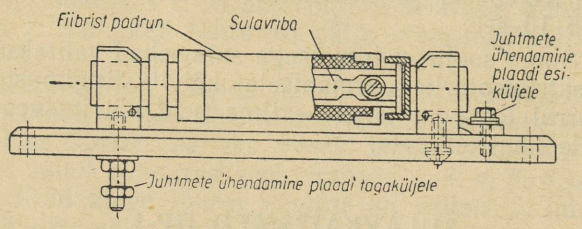
Sulavriba on erisuguse kujuga, mõlemast servast hambuline, ja on ümbritsetud fiibrist pad-

runiga. Sulavriba laiad kohad hajutavad töövoolude läbimisel kitsamate kohtade soojuse. Kui tekivad liigvoolud, mis on põhjustatud lühistest või lubamatutest liigkoormustest, põleb sulavriba läbi oma kitsamal kohal, mitte aga kogu pikkusel. Sellega kergendub kaarleegi kustutamise protsess. Peale selle eraldab padruni materjal — fiiber — kaarleegi mõjul suure hulga gaase, millede rõhk soodustab intensiivselt kaarleegi kustutamist. Sulavribad on kalibreeritud selliselt, et nad ei sula alumise proovivoolu juures ja sulavad ülemise proovivoolu juures aja jooksul, mis on antud koos proovivoolude piiridega tabelis 74.

Tabelis 75 on toodud andmed sulavkaitsmete ПР-1 katkestusvõime kohta.



Joon. 274. Sulavkaitsme ПР-1 üldvaade.



Joon. 275. Sulavkaitsme ПР-1 konstruktsioon.

Tabel 74

Sulavribade proovivoolud

Sulavriba nimivool I_n A	Proovimise aeg tundides	Proovivool A	
		alumine väärtus	ülemine väärtus
6 ja 10	1	1,5 I_n	2,1 I_n
15, 20, 25	1	1,4 I_n	1,75 I_n
35 . . . 350	1	1,3 I_n	1,6 I_n
430 . . . 1000	2	1,3 I_n	1,6 I_n

Tabel 75

Sulavkaitsmete ПР-1 katkestusvõime

Padruni nimivool A	Katkestusvõime	
	padrunitel nimipingega 250 ja 500 V	vahelduvvooluahelas pingega 380 V kasutatavatel padrunitel nimipingega 250 V
15	1 200	600
60	3 500	3 000
100	10 000	6 000
200	10 000	6 000
350—1 000	12 000	—

Nagu on näha tabelist 75, võib sulavkaitsmeid ПР-1 nimipingega mitte ainult 500 V, vaid ka nimipingega 250 V ja nimivooluga kuni 200 A kasutada 380 V vahelduvvooluvõrkudes, kui lühisvoolud ei ületa tabeli parempoolses sambas näidatud suurusi.

Joonisel 276 on toodud sulavkaitsmete ПР-1 gabariitmõõted ja tabelis 76 mõõted sama joonise kohta.

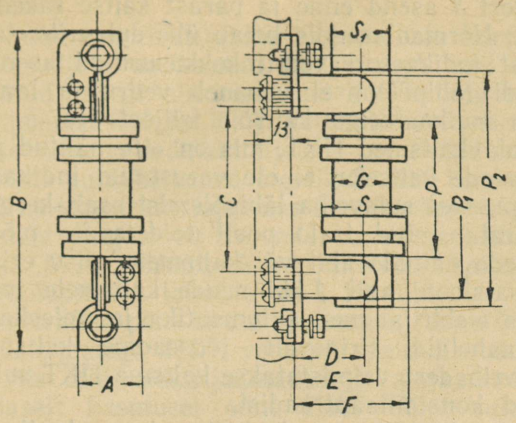
Levinumate väikese soojusliku inertsiga sulavribade kohta võib kasutada A. J. Rjabkovi andmetel [30] tabelis 77 toodud sõltuvusi sulavriba läbipõlemise aja ja riba läbiva suhtelise voolu (sulavriba nimivoolu suhtes) vahel.

Joonisel 277 on toodud sõltuvus $t = f(I)$, mis on koostatud madalpingeliste 60 A sulavribade kohta liigkoormuse diapasoonis $I = 2I_n$ kuni $I = 4I_n$.

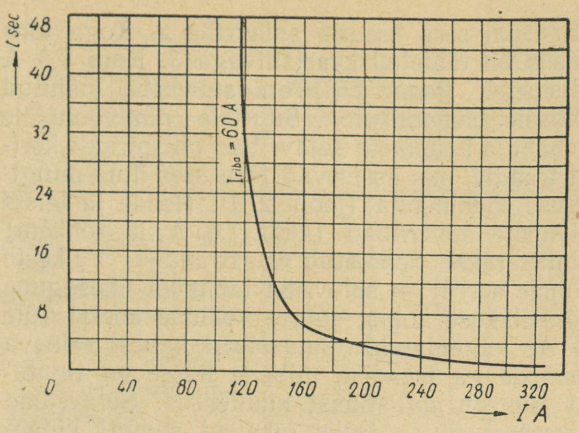
Tabel 76

Sulavkaitsmete ПР-1 gabariitmõõted

Pinge V	Mõõted mm (joonise 276 juurde)											Vool A
	A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*G*	*P*	P_1	P_2	*S*	S_1	
250	25	195	113	41	52	61	33	100	145	150	40	18	100
250	25	205	123	45	52	73	46	110	155	160	54	28	200
250	40	270	140	61	71	95	61	125	190	196	68	40	400
500	25	245	163	41	52	61	33	150	195	200	40	18	100
500	25	270	188	46	52	73	46	175	220	225	54	28	200
500	40	345	215	61	71	95	61	200	265	271	68	40	400



Joon. 276. Sulavkaitsmete ПР-1 gabariitmõõted.



Joon. 277. Sulavriba läbipõlemise aeg sõltuvalt koormusvoolust.

Tabel 77

Sulavriba läbipõlemise aja sõltuvus suhtelisest voolust

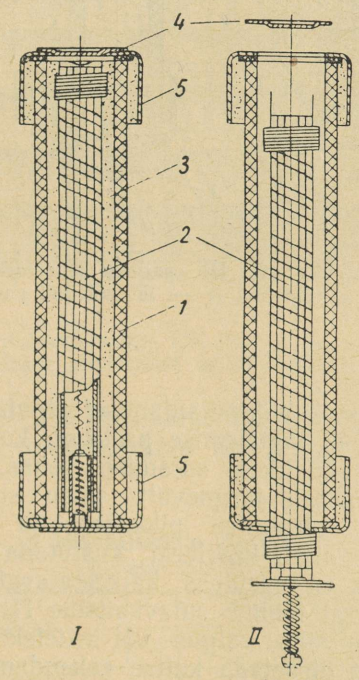
Sulavriba läbipõletav vool	1,3 I_n	1,6 I_n	1,8 I_n	2 I_n	2,5 I_n	3 I_n	4 I_n
Sulavriba läbipõlemise aeg	∞	1 tund	20 min	40 sec	8 sec	4,5 sec	2,5 sec

Toodud diapasooni piire ületavate voolude läbimisel võib sulavribade läbipõlemise aega hinnata kõvera järgi, mis läheneb väikestel koormustel asümptoodiliselt joonele, mis on paralleelne ordinaatteljega, ja suurtel koormustel — joonele, mis on paralleelne abstsissteljega.

KÕRGEPINGEKAITSMED ПК JA ПКТ

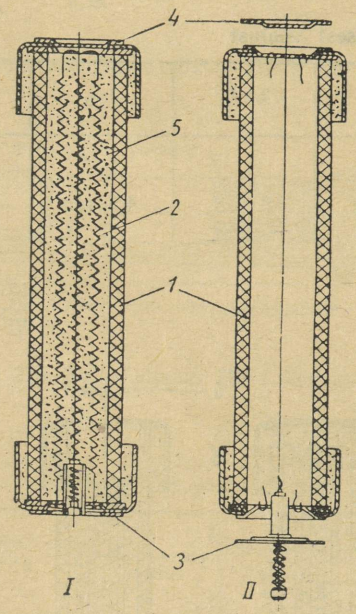
Kõrgepingeseadmete suurest arvust sulavkaitsmete konstruktsioonidest on kõige täiuslikumad kvartsliivtäitega sulavkaitsmed ПК ja ПКТ. Esimesi kasutatakse vahelduvvooluvõrkude kaitsmiseks ja nad on katkestusvõimsusega üle 200 MVA, teisi — pingetrafode kaitsmiseks ning nende katkestusvõimsus on kuni 1000 MVA. Kvartsliivtäitega sulavkaitsmed on ette nähtud siseseadmetele.

Peeneteraline kvartsliivtäide kustutab intensiivselt kaarleegi, mis tekib sulavriba läbipõlemisel, ja piirab ka lühisvoole, mis põhjustasid sulavriba läbipõlemist. Kaitsme padrun, nagu see on näha joonisel 278, on silindrikujuline portselanist toru *1*, mille otstesse on tsementseguga kinnitatud valgevasest kübarsulgurid *5* (katetega 4).



Joon. 278. Sulavkaitsme ПК padrun; sulavriba keraamilisel südamikul: *I* — täidetud; *II* — monteerimisel.

Padruni sees asetseb sulavriba *2*. Kogu toru õõnsus on täidetud kvartsliivaga *3*. Kuni 7,5 A kaitsmetel (joon. 278) on sulavriba mähitud ribilisele südamikule. Suurtele nimivooludele ettenähtud kaitsmete sulavribad on spiraali keritud traadid, mis asetsevad toru sees ilma mingisuguse südamikuta (joon. 279). Nende ja teiste kaitsmete sulavribad (kuni 7,5 A ja rohkem) valmistatakse hõbetatud vasktraadist. Väikeste voolude korral on sulavriba läbimõõt ühesugune kogu pikkuse kohta, suurte voolude korral (üle 7,5 A) kujundatakse sulavribad kahest erineva läbimõõduga traadist, millede külge on tinutatud puhtast inglistinast kuulikesed. Sulavribad väikeste voolude jaoks omavad samuti külgejoodetud inglistinast kuulikese. Nende kuulikeste ülesanne on lahustada sulavriba põhimaterjali, kuna nad sulavad palju varem kui põhiriba.



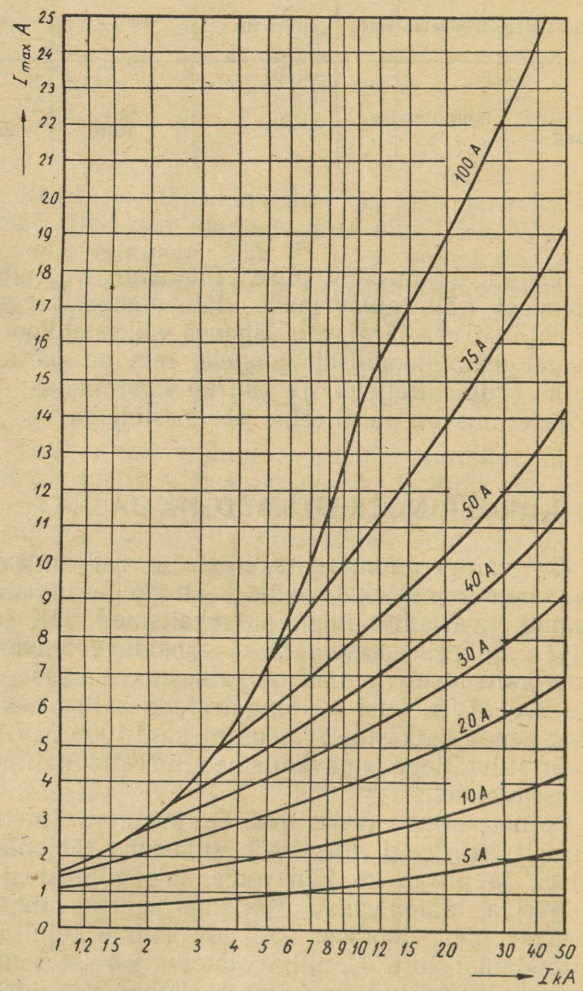
Joon. 279. Sulavkaitsme ПК padrun spiraalse sulavribaga: *I* — täidetud; *II* — läbipõlenud padrun.

Inglistinast kuulikese sulamisel algab hõbetatud vasktraadi lagunemise protsess, kuni traat katkeb just kuulikese sulamise kohas. Tekkiv kaarleek hävitab järgnevalt kogu sulavriba, pikeneb siis kriitilise pikkuseni ja kustub. Kvartstäide aitab kaarleeki kustutada niivõrd intensiivselt, et mistahes katkestatavate lühisvoolude korral toimub sulavkaitsme ПК rakendumine ilma välise valgus- või heliefektita.

Selleks et otsustada kaitse rakendamise üle, varustatakse need indikaatoritega (vedrudega märkläätsed). Joonisel 279 on näidatud indikaatori *3* asend enne ja pärast kaitse rakendumist. Normaalasendis hoiab üks sulavriba traatidest indikaatori vedru kokkusurutud asendis; traadi läbipõlemisel vabaneb vedru ja langeb koos indikaatoriga kaitsme küljest ära.

Sulavkaitsmed ПКТ, mis on ette nähtud pingetrafode kaitseks, ei ole varustatud indikaatoritega, sest sulavriba läbipõlemist saab kergesti määrata antud trafo poolt toidetavate mõõteriistade näitude abil või kaitsmete seisu erisignalisatsiooni abil. Läbi nende kaitsmete toidetakse elektrijaamas automaatika ja releekaitse vooluahelaid. Erinevalt jõuseadme kaitsmete sulavribadest valmistatakse kaitsme ПКТ sulavribad konstantaantraadist.

Kvartsliivtäitega sulavkaitsmete voolupiiraval efektil on oluline tähtsus nii jõuseadmele kui ka pingetrafode vooluahelatele. Joonisel 280 on toodud andmed suurimate voolude kohta, milleni kvartsliivtäitega sulavkaitse laseb



Joon. 280. Sulavkaitsmete ПК voolupiirav efekt lühisvoolude väljalülitamisel.

voolu minna mitmesuguste lühisvoolude korral. Abstsissteljele on kantud lühisvoolud, mis on arvutatud mingi elektriseadme kohta ilma sulavkaitsmete ПК ja ПКТ voolupiiravat toimet arvestamata, ja ordinaatteljele — suurimad voolud, mida sulavkaitsmed tegelikult läbi lasevad.

Kui näiteks trafoalajaamas kasutatakse sulavkaitsmeid pingele 10 kV, mis on valitud nimivoolule 5 A, väheneb 5 kA lühisvool kaitsme ПК voolupiirava toime tõttu 1 kA-ni.

Pingetrafole pole tarvis üles seada järjestikku sulavkaitsmetega ПКТ voolupiiravaid lisatakistusi, mis olid elektrijaamades ja alajaamades laialdaselt kasutusel enne ПКТ tüüpi sulavkaitsmete praktikasse juurutamist.

Tabelis 78 on toodud andmed sulavkaitsmete ПК valimiseks jõutrafo kaitseks.

Tabel 78

Andmed sulavkaitsmete ПК valimiseks jõutrafode kaitseks

Trafo nimivool A	Kaitsme nimivool A	Kaitstava trafo nimivõimsus kVA pingel kV		
		6 kV	10 kV	35 kV
0,5	2	5	10	—
1	3	10	20	50
1,9	5	20	30	100
3	7,5	30	50	180
5	10	50	75	—
8	15	75	100	320
10	20	100	180	560
14,5	30	135	240	—
20	40	180	320	—
30	50	320	560	—
54	75	560	750	—
70	100	750	1 000	—

Sulavkaitsmeid ПК toodetakse neljas konstruktsioonis — vastavalt elektriseadmete nimipingetele, mille jaoks nad on ette nähtud: ПК-3, ПК-6, ПК-10 ja ПК-35 vastavalt pingetele 3, 6, 10 ja 35 kV. Sulavribade nimivoolude skaala sisaldab ГОСТ-i järgi voole: 2, 5, 7,5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 300 ja 400 A.

Maksimaalsed voolud, milledele valmistatakse sulavkaitsmed ПК, on (amprites):

Kaitsmetele ПК-3 400
„ ПК-6 200
„ ПК-10 100
„ ПК-35 10

Tabelist 78 selgub, et 35 kV ülempingega trafo korral lubatakse kasutada sulavkaitsmeid, kui trafo võimsus ei ületa 560 kVA.

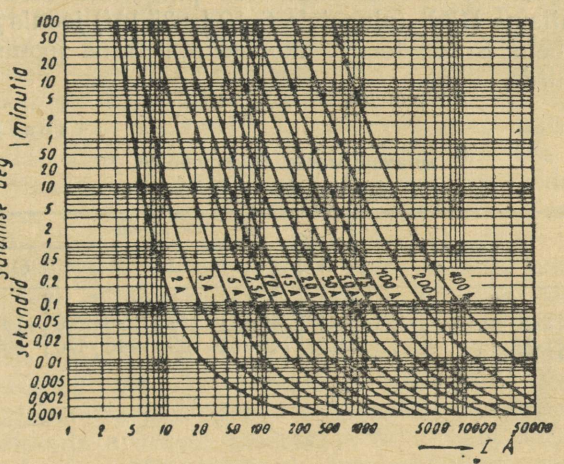
Tabelis 79 on toodud sulavkaitsmete ПК tehnilised põhiandmed 6, 10 ja 35 kV pingete korral.

Tabel 79

Sulavkaitsmete ПК põhiandmed

Nimipinge kV	6	10	35
Kaitsme suurim nimivool A	20 75 200	20 50 100	10
Suurim katkestusvõimsus (kolmefaasiline) MVA	200	200	200
Suurim voolu tippväärtus lühisvoolu väljalülitamisel, arvestades voolupiiramist, kA	5,2 14 25	4,5 8,6 15,5	1,5

Tehase andmetel on kaitsmete ПК sulavribade sulamise kestus 1,3-kordse nimivoolu korral üle ühe tunni ja 2,0-kordse nimivoolu korral alla ühe tunni. Lühisvoolude väljalülitamise aeg on väga lühike ja suurte voolukordsuste korral on see 0,005—0,007 sec. Sulavkaitsmete selektiivse toime kooskõlastamise hõlbustamiseks releekaitsega mitmesuguste nimivoolude korral on joonisel 281 toodud nimetatud sulavkaitsmete voolu ajakarakteristikud.



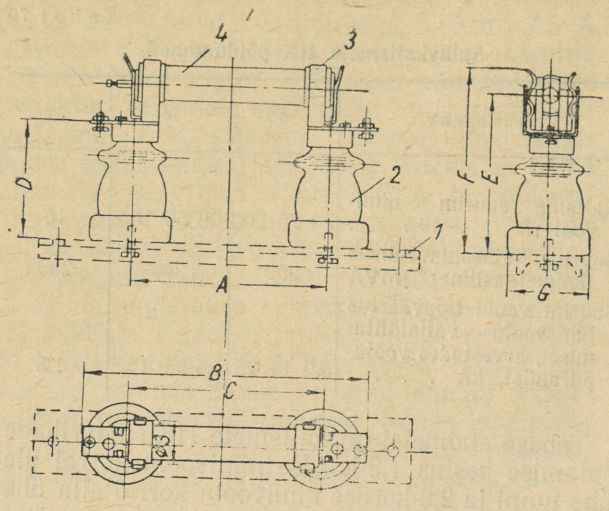
Joon. 281. Sulavkaitsmete ПК sulavribade sulamise aeg. Sulavribade nimivoolud on märgitud kõveratele.

Joonisel 282 on toodud nimipingele 6, 10 ja 35 kV ja vooludele kuni 10—20 A sulavkaitsme

Tabel 80

Sulavkaitsmete ПК mõõted
(joonise 282 juurde)

Sulavkaitse	Mõõted mm						
	A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	*Ø G*
ПК-6/20 kuni 20 A	320	440	310	175	220	250	105
ПК-10/20 kuni 20 A	420	540	410	200	245	275	105
ПК-35/10 kuni 10 A	620	740	610	395	440	470	130



Joon. 282. Sulavkaitsme ПК monteerimisjoonis:
1 — alus; *2* — tugiisolaator; *3* — kontakt; *4* — padrun.

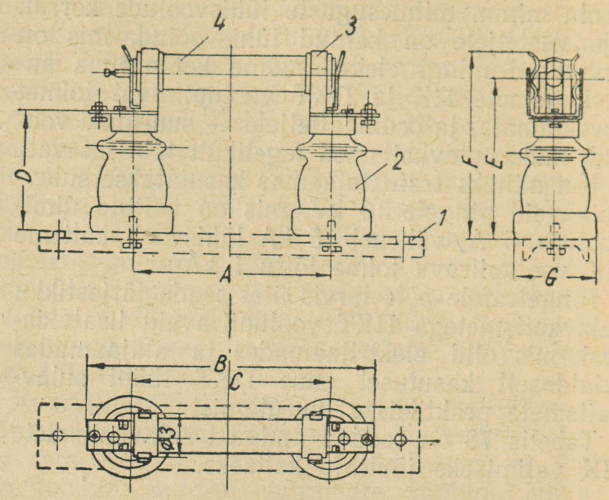
ПК montaažjoonis ja tabelis 80 on antud joonise juurde kuuluvad mõõted.

Joonisel 283 on näidatud pingetrafo sulavkaitsme ПКТ (pingetele 6, 10 ja 35 kV) joonis ja tabelis 81 on toodud mõõted nimetatud joonise juurde.

Tabel 81

Sulavkaitsmete ПКТ mõõted
(joonise 283 juurde)

Kaitsmed	Mõõted mm						
	A	*B*	*C*	*D*	*E*	*F*	⌀ *G*
ПКТ-10	220	340	210	175	220	250	105
ПКТ-35	620	740	610	395	440	470	105



Joon. 283. Sulavkaitsme ПКТ monteerimisjoonis. Tähiste tähendused on toodud joonise 282 juures.

Sulavkaitsmete ПКТ põhiandmed on toodud tabelis 82.

Tabel 82

Sulavkaitsmete ПКТ põhiandmed

Näitajad	ПКТ-10		ПКТ-35
Võrgu nimipinge kV . .	6	10	35
Suurim katkestatav võimsus (kolmefaasiline) MVA	1000	1000	1000
Suurim väljalülitatav lühisvool kA	85	50	17
Suurim voolu tippväärtus suurima lühisvoolu väljalülitamisel kA . .	300	1000	700

KAHETEISTKÜMNES PEATÜKK

MAAHÜDROELEKTRIJAAMADE AUTOMATISEERIMINE[1]

AUTOMATISEERIMISE ÜLESANNE

Põllumajanduse varustamisel elektrienergiaga on energiaallikaiks kolhoosidevahelised maaelektrijaamad ja riiklikud elektrijaamad.

Maaelektrijaamade tehnilise taseme tõstmise ja nende uue eesrindliku tehnikaga varustamise abinõude kompleksis kuulub tähtsaim koht elektrijaamade juhtimise automatiseerimisele ja esijoones just hüdroelektrijaamade automatiseerimisele.

Automatiseerimise juurutamine koos elektrijaamade võimsuse suurendamisega ja nende ühendamisega energiasüsteemidesse võimaldab teostada põllumajanduslike tootmisprotsesside kompleksset elektrifitseerimist.

Oma arengu algusperioodil automatiseeriti maaelektrijaamades ainult esmajärgulised juhtimisprotsessid ja elektrijaama põhielementide kaitse, nimelt: agregaatide kiiruse reguleerimine, pinge reguleerimine, hoiatussignalisatsioon valveametnikele nende kodus elektrijaama üksikute elementide töö korratustest ja rikkis liinide või elektrijaama agregaatide automaatsest väljalülitamisest, elektrijaama ülemise biefi veenivoo kontrollimine, jaama agregaatide sünkroniseerimine käivitamisel ja paralleeltööle lülitamisel jne.

Kõige olulisem elektrienergia maksumuse komponent väikese võimsusega elektrijaamades on teeninduspersonali pidamise kulud. Nende kulude erikaal on 50—60% ekspluatatsioonikulude kogusummast, mis sisaldavad ka kapitaalremondiks ja taastamisteks ettenähtud kulusid.

Sellest on näha, milline tähtsus on kvalifitseeritud montööride, mehaanikute või tehnikute töö asendamisel automaatsete riistade ja aparaatidega, mis töötavad kindlalt ja häireteta.

Automatiseerimine tagab elektrijaamade, -võrkude, alajaamade ja elektrienergia tarbijate stabiilse töö põllumajanduses nii normaalses olukorras kui ka võimsate elektrienergia tarbijate töörežiimi sagedastel ja järskudel muutumistel, näiteks elektritraktoritega ja muude agregaatidega töötamise korral, mis on varustatud lühisrootoriga mootoritega.

Automatiseerimine parandab elektrienergia kvaliteeti, muudab selle odavamaks ja tagab põhiseadmete hea säilimise. Juhtimise või kaitse automaatseadiste puudumisel võib masinate töötamisel esinev rike jääda ekspluatatsioonipersonali poolt märkamatuks, mis aga põhjustab masinate kiiret kulumist, nende enneaegset töökõlbmatuks muutumist ja vahendite ning materjalide kulu jooksva ja kapitaalremondi jaoks.

Maahüdroelektrijaamade põhiseadmeid toodab meie kodumaine tööstus komplektidena. Peale selle toodetakse meie tehastes aparatuure ja seadiseid hüdroagregaatide automaatseks juhtimiseks mitmesugust liiki regulaatorite ja autooperaatorite näol. Samuti on hüdroelektrijaamadele välja töötatud ja juurutamisel lihtsustatud kaugjuhtimis- ja kaugmõõtmisseadised. Rida automaatse juhtimise ja reguleerimise seadiseid, sõlmi ja aparaate toodetakse NSV Liidu Põllumajanduse Ministeeriumi süsteemi tehaste poolt.

AUTOMATISEERIMISE MAHT JA AUTOMATISEERITUD SEADMETE PÕHIMÄÄRATLUS

Sõltuvalt jaamade võimsusest ja tähtsusest on maahüdroelektrijaamade automaatseadistel järgmised põhifunktsioonid: a) agregaatide distants- või automaatne käivitamine; b) generaatorite sünkroniseerimine ja nende lülitamine võrku; c) agregaatide koormamine, s. t. agregaatide koormamine ja koormuse muutmine; d) optimaalse pöörlemiskiiruse ja pinge hoidmine; e) agregaadi põhisõlmede töö kontrolli-

[1] Peatükk on kirjutatud koos ins. S. G. Josipjaniga.

mine ja hoiatussignaalide andmine kontrollitava sõlme normaalse töö riknemisel; f) agregaatide distants-seiskamine; g) agregaatide seiskamine seadme avariiolukorras; h) agregaatide pidurdamine pärast nende väljalülitamist võrgust seoses nende seiskamisega; i) agregaatide isetahtliku käivitumise vältimine.

Maahüdroelektrijaamades võimsusega kuni 500—1000 kW automatiseerimise maht väheneb. Näiteks võib sellistes hüdroelektrijaamades agregaate käivitada käsitsi, agregaatide koormamine ja koormuse muutmine aga toimub sõltuvalt veehulgast.

Täielikult automatiseeritud hüdroelektrijaam varustatakse seadistega, mis teostavad peaagregaatide ja omatarbeseadmete käivitamist, töötamise kontrolli ja seiskamist ning nimisageduse ja antud pinge hoidmist.

Osaliselt automatiseeritud hüdroelektrijaamades kasutatakse automaatikat ainult tootmisprotsessi juhtimisoperatsioonide ja peaagregaatide juures. Näiteks toimub avariiline seiskamine automaatselt, kuid käivitamine toimub käsitsi ja koormus muutub sõltuvalt veehulgast jne.

Nagu näha määratlusest, toimub osaliselt automatiseeritud hüdroelektrijaama agregaatide käivitamine ja nende töörežiimi muutmine teeninduspersonali poolt käsitsi. Pärast agregaatide käivitamist viiakse selline elektrijaam üle automaatsele juhtimisele ja automaatsele kontrollimisele. Seetõttu võib jaam olla lukustatud ja teeninduspersonal võib jaama tööd kontrollida oma kodus, kuhu on üles seatud kontrolli- ja signalisatsioonipunkt. Täielikult automatiseeritud hüdroelektrijaamas ei vajata agregaatide käivitamisel ja nende töörežiimi muutmisel teeninduspersonali tööd. Need operatsioonid toimuvad kõik autooperaatorite või distantsjuhtimisseadiste abil spetsiaalsest juhtimispunktist või dispetšerpunktist, kuhu on koondatud ka signalisatsioon, ning normaalse töörežiimi rikkumiste üldist signaali dubleeritakse valveametniku kodus olevas signaalpunktis.

Hüdroelektrijaamade jõuagregaatide juhtimise viis määratakse lähtudes antud jaama agregaatide võimsusest ja arvust, elektrilisest ühendusskeemist, side olemasolust energiasüsteemiga, agregaatide töörežiimist, veevoolu režiimist ja skeemist, jaama territoriaalsest asetusest, elektrienergiaga varustatavate tarbijate tähtsusest ja ka majanduslikest kaalutlusist.

Vastavalt «Maahüdroelektrijaamade automatiseerimise projekteerimise ajutistele juhenditele» peavad kõik uued projekteeritavad maahüdroelektrijaamad võimsusega üle 200—300 kW olema varustatud automaatsete juhtimisseadistega ja mõned suure võimsusega objektid peavad olema täielikult automatiseeritud.

Juba töötavad maahüdroelektrijaamad tuleb samuti järk-järgult üle viia automaatsele juhtimisele kõigil neil juhtudel, kui seda lubab ülesseatud põhiseadmestik ja kui selline rekonstrueerimine annab tunduvat majanduslikku efekti. Töötavate hüdroelektrijaamade automatiseerimine seisab peamiselt täiendavate automaatseadiste ülesseadmises nende elektrijaamade juba monteeritud põhiseadmestiku juurde ilma viimase põhjaliku ümberehitamiseta. Mõnel juhul on mõeldav ka põhiseadmestiku ümberehitamine või selle asendamine uuega, kui see osutub otstarbekaks tehnilis-majanduslike arvutuste järgi.

Uute projekteeritavate hüdroelektrijaamade elektriliste ühendusskeemide koostamisel tuleb arvestada automaatika kasutamist. Eriti kehtib see nõue operatiivvooluallika kohta, sest automatiseeritud hüdroelektrijaamades peab olema alalisvooluallikas. Viiendas peatükis toodud ühejoonelised elektriliste ühenduste põhimõtteskeemid vastavad üldiselt hüdroelektrijaama automatiseerimise seadiste nõuetele; neisse võib juurde lisada selliste automaatseadistega seotud täiendavad vooluahelad.

Automaatsetes hüdroelektrijaamades on põhiliseks operatiivvooluallikaks leelisakupatarei, mis töötab pidevas järellaadimisrežiimis. Patarei mahutavus peab tagama operatiivvooluseadiste ja seejuures ka automaatikaseadiste normaalse toite ning valitakse vastavalt arvutusele. Kui automatiseeritud hüdroelektrijaamas kasutatakse võimsuslülitite distantsjuhtimist akupatareist toidetavate elektromagnetiliste ajamite abil, siis toidetakse automaatikaseadiseid samast patareist. Juhul kui hüdroelektrijaama seatakse üles akupatarei elektromagnetiliste ajamite toitmiseks, soovitatakse kasutada patareid pingega 24 V. Laadimisagregaadiks võetakse tahkete pooljuhtivate ventiilidega alaldaja, mis töötab pidevas järellaadimise režiimis. Automaatika- ja abiseadiste mehhanismide elektrimootor-ajameid tuleb toita vahelduvvooluga.

Automaatseadiste vahelduvvoolu-toiteskeemi väljatöötamisel nähakse ette põhiagregaatide ja seadiste töötamise võimalus nende käsitsi käivitamiseks ja seiskamiseks juhul, kui operatiivvoolutoide ajutiselt katkeb. Sellist toite kadumist signaliseeriv seadis peab töötama häireteta.

Selleks et automaatseadised töötaksid vahelduv- või alalisoperatiivvooluahelate avariide korral kindlalt, tuleb võimsuslülititel kasutada raskus- või vedruajameid.

Agregaatide avariiliseks seiskamiseks tuleks laialdaselt kasutada seadiseid, mis ei ole seotud elektrienergiatoitega, nimelt: raskusajameid; agregaatide võllilt käitatavaid ajameid; hüdrau-

lilisi ja pneumaatilisi seadiseid, mida käitatakse kompressorseadme õlisurvega õhu reguleerimissüsteemis või hüdroelektrijaamas veesurvega.

Peale hüdroelektrijaama hüdromehaaniliste ja elektriliste seadmete juhtimisprotsesside automatiseerimise on mõnel juhul otstarbekohane automatiseerida vastutusrikastes maahüdroelektrijaamades ka hüdrotehnilised seadmed.

Automatiseerimisele kuuluvate hüdrotehniliste seadmete hulka kuuluvad kõigepealt paisude sulud ja derivatsioon-hüdroelektrijaama veehaardeseadmed.

Paisude sulud on ette nähtud vee läbilaske reguleerimiseks alumisesse biefi ja vee läbilaskmiseks suurvee perioodil. Automatiseerimine võib piirduda tavaliselt sulgude elektriajamite distantsjuhtimisega, kusjuures seatakse üles ülemise biefi veenivoo ja sulgude asendi signaliseerimisseadis. Selline automatiseerimise maht õigustab end täielikult. Ülemise biefi veenivoo muutumine toimub küllalt aeglaselt selleks, et ekspluatatsioonipersonal jõuaks veenivoo näitude järgi õigeaegselt tarvitusele võtta vajalikud abinõud vee läbilaskmiseks kas sulgude distantsjuhtimise või kohalike juhtimisseadiste abil.

Veehaardeseadmete automatiseerimine piirdub tavaliselt suigude kiire sulgemisega kohal, kus veehaare läheb üle survetorustikuks, kui viimastes esineb rike. Veehaardesulgude avamine (ülestõstmine) toimub kohaliku valveposti poolt ilma automaatse või distantsjuhtimiseta.

Turbiinide ees olevad sulud kuuluvad samuti automatiseeritavate seadmete hulka. Survebasseinide sulgude juhtimise automatiseerimine ei ole tavaliselt otstarbekohane, sest turbiinide ees olevate sulgude juhtimisseadiste automatiseerimisel ei ole survebasseini sulgude juhtimisel operatiivset tähtsust. Automatiseerimist koos distantsjuhtimisega võiks kasutada vaid survebasseini sulgude avariiliseks sulgemiseks torustiku riknemise korral.

KIIRUSREGULAATORI TÄHTSUS

Automatiseeritud hüdroelektrijaamade hüdroturbiinid varustatakse vajalike automaatseadistega, mis tagavad turbiinide automaatse juhtimise kui ka kontrolli nende töö üle. Etteantud standardne vahelduvvoolu sagedus nõuab, et hüdroagregaadid säilitaksid sõltumatult generaatori koormusest kindla pöörlemiskiiruse.

Agregaatide paralleeltöö korral peab koormuse suurenemisel reguleerivate seadiste stabiilse töö tagamiseks pöörlemiskiirus teatud määral vähenema, jäädes aga lähedale nimipöörlemiskiirusele. Selleks et agregaadi pöörlemiskiirus jääks muutumatuks (või peaaegu muutumatuks), peab olema tasakaal hüdroturbiini poolt arendatava võimsuse ja generaatori poolt võrku antava võimsuse vahel, arvestades seejuures võimsuskadusid generaatoris endas ja ülekandes. Igal ajamomendil peab kehtima seos:

$$P = \frac{M\omega}{102}, \qquad (19)$$

kus: P — turbiini poolt arendatav võimsus kW;
M — hüdroturbiini võllile taandatud takistusmoment generaatori poolel kgm;
ω — agregaadi nurkkiirus.

Kuuendas peatükis arutasime hüdroagregaadi töörežiimi agregaadi muutumatu aktiivkoormuse ja võimsa energiasüsteemiga paralleeltöö korral. Nägime, et turbiini pöörlemiskiirus ja juhtaparaadi ava jääb muutumatuks, kui hüdroagregaadi võllil on võimsus ja takistusmoment muutumatud. Ergutusvoolu muutmisel muutub reaktiivkomponendi muutumise tõttu staatori koguvool. Seepärast ei kasutata maaelektrijaamadesse ülesseatud väikese ja keskmise võimsusega hüdroturbiinidel, mis töötavad paralleelselt võimsa energiasüsteemiga, kiirusregulaatoreid. Sel juhul sooviťavad «Maaelektrijaamade automatiseerimise projekteerimise juhendid» kasutada automatiseeritud hüdroelektrijaama jaoks elektromehaanilisi või hüdromehaanilisi servoajameid. Need juhivad agregaadi käivitamist või seiskamist, toimides turbiini juhtaparaadile, tasapinnalistele kilpidele või drosselsulgudele.

Teeninduspersonal võib vajaduse korral agregaadi võimsust perioodiliselt muuta kindlate ajavahemike järel, näiteks veevoolu võimsuse sesoonilisel muutumisel antud hüdroelektrijaamas.

Vaatleme valemit (19). Kui generaatori koormus, s. t. takistusmoment M muutub, hüdroturbiini võimsus (mis sõltub turbiini juhtaparaadi avast) aga jääb muutumatuks, siis hakkab muutuma agregaadi nurkkiirus ω, seega ka vahelduvvoolu sagedus. Kiirus suureneb generaatori koormuse vähenemisel ja väheneb koormuse suurenemisel. Veevoolu kindla võimsuse korral, kui juhtaparaadi ava ei muutu, toimub kiiruse muutumine sõltuvalt koormusest (takistusmomendist) valemi järgi $\omega M = \text{const}$.

Koormuse täielikul äralangemisel, näiteks avariilisel väljalülitamisel, saavutab kiirus väga suuri väärtusi.

Agregaadi pöörlemiskiiruse säilitamiseks muutumatuna, sõltumatult generaatori poolt avaldatavast takistusmomendist hüdroturbiini võllil, tuleb automaatselt muuta turbiini voolava vee hulka, s. t. juhtaparaadi ava. Seega muutub turbiini voolav veehulk ja koos sellega tema

poolt arendatav võimsus, mis leitakse valemiga:

$$P = \frac{1000\,QH\eta}{102}\ \text{kW},$$

kus: Q — turbiini läbiv veehulk m³/sec;
H — surve m;
η — hüdroturbiini kasutegur.

Hüdroturbiini juhtaparaadi ava automaatse reguleerimise funktsiooni teostab sõltuvalt generaatori koormusest hüdroturbiini kiirusregulaator.

Kiirusregulaator reageerib vahelduvvoolu sageduse muutumisele (hüdroagregaadi kiirusele) ja mõjudes juhtaparaadile, muudab veehulka ning säilitab sellega antud sageduse.

Seega hoitakse veevoolu võimsus ja takistusmoment omavahel tasakaalus.

Iga regulaator koosneb kolmest põhiosast:

1) mõõteelemendist, mis fikseerib reguleeritava parameetri (sageduse, kiiruse) muutumise,

2) reguleerivast organist, mis toimib reguleeritavale seadmele,

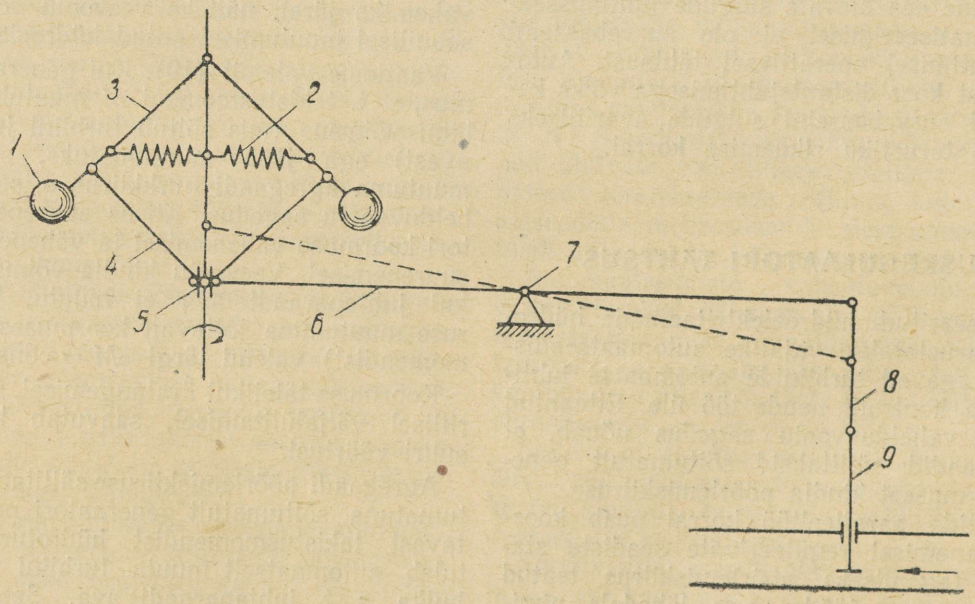
3) sidelülist (ülekandest) mõõte- ja reguleeriva organi vahel.

HÜDROTURBIINI AUTOMAATSETE KIIRUSREGULAATORITE TÖÖTAMISE PÕHIMÕTTED

Automaatsete kiirusregulaatorite kõige levinum mõõteorgan on tsentrifugaalpendel, mis pöörleb koos hüdroelektriagregaadiga mehaanilise või elektrilise sidestuse abil. Tsentrifugaalpendel reageerib agregaadi pöörlemiskiiruse muutumisele ja mõjub ülekande abil hüdroturbiini juhtaparaadi avale. Väikese võimsusega maahüdroelektrijaamades kasutatavate mõnede regulaatoritüüpide juures muudab tsentrifugaalpendel vahetult hüdroturbiini juhtaparaadi asendit. Need on otsese toimega regulaatorid, erinevalt kaudse toimega regulaatoritest, mida kasutatakse suure võimsusega seadmetes. Kaudse toimega regulaatorite iseloomustavaks omapäraks on abiorgani olemasolu, millega nihutatakse hüdroturbiini reguleerivat organit. Selleks on tavaliselt servomootor (kolviga hüdrauliline silinder). Elektromehaanilistes regulaatorites on abiorganiks väikese võimsusega elektrimootor, mis teostab juhtaparaadi avamis- ja sulgemisoperatsioone kindla aja jooksul.

Joonisel 284 on toodud otsese toimega tsentrifugaalregulaatori skeem. Regulaator muudab vahetult hüdroturbiini reguleeriva organi asendit. Pendel on ühendatud hüdroturbiini võlliga ja tema kiirus muutub koos reguleeritava hüdromootori kiiruse muutumisega. Pöörlemiskiiruse suurenemisel nihkuvad pendli vihid tsentrifugaaljõu mõjul teljest kaugemale ja pöörlemiskiiruse vähenemisel lähenevad nad oma raskuse ja vedru *2* mõjul teineteisele. Agregaadi nimipöörlemiskiirusel on vihtidel joonisel näidatud vahepealne asend.

Vihid *1* on kinnitatud regulaatori võllile šarniirides pöörduvate kangidega *3*, mis omakorda on ühendatud šarniirselt varrastega *4* ja regulaatori võllil libiseva muhviga *5*. Libiseva muhvi külge on kinnitatud kangi *6* üks ots, mis ise võib pöörduda toe *7* ümber.

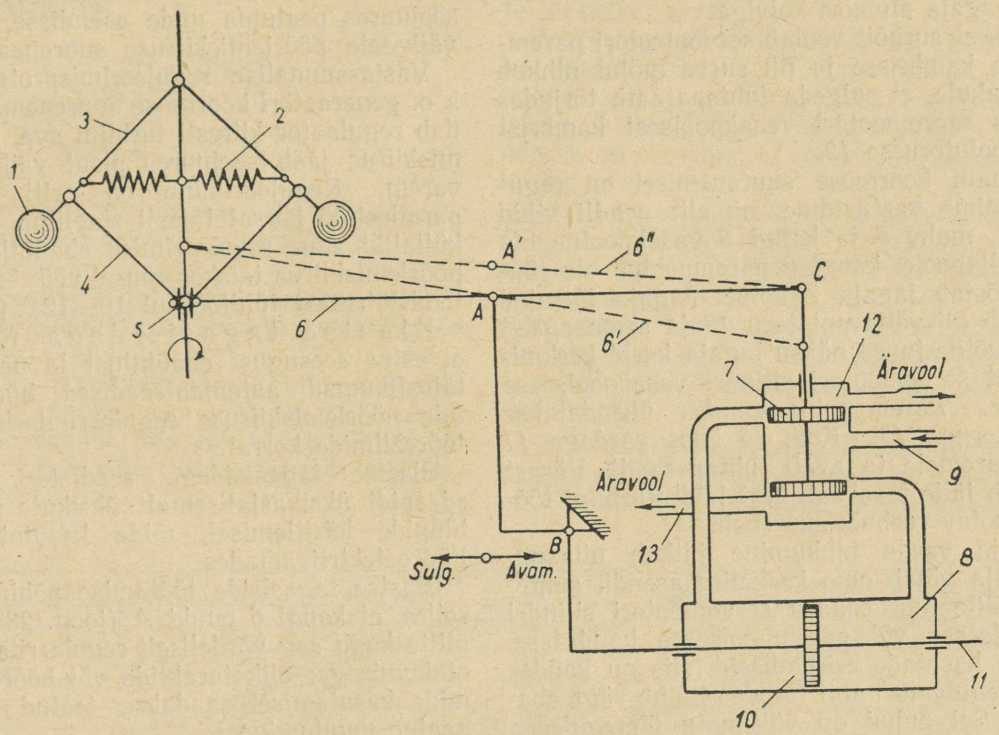


Joon. 284. Otsese toimega tsentrifugaalregulaatori skeem.

Kangi teise otsa on ühendatud tõmbevarras *8*, mis muudab hüdroturbiini töörattale antavat veehulka reguleeriva organi *9* (kilbi juhtaparaadi) asendit. Agregaadi koormuse muutumisel, näiteks selle vähenemisel, suureneb agregaadi pöörlemiskiirus, tsentrifugaalpendli vihid nihkuvad teineteisest kaugemale, mistõttu muhv *5* nihkub ülespoole ja tõstab endaga kaasa kangi *6* otsa. Samal ajal nihkub kangi teine ots alla ja vähendab teatud määral hüdroturbiini töötavale osale antavat veehulka.

ritega, sest töörattale vee juurdepääsu reguleerivate organite nihutamine nõuab küllaltki suurt jõukulu, mida ei suuda arendada tsentrifugaalpendel oma väikese energiavaru tõttu. Sel juhul on pendel ainult mõõteorganiks, mis reageerib hüdroagregaadi kiiruse muutumisele. Töörattale vee juurdepääsu reguleeriva organi nihutamiseks kasutatakse spetsiaalset servomootorit [31].

Joonisel 285 on toodud sellise kiirusregulaatori põhimõtteskeem. Regulaator on kaudse toimega ja servomootoriga, mis töötab suruõli



Joon. 285. Kaudse toimega regulaatori skeem (jäiga tagasisidestusega).

Reguleeriva kangi uus asend on näidatud joonisel 284 punktiirjoonega.

Agregaadi koormuse suurenemisel lähenevad tsentrifugaalpendli vihid teineteisele, muhv nihkub seejuures allapoole ja reguleeriva kangi parempoolne ots tõuseb koos vardaga *8* ja suurendab turbiinile antavat veehulka.

Toodud skeemist nähtub, et otsese toimega automaatne regulaator mitte ainult reageerib hüdroturbiini pöörlemiskiiruse muutumisel, vaid ka muudab v a h e t u l t ilma igasuguse servomootorita juhtaparaadi asendit. Otsese toimega regulaatoritest kasutatakse väikese võimsusega maahüdroelektrijaamades laialdaselt I. V. Kotenevi süsteemi regulaatoreid.

Keskmise võimsusega hüdroturbiinide korral ei tulda toime otsese toimega kiirusregulaatorikasutamisega, mida saadakse eriseadmest. Selle regulaatori tsentrifugaalpendel koosneb samadest elementidest mis otsese toimega regulaator, nimelt: vihtidest *1*, vihtide liikumisele vastumõjuvast vedrust *2*, pöörduvatest kangidest *3* ja *4*, muhvist *5* ja kangist *6*. Kangi parempoolne ots ei ole siin ühendatud mitte turbiini juhtaparaadi vardaga, vaid servomootori *8* jagajaga *7*.

Servomootori jagaja karpi antakse torustiku *9* kaudu suruõli, mis voolab servomootori *8* parem- või vasakpoolsesse kambrisse sõltuvalt sellest, missuguse asendi jagaja võtab. Servomootor koosneb kinnisest silindrist ja kolvist *10*, mis on varda *11* abil ühendatud turbiini juhtaparaadiga.

Servomootori kolvi liikumisel paremale juht-

aparaadi ava suureneb, vasakule liikumisel aga väheneb. Oletame, et hüdroagregaadi koormus vähenes; seetõttu nihkuvad tsentrifugaalpendli vihid teineteisest kaugemale ja nihutavad muhvi ja kangi *6* asendisse, mis on joonisel 285 näidatud punktiirjoonega. Jagaja *7* nihkub allapoole ja servomootori silindri parempoolsesse kambrisse voolab jagaja karbi keskmisest osast suruõli. Servomootori silindri vasakpoolne kamber on ühendatud jagaja karbi ülemise osaga, millel on selles asendis äravoolutoru *12* avatud. Alumine äravoolutoru *13* on selles asendis aga suletud jagaja alumise kolviga.

Näeme, et suruõli voolab servomootori parempoolsesse kambrisse ja õli surve mõjul nihkub kolb vasakule, et sulgeda juhtaparaati, tõrjudes seejuures servomootori vasakpoolsest kambrist õli äravoolutorusse *12*.

Agregaadi koormuse suurenemisel on regulaatori toime vastupidine, nimelt: pendli vihid langevad, muhv *5* ja kangi *6* vasakpoolne ots nihkub allapoole, kangi *6* parempoolne ots tõuseb ja tõstab jagaja *7* kolbe. Jagaja ülemine kolb suleb õli väljavoolutoru *12* ja samaaegselt avab suruõlile juurdepääsu jagaja karbi keskmisest osast servomootori silindri vasakpoolsesse kambrisse. Parempoolne kamber ühendatakse äravoolutoruga *13*. Kolb *10* koos vardaga *11* nihkub paremale ja avab juhtaparaadi. Pärast seda tekib jälle tasakaal, sest hüdroturbiini töörattale voolav veehulk suureneb.

Kolvi ja varda nihkumine jätkub niikaua, kuni jagaja võtab oma keskmise asendi, sulgedes suruõlile juurdepääsu servomootori silindri vasakpoolsesse või parempoolsesse kambrisse. Kui mitte kasutada eriseadiseid, siis on kaudse toimega regulaatori abil reguleerimine väga ebastabiilne. Sel puhul on vältimatu ülereguleerimine ja jagaja võnkumine oma keskasendi ümber. See toimub pikema aja jooksul pärast seda, kui muutus hüdrogeneraatori koormus, rakendus tsentrifugaalpendel ja nihutas jagaja ära selle keskmisest asendist.

Ülereguleerimise vältimiseks, reguleerimisprotsessi kiirendamiseks ja töö stabiilsuse suurendamiseks on kõik praegusaegsed regulaatorid varustatud tagasisideseadisega.

Tagasiside võib olla kas jäik või elastne, kusjuures viimane on palju liikuvam. Joonisel 285 on näidatud kaudse toimega regulaator *jäiga tagasisidega*. Sel juhul pöördub kangide süsteem, mis annab tsentrifugaalpendli liikumise edasi servomootori jagajale, mitte ümber toe liikumatu punkti, nagu see on näidatud joonisel 284, vaid ümber punkti *A*, mis *kaisenihkub* sõltuvalt reguleeriva kolvi *10* ja varda *11* nihkumisest. Kangide süsteemi liikumatuks punktiks on sel korral punkt *B*.

Vaatleme nüüd tagasisideseadisega varustatud regulaatori reguleerimisprotsessi pärast seda, kui kang *6* võttis asendi, mis joonisel 285 on näidatud punktiirjoonega *6'*. Kolvi vasakule liikumisel ja juhtaparaadi ava vähenemisel nihutab kolb liikumatus punktis *B* toetuva kangide süsteemi abil punkti *A* uude asendise *A'* *(6'')*. Kang *6*, pöördudes seejuures ümber šarniirühenduse muhvi *5* juures, tõstab oma parempoolse otsa *C* ja kiirendab jagaja *7* liikumist selle keskmisesse asendisse. Pärast seda reguleerimisprotsess lõpeb. Tsentrifugaalpendel jääb seejuures peatuma uude asendisse, mis vastab väikesele pöörlemiskiiruse suurenemisele.

Vastassuunalise reguleerimisprotsessi korral, s. o. generaatori koormuse suurenemisel, suurendab regulaator kiiresti turbiini ava, kuid pöörlemiskiirus jääb seejuures pisut väiksemaks kui varem. Reguleerimine on eriti agregaatide paralleeltöö korral täiesti stabiilne, kuid esineb küllaltki suur reguleerimise ebaühtlusaste, sest pöörlemiskiirus täiskoormusel võib erineda pöörlemiskiirusest tühijooksul 10—12% [31].

Elastse tagasisidega regulaatoritel ei esine seesugust ebaühtlust ja nad on kõige täiuslikumad automaatseadised hüdroagregaatide pöörlemiskiiruse reguleerimiseks mistahes töörežiimide korral.

Elastse tagasisidega seadistest räägitakse edaspidi üksikasjalisemalt üksikute regulaatoritüüpide käsitlemisel, mida kasutatakse maahüdroelektrijaamades.

Elastse tagasiside töötamise põhimõte seisab selles, et kangi *6* punkt *A* (joon. 285) ei nihku mitte kogu aeg võrdeliselt reguleeritava kolvi *10* nihkumisega; õlikataraktide või hõõrdmehhanismide kasutamisel saadakse teatud proportsionaalne muutumine.

Hüdroagregaatide paralleeltöö korral peab regulaator generaatori koormuse suurenemisel vähendama teatud määral antud agregaadi pöörlemiskiirust (piirides 3—5% nimikiirusest).

Reguleerimise ebaühtlusastmeks nimetatakse agregaadi maksimaalse ja minimaalse pöörlemiskiiruse vahe ning keskmise pöörlemiskiiruse suhet.

KIIRUSREGULAATORITE PÕHIKARAKTERISTIKUD

Hüdroturbiinide automaatsete kiirusregulaatorite üheks põhikarakteristikuks on nende *töövõime*. Regulaatori töövõime all mõistetakse hüdroturbiini juhtaparaadi täielikuks sulgemiseks vajatava maksimaalse jõu ja servomootori täiskäigu korrutist. Muudel reguleerimisrežiimidel, kui ei vajata turbiini täielikku sulgemist,

ületab regulaatori poolt arendatav jõud reguleerimissüsteemi takistusjõu.

Hüdroturbiinidele valitava automaatse regulaatori vajaliku töövõime leidmiseks on olemas rida empiirilisi valemeid. Üleliidulise Hüdromasinate Ehituse Instituudi (ВИГМ) uurimuste alusel [32] annavad aga kõik need valemid regulaatori töövõime kohta liialt suurendatud nõuded. Seepärast paneb ВИГМ ette reaktiivhüdroturbiinide regulaatorite vajaliku töövõime määramisel kasutada järgmist kahte valemit:

siisreguleerimisel:

$$A^{0,85} = 2{,}3\,\frac{P}{H^{3/4}};$$

välisreguleerimisel:

$$A^{0,85} = 1{,}4\,\frac{P}{H^{3/4}},$$

kus: A — regulaatori töövõime kgm;
P — hüdroturbiini võimsus kW;
H — surve m.

Nende valemite väljatoomisel arvestas ВИГМ hüdroturbiini täielikuks sulgemiseks vajaliku jõu varuteguriks 1,5÷2.

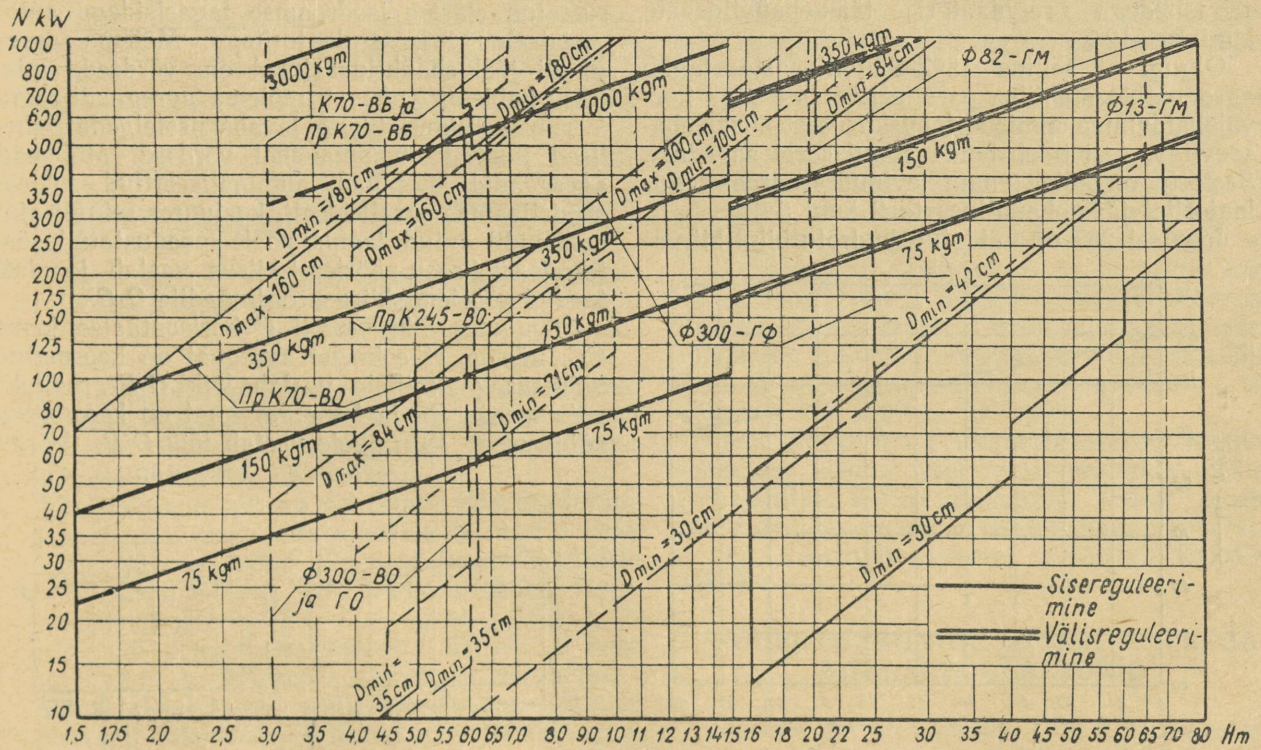
Praktilistes tingimustes kasutatakse regulaatori valiku kiirendamiseks joonisel 286 toodud ВИГМ nomogrammi, mis võimaldab leida regulaatori töövõimet sõltuvalt agregaadi võimsusest ja survest.

Väikese ja keskmise võimsusega hüdroelektrijaamades kasutatavate hüdroturbiinide jaoks lasevad tehased välja viit tüüpi automaatseid kiirusregulaatoreid järgmiste töövõimetega: 75, 150, 350, 1000 ja 3000 kgm. Joonisel 286 toodud nomogramm on koostatud automaatsete regulaatorite nimetatud töövõimete jaoks. Näiteks järeldub toodud nomogrammist, et regulaator töövõimega 1000 kgm sobib hüdroturbiinide siisreguleerimiseks alates võimsusest 330 kW 3 m surve korral ja lõpetades võimsusega 960 kW 15 m surve korral.

Peale regulaatori töövõime on oluline tähtsus ka hüdroturbiini juhtaparaadi sulgemise ehk regulaatori kolvi täiskäigu ajal. Agregaatide stabiilse töö tagamiseks on soovitav, et see aeg oleks võimalikult lühike.

Juhtaparaadi liiga kiire sulgemine võib siiski põhjustada ebasoovitavaid tagajärgi, nagu ülemäärast surve suurenemist juurdevoolutorustikus ja mõnikord ka hüdraulilisi lööke, mis toovad endaga kaasa vee juurdevooluseadmete ja ehitiste purunemise. Nimetatud nähtuste vältimiseks tuleb mõnikord regulaatori toimimisaega suurendada.

Väikese ja keskmise võimsusega turbiinide automaatsete kiirusregulaatorite sulgemise aeg on ligikaudu 1,5 sekundit; suurte turbiinide kor-



Joon. 286. Nomogramm kiirusregulaatorite töövõime leidmiseks.

ral suureneb see aeg kuni 5—7 sekundini. Avamise aeg võetakse enamikel regulaatoritel võrdseks juhtaparaadi sulgemise ajaga.

Reguleerimise ebaühtlusastmel, millest räägiti jäiga tagasisidega regulaatori põhimõtteskeemi arutamisel, on oluline tähtsus hüdroagregaatide stabiilse paralleeltöö väljareguleerimisel. Paralleeltööks on vajalik stabiilne reguleerimiskarakteristik, s. t. generaatori koormuse suurenemisel peab antud agregaadi pöörlemiskiirus teatud suuruse võrra vähenema.

Reguleerimise jääk-ebaühtlusastmeks nimetatakse tühijooksul ja maksimaalsel koormusel esinevate agregaadi võlli pöörlemiskiiruste vahe ja keskmisel koormusel esineva võlli pöörlemiskiiruse suhet. Saame järgmise valemi:

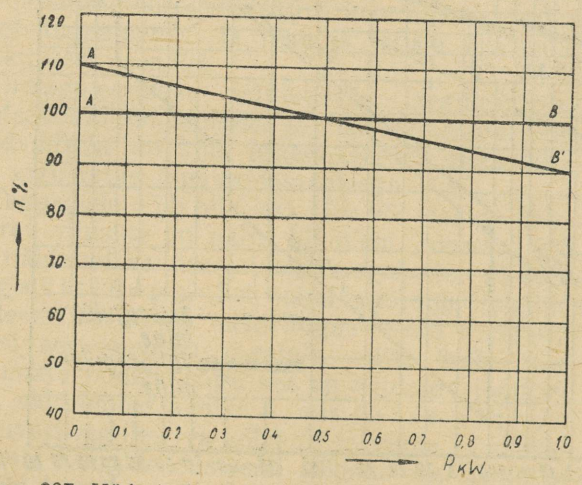
$$\delta = \frac{n_{maks} - n_{min}}{n_n} = 2\,\frac{n_{maks} - n_{min}}{n_{maks} + n_{min}},$$

kus: n_n — agregaadi nimipöörlemiskiirus;
n_{maks} — agregaadi pöörlemiskiirus tühijooksul;
n_{min} — agregaadi pöörlemiskiirus piirkoormusel;
δ — reguleerimise jääk-ebaühtlusaste.

See suurus väljendatakse sageli protsentides, milleks ebaühtlusastme suhteline suurus tuleb korrutada 100-ga. Nagu ülal nimetatud, on jäiga tagasisidega regulaatori jääk-ebaühtlusaste kuni 10—12%.

Olgugi et selline jääk-ebaühtlusaste tagab agregaatide stabiilse paralleeltöö, on suur kõrvalekaldumine nimipöörlemiskiirusest siiski ebasoovitav, sest tuleb hoida standardset sagedust. Seetõttu on kõige enam levinud isodroomregulaatoritel jääk-ebaühtlusaste 2 kuni 5%.

Joonisel 287 on näidatud hüdroturbiini kiirusregulaatori reguleerimiskarakteristikud, mis näitavad pöörlemiskiiruse sõltuvust agregaadi koormusest. Isodroomregulaatorite reguleerimiskarakteristik on sirgjoon *AB*, mis kulgeb paralleelselt abstsissteljega (astaatiline karakteristik). Jääk-ebaühtlusega regulaatorite karakteristik *A'B'* on sirgjoon, mis langeb koormuse suurenemise suunas (staatiline karakteristik). Seega, nagu ülal nimetatud, hoiavad isodroomregulaatorid erinevate koormuste korral turbiini kiiruse konstantsena, kuna jääk-ebaühtlusega isodroomregulaatorite korral koormuse suurenemisel hüdroturbiini kiirus väheneb.



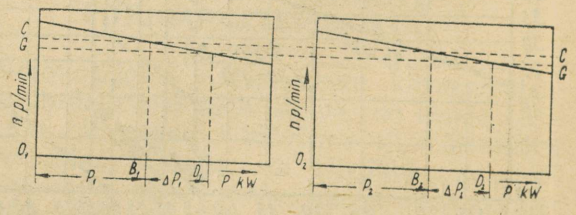
Joon. 287. Hüdroturbiini kiirusregulaatorite reguleerimiskarakteristikud.

Iga reguleerimiskarakteristikut võib nihutada paralleelselt oma põhiasendist üles või allapoole, reguleerides käsitsi agregaadi pöörlemiskiiruse muutmise mehhanismi.

Hüdroagregaatide stabiilne paralleeltöö ja õige koormuse jaotamine nende vahel on võimalik ainult sel juhul, kui regulaatoritel on teatud jääk-ebaühtlusastmega kaldkarakteristikud (staatilised karakteristikud). Paralleelselt töötavate agregaatide vahel jaotatakse koormus automaatselt järgmiselt: need agregaadid, milledel on suurem jääk-ebaühtlusaste, võtavad endale väiksema osa lisakoormusest ja ümberpöördult, agregaadid, milledel on väiksem jääk-ebaühtlusaste, võtavad endale suurema osa koormusest.

Joonisel 288 on toodud kahe hüdroagregaadi reguleerimiskarakteristikud. Agregaadid on varustatud elastse isodroomse tagasisidega automaatsete kiirusregulaatoritega. Mõlema agregaadi jääk-ebaühtlusastmed on võrdsed, mistõttu kaldenurgad, s. t. mõlema agregaadi reguleerimiskarakteristikute ja abstsisstelgede vahelised nurgad on omavahel võrdsed. Mõlemad agregaadid töötavad automatiseeritud hüdroelektrijaamas paralleelselt, kusjuures mingil ajamomendil antud jaama poolt moodustatud süsteemi sünkroon-pöörlemiskiirus vastab joonisel toodud pöörlemiskiiruse ordinaadile O_1C.

Tõmmates läbi punkti *C* horisontaalse joone *CC*, näeme, et esimene agregaat on koormatud võimsusega, millele vastab lõik O_1B_1, näiteks võimsusega P_1, ja teine agregaat on koormatud võimsusega P_2, millele vastab lõik O_2B_2. Võrgu

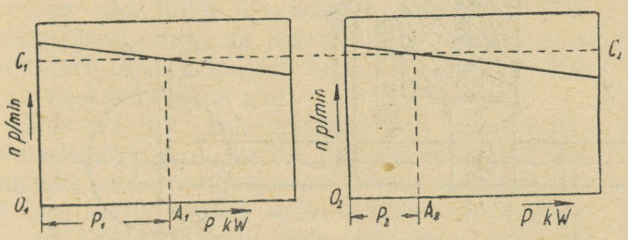


Joon. 288. Agregaatide ühesuguse ebaühtlusastmega reguleerimiskarakteristikud.

koormuse suurenemisel suurendavad mõlemad agregaadid oma võimsust ja kaldkarakteristikute tõttu väheneb teatud määral nende pöörlemiskiirus. Oletame, et vaadeldavas kohalikus energiasüsteemis uus sünkroonpöörlemiskiirus vastab ordinaattelje lõigule O_1G. Tõmbame läbi punkti G horisontaaljoone ja joone GG ning mõlema agregaadi karakteristiku lõikepunktidest langetame joone risti abstsissteljele. Leiame, et kummagi agregaadi võimsus suureneb võrdse suuruse võrra, sest karakteristikute võrdsete kaldenurkade korral on lõigud B_1D_1 ja B_2D_2 omavahel võrdsed, s. t. lisavõimsus $\triangle P_1$ on võrdne lisavõimsusega $\triangle P_2$.

Agregaatide võimsuse suurendamise või vähendamise protsess toimub seejuures automaatselt, ilma teeninduspersonali osavõtuta. Kui on vaja koormust agregaatide vahel ümber jaotada, näiteks seoses ühe agregaadi seiskamisega, siis reguleeritakse agregaatide pöörlemiskiiruse muutmise mehhanismi käsitsi. Ühe agregaadi karakteristikut nihutatakse oma esialgsest asendist paralleelselt endaga ülespoole ja teisel agregaadil — oma esialgsest asendist allapoole. Seejuures esimene agregaat koormatakse ja teiselt agregaadilt võetakse koormust ära.

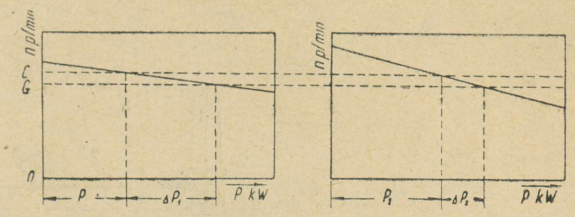
Joonisel 289 on näidatud asend, kus pöörlemiskiiruse muutmise mehhanismi reguleerimise



Joon. 289. Ühe agregaadi reguleerimiskarakteristiku nihutamine pöörlemiskiiruse muutmise mehhanismi reguleerimisega.

tagajärjel üks agregaatidest töötab suurendatud ja teine vähendatud koormusega, vaatamata sellele, et mõlemate agregaatide reguleerimise jääk-ebaühtlusaste on võrdne.

Teistsugune pilt on erinevate jääk-ebaühtlusastmetega agregaatide paralleeltöö korral. Joonisel 290 on toodud üldistele kogumislattidele paralleelselt töötava kahe hüdroagregaadi reguleerimiskarakteristikud, kus agregaadid ise on erinevate ebaühtlusastmetega. Näites on teise agregaadi ebaühtlusaste suurem esimese omast. Antud elektrijaama poolt teenindava kohaliku süsteemi sünkroonpöörlemiskiirus vastab ordinaattelje lõigule OC. Kummagi agregaadi koormus on vastavalt P_1 ja P_2. Süsteemi koormuse suurenemisel sünkroonpöörlemiskiirus väheneb ja vastab siis ordinaattelje lõigule OG. Tõmmates läbi punkti G horisontaaljoone, leiame, et väikese jääk-ebaühtlusastmega esimene agregaat võtab endale lisakoormuse $\triangle P_1$ ja teine — suure jääk-ebaühtlusastmega agregaat — lisakoormuse $\triangle P_2$, mis, nagu jooniselt näha, on tunduvalt väiksem kui $\triangle P_1$.



Joon. 290. Erinevate ebaühtlusastmetega paralleelselt töötavate agregaatide reguleerimiskarakteristikud.

Reguleerides pöörlemiskiiruse muutmise mehhanismi, võib ka sel juhul saada koormuse mistahes jagunemise paralleelselt töötavate agregaatide vahel. Tuleb veel kord rõhutada seda, et kui ühe agregaadi reguleerimiskarakteristik oleks horisontaalne, s. t. jääk-ebaühtluseta, siis oleks stabiilne paralleeltöö võimatu. Väiksematki koormuse muutust võrgus kannaks sel korral ainult horisontaalse reguleerimiskarakteristikuga agregaat. Juhul kui mõlemad agregaadid oleksid horisontaalse reguleerimiskarakteristikuga, oleks koormuse jaotumine mõlemate agregaatide vahel juhuslik ja ebastabiilne.

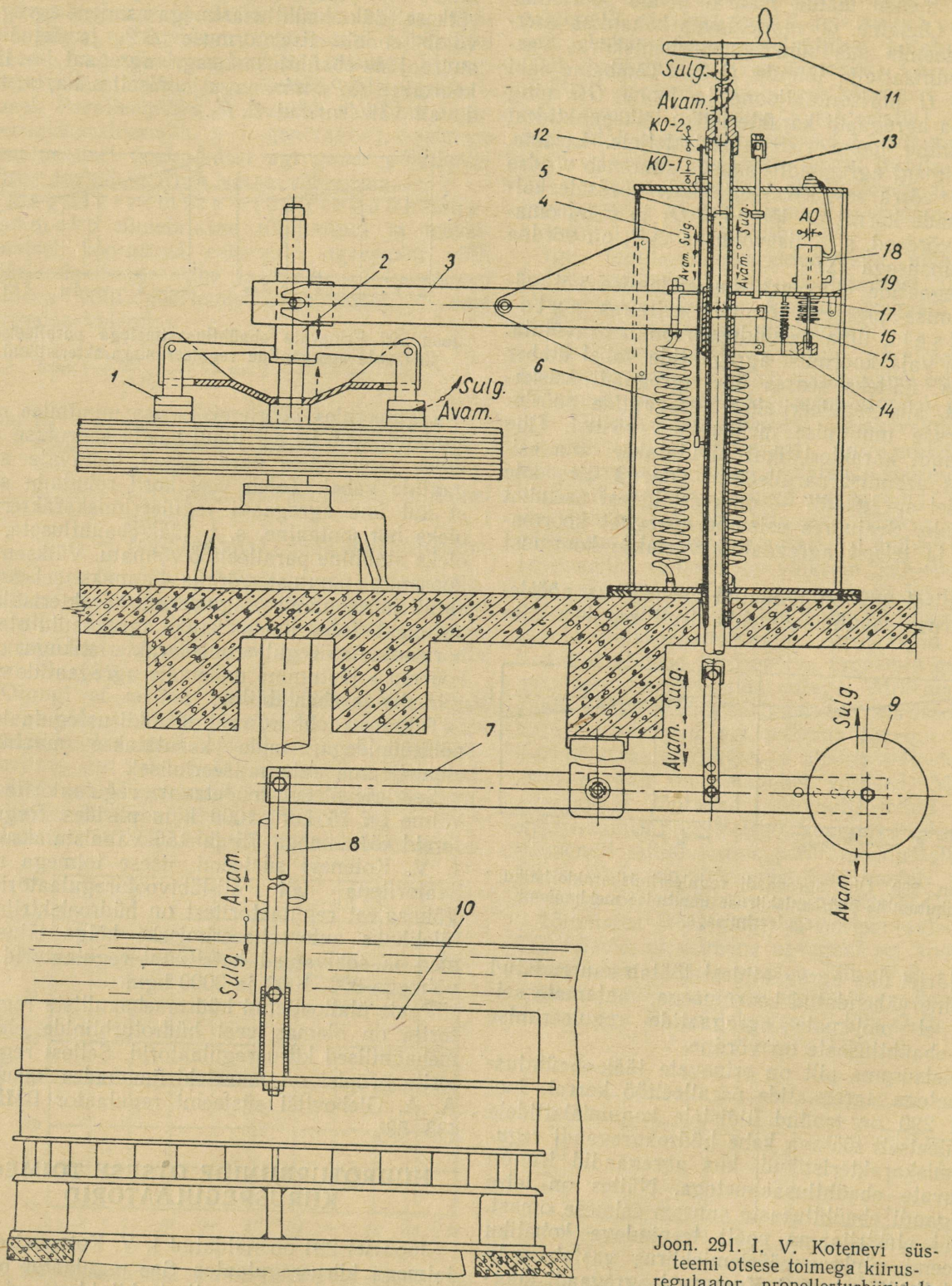
Tutvume hüdroturbiini kiirusregulaatorite põhitüüpidega, mida kasutatakse maahüdroelektrijaama automatiseerimisel.

Seeriaviisiliselt toodetavate regulaatorite töövõime on 75 kuni 1000 kgm piirides. Regulaatoreid töövõimega 75 ja 150 valmistatakse kas I. V. Kotenevi süsteemi otsese toimega regulaatoritena või õli-läbivooluregulaatoritena. Võimsatest regulaatoritest on hüdroelektrijaama täielikuks automatiseerimiseks kõige täiuslikumad ja sobivamad kateltüüpi regulaatorid töövõimega 350, 1000 ja 3000 kgm.

Peale ülalloetletud hüdromehaaniliste regulaatorite on olemas veel hüdroturbiinide elektromehaanilised kiirusregulaatorid. Sellest regulaatorite grupist on maaelektrijaamades kasutatav A. A. Glebovitši süsteemi regulaator ВИМЭ-Г [33, 53].

HÜDROTURBIINIDE OTSESE TOIMEGA KIIRUSREGULAATORID

Joonisel 291 on näidatud I. V. Kotenevi otsese toimega kiirusregulaator. See regulaator on sobiv vertikaalsete propellerturbiinidega väikeste



Joon. 291. I. V. Kotenevi süsteemi otsese toimega kiirusregulaator propellerturbiinidele.

hüdroelektrijaamade automatiseerimiseks. Turbiini käsitsi juhtimisel tõstab käsiratta *11* kruvi allaliikumine varda *5*, kangi *7* ja tõmbevarda *8* abil silinderkilpi *10* ja ülesliikumisel laseb kilpi allapoole. Kilp ümbritseb hüdroturbiini tööratast ja sellega reguleeritakse vee juurdepääsu töörattale.

Automaatse juhtimise korral reguleeritakse vee andmist turbiini tsentrifugaalpendli abil, mis on kinnitatud hüdroturbiini võllile. Pendli vihid, olles võlli pöörlemisel tekkiva tsentrifugaaljõu mõju all, nihutavad piki võlli liikuvat muhvi *2*, mis on ühendatud kahvlikujulise kangiga *3*, mis on omakorda ühendatud liikuva traaversiga *19* ning toruga *4*.

Toru sees asub varras, mis automaatse juhtimise korral ühendatakse toruga toe *15* abil, viimane lükatakse läbi toru *4* pilu varda *5* avasse. Seega käsiratta *11* asemel automaatse reguleerimise korral juhib reguleerimisprotsessi pendel *1* muhvi *2*, kahvli *3*, varda *5*, kangi *7*, varda *8* ja silinderkilbi *10* abil.

Pendli poolt silindrilise kilbi tõstmiseks vajatava jõu vähendamiseks on ülekandesüsteemis vastukaal *9* ja vedru *6*, mis mõjuvad kilbi tõstmisel samas suunas kui pendel. Nimipöörlemiskiiruse sätet reguleeritakse vedru *6* pingsusega. Automaatsele juhtimisele üleviimisel tuleb käsiratas *11* koos temaga ühendatud käsijuhtimiskruviga viia kõige ülemisesse asendisse. Kui automaatse juhtimise korral võtta varras *5* regulaatori toru *4* küljest lahti, siis langeb kilp oma raskuse mõjul alla.

Hüdroturbiini automaatseks või distantseks seiskamiseks, s. t. varda ja toru sidestuse distantseks katkestamiseks, on liikuvale traaversile *19* üles seatud avariilise seiskamise elektromagnet *18*. Töötamise ajal läbib elektromagneti pooli pidevalt vool ja hoiab ankru, millega on ühendatud löökvarras *16*, tõmbunud asendis.

Kui elektromagneti vooluahel hüdromehaanilise või elektrilise kaitserelee avanevate kontaktide tõttu või distantsjuhtimise nupule vajutamisel katkeb, siis vabaneb löökvarras. Vedru *17* mõjul pöördub kaheõlgne kang *14* ja vabastab omakorda toe *15*. Pärast seda langeb kilp vabalt alla ja suleb vee juurdepääsu hüdroturbiini töörattale.

Traaversi *19* külge on kinnitatud avapiiraja *13*, mis ei luba varrast langeda allapoole kindlaks määratud taset ja sellega piirabki silinderkilbi *10* tõstmise kõrgust. Avanäitaja *12* on ühendatud vardaga ja toodud välja regulaatori välisküljele ning ta võimaldab jälgida hüdroturbiini töörattale vee juurdejuhtimissüsteemi ava suurust.

I. V. Kotenevi süsteemi otsese toimega regulaator sobib propellerturbiinidele ПРК70-ВО60 ja ПРК70-ВО80, mis on ette nähtud reguleerimiseks silinderkilpidega ja varustatakse nimetatud regulaatoriga. Võimsused, millele need hüdroturbiinid on arvestatud 5 m surve korral, on vastavalt 60 ja 100 kW.

Kodumaa tehastes seeriaviisiliselt valmistatavaid otsese toimega automaatseid regulaatoreid võib asendada kaudse toimega õliregulaatoritega, millede töövõime on kuni 200 kgm ja mida kasutatakse propellerturbiinide korral võimsusega kuni 100 kW.

Reguleerimise jääk-ebaühtlusaste on tehase andmetel 6—7% piirides ja seega sobivad I. V. Kotenevi süsteemi regulaatoritega varustatud turbiinid paralleeltööks.

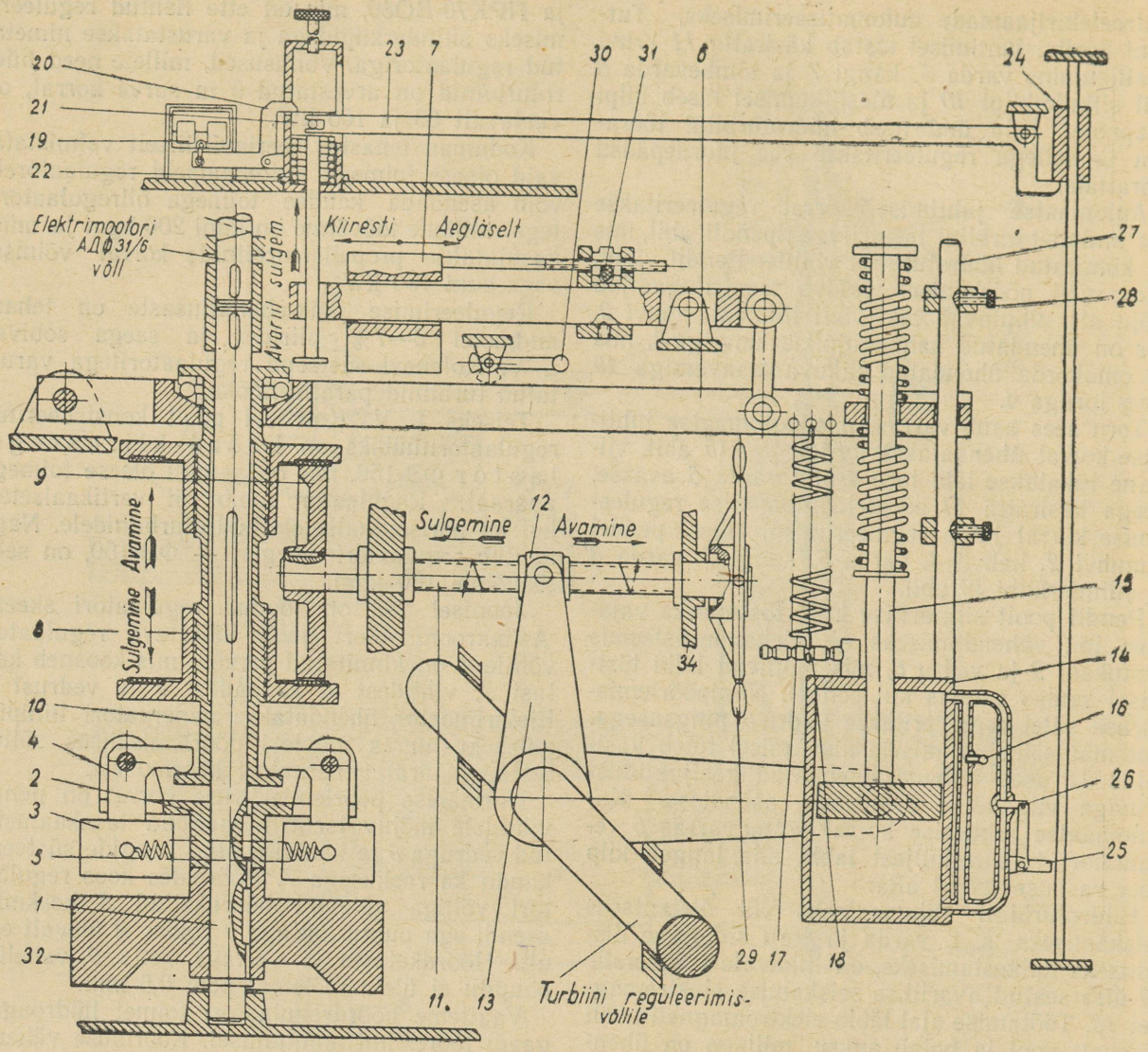
Teiseks I. V. Kotenevi poolt konstrueeritud regulaatoritüübiks on hõõrd-kiirusregulaator ФЭ-150, mis on samuti otsese toimega aparaat. Regulaator sobib nii vertikaalsetele kui ka horisontaalsetele hüdroturbiinidele. Nagu nähtub regulaatori margist — ФЭ-150, on selle töövõime 150 kgm.

Joonisel 292 on toodud regulaatori skeem. Asünkroonmootori poolt käitatava regulaatori võllile *1* on kinnitatud pendel, mis koosneb kestast *2*, vihtidest *3*, käppadest *4* ja vedrust *5*. Elektrimootor ühendatakse generaatori liinipingele, kusjuures mootori pöörlemiskiirus sõltub teatud määral generaatori koormusest.

Normaalse pöörlemiskiiruse korral on pendli vihtidele mõjuv tsentrifugaaljõud tasakaalustatud vedruga *5* ja kahvli *6* ning kangide süsteemi kaudu ka raskusega *7*. Pööreldes koos regulaatori võlliga võtavad hõõrdkettad *8* keskmise asendi ega puutu kettaga *9* kokku ei ülevalt ega alt. Hõõrdketaste ja veetava ketta *9* vaheline õhupilu ei ületa mõlemal pool 0,5 mm.

Vaatleme hõõrdregulaatori toimet hüdroagregaadi töörežiimi muutumisel. Koormuse vähenemisel suureneb hüdroagregaadi pöörlemiskiirus; vahelduvvoolu sagedus suureneb samuti ja koos sellega suureneb ka elektrimootori, regulaatori võlli ja pendli pöörlemiskiirus.

Pendli vihtidele mõjuv tsentrifugaaljõud püüab neid laiali tõmmata, kusjuures vihtide noad *4* suruvad spindli *10* alla ja seetõttu ülemine hõõrdketas *8* surutakse vastu veetavat ketast *9*. Tuleb arvestada seda, et spindel *10* pöörleb koos regulaatori võlliga ja võib mööda seda võlli nihkuda üles ja alla. Ülemise hõõrdketta mõjul hakkab veetav ketas *9* pöörlema kellaosuti liikumise suunas, kui vaadata käsiratta poolt. Koos kettaga pöörleb samas suunas ka juhtkruvi *11* ja nihutab juhtkruvi peal olevat mutrit *12*. Mutri nihkumisel pöördub hüdroturbiini reguleerimisvõlliga jäigalt kinnitatud kaheharuline kang *13*, mis vähendab juhtaparaadi ava.



Joon. 292. Hõõrd-kiirusregulaator ФЭ-150.

Agregaadi koormuse suurenemisel toimub reguleerimisprotsess vastupidises järjekorras, s. t. agregaadi pöörlemiskiirus algul väheneb ja käitab regulaatori selliselt, et vastu veetavat ketast *9* surutakse mitte ülemine, vaid alumine hõõrdketas ja juhtaparaat avaneb. Pärast seda taastub agregaadi pöörlemiskiirus teatud jääkebaühtlusega ligikaudu normaalpöörlemiskiirusele.

Hõõrdregulaator ФЭ-150 on varustatud elastse tagasisidega, millega hoitakse ära üle reguleerimine ja reguleerimise ajal tekkiv kestev võnkumine. Tagasiside süsteemis on õlikatarakt, mis koosneb õliga täidetud silindrist *14* ja vardast *15*. Katarakti silindri nihutamisel, mis on ühenduses kaheharulise kangiga *13*, voolab õli aeglaselt silindri ühest poolest teise läbi drosseli *16*, mille reguleerimisega võib suurendada või vähendada õli voolamise kiirust.

Koormuse äralangemisel nihkub mutter *12* kiiresti mööda kruvi ja suleb juhtaparaadi — pöörates kaheharulist kangi. See kang ei mõju mitte ainult turbiini reguleerivale võllile, vaid samaaegselt nihutab üles ka katarakti silindrit *14*. Õli ei saa drosseli tõttu voolata kiiresti alumisest silindri osast ülemisesse ja jõud kantakse edasi vardale *15*, mis surub kahvli *6* üles. Elastse tagasiside tõttu katkeb hõõrdketta aheldus vajalikul momendil, mistõttu ei esine ülereguleerimist ja reguleerimisprotsess toimub kii-

resti. Koormuse suurenemisel on regulaatori mõju sarnane kirjeldatuga, kuid ainult vastupidises suunas.

Regulaatori jääk-ebaühtluse muutmiseks asetatakse ümber kangi *18* ja kahvli *6* vaheline vedru *17*. Töötavates hüdroelektrijaamades regulaatori katsetamistulemuste andmetel võib jääk-ebaühtlus muutuda 3—8% piirides, mis tagab stabiilse paralleeltöö. Agregaadi pöörlemiskiirust muudetakse paralleeltöö korral käepideme *31* pööramisega. Raskuse *7* paremale või vasakule nihutamisega mõjub regulaatori spindlile suurem või väiksem jõud, mistõttu ketaste tasakaaluseisu viimiseks vajatakse suuremat või väiksemat pendli vihtide tsentrifugaaljõudu, s. t. suuremat või väiksemat pendli (hüdroagregaadi) pöörlemiskiirust.

Regulaator on varustatud avapiiramismehhanismiga, mis on eriti vajalik ekspluatatsiooni tingimustes. Avapiiraja varras *27* on jäigalt ühendatud kaheharulise kangiga *13* ja seetõttu on selle käik võrdeline reguleeriva võlli pöördumisega, mis mõjub hüdroturbiini juhtaparaadile. Avapiiraja varda nihkumine on tõkestatud muhviga *28,* kusjuures avapiiraja varras ise on turbiini juhtaparaadi avanäitajaks.

Agregaadi käsitsi reguleerimisel, käsitsi käivitamisel või seiskamisel, samuti hüdroelektrijaama automaatse juhtimisseadise rikke korral minnakse üle agregaatide käsireguleerimisele. Automaatsel juhtimisel on käsiratas *29* keeratud korpuse kruvi külge ja ümberlüliti käepide *30* asetseb asendis «automaat» («автомат»). Üleminekul käsireguleerimisele tuleb ümberlüliti käepidet pöörata asendisse «käsitsi» («ручное»); käepideme hoob surub kahvlile ja viib selle niisugusesse asendisse, kus kumbki hõõrdeketastest ei puuduta veetavat ketast *9*. Pärast seda keeratakse käsijuhtimisratas regulaatori korpuse kruvi küljest lahti ja kinnitatakse kiiluga juhtratta kruvi *11* külge. Käsiratta ja koos sellega ka kruvi pööramisel nihkub mutter piki oma telge, nihutades seejuures mutriga ühendatud kangi ja hüdroturbiini reguleerivat võlli.

Regulaator on varustatud ka veel hüdroagregaadi avariilise seiskamise mehhanismiga. Selle mehhanismi põhielemendiks on elektromagnet *19*, mida toidetakse faasipingega võrgust, millest toidetakse ka regulaatori elektrimootorit. Elektromagneti pooli vooluahel läbib automaatsüsteemi kaitse väljuvrelee normaalselt suletud kontakte.

Agregaadi normaalse töö korral on elektromagneti ankur alati tõmbunud olekus ja temaga ühendatud lühike kang *20* ei võimalda vedru kokkusuruvat nokka *21* ülespoole tõusta. Tapiga ühendatud pikk kang *23* hoiab seejuures langetatavat raskust *24*. Kaitse toimimisel või avariide korral, mis on seotud generaatori ergutuse kadumisega, langeb elektromagneti ankur oma raskuse ja vedru mõjul allapoole, vabastab noka *21,* mis vedru mõjul nihkub ülespoole ja tõstab endaga kaasa raskuse ning kangide süsteemi abil surutakse kahvel allapoole. Ülemine ketas sidurdatakse ja hooratas viib inertsjõu mõjul mutri *12* kuni juhtaparaadi täieliku sulgemise asendisse. Üheaegselt elektromagneti ankru langemisega vabastab kang *23* raskuse *24,* mis alla langedes tõukab vastu õlikatarakti kangi *25,* mistõttu avaneb kraan *26;* õli voolab vabalt katarakti silindri ühelt poolelt teisele ega takista juhtaparaadi sulgemist.

Hüdroturbiini hõõrd-kiirusregulaator kuulub selliste regulaatorite hulka, millede mõõteorganit (pendlit) juhitakse asünkroonmootori abil, s. o. asünkroonse sidestusega. Moment mootori võllil sõltub tema klemmidele rakendatavast pingest. Pinge vähenemisel libistus suureneb. Seetõttu peavad asünkroonse sidestusega regulaatorite õige töö tagamiseks agregaatide generaatorid olema varustatud automaatse ergutusregulaatoriga — pingeregulaatoritega või kompaundeerimisseadistega (vt. seitsmes peatükk).

LÄBIVOOLU-KIIRUSREGULAATORID ELEKTRIAJAMIGA ПЭ

Läbivooluregulaatorid kuuluvad kaudse toimega regulaatorite hulka, millede juures surutõli antakse pidevalt töötava pumbaga vahetult jagajasse. Joonisel 293 on toodud läbivooluregulaatori põhimõtteskeem. Hammasrataspump *1* surub õli jagaja karpi *2,* kust see, sõltuvalt jagaja asendist, voolab kas servomootori *3* silindri parempoolsesse või vasakpoolsesse kambrisse või läbi äravoolutorustiku õlireservuaari *4*. Kui jagaja on keskasendis, ei pääse õli servomootorisse ja voolab pidevalt reservuaari. Seepärast nimetataksegi seda regulaatorit läbivooluregulaatoriks.

Jagajat nihutab tsentrifugaalpendel *5,* mida käitab hüdroagregaadi generaatori klemmidelt toidetav asünkroonmootor. Mõnel juhul võib pendlit käitada hüdroturbiini võllilt mehaanilise ülekande abil.

Ülereguleerimise vältimiseks on tagasisidemehhanism *7*. Servomootori kolviga ühendatud varras *8* mõjub kangsüsteemi *9* kaudu hüdroturbiini juhtaparaadi ava reguleerimise mehhanismile.

Varras *8* on teise otsaga ühendatud tagasisidemehhanismiga.

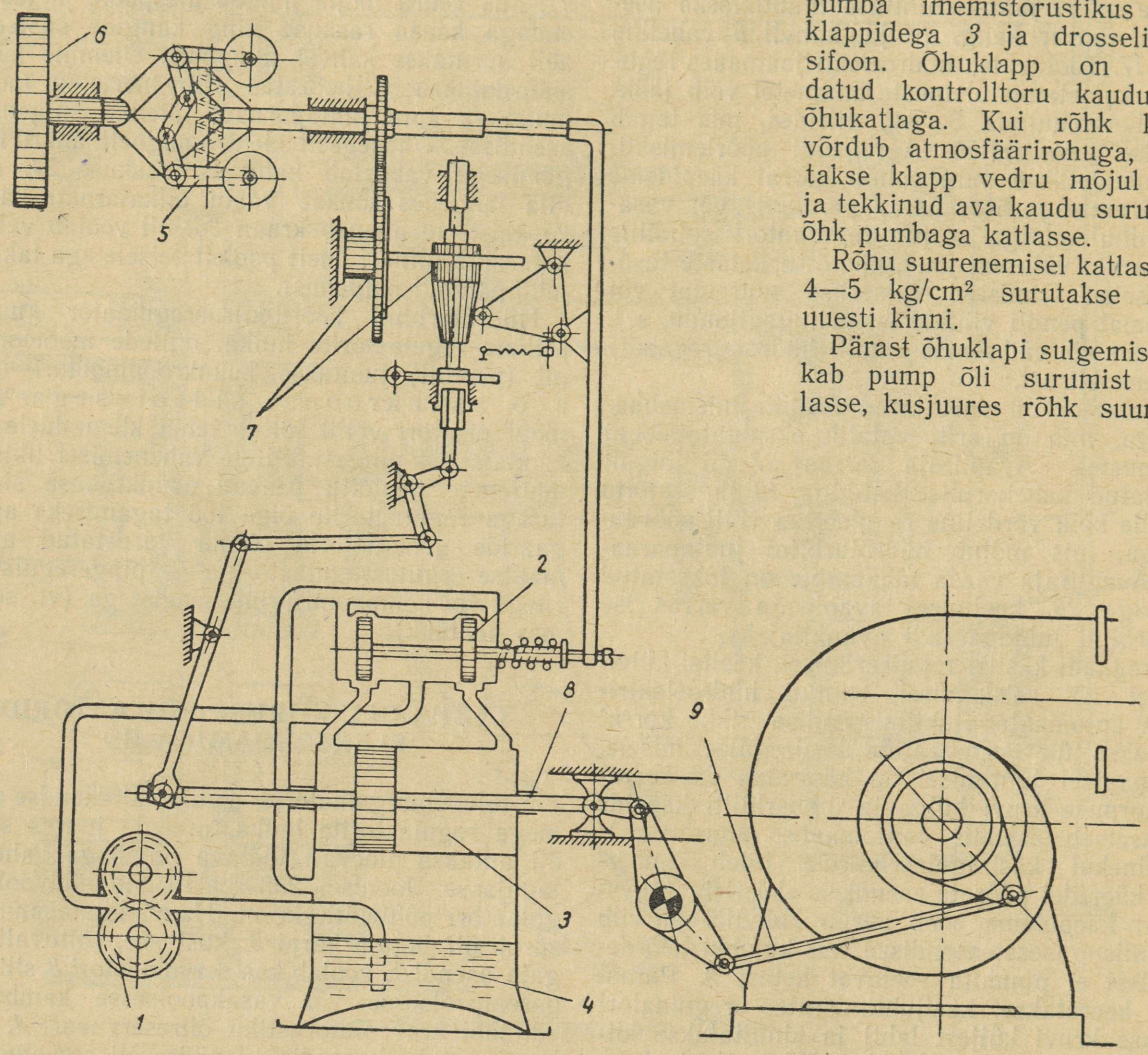
Joonisel 293 toodud skeemi järgi töötavatel läbivooluregulaatoritel puudub seadis, mis või-

maldaks avarii korral sulgeda turbiini juhtaparaati. Kuid selline seadis on väga vajalik automatiseeritud hüdroelektrijaamades.

Hammasrataspump *1*, mida käitatakse 1,5 kW asünkroonmootoriga, pumpab katlasse *2* õli ja õhku. Katla automaatseks täitmiseks õhuga on pumba imemistorustikus õhuklappidega *3* ja drosseliga *4* sifoon. Õhuklapp on ühendatud kontrolltoru kaudu õli-õhukatlaga. Kui rõhk katlas võrdub atmosfäärirõhuga, surutakse klapp vedru mõjul lahti ja tekkinud ava kaudu surutakse õhk pumbaga katlasse.

Rõhu suurenemisel katlas kuni 4—5 kg/cm² surutakse klapp uuesti kinni.

Pärast õhuklapi sulgemist jätkab pump õli surumist katlasse, kusjuures rõhk suureneb



Joon. 293. Läbivoolu-kiirusregulaator.

Hüdromasinate ehitamise tehased toodavad täiustatud läbivooluregulaatoreid, mis on varustatud lisaks õli-õhukatlaga, kus energia on salvestatud suruõhu näol. See katel võimaldab turbiini sulgeda agregaadi avarii korral.

Glavhimmaši tehnilise informatsiooni bülletäänis toodud andmete järgi on joonisel 294 näidatud seeriaviisiliselt toodetava katel-läbivooluregulaatori ПЭ-150 skeem. Regulaatori töövõime on 150 kgm. Regulaatori konstruktsioon on välja töötatud Hüdromasinate Ehituse Üleliidulise Instituudi ja Hüdromasinate Ehituse Keskkonstruktsioonibüroo poolt.

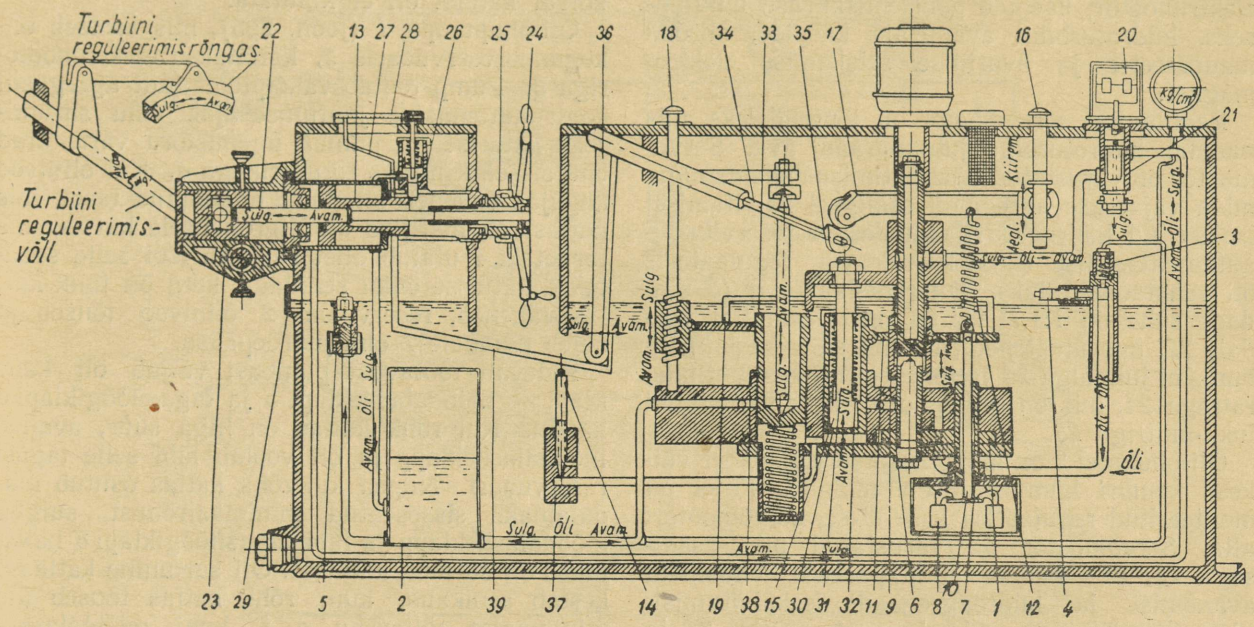
sättesuuruseni, s. o. 8 kuni 18 kg/cm². Rõhk hoitakse konstantne väljalaskeklapi *5* abil, mis avanemisel laseb õli katlast voolata regulaatori õlivanni.

Drosseli *4* ülesandeks on täiendada õhuvaru, mis osaliselt kulub regulaatori töötamisel. Õli-õhuhammasrataspumbal *1* on kaks võlli: veovõll *6* (mis on ühendatud elektrimootori võlliga) ja veetav võll *7*, mis pöörleb koos temale kinnitatud vihtidega *8* varustatud tsentrifugaalpendliga.

Veovõllile on puuritud telgkanal, mille kaudu antakse õli jagajasse *9*, mis kujutab endast

muhvi. Muhvi sisemisel pinnal liigub kahe äärisega ja väljalaskeavadega toru. Jagaja nihkub pendli varda nihkumise mõjul piki veovõlli, mis on ühendatud traaversi *11* kaudu jagaja kestaga.

Varda *10* ülemine ots on riputatud vedru *12* külge ja varras läbib veovõlli *7* telgava, kus-



Joon. 294. Läbivoolu-kiirusregulaatori ПЭ-150 skeem.

juures veovõll pöörleb koos pendliga. Varda alumisele otsale mõjuvad pendli vihtide käpad, tõmmates teda agregaadi pöörlemiskiiruse suurenemisel allapoole. Ülespoole tõmmatakse varrast vedru *12* mõjul. Koos vardaga tõstetakse ja langetatakse traaversit *11* ja jagajat *9*.

Varda liikumisel allapoole avab regulaatori jagaja õlile väljavoolu veovõlli ülemisest avast, mis on ühendatud diferentsiaal-servomootori suure (skeemil vasakpoolse) kambriga. Õli voolab sellest kambrist õlitorustikku, rõhk kambris langeb ja kolb *13* hakkab liikuma diferentsiaal-servomootori väikeses kambris oleva konstantse õlirõhu mõjul, mis antakse õlitorustiku kaudu katlast *2*. Kolb liigub vasakule (joonise järgi), hüdroturbiini juhtaparaadi sulgemise suunas. Agregaadi ja koos sellega ka pendli pöörlemiskiiruse vähenemisel ühendab jagaja ülespoole liikumisel servomootori mõlemad kambrid. Seetõttu rõhk servomootorite kambrites tasakaalustub ja kolb liigub hüdroturbiini juhtaparaadi avamise suunas, sest rõhu poolt suurele pinnale arendatav jõud ületab jõu väikesele pinnale.

Regulaator ПЭ-150 on varustatud jäiga ja elastse tagasiside seadistega, tagades nendega stabiilse reguleerimise hüdroagregaatide isoleeritult ja paralleelselt töötamise mistahes režiimidel.

Drosseli *14* abil saab muuta jääk-ebaühtlusastet 0 kuni 5% piirides. Drossel on ühendatud liikuva isodroom-mehhanismiga *15*, mis oma-

korda on ühendatud regulaatori jagajaga *9*. Agregaadi pöörlemiskiiruse sätet muudetakse pendli vedru *12* pingsuse reguleerimisega. Selleks kasutatakse käepidet *16*, mille pööramisel pöördub kang *17* ja muudab vedru *12* pingsust. Hüdroturbiini juhtaparaadi ava piiramiseks on käepide *18*, mis kangi *19* abil muudab peajagaja asendit.

Agregaadi avariilise seiskamise mehhanism koosneb elektromagnetist *20* ja jagajaseadisest *21*, mis on monteeritud peajagajat servomootori suure kambriga ühendavale õlitorustikule.

Hüdroagregaadi kaitse rakendumisel või avariilisele distantsseiskamisnupule surumisel jääb elektromagneti *20* toiteahel vooluta. Elektromagneti ankruga ühendatud jagaja langeb vedru mõjul ja avab õlile väljavoolu servomootori suurest kambrist. Rõhk selles kambris väheneb atmosfäärirõhuni ja katla õlirõhu mõjul liigub kolb hüdroturbiini juhtaparaadi sulgemise suunas.

Regulaatori ПЭ põhiosaks on juhtimissõlm, kuhu on koondatud tsentrifugaalpendel, õlipump, elektrimootor, jagaja, tagasisidemehhanism,

avapiiraja ja samuti ka agregaadi pöörlemiskiiruse muutmise ja avariilise seiskamise mehhanismid.

Regulaatori kõik töötavad organid asetsevad õlis, mis on valatud regulaatori aluskeresse. Juhtimissõlme katte peale on välja toodud: elektrimootor, käepide pöörlemiskiiruse muutmiseks, hüdroturbiini avapiiraja käepide, õlirõhu manomeeter ja avariilise seiskamise elektromagnet.

Regulaatori servomootor on jõuseadiseks, mis muudab hüdroturbiini juhtaparaadi ava. Servomootor on varustatud käsijuhtimismehhanismiga, mida vajatakse agregaadi esialgsel käivitamisel isoleeritud hüdroelektrijaamades ja reserviks — automaatseadise rikke korral või regulaatoris õli vahetamise ajaks. Diferentsiaalkolvi *13* pindade suhe on 1:1,7 ja ta on kinnitatud vardale *22*, mis ühelt poolt on ühendatud väntmehhanismi juhikuga *23* ja teiselt poolt käsijuhtimisrattaga *24*, mis on selleks otstarbeks varustatud lukk-mutriga *25*.

Õli-õhukatel *2* on arvestatud servomootori väikese kambri kümnekordsele mahule. Katel on monteeritud regulaatori kere sisse, servomootori alla. Servomootor on varustatud piirdeseadisega *26*, mis takistab juhtaparaadi juhuslikku avanemist ja hüdroagregaadi isekäivitumist, ning avanäitajaga, mis koosneb osutist *27* ja skaalast *28*. Õlinivoo kontrollimiseks keres on õlinäitaja *29*. Tagasisidesüsteemis on järgmised elemendid: isodroom *15*, mis koosneb kolvist *30*, vardast *31*, vedrust *32* ja kolvist *33*; tagasisidevõll *34* jääk-ebaühtlusekstsentrikuga *35* ja kangiga *36*; jääk-ebaühtlusdrosseli nõel *14* kestaga *37*; tagasiside nõel ja tagasiside tugikang *39*.

Regulaatori gabariitmõõted: kõrgus 1010 mm, laius 686 mm, pikkus 1220 mm. Kogukaal on 435 kg ja õlimaht umbes 82 l.

KATEL-KIIRUSREGULAATORID KÖ-350 ELEKTRIAJAMIGA

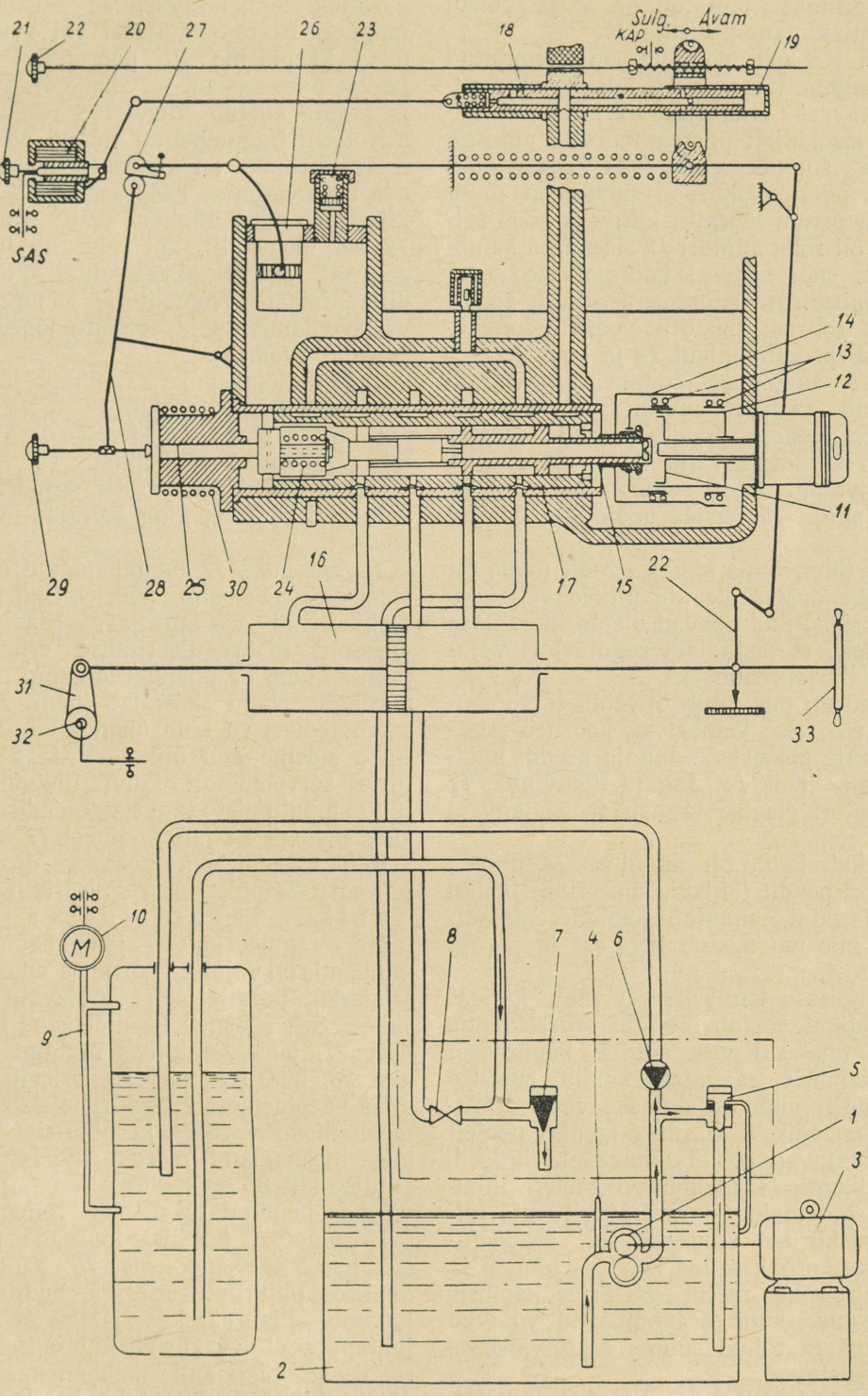
Läbivooluregulaatorid on töökindlad ja konstruktsioonilt lihtsad. Neid valmistatakse ainult väikese töövõimega, sest võimsate seadmete korral tuleks õlipump ehitada suhteliselt suur ja kohmakas. Katel-regulaatorite surveseadis koosneb õli-õhukatlast, mis on osaliselt täidetud õliga ja osaliselt õhuga. Õhk surutakse katlasse kuni ettenähtud rõhuni kas kompressori või mingi muu seadise abil. Õlipump pumpab õli katlasse, mitte aga otse reguleerimissüsteemi, kusjuures õli antakse katlasse väljavoolureservuaarist. Õli voolab katlasse niikaua, kuni selles tekib rõhk, mis vastab regulaatori õlisüsteemi normaalrõhule. Selle rõhu saavutamisel avatakse väljalaskeklapp ja õli pumbatakse mitte katlasse, vaid tagasi reservuaari. Suruõli voolab katlast läbi jagaja servomootori ühte või teise kambrisse, kusjuures keskmise tasakaalustatud seisu korral katlast õli ei kulutata.

Õli-õhupumpa *1* (joon. 295), mis asetseb õlikogumisreservuaaris *2*, käitatakse elektrimootoriga *3*. Pump töötab vahetpidamatult agregaadi kogu automaatse juhtimise ajal. Õhu surumiseks katlasse on pumba imemistoru varustatud õhu sisseimemiseks toruotsikuga *4*. Kui õlinivoo kogujas väheneb allapoole ettenähtud taset, mis ühtlasi on märgiks oli liigrohkusele katlas, siis toruotsik *4* ulatub õlist välja ja läbi selle surutakse katlasse õhku senikaua, kuni õli hulk katlas väheneb, reservuaari *2* õlinivoo tõuseb ja suleb pumbale *1* õhu juurdepääsu.

Pidevalt töötavast pumbast väljub õli kahe klapi — möödalaskeklapi *5* ja tagasilöögiklapi *6* kaudu. Kui rõhk katlas on liiga suur, avaneb möödalaskeklapp ja õli voolab läbi selle tagasi reservuaari. Niipea kui rõhk katlas osutub madalamaks sisseseatud minimaalrõhust, sulgub möödalaskeklapp ja läbi tagasilöögiklapi *6* hakatakse õli suruma katlasse. Õli surumine katlasse kestab senikaua, kuni rõhk katlas tõuseb üle minimaalse sätterõhu, s. t. kuni möödalaskeklapp lülitatakse ümber õlipumba õli äravoolule. Möödalaskeklappi lülitatakse ümber automaatselt spetsiaalse diferentsiaal-servomootori ja abijagajaga. Survekatlast toidetakse jagajat ja servomootorit kanalite kaudu, mis on sisse puuritud klapi karbile. Pumbast voolab õli torustiku kaudu läbi tagasilöögiklapi katla ülemisesse osasse ja väljub katlast kiirusreguleerimise süsteemi torustiku kaudu, mille ots asetseb katla põhjas. Seda tehakse selleks, et ära hoida õhukadusid ja õhu väljumist katlast regulaatori survesüsteemi.

Õlikogumistorustikku on üles seatud kaitseklapp *7*, mis avaneb siis, kui rõhk katlas suureneb süsteemile ohtliku väärtuseni, ja hüdraulilise ajamiga sulgemisklapp *8*.

Survekatla õlitoitesüsteemi kirjeldusest on näha, et katelregulaatori õli-õhukatel salvestab suruõhu näol energiat selleks, et regulaator töötaks pärast agregaadi avariilist seiskamist või õlipumba avariilisel seismajäämisel. Pumba tootlikkus ja tema elektrimootori võimsus võib olla väike, sest regulaatori tööks on suruõli jooksev kulu lähedane sellele, mis kulub õlikadudeks selle väljavoolamisel juhtimis-mehhanismidest läbi ebatiheduste. Koormuse täielik äralangemine on automatiseeritud hüdroelektrijaama üksikute agregaatide juures erandnähe, mitte aga normaalne töörežiim. Ainult sellise



Joon. 295. Katel-kiirusregulaatori КЭ-350 skeem.

erandliku töörežiimi perioodil tuleb õlipumbal töötada mõni aeg täiskoormusega, selleks et taastada vajalik rõhk õli-õhukatlas. Katla õlinivood kontrollitakse õlinäitajaga *9* ja rõhku katlas — kontaktmanomeetriga *10*.

Regulaatori КЭ-350 pendlile on kinnitatud tsentrifugaalpumba tööratas *11*, mis annab suruõli pendli liikuvasse silindrisse *12*. Seda silindrit juhitakse siseküljelt pumba tööratta puksiga ja on telje suunas vedru *13* surve all. Hüdroturbiini pöörlemiskiiruse muutumisel muutub samuti ka pendli tööratta kiirus ja koos sellega muutub õli rõhk silindri *12* sisemises kambris. Õli rõhu suurenemisel koormatakse agregaadi pöörlemiskiiruse suurenemise tõttu pendli vedru *13* veel rohkem, mistõttu vedru deformeerub ja nihutab pendli juhikut *14* ja koos sellega ka jagajat *15* sulgemise suunas. Agregaadi pöörlemiskiiruse vähenemisel õli rõhk silindris väheneb, surve pendli vedrule samuti väheneb ja õli voolab silindrist välja läbi tööratta ja tihenduste õlivanni. Koos sellega nihkuvad ka juhik *14* ja jagaja *15* teisele poole — avamise suunas.

Püsistunud töörežiimis annab pendli pump õli ainult läbi tihendustes olevate pilude väljavoolava õli asemele. Pilud peavad olema küllaldase laiusega, selleks et lasta läbi regulaatori vajalikku õli pendli jahutamiseks.

Jagaja süsteem, mis juhib õlivoolu servomootori *16* ühte või teise kambrisse, koosneb jagajast *15* ja jagaja puksist *17*. Jagaja asendi määrab pendli liikuv juhik *14*. Jagaja liikuv puks *17* liigub regulaatori elastse tagasisidemehhanismi mõjul.

Jagaja nihkub katla õli mõjul samas suunas, mis regulaatori pendli juhikki, kopeerides juhiku liikumist. Jagajat nihutab abidiferentsiaalservomootor, mis moodustub jagajast ja jagaja puksi kambritest.

Jagaja väikesesse kambrisse voolab katlast suruõli ja seejärel voolab õli läbi drosselavade jagaja puksi otsiku kaudu suurde kambrisse; rõhk selles kambris saavutab kindla suuruse sõltuvalt pendli muhvi läbilaskeavast. Tasakaaluasendis on väikese ja suure kambri poolelt jagajale avaldatavad rõhud omavahel võrdsed.

Pendli juhikuga *14* ühendatud muhvi liikumisel näiteks paremale (skeemi järgi), mis toimub pöörlemiskiiruse suurenemisel, äravooluavad suurenevad, rõhk selles kambris langeb ja jagaja nihkub rõhu mõjul väikeses kambris paremale niikaua, kuni äravooluavad võtavad endised mõõted ja rõhud suures ning väikeses kambris võrdsustuvad.

Agregaadi pöörlemiskiiruse vähenemisel toimub jagaja nihkumise protsess vastupidises järjekorras. Jagaja annab liikudes suruõli servomootori silindri ühte või teise kambrisse. Jagaja suur kamber on ühendatud avariilise seiskamise klapiga *18* ja avapiiraja klapiga *19*.

Kaitse toimel avariilise seiskamise elektromagneti *20* rakendumisel või avariilise seiskamise käepideme *21* pööramisel langeb rõhk jagaja diferentsiaal-servomootori suures kambris ja jagaja nihkub sulgemise asendisse, sõltumatult tsentrifugaalpendli muhvi asendist.

Avapiirajaks on klapp *19* koos maksimaalse ava reguleerimise käepidemega *22*. Jagaja liikumisel avamise suunas avab avapiiraja klapp *19* sel momendil, kui hüdroturbiini reguleeriv aparaat läheneb piirasendile, õlile tee jagaja diferentsiaal-servomootori suurest kambrist väljavoolamiseks ja seetõttu lõpeb juhtaparaadi edasine avamine.

Jagaja liikuv puks *17* nihkub jäiga ja elastse tagasisideseadise mõjul.

Elastne tagasisideseadis summutab regulaatori võnkumist. Ta koosneb õliga täidetud kambrist, mille silindri sees liigub katarakti *26* kolb, ning kangide ja vedrude süsteemist.

Jagaja puks *17* on ühendatud elastse tagasiside vedru *24* abil pöörlemiskiiruse muutmise mehhanismi vardaga *25*. Elastse tagasiside drosselit *23* reguleeritakse erikruviga; katarakti *26* kolb on ühendatud kangi abil tagasiside vardaga. Nagu skeemist (joon. 295) näha, on servomootori *16* kolb ühendatud jäiga kinemaatilise sideme abil õlikatarakti *26* kolviga, mistõttu servomootori kolvi liikumine põhjustab rõhu muutumist tagasisideseadise kambris ja koos sellega ka jagaja puksi *17* nihkumist.

Rõhku kambris muudetakse drosseli *23* sätte ja vedru *24* pingsuse reguleerimisega.

Jäika tagasisideseadist kasutatakse reguleerimise jääk-ebaühtlusmehhanismina, mis on vajalik koormuse automaatseks jaotamiseks paralleelselt töötavate agregaatide vahel. See koosneb käepidemega kiilust (legaalist) *27*, jääk-ebaühtluse muutmiseks, nurkkangist *28*, hüdroagregaadi pöörlemiskiiruse muutmise käepidemest *29*, pöörlemiskiiruse muutmise mehhanismi vardast ja pöörlemiskiiruse muutmise mehhanismi vedrust *30*. Jäiga tagasisideseadise kiil *27* on monteeritud tagasisideseadise vardale ja nihutatakse koos sellega.

Regulaatori КЭ-350 jõuseade koosneb hüdraulilisest servomootorist *16*, väntmehhanismist *31* koos pidurdusseadisega, hüdroturbiini reguleerimisvõllist *32*, käsiajamist *33* hüdroturbiini juhtaparaadi ava käsitsi muutmiseks ja aheldusseadisest käsiajami mehhanismi lülitamiseks. Mehaanilisele väntmehhanismile üles seatud pidurdusseadise ülesanne on vältida hüdroagregaadi isetahtlikku käivitumist pärast selle seis-

kamist ja vähendada õli rõhku reguleerimissüsteemis juhuks, kui agregaat on jäetud pikemaks ajaks seisma. Pidurdusseadise distantsjuhtimiseks varustatakse see hüdraulilise ajamiga.

Maaelektrijaamade automatiseerimiseks on seoses nende suurendamise ja täiustamisega kõige sobivamad automaatsed katel-kiirusregulaatorid töövõimega 1000 kgm. Neid regulaatoreid toodetakse hüdromasinaehitustehastes seeriaviisiliselt mark КЭ-1000 all.

Joonisel 296 on toodud regulaatori КЭ-1000 tööskeem, mis tagab hüdroagregaadi täieliku automaatse juhtimise ja distantsjuhtimise ning sobib nii vertikaalsetele kui ka horisontaalsetele hüdroturbiinidele, kusjuures reguleerimisvõll võib pöörduda ükskõik kummas suunas. Oma tööpõhimõttelt on regulaator КЭ-1000 sarnane ülalkirjeldatud regulaatoriga КЭ-350, kuid tal on rida lisaseadiseid juhtimise automatiseerimiseks ja mõningaid täiustusi tööskeemis. Toome siinkohal regulaatori КЭ-1000 konstruktsiooni lühikese kirjelduse.

Generaatori klemmidelt või pingetmadaldavast trafost (kõrgepingegeneraatori korral) toidetava 0,3—0,5 kW elektrimootori *1* võllile on kinnitatud tsentrifugaalõlipumba tööratas *2*. Pump tekitab pendli ujuvsilindri kinnises õõnes rõhu. Silinder on riputatud tasakaalustava vedru külge ja seda suunatakse pumba tööratta välise rõngaga ja nihkuriga *3*.

Agregaadi ja pumba pöörlemiskiiruse muutumisel muutub ka rõhk silindri kinnises õõnes, ujuvsilinder nihkub oma kohalt ja põhjustab ka nihkuri *3* edasiliikumise. Nihkuri äär muudab õli väljavooluava suurust kambrist, mille moodustab jagaja *4* ja jagaja liikuva puksi *5* ots. Seetõttu muutub selles otskambris ka õli rõhk. Jagaja keskmises väikeses kambris jääb õli rõhk muutumatuks ja on võrdne õli rõhuga õli-õhukatlas, mistõttu jagaja hakkab liikuma pendli nihkuri *3* järel, korrates selle liikumist. See liikumine toimub aga palju suurema jõuga, sest siis mõjub ka õli survejõud katlas, kuna samal ajal pendli nihkur liigub edasi nõrkade jõudude mõjul, mis on tekitatud pendli ujuvsilindri õli rõhust.

Jagaja nihkumisel liikuva puksi *5* suhtes avavad jagaja äärised liikuva puksi läbivooluakna, mille kaudu suruõli voolab katlast servomootori *6* silindri ühte kambrisse ja nihutab selle kolbi *7* vastavas suunas juhtaparaadi sulgemiseks või avamiseks väntmehhanismi *8* abil.

Üheaegselt hüdroturbiini reguleerimisvõlli nihutamisega antakse servomootori kolvi liikumine kangide süsteemi kaudu edasi tagasisideseadise vardale *9* ja vardalt kangikese kaudu isodroomi kolvile *10*. Oletame, et servomootori kolb *7* liigub automaatse reguleerimissüsteemi mõjul juhtaparaadi sulgemise suunas, s. t. paremalt vasakule. Üheaegselt sellega liigub elastse tagasisideseadise varras *9* vasakult paremale.

Isodroomi kangikese mõjul suureneb rõhk tema kolvi all, surudes kokku pöörlemiskiiruse reguleerimise varda *11* vedru. Seetõttu nihutab kokkusurutud vedru paremale mitte ainult jagajat *4*, vaid ka jagaja puksi, s. t. reguleerimisprotsess kulgeb ilma ülereguleerimiseta. Õli voolamise tõttu läbi drosseli *12* tasandub isodroomi kolvi *10* liikumisest põhjustatud lisarõhk isodroomi kambris atmosfäärirõhuni. Nagu ülal nimetatud, surutakse isodroomi kolvi esialgsel liikumisel selle vedru kokku. Järgnevalt — õli voolu tõttu läbi drosseli — nihkub ta aeglaselt tagasi esialgsesse asendisse ja koos temaga taastub jagaja liikuva puksi lähteasend. Isodroomi mõjul suletud aken avaneb uuesti ja juhib õli servomootorisse isodroomi poolt pidurdatud reguleerimistsükli teostamiseks.

Elastse tagasisideseadise tõttu kulgeb reguleerimisprotsess ilma ülereguleerimiseta ja lubamatute võnkumisteta.

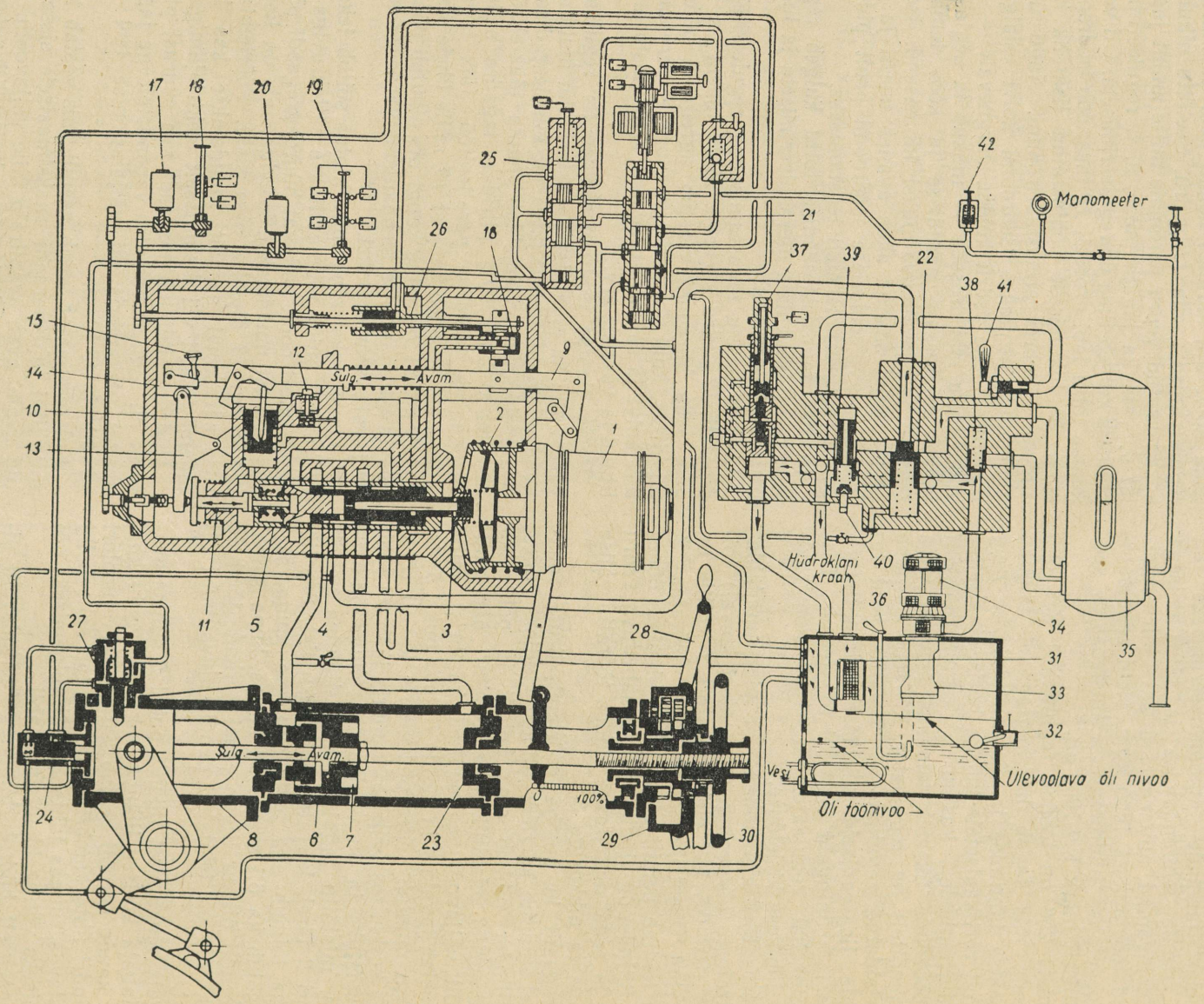
Liikuva kannu tagastumisaega reguleeritakse drosseli *12* vedru survega. Mida lühem on see aeg, seda kiiremini taastub agregaadi pöörlemiskiirus, kuid ühes sellega suureneb servomootori kolvi ja samuti agregaadi võnkumiste amplituud ja võngete arv.

Peale elastse isodroomseadise on regulaator varustatud ka staatilise karakteristiku muutmise mehhanismiga, nimelt jäiga tagasisideseadisega. See mehhanism võimaldab muuta jääk-ebaühtlusastet 0 kuni 10% piirides, tagades sellega agregaatide stabiilse paralleeltöö. Jäik tagasisideseadis koosneb kangist *13*, mille ühele otsale toetub lekaal *14;* teine kangi ots nihutab pöörlemiskiiruse muutmise mehhanismi varda *11* kaudu jagaja liikuvat puksi.

Liikuva puksi nihkumise ulatus sõltub lekaali *11* kaldest, mida reguleeritakse sättekruviga *15*. Regulaatori poolt hoitavat hüdroagregaadi pöörlemiskiirust muudetakse kruviga, mis on keeratud kangi *13* alumise otsa sisse. Pöörlemiskiiruse sättekruvi asendit muudetakse kas käepideme *16* abil või distantsselt elektriajamiga *17*.

Hüdroturbiini juhtaparaadi ava suurust piiratakse õli rõhu automaatse vähendamisega jagaja suures otskambris õli väljalaskmise teel läbi avapiiraja *18* klapi.

Kui regulaator võtab asendi, mis vastab hüdroturbiini juhtaparaadi maksimaalsele sisseseatud avale, avab avapiiraja õlile väljavoolu. Sellega ta katkestab jagaja edasise liikumise ja koos sellega ka servomootori kolvi liikumise juhtaparaadi avamiseks. Maksimaalne ava seatakse sisse käepideme *19* abil või distantsselt elektriajamiga *20*.



Joon. 296. Hüdroturbiini katel-kiirusregulaatori КЭ-1000 skeem.

Nagu regulaatori КЭ-350 korral, töötavad ka regulaatori КЭ-1000 kõik juhtimissõlme mehhanismid õlis, mida pidevalt juurde voolab jagaja väljavooluavast. Õli ülejääk juhitakse ära läbi äravoolutorustiku.

Regulaator КЭ-1000 on varustatud väga olulise detailiga — käivitus-seiskamisseadisega. See seadis võimaldab ühe impulsi abil agregaati mitte ainult seisata vaid ka käivitada. Seadis koosneb komandojagajast *21*, mis on hüdrauliliselt ühendatud regulaatori järgmiste elementidega: hüdroklapiga *22*, avapiirajaga *18*, servomootori pidurdusseadisega *27* ja kahe blokeeriva abijagajaga. Üks jagajatest *24* on monteeritud väntmehhanismi kesta kaanele, teine *25* asetseb ühes blokis komandojagajaga.

Kui agregaat ei tööta, on komandojagaja alumises asendis, hüdroklapp *22* on suletud ja pidurdusseade sisse lülitatud. Seejuures on servomootori blokeeriv jagaja surutud äärmisesse asendisse ja pidurdusseadise jagaja alla lastud. Pärast komandojagaja tõusmist voolab õli hüdroklapi kambrist välja, klapp avaneb ja õli voolab rõhu all õli-rõhukatlast torustikku. Torustikust voolab õli kolvi alla, mis on jäigalt ühendatud avapiiraja *18* vardaga *26*, ja samaaegselt ka läbi servomootori torustiku ning blokeeriva jagaja *24* — pidurdusseadme *27* tõstmiseks.

Kolb koos avapiiraja vardaga surub vedru kokku ja nihutab avapiiraja klapi servomootori täisava asendisse, tagades sellega pidurdusseadise vabanemise.

Pärast pidurdusseadise tõusmist voolab surutõli torustikku ja võimaldab blokeerival jagajal tõusta ülespoole. Seejuures klapp sulgub ja õli juhitakse ühendustorustikku. Piiraja kolb tõrjub õli kokkusurutud vedru mõjul läbi drosseli välja ja viib piiraja aeglaselt asendisse, mis oli sisse seatud enne agregaadi käivitamist.

Regulaatori servomootor nihkub turbiini avamisel kuni selle asendini, mis on määratud avapiiraja poolt ja agregaat hakkab tööle. Agregaadi seiskamisel langeb komandojagaja alla kuni selle asendini, kus kanal ühendatakse torustikuga ja hüdraulilise ajami abil viiakse avapiiraja täieliku sulgumise asendisse. Regulaatori jagaja ja servomootor liiguvad täieliku sulgumise asendi poole ja piirasendisse jõudmisel surub ristpea vastu blokeeriva jagaja *24* tõukurit, mis oma nihkumisega avab õlile väljapääsu pidurdusseadise kolvi alt äravoolutorustikku. Pärast seda langeb pidurdusseadis kokkusurutud vedru mõjul alla ja suleb servomootori. Hüdroklapp sulgub. Hüdroblokeerimine teostub selliselt, et agregaadi käivitamisel toimub algul hüdroklapi avamine ja siis pidurdusseadise väljalülitamine, kuid agregaadi seiskamisel ümberpöördult, algul pidurdusseadise väljalülitamine ja siis hüdroklapi sulgemine. Pidurdusseadise allalangemine ei toimu aga seni, kuni ristpea jõuab piirasendisse, s. t. seni kuni blokeeriv jagaja *24* avab õlile pidurdusseadise kolvi alt väljavoolutee.

Seega näeme, et regulaatori КЭ-1000 konstruktsioon võimaldab agregaati käivitada või seisata ühe komandoimpulsiga, kusjuures kõik järgnevad operatsioonid toimuvad kindlas järjekorras. Hüdroblokeerimine kõrvaldab käivitamis- või seiskamisprotsesside õige järjekorra rikkumise võimaluse.

Regulaator on varustatud käsijuhtimismehhanismiga, mis koosneb käsirattast *28*, reduktorist *29* ja automaatsele või käsijuhtimisele üleminekut võimaldavast sidurist *30*. Reduktori ülekandearv on 4,5.

Regulaatori kest on ühtlasi kereks ja ka õlikogujaks. Ülevooluklapist tulev väljavoolutoru ots on ühendatud õlifiltriga *31*. Õli jahutamiseks on keresse monteeritud jahutaja siugtoru, milles pidevalt voolab vesi, mis saadakse tehnilisest vesivarustussüsteemist.

Kere on varustatud kahe õlinivoonäitajaga ja õlinivoo automaatse signaliseerijaga *32*. Õlipump *33* käitatakse elektrimootoriga *34*. Pumba tootlikkus on 25 kg/cm² rõhul 3 l/sec.

Õhu sisselaskmiseks õli-õhukatlasse *35* kasutatakse käepidet *36*, mis avab õhu sisselaskeava.

Klappide karpi on paigutatud järgmised seadised: möödalaskeklapp *37*, tagasilöögiklapp *38*, kaitseklapp *39* kruviga *40* kaitseklapi surve reguleerimiseks, hüdraulilise ajamiga sulgklapp (hüdroklapp *22*) juhtimissõlme eraldamiseks katlast agregaadi seiskamisel või käsitsi juhtimisele üleviimisel, kraan *41* õli väljalaskmiseks katlast.

Regulaator КЭ-1000 on varustatud hüdroagregaadi automaatseks juhtimiseks rea riistade ja seadistega. Nagu ülal nimetatud, kasutatakse avapiiraja mehhanismi distantsseks juhtimiseks elektrimootorit *20* ja agregaadi pöörlemiskiiruse muutmiseks mootorit *17*. Mõlemad mootorid on alalisvoolumasinad ja on monteeritud koos oma reduktoritega üldise plokina. Mehhanismide ülekanded on varustatud lõpplülititega, mis sulevad operatiivvooluahela, kui mehhanismid saavutavad piirasendi. Avapiiraja reduktoril on peale lõpplülitite veel kaks teekonnalülitit, mis fikseerivad hüdroturbiini juhtaparaadi vahepealseid sätteväärtusi.

Käivitus-seiskamisseadise solenoid on ette nähtud agregaadi distantsseks käivitamiseks või seiskamiseks. See koosneb kahest üheks plokiks liidetud elektromagnetist, mis juhivad komandojagajat *21* ja selle riivi. Esimese elektromagneti rakendamisel, s. o. agregaadi käivitamisel, tõuseb jagaja ja riivistub. Teise elektromagneti ra-

kendumisel, s. o. impulsi andmisel agregaadi seiskamiseks, vabaneb riiv ja jagaja langeb vedru surve mõjul alla. Elektromagnetite poole läbib vool lühiajaliselt, sest nende rakendumisel katkestatakse vooluahel automaatselt blokeeruvate kontaktide poolt ja juhtimiskilbile antakse signaal komando täideviimisest.

Elektromagneti riivil on ka nupp komandojagaja käsitsi juhtimiseks.

Suruõlitorustikule on üles seatud rõhkrelee *42*, mis annab hoiatussignaali, kui rõhk väheneb õli-õhukatlas 2 kg/cm² alla normaalse töörõhu. Edasisel rõhu vähenemisel väärtuseni 4 kg/cm² alla normaalrõhu annab relee impulsi agregaadi väljalülitamiseks.

Regulaatori kere külgseinale on monteeritud nivoo signaliseerija *32*, mis annab signaali õlinivoo langemisel allapoole sisseseatud suurust.

Regulaatori КЭ-1000 gabariitmõõted on järgmised: pikkus 2280 mm, laius 1296 mm ja kõrgus 1760 mm.

Regulaatori kogukaal koos kõigi automaatsete lisaseadiste ja -riistadega on 2600 kg, õli maht — 270 l. Õlipumba elektrimootori võimsus on 12 kW.

MITTEELEKTRILISTE SUURUSTE KONTROLLRELEED

Mitteelektriliste suuruste kontrollreleede (primaarsete mõõtesaatjate) hulka, mis on iga automatiseeritud hüdroelektrijaama lahutamatuks osaks, kuuluvad releed, mis kontrollivad ja fikseerivad vedeliku või gaasi rõhu muutumist või olukorda, vedeliku voolamist, keskkonna temperatuuri, pöörlemiskiirust jne.

Joonisel 297 on näidatud vedelikunivoo elektriline ujuk-signalisaator СУ-III, mida valmistatakse NSV Liidu Masinaehituse Ministeeriumi tehastes ja mis on ette nähtud automatiseeritud elektrijaamade ja muude seadmete jaoks.

Õõnes metallujuk *1*, mis ujub paagi või mingi muu nõu vedeliku pinnal, muudab oma asendit koos vedelikunivoo muutumisega. Ujuk on jäigalt kinnitatud vardaga *3* ja teljel *2* pöörduva juhtpakuga *4*. Igal vedelikunivoo muutumisel liigutab ujuk kangi *5*, mis on kinnitatud teljele *2*. Kang *5* omakorda pöörab varda *6* abil kangi *7*, mis on kinnitatud võllile *8*.

Võlli *8* pöördumisel pöörduvad ka otsikud *9* ja *10*, mis ülemisele või alumisele vedelikunivoole vastava piirasendi juures ahelduvad kangikestega *11* ja *12* ja koos nendega pööravad klambreid *13* ja *14*, milledele on kinnitatud kahekontaktilised elavhõbe-ümberlülitid *15* ja *16*. Nende ümberlülitite pöördumisel kindla nurga võrra sulguvad elektrilised vooluahelad, andes signaali ülejaamalisele seadisele või valveametnikule koju.

Selleks et kontaktide sisse- ja väljalülitamisprotsessid toimuksid võimalikult järsult, varustatakse elavhõbe-ümberlülitid vedrudega *19*. Kontrollkaabli *17* otste ühendamiseks on ujuksignalisaator varustatud klemmlauaga *18*. Ujuksignalisaatori põhiorgani käik on piiratud reguleeritavate poltidega *20*. Elavhõbe-ümberlülitite ja ülekandeseadiste mehhanismid on kaitstud kestaga.

Vedelikunivoo signalisaatori normaalne töö garanteeritakse temperatuuridel + 10 kuni + 60°. Signaliseeritavate vedelikunivoode vahed ei tohi ületada 100 mm.

Elavhõbekontaktid on ette nähtud alalisvoolule pingega 24 kuni 220 V.

Joonisel 298 on toodud riista СУ-III välised gabariitmõõted, kusjuures muutuvad mõõted *A* ja *B* kõiguvad sõltuvalt vedelikunivoost paagis ja paagi enda mõõdetest järgmistes piirides:

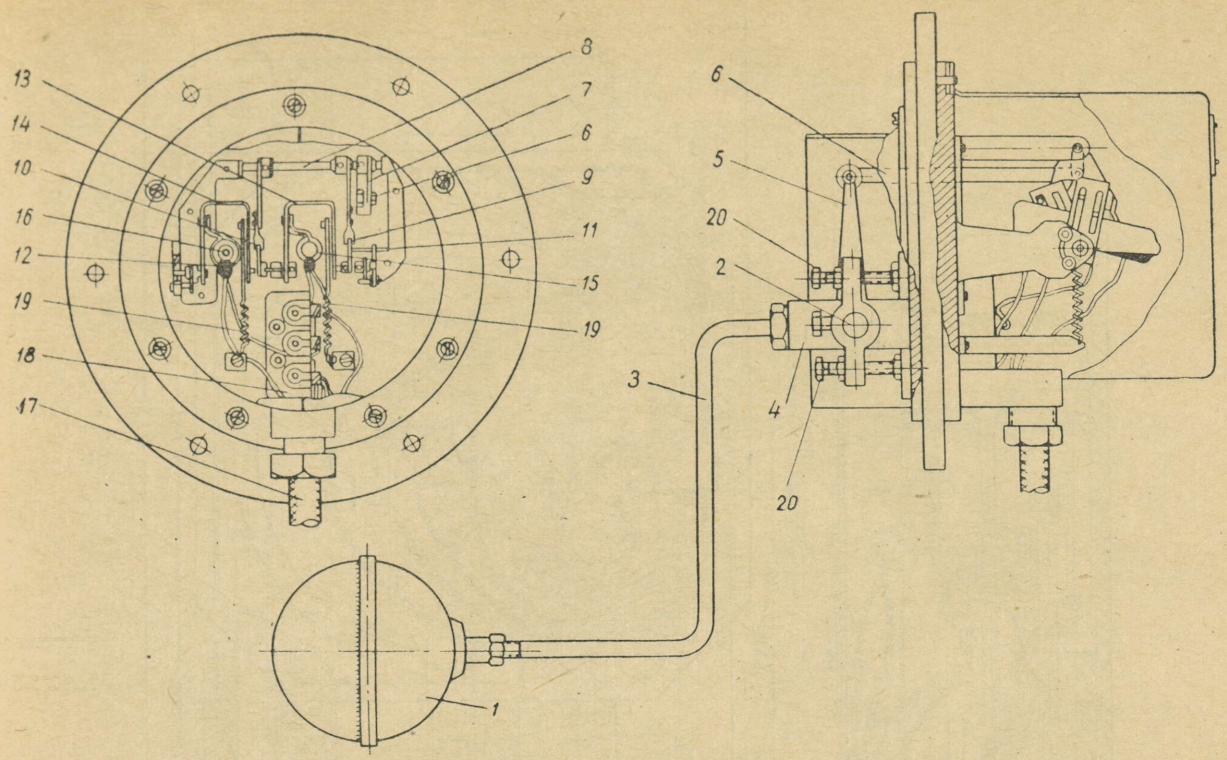
mõõt *A* alates 0 kuni 570 mm
mõõt *B* alates 220 kuni 300 mm

Teine mitteelektriliste suuruste kontrollreleede liik on rõhkreleed. NSV Liidu Masinaehituse Ministeeriumi tehased toodavad rõhkreleesid РДС, mille skemaatiline konstruktsioon on näidatud joonisel 299.

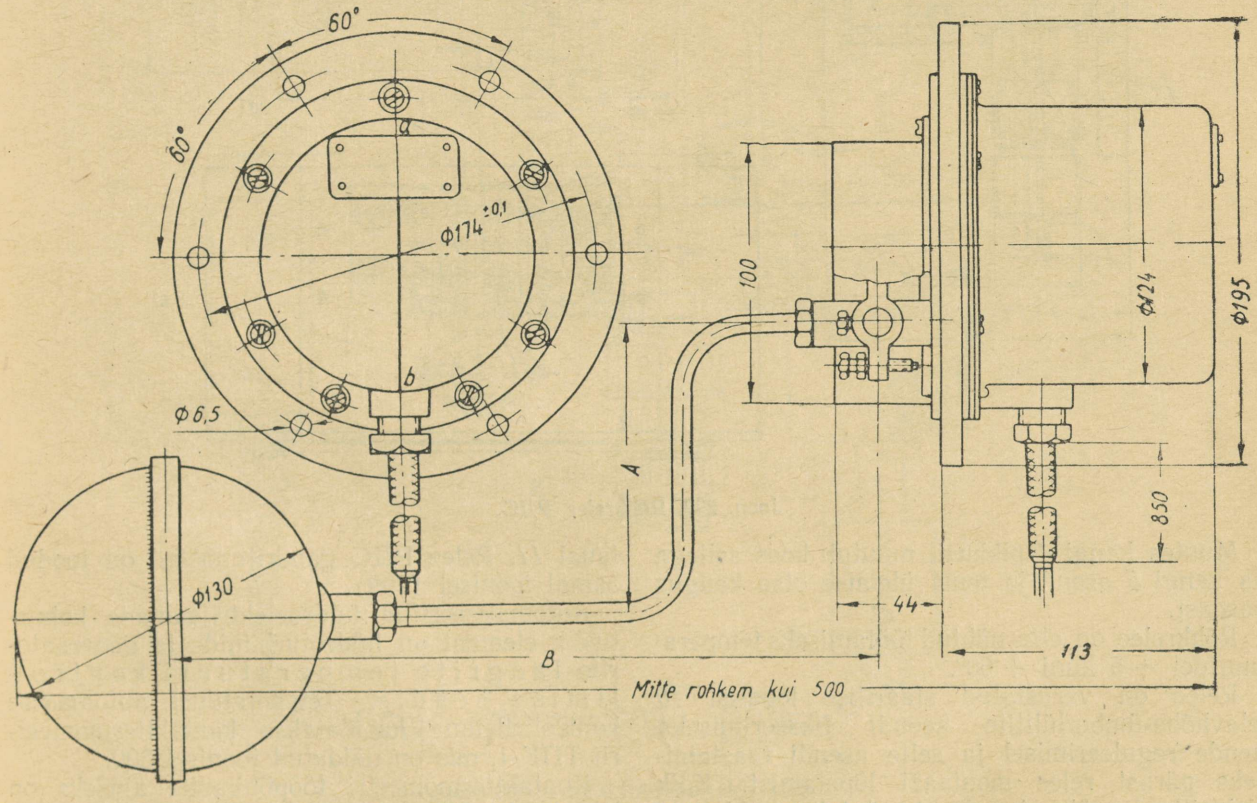
Releesid РДС kasutatakse signaalide andmiseks rõhu vähenemisest või suurenemisest õlisurveseadmete õhukatlas. Nimetatud seadmeid endid käsitleti juba hüdroturbiini kiirusregulaatorite skeemide kirjeldamisel. Relee on ehitatud toruvedru deformatsiooni ärakasutamise põhimõttel. Vedru toimib elavhõbe-ümberlülititele, milledest üks on normaalselt avatud ja teine normaalselt suletud kontaktidega. Signaalahelate sulgumist ja avanemist reguleeritakse 10 kuni 25 km/cm² piirides.

Rõhkrelee РДС koosneb hoidjast *1* otsmuhviga ühendamiseks torustiku külge. Hoidja külge on joodetud kaks toruvedru *2*. Suruõhk (või mingi muu vahend) voolab rõhu all otsamuhvi *1* kanali kaudu toruvedrude *2* õõnsusesse, mis elastse deformatsiooni mõjul püüavad laieneda ja nihutades oma otsi *3*, viivad endaga kaasa reguleeriva kangi *4*.

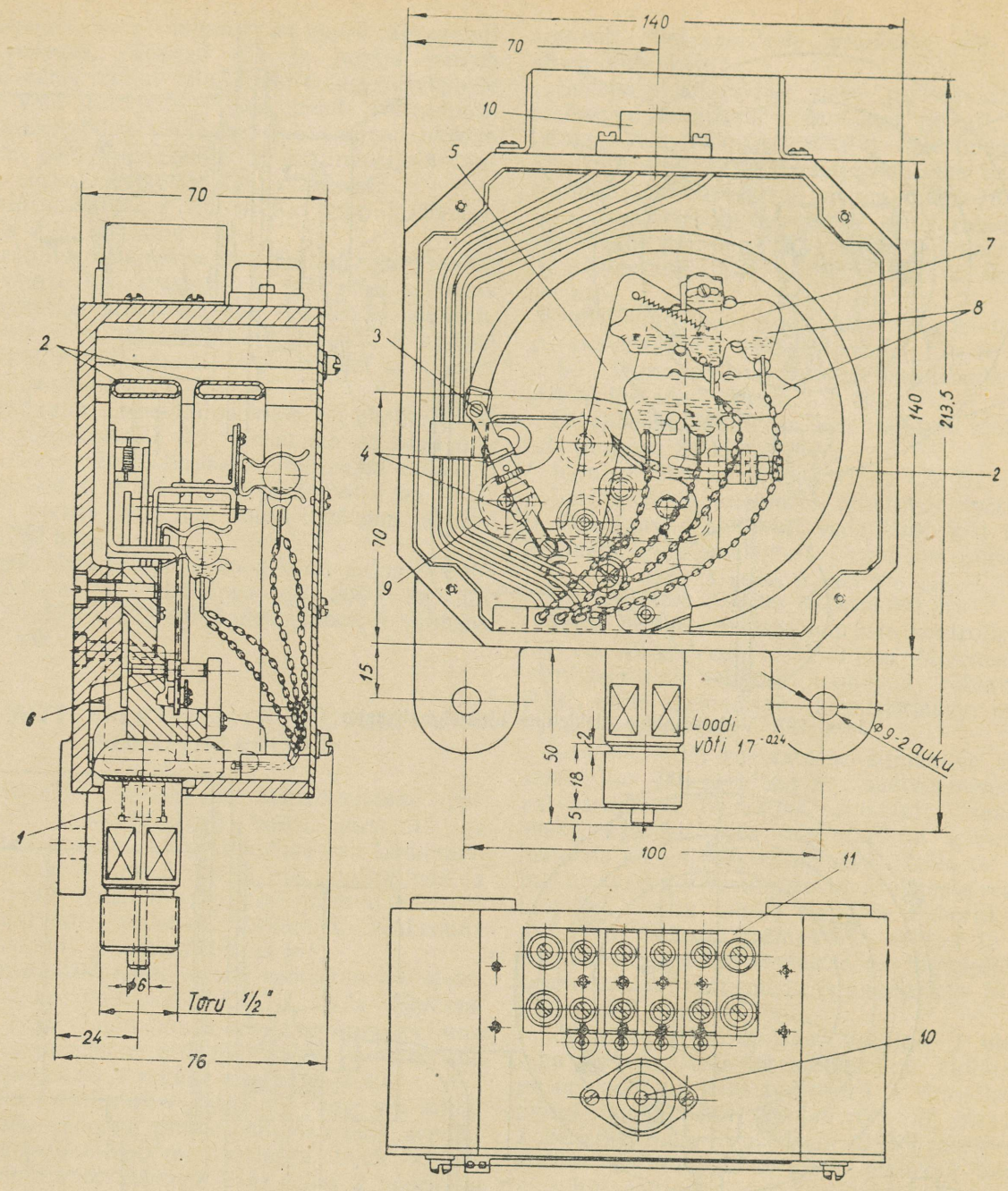
Kang *4*, mis on šarniirselt ühendatud kangi *5* alumise otsaga, pöörab seda ümber telje *6*, kusjuures kangi *5* ülemine ots surub pöördumisel vardale ja nihutades seda pöörab elavhõbelüliteid *8*. Sel momendil, kui ühe lüliti signaalahela kontaktid avanevad, sulguvad teise lüliti kontaktid. Rõhkrelee võimaldab reguleerida rakendumise sätet kangi *5* ülemise otsa eemaldumise või lähendamisega vardale *7*. See toimub kruvi *9* reguleerimisega, mis omakorda muudab kangi *4* pikkust.



Joon. 297. Vedelikunivoo elektriline ujuk-signalisaator СУ-III.



Joon. 298. Signalisaatori СУ-III gabariitmõõted.



Joon. 299. Rõhkrelee РДС.

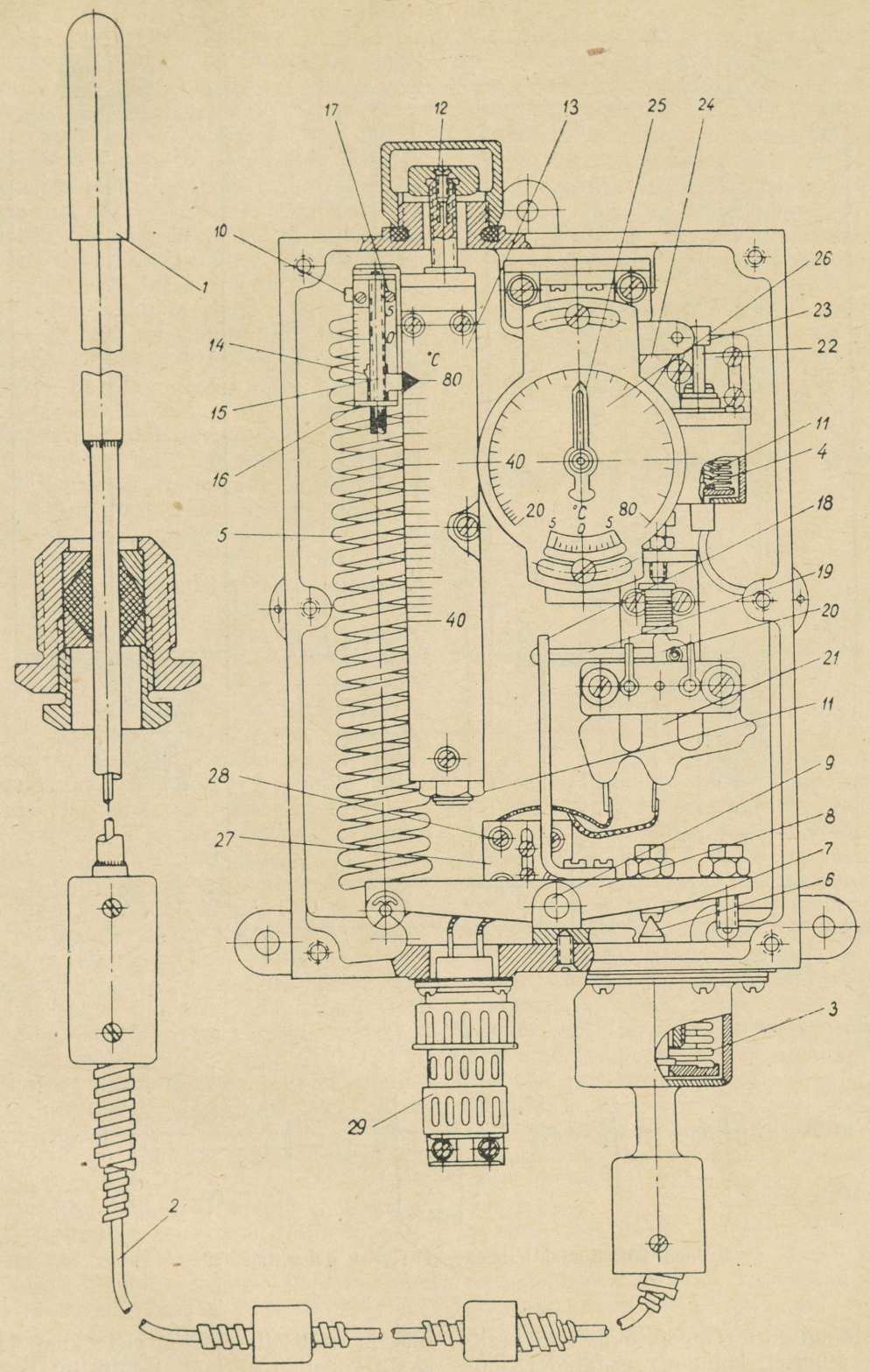
Muutes kangi *4* pikkust, muutub koos sellega ka kangi *5* asend ja tema ülemise otsa kaugus vardast.

Rõhkrelee on ette nähtud töötamiseks temperatuuridel + 5 kuni + 60°.

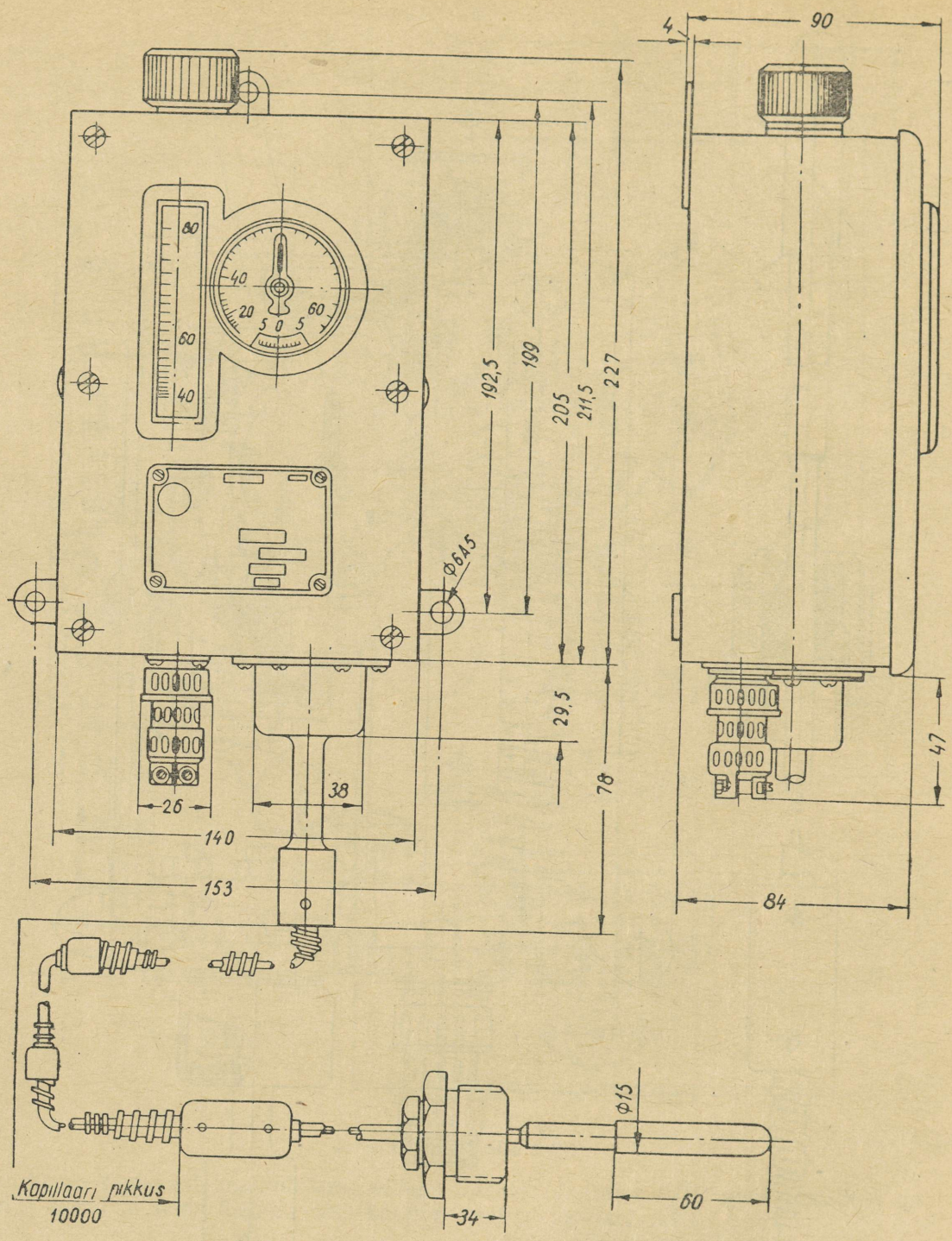
Relee on varustatud sfäärilise loodiga *10* elavhõbe-ümberlülitite asendi fikseerimiseks nende reguleerimisel ja selle asendi taastamiseks pärast relee montaaži lõpetamist. Kõik elektrilised ühendused teostatakse klemmlaual *11*. Relee РДС gabariitmõõted on toodud samal joonisel (299).

Automatiseeritud hüdroelektrijaamade kohustuslik element on hüdroturbiinide ja generaatorite laagrite temperatuuri kontrollimise seadis. Temperatuuri automaatse kontrollriistana kasutatakse kontakttermomeetrit ТПК-1, mis on näidatud joonisel 300.

Kontakttermomeetri tööpõhimõtte aluseks on hermeetiliselt suletud termosüsteemi täitva ve-



Joon. 300. Kontakttermomeeter ТПК-1.



Joon. 301. Kontakttermomeetri ТПК-1 gabariitmõõted.

deliku küllastunud auru rõhu sõltuvus selle keskkonna temperatuurist, kuhu on asetatud termoballoon *1*. See balloon koos kapillaartoruga *2* ja kahe silfooniga *3* ja *4* moodustab termosüsteemi, mis on osaliselt täidetud vedelikuga ja osaliselt sama vedeliku auruga. Kontrolliva aine temperatuuri muutumisel, järelikult ka küllastunud auru rõhu muutumisel, nihkub silfooni *3* põhi

koos vardaga *6* ja koos sellega ka kang *8*, pöördudes ümber telje *9*. Varda *6* surve antakse edasi kangile *8* tugikruvi *7* kaudu.

Kangi *8* vasakpoolne ots on kinnitatud vedru *5* külge, mis oma teise otsaga on kinnitatud trumli *10* väljaulatuva otsa taha.

Auru rõhk hermeetiliselt suletud termosüsteemis tasakaalustub silfoonide *3* ja *4* ning vedrude *5* ja *11* elastsusjõududega. Vedru *5* pingsust reguleeritakse trumli *10* nihutamisega kruvi *12* abil, kusjuures riista reguleerimist ja kontaktide sulgumist kindlal temperatuuril kontrollitakse skaala *13* järgi sellel liikuva osuti *14* abil.

Osutit *14* võib nihutada riista reguleerimisel mööda kruvi *15*, mis on kinnitatud klambri *16* külge kruvidega *17*. Selle klambri külge on kinnitatud vastav skaala. Osuti sätte abiskaala fikseerib osuti asendit riista reguleerimisel sõltuvalt sellest, missuguse asendi võtab riist termoballooni *1* suhtes. Kui riist asetseb termoballoonist madalamal, siis silfoonide süsteemile ei mõju mitte ainult auru rõhk, vaid ka vedelikusamba rõhk, mis on kapillaartorus *2*. Osuti *14* nihutamisel mööda skaalat, mis on kinnitatud klambri *16* külge, kompenseeritakse kapillaartorus oleva vedelikusamba raskuse mõju.

Kangi *8* keskmise osa külge on kinnitatud tugi *18* kangiga *19*, mis terasklambrite *20* kaudu toimib elavhõbelülitile *21*. Vedru on ette nähtud lüliti kontaktide sulgumis- ja avanemisprotsessi kiiruse, täpsuse ja töökindluse suurendamiseks. Auru rõhk ei mõju mitte ainult silfoonile *3*, vaid ka silfoonile *4*, mille põhi nihkub koos vardaga *22*, mis toetub kruvi *23* nõkku. Silfooni *4* varda liikumine kantakse üle kruvi *23* ja hammassektori *24* hammasrattale, mis on ühendatud mööda skaalat *26* liikuva osutiga *25*. Sellel skaalal on veel lisaskaala ja väljalõige, mida kasutatakse temperatuurinäitaja reguleerimiseks sõltuvalt riista ja termoballooni omavahelisest asendist. Kui riist asetseb termoballoonist madalamal, tuleb kompenseerida kapilaartoru täitva vedelikusamba raskuse mõju.

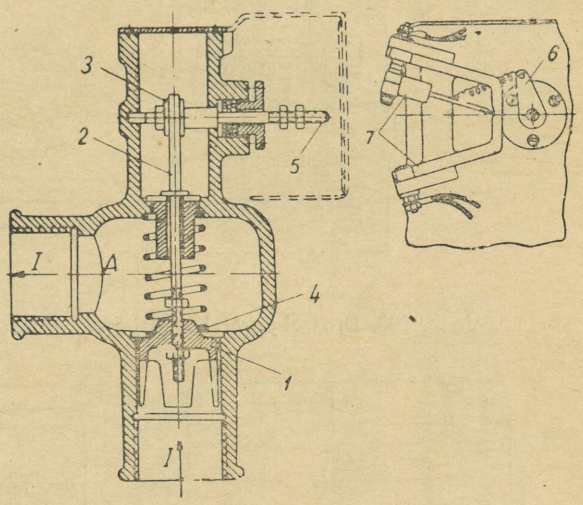
Kontrollkaabel ühendatakse riistaga pistiku *29* abil ja klemmlaud *27* kinnitatakse riista kesta külge kruviga *28*.

Joonisel 301 on toodud kontakttermomeetri ТПК-1 gabariitmõõted.

Nagu näha ülaltoodud kirjeldusest, suureneb auru rõhk termosüsteemis kontrollitava keskkonna temperatuuri suurenemisel, kang pöördub vastu kellaosuti liikumise suunda, tõmbab vedru pingumale ja sunnib elavhõbelüliti kontakte sulguma. Keskkonna temperatuuri langemisel pöörab vedru kangi kellaosuti liikumise suunas ja elavhõbelüliti kontaktid avanevad. Samaaegselt mõjutab teine ülemine silfoon riista osutit, mis pidevalt näitab kontrollitava keskkonna temperatuuri.

Vedeliku liikumise kontrollimiseks torustikus kasutatakse mitmesuguseid jugareleesid. Need mitteelektriliste suuruste kontrollreleed töötavad voolava vedeliku rõhu ärakasutamise põhimõttel või vedeliku voolamisel torustiku kitsenevas ristlõikes tekkiva rõhu langemise ärakasutamise põhimõttel.

Näitena vaatleme kolbtüüpi jugareleed, mille juures kasutatakse voolava vedeliku rõhku. Relee on skemaatiliselt näidatud joonisel 302.



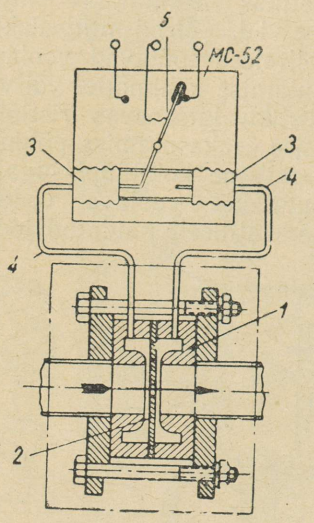
Joon. 302. Kolb-jugarelee.

Voolava vedeliku rõhk mõjub kolvile *1*, mis on ühendatud hammaslatiga *2*; viimane on hambumises hammasrattaga *3*. Kolvi liikumisele mõjub vastu vedru *4*. Kolvi tõusmisel avanevad vedeliku läbivooluavad joonisel noolega näidatud suunas. Hammasratta *3* võllile *5* on kinnitatud kang *6*, mis vedeliku voolamisel torustikus suleb kontaktid.

Kui vedeliku voolamine katkeb või selle hulk tunduvalt väheneb, langeb kolb tagasi ja kontaktsüsteem *7* avab töökontaktid ja suleb avariikontaktid, millega antakse impulss kas signaalile või mittekorras agregaadi seiskamismehhanismile.

Joonisel 303 on toodud jugarelee MC-52, mis töötab torustiku ristlõike kitsenemisel tekkiva rõhu langemise ärakasutamise põhimõttel. Kahe valgevasest ääriku *1* vahele on surutud kitsa avaga valgevasest diafragma *2*. Jugarelee silfoonid on ühendatud torude *4* abil äärikute õõnsustega, mis asetsevad drosselseadise diafragma mõlemal pool küljel. Silfoonid on ühendatud varraste abil kontaktseadisega *5*. Kui vedelik läbi relee ei voola, on mõlemal pool diafragmat rõhk sama ja silfoonide süsteem toimib kontaktide sulgemisele, mis signaliseerivad seda olu-

korda. Vedeliku voolamisel torustikus on rõhk ühel pool diafragmat erinev teisel pool olevast rõhust — rõhu languse tõttu kitsas avas. Seetõttu silfoonide süsteem toimib ülekandeseadise kaudu jugarelee normaalselt avatud kontaktide sulgemisele.



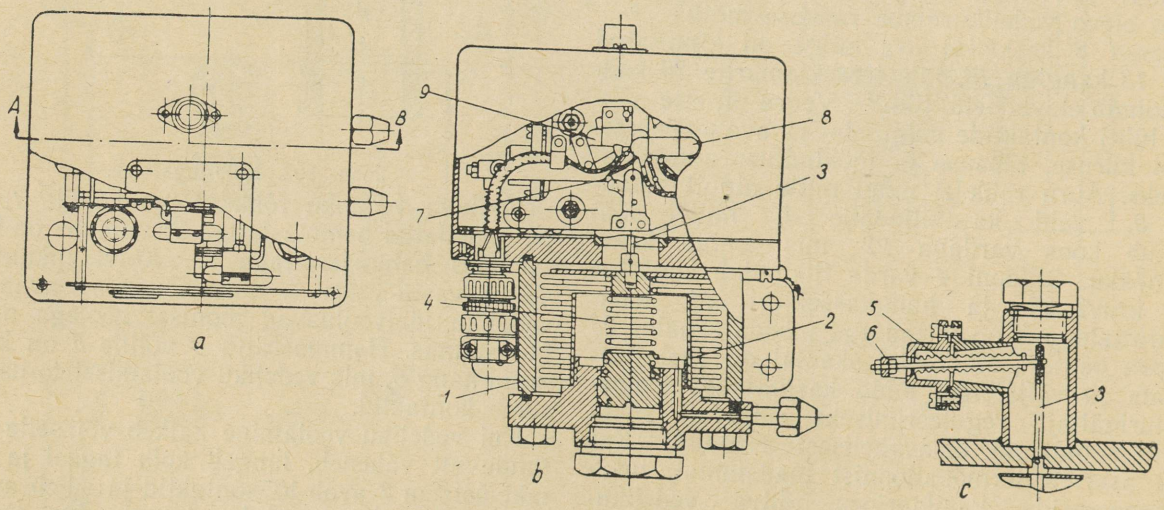
Joon. 303. Drossel-jugarelee MC-52.

Hüdroelektrijaama automaatse juhtimise lülitustes kasutatakse hüdroturbiini laagrite määrimisel enne ja pärast veefiltrit esineva rõhu mõõtmiseks, samuti ka muudel juhtudel diferentsiaal-rõhkreleesid. Masinaehituse Ministeeriumi tehased toodavad ka rõhkreleesid ДРД-1, mis kujutavad endast signaalseadisega diferentsiaalmanomeetreid. Seda riista võib kasutada ka torustikus vedeliku voolamise signaliseerimiseks, sest ta on ehitatud drosseldava seadise kahel küljel esinevate rõhkude vahe kasutamise põhimõttel, sarnaselt diafragmaga jugareleele.

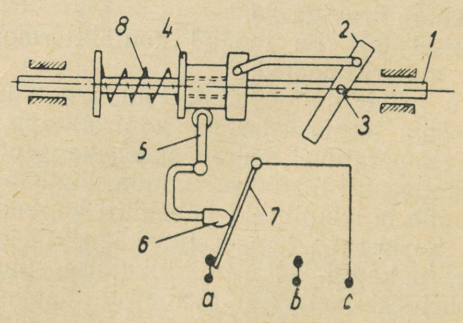
Joonisel 304 on näidatud relee ДРД-1 konstruktsioon. Silfoon *2* asetseb hermeetilise malmkesta *1* sees selliselt, et tema ja kesta vahel kujuneb kamber, mis on toru kaudu ühendatud filtri või kesta diafragma ühe poolega. Silfooni sees olev ruum on toru kaudu ühendatud filtri või diafragma teise poolega.

Sõltuvalt rõhkude erinevusest enne ja pärast filtrit tõmbub silfoon laiemale või surutakse kokku (arvestades ka vedru *4* toimet) ja viib seejuures endaga kaasa varda *3*, mis annab telje *5* kaudu liikumise edasi klambrile *6*, mis nihkub teatud nurga võrra. Klamber *6* annab liikumise edasi hammasrattale *7*, mille külge on kinnitatud kaks reguleeritava skaalaga kangi, kusjuures üks kangidest on ühendatud parempoolse elavhõbekontaktiga *8*, teine aga vasakpoolse kontaktiga *9*. Hammasrataste liikumine antakse edasi ka riista osutile.

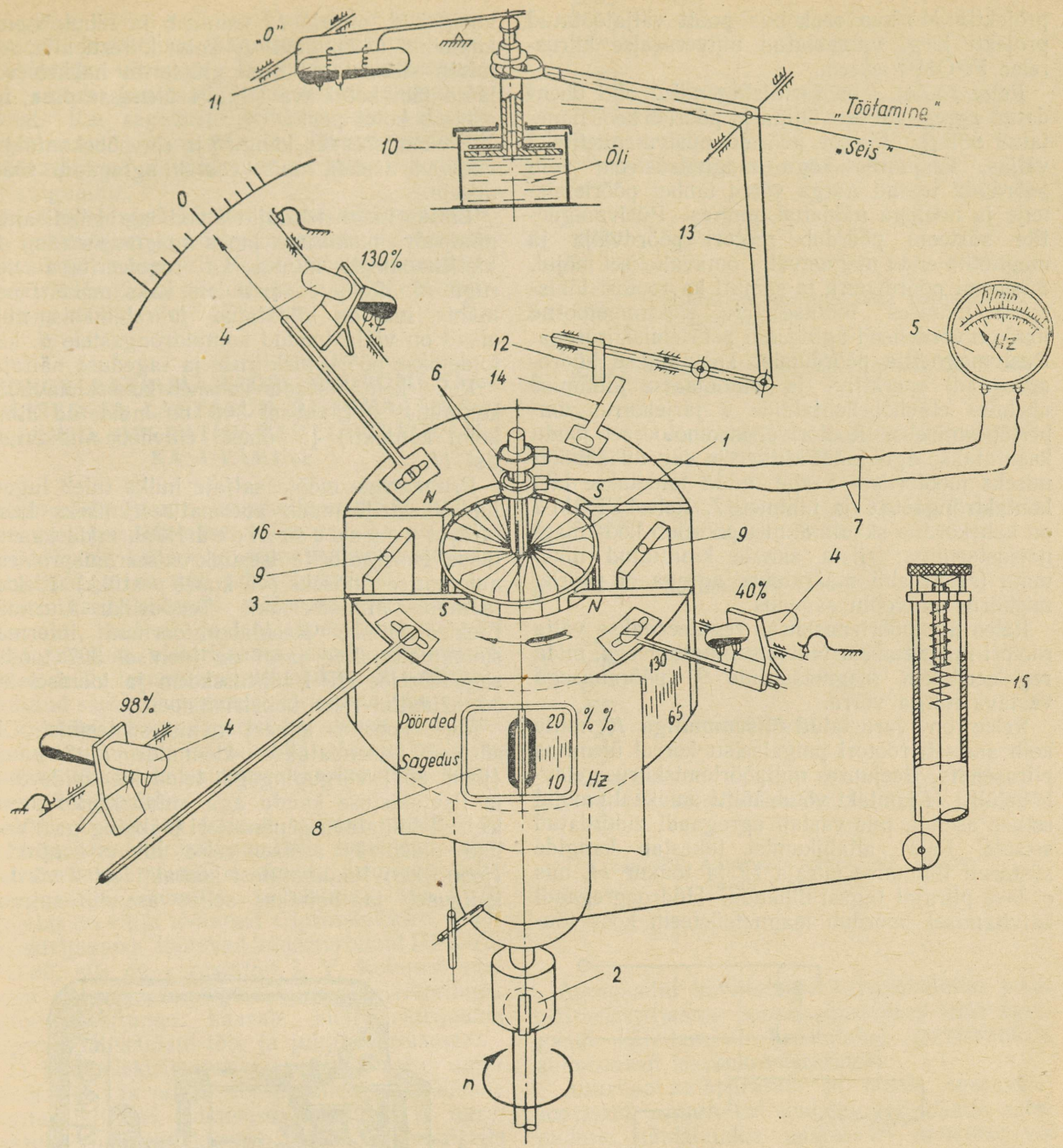
Hüdroagregaatide pöörlemiskiiruse mõõtesaat-



Joon. 304. Diferentsiaal-rõhkrelee ДРД-1: *a* — vaade ülalt; *b* ja *c* — lõiked.



Joon. 305. Kiirusrelee skeem.



Joon. 306. Universaalne kiirusrelee УРОМ-7.

jana kasutatakse tavaliselt mitmesuguseid riistu, mis põhinevad tsentrifugaaljõudude ärakasutamisel. Sellise kiirusrelee konstruktsiooni põhimõte (joon. 305) seisab järgmises [34].

Rõngakujuline raskus *2* on kinnitatud võllile *1*, mis pöörleb koos agregaadiga, mille kiirust kontrollitakse. Rõnga *2* pöörlemisel pöördub ta tsentrifugaaljõudude mõjul ümber oma telje *3*, nihutades endaga kaasa muhvi *4*, mis nihutab isoleeritud otsikuga *6* kangi *5*. Ettenähtud sätte korral, mida reguleeritakse vedru *8* pingsusega, toimub kontaktide ümberlülitumine, sest isoleeritud otsikuga kang surub kontaktsüsteemi vedrule *7*.

Hüdroelektrijaamades juurutatakse peale lihtsate tsentrifugaal-kiirusreleede palju täiuslikumat riista, mis on välja töötatud insener N. P. Mitrahhi poolt. Selleks on protsentja nullkiiruse universaalne relee УРОМ-7. Joonisel 306 on toodud «Hüdroelektro-

projekti» Moskva osakonna poolt väljatöötatud projekti järgi valmistatud universaalse kiirusrelee УРОМ-7 skeem.

Relee rootor *1* on šarniirliigendi *2* abil ühendatud agregaadi veovõlliga ja pöörleb koos nimetatud võlliga. Rootor pöörleb püsivmagnetite *3* väljas, kusjuures kogu magnetsüsteem võib pöörduda teatud nurga võrra ümber pöörlemistelje ja noolega näidatud suunas. Püsivmagnetite süsteem pöördub rootori pöördvälja ja magnetite enda magnetvälja omavahelisel mõjul. Süsteemi pöördenurk ja samuti ka rootori lühistatud mähises indutseeritav elektromotoorne jõud on võrdelised agregaadi pöörlemiskiirusega. Püsivmagnetite pöördumist kasutatakse hüdroagregaadi operatiiv- ja automaatse juhtimise ahelates elavhõbekontaktide *4* järjekorras ümberlülitamiseks. Rootori elektromotoorset jõudu kasutatakse agregaadi kiiruse ja sageduse mõõtmiseks mõõteriista *5* abil, mida toidetakse läbi kontaktrõngaste *6* ja juhtmete *7*. Releel УРОМ-7 on kahekordne skaala *8*, mis pöördub koos magnetsüsteemiga; riista aknale kinnitatud liikumatu traadi abil määratakse agregaadi pöörlemiskiirus ja voolu sagedus.

Relee nimipöörlemiskiirus reguleeritakse välja rootori magnetahela takistuse muutmisega, mida reguleeritakse magnetšuntide *9* pööramisega vastava nurga võrra.

Relee on varustatud õlisummutiga *10*, mille kolb asetseb rootori paigalseisu korral ülemises piirasendis. Seejuures nullpöörlemiskiiruse elavhõbelüliti *11* kontakt võtab lüliti omakaalu mõjul sellise asendi, mis vastab agregaadi pidurdatud seisule. Kolvi allaliikumist tõkestab kangide süsteemi liikumise piiraja *12* ja tõukur *14*, mis ei lase piirajal tagasi nihkuda. Hüdroagregaadi käivitamisel pöördub magnetsüsteem koos tõukuriga *14*, piiraja *12* vabaneb ja nihutab omakaalu mõjul summuti *10* kolvi kiiresti alla. Alumises silindriosas olev glütseriin hakkab voolama läbi kolvi ava silindri ülemisse ossa, mis asetseb kolvi peal.

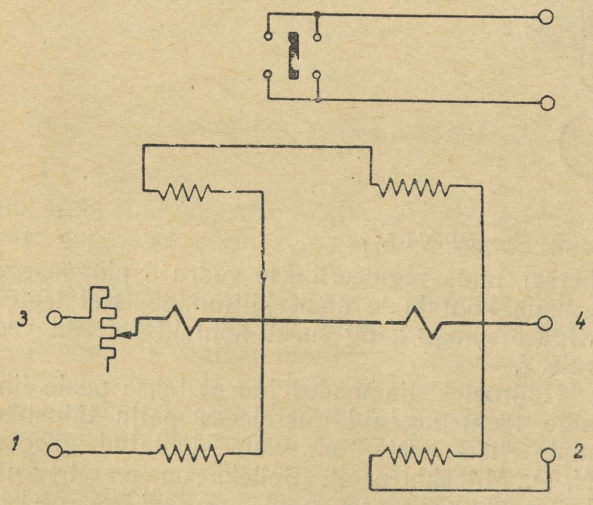
Ülekandeseadis, kang *13* ja elavhõbekontakt *11* võtavad asendi, mis vastab agregaadi töötamisele.

Lisaks magnetšundile *9* võib agregaadi antud nimipöörlemiskiiruse jaoks magnetsüsteemi takistusmomenti muuta ka reguleeritava vedruga *15*. Relee rootoril on kaks mähist: peamähis, mis on lühistatud ja abimähis, mille otsad on välja toodud kontaktrõngastele *6*, kust toidetakse pöörlemiskiiruse ja sageduse näitajat.

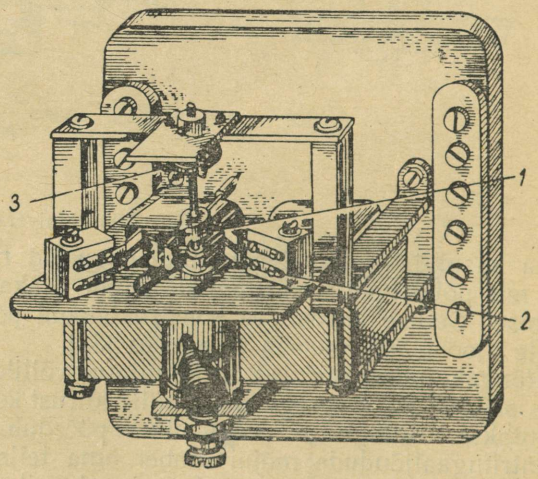
Relee kontaktseadis koosneb kuuest elavhõbekontaktist *4* (joonisel 306 on näidatud ainult kolm kontakti) ja ühest elavhõbe-nullkontaktist *11*.

Primaarsete mõõtesaatjate hulka tuleb lugeda hüdroelektrijaamade automatiseerimiseks kasutatavat sagedusreleed ИРЧ, mida kasutatakse generaatorite isesünkroniseerimisprotsessi automatiseerimiseks (vt. kuues peatükk). Elektrijaamade Ministeeriumi Teadusliku Uurimise Elektrotehnilise Kesklaboratooriumi informatsioonimaterjalide järgi on joonisel 307 toodud sagedusrelee ИРЧ lülitusskeem ja joonisel 308 on näidatud relee konstruktsioon.

Relee koosneb kahest mähistesüsteemist. Üks süsteem ühendatakse klemmide *1—2* kaudu (joon. 307) võrgupingega, teine klemmide *3—4* ja lisatakistuse kaudu aga antud võrku paralleelselt lülitatava generaatori jääkpingega. Vooluta olukorras asetseb relee liikuv kontakt *1* (joon. 308) liikumatutest kontaktidest *2* võrdsel kaugusel ja hoitakse selles asendis spiraal-



Joon. 307. Sagedusrelee lülitusskeem.



Joon. 308. Sagedusrelee ИРЧ.

vedruga *3*. Relee mähistest erinevate sagedustega vahelduvvoolude läbimisel hakkab selle liikuv süsteem võnkuma, kusjuures võnkeamplituud sõltub generaatori ja võrgu sageduste suhtest. Kui sageduste erinevus on väiksem mingist antud suurusest, on liikuva süsteemi võnkeamplituud niivõrd suur, et toimub kontaktide sulgumine.

Relee ИРЧ tagab kindla töö, kui sünkroniseeritava generaatori ja võrgu sageduste vahe muutumiskiirus on kuni 0,5 Hz/sec, võrgupinge muutub 50 kuni 120 V piirides ja jääkpinge amplituud on ± 50% nimiväärtusest.

HÜDROELEKTRIJAAMADE HÜDROMEHAANILISED JA LAOTATUD AUTOMAATIKASKEEMID. OPERATIIV-VAHELDUVVOOLU KASUTAMINE

Hüdroelektrijaama automatiseerimise projekteerimisel joonestatakse välja pea- ja abiagregaatide ning kaitse- ja signalisatsiooniseadiste ruumilised ja laotatud juhtimisskeemid.

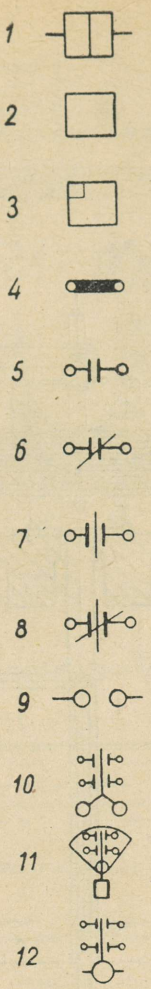
Ruumilised skeemid näitavad ülevaatlikult automaat-, kontroll- ja kaitseaparatuuri omavahelist asetust elektrijaama nende elementide suhtes, mille teenindamiseks nad on ette nähtud. Laotatud skeemi koostamist kirjeldati juba viiendas peatükis. Samas esitati ka mõned kasutatavamad tingmärgid (vt. tabel 53). Lisaks neile on joonisel 309 toodud automaatikaskeemides kasutatavaid tingmärke.

Joonisel 310 on toodud väikese maahüdroelektrijaama hüdromehaaniliste seadmete automatiseerimise ruumiline skeem. Jaam on kahe agregaadiga, kumbki võimsusega 105 kVA. Projekti on välja töötanud Giproselelektro. Hüdroelektrijaamas töötavad hüdroturbiinid ПРК-70-ВО-80, mis on varustatud I. V. Kotenevi süsteemi otsese toimega kiirusregulaatoritega. Automatiseerimine haarab hüdroelektrijaama järgmisi tähtsamaid töö- ja juhtimisprotsesse:

1) hüdroelektrijaama esimese ja teise agregaadi töö kas eraldi või paralleelselt üldistele kogumislattidele, võimsuse jaotamine ja agregaatide pöörlemiskiiruse ning generaatorite klemmipinge hoidmine, kusjuures valveametnik asub kodus (ekspluatatsioonipersonali kohalolek elektrijaama hoones pole nõutav);

2) agregaatide rikete ja mittenormaalsete töörežiimide korral saadetakse hoiatussignaal valveametnikule koju või seisatakse rikkis agregaat ja valveametnik kutsutakse hüdroelektrijaama välja;

3) koormuse vähenemisel kuni 35—40% nimikoormusest toimub ühe töötava agregaadi seiskamine.

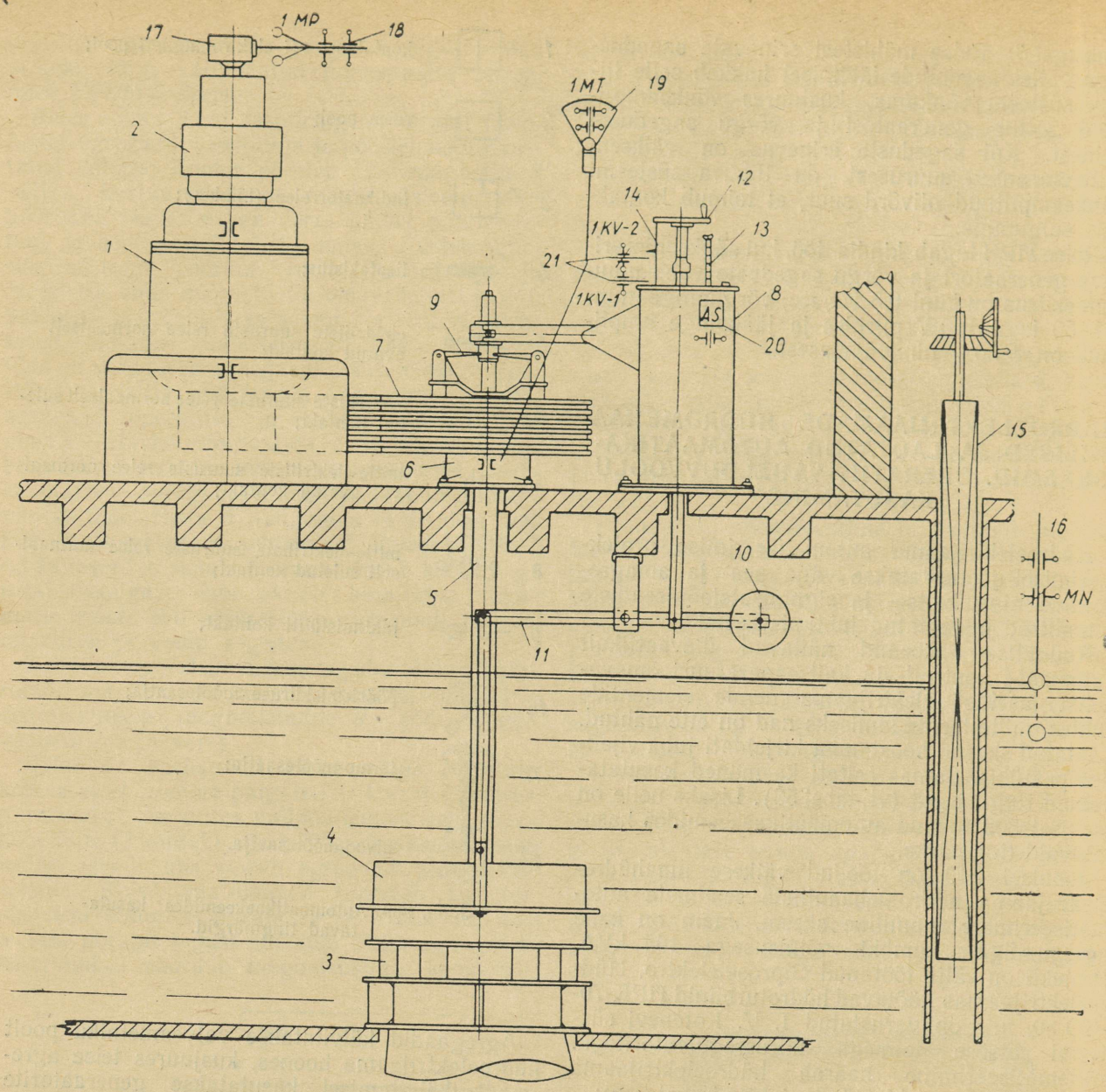


Joon. 309. Automaatikaskeemides kasutatavad tingmärgid.

Agregaadid käivitatakse valveametniku poolt hüdroelektrijaama hoones, kusjuures teise agregaadi käivitamisel kasutatakse generaatorite automaatset isesünkroniseerimist.

Automaatika-aparatuur ja nende aparaatide kontaktid, samuti kui muudes automaatikaskeemideski, tähistatakse aparatuuri nimetuse või ülesande algtähtedega, mitte aga vastava aparatuuri kataloogiindeksitega. Vajaduse korral asetatakse tähtede ette riista järjekorranumber või agregaadi number, mille juurde antud riist kuulub.

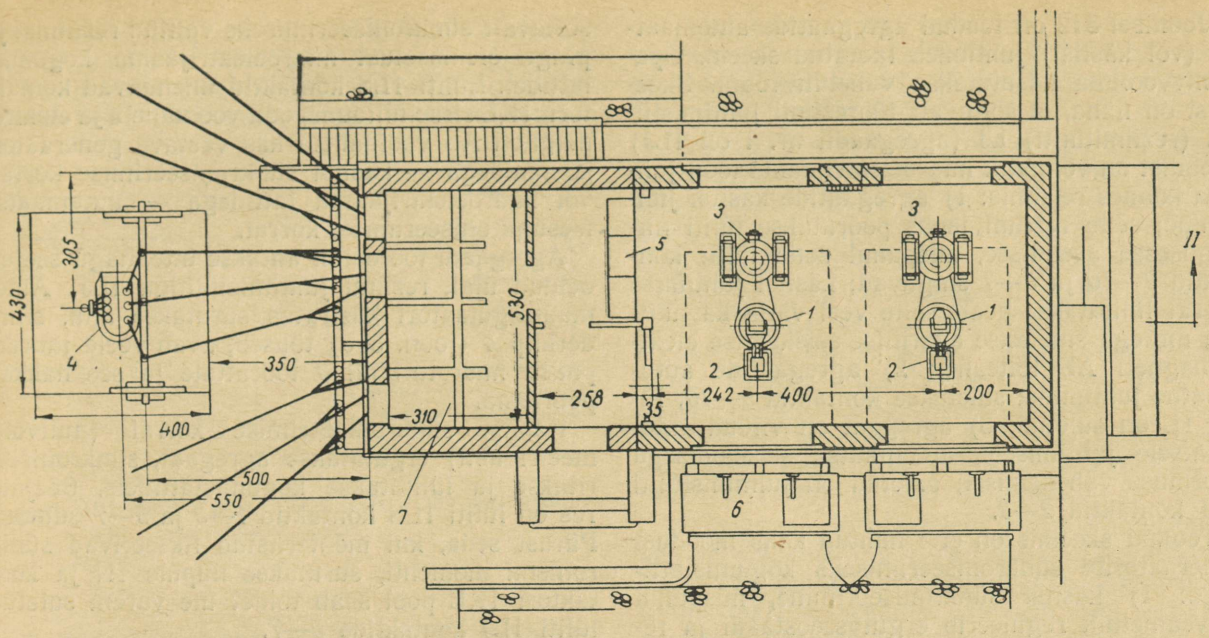
Elektriaparaatide, releede ja hüdromehaaniliste mõõtesaatjate kontaktid näidatakse skeemides sellises asendis, mis vastab poolide vooluta olekule, s. t. asendis, kus puudub riista rakendumist esilekutsuv põhjus. Paljukontaktiliste juhtimislülitite pakettide asend tuuakse tavali-



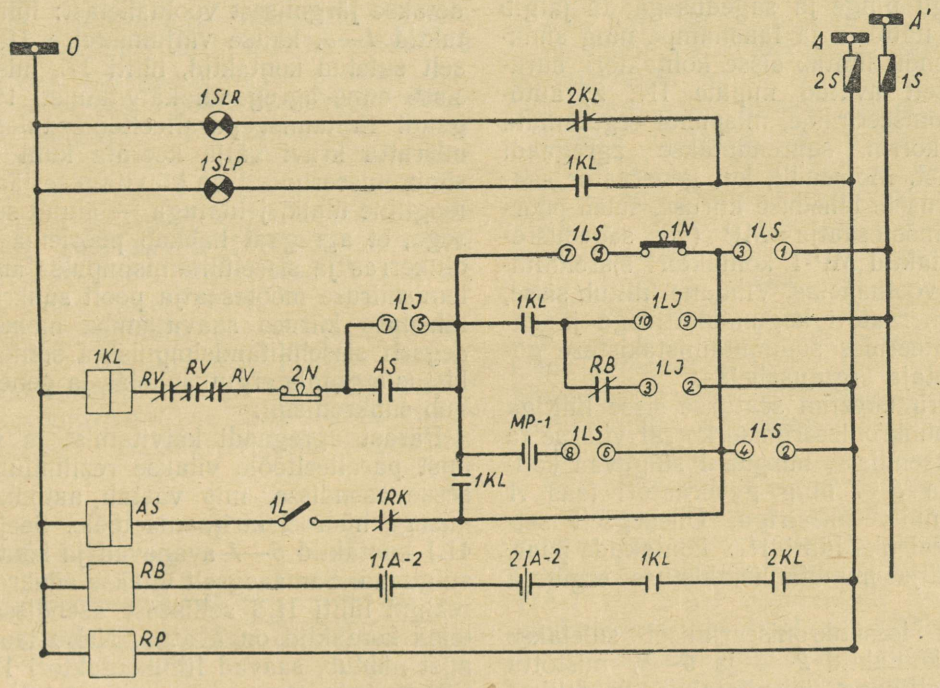
Joon. 310. Hüdroelektrijaama automatiseerimise hüdromehaaniline skeem. 2×105 kVA generaatorid otsese toimega regulaatoritega.

selt eridiagrammides, mis lisatakse üldisele automaatikaskeemile.

Vaatleme siinkohal veel hüdromehaaniliste seadmete automaatikaskeemi põhielemente, mis on kujutatud joonisel 310. Kolmefaasilist generaatorit *1* ergutajaga *2*, mis asetseb generaatoriga samal võllil, käitatakse vertikaalse propellerturbiiniga *3* kiilrihm-ülekande *7* abil. Hüdroturbiini tööratas on ühendatud turbiini rihmarattaga võlli *5* abil. Agregaadi laager *6* on temperatuuri kontrollimiseks varustatud mõõtesaatjaga *19*. Tsentrifugaalpendel *9* on Kotenevi süsteemi kiirusregulaatori *8* pea-mõõteorganiks. Kiiruse reguleerimissüsteemi kuuluvad silinderkilp *4*, varras ja kang *11* ning tasakaalustav raskus *10*. Kiirusregulaator on varustatud käsijuhtimisrattaga *12*, avanäitajaga *14*, avapiirajaga *13*, blokk-kontaktidega varustatud avariilise seiskamise elektromagnetiga *20* ja avanäitaja blokk-kontaktidega *21*. Generaatori võllile on üles seatud pöörlemiskiiruse mõõtesaatja *18* reduktoriga *17*.



Joon. 311. Põhiseadmete paigutusplaan hüdroelektrijaamas võimsusega 2×105 kVA.



Joon. 312. 2×105 kVA hüdroelektrijaama agregaatide juhtimise laotatud skeem.

Turbiinikambri ees on kilp *15;* siia on üles seatud ülemise biefi veenivoo mõõtesaatja *16.*

Joonisel 311 on toodud kahe 105 kVA agregaadiga hüdroelektrijaama põhiseadmete paigutusplaan. Sama jaama agregaatide automaatikaskeem on toodud joonisel 310. Hüdroelektrijaama masinasaali on paigutatud hüdroturbiinide veo-rihmarattad *1,* automaatsed kiirusregulaatorid *2,* vertikaalsed generaatorid ВСГ-116/8 (vt. kolmas peatükk) *3,* jaotuskilp *5.* Kõrgepinge-jaotusseade *7* on paigutatud hüdroelektrijaama hoonesse vaheseina taha ning pingettõstev trafo *4* on paigutatud lahtisele õuele jaamahoone jaotusseadme-poolse seina äärde. Vee sisenemist turbiinikambrisse reguleeritakse käsitõstemehhanismi abil tasapinnaliste kilpidega *6.*

Joonisel 312 on toodud agregaatide automaatse (või käsitsi) juhtimise laotatud skeem. Operatiivvooluna kasutatakse vahelduvvoolu. Skeemist on näha, et sõltuvalt töörežiimi juhtimislüliti (režiimilüliti) LJ (agregaadil nr. 1 on 1LJ) asendist on võimalik hüdroelektrijaama tööd juhtida kolmes režiimis: 1) agregaatide käsitsi juhtimine; selle režiimi jaoks pööratakse lüliti niisugusesse asendisse, mispuhul selle lüliti kontaktid *9—10* ja *5—7* sulguvad; käsitsi juhtimise korral lülitatakse peale selle veel välja ka lüliti 1L, millega suletakse avariilise seiskamise elektromagneti AS toiteahel; 2) agregaatide automaatne juhtimine; suletakse kontaktid *9—10,* lüliti 1L on suletud; 3) agregaat on viidud automaatsele juhtimisele, automaatse seiskamisega koormuse vähenemisel; suletud on juhtimislüliti 1LJ kontaktid *2—3.*

Toodud skeemis on ette nähtud kaks moodust generaatorite sünkroniseerimiseks kogumislattidega: 1) käsitsi sünkroniseerimine, mispuhul valveametnik reguleerib ergutusreostaadi ja regulaatori abil generaatori pinge ja sageduse võrdseks võrgu pinge ja sagedusega; ta jälgib mõõteriistade näitusid ja faasilampe ning sünkronismi momendil lülitab sisse kontaktori, surudes normaalselt avatud nupule 1N; 2) automaatne sünkroniseerimine, mispuhul ergutamata generaatori korral suurendatakse agregaadi pöörlemiskiirust. Momendil, kui generaator saavutab nimikiirusele lähedase kiiruse, suleb pöörlemiskiiruse mõõtesaatja MP (või sagedusrelee) oma kontaktid MP-1 kontaktori sisselülitamispooli 1KL vooluahelas. Viimane lülitub sisse, ühendades generaatori kogumislattidega ja samaaegselt šunteerides summutamistakistuse generaatori ergutaja ergutusahelas.

Sünkroniseerimisrežiim seatakse sisse lülitiga 1LS. Käsitsi sünkroniseerimise korral viiakse ta niisugusesse asendisse, mispuhul sulguvad kontaktid *1—3* ja *5—7* ning generaatori faas *A* ühendatakse nullvoltmeetriga. Üheaegselt sellega sulgub veel üks lüliti 1LS kontaktide paar, šunteerides väljasummutamistakistuse ergutaja ergutusahelas.

Automaatsel isesünkroniseerimisel suletakse lülitiga 1LS kontaktid *2—4* ja *6—8,* mistõttu operatiivvooluallikaga ühendatakse kontaktori automaatse sisselülitamise vooluahel.

Vajaduse korral võib kasutada ka täpse sünkroniseerimise asemel käsitsi isesünkroniseerimist. Selleks annab pöörlemiskiiruse mõõtesaatja (või sagedusrelee) signaali agregaadi poolt vajaliku kiiruse saavutamise kohta. Pärast seda toimub agregaadi sisselülitamine ja üheaegne väljasummutamistakistuse šunteerimine personali poolt käsitsi.

Agregaati käivitatakse kindlas järjekorras, sõltuvalt sünkroniseerimiseks valitud režiimist ja pinge olemasolust hüdroelektrijaama kogumislattidel. Lüliti 1LS kontaktid ühendavad kontaktori 1KL sisselülitamispooli vooluahela ja elektromagneti AS vooluahela kas vastava generaatori klemmidega — käsitsi sünkroniseerimise korral, või hüdroelektrijaama lattidega — automaatse isesünkroniseerimise korral.

Agregaadi töörežiim antakse ette, nagu see on öeldud ülal, režiimi juhtimislülitiga 1LJ. Automaatregulaatori käsiratas surutakse alla, silinderkilp *4* (joon. 310) tõuseb, avab veele juurdepääsu hüdroturbiini *3* töörattale ja see hakkab pöörlema.

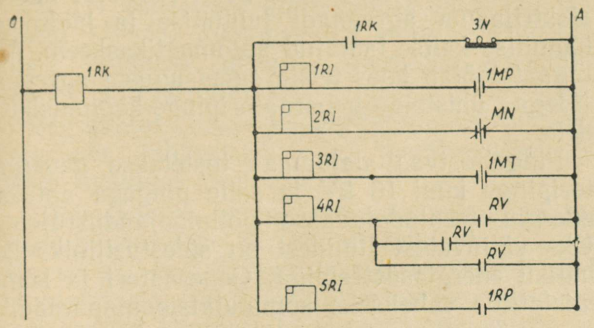
Käsitsi sünkroniseerimise korral (nullvoltmeetri abil) ergutatakse agregaat, sünkroniseeritakse ja lülitatakse kogumislattidele. Seejuures on lüliti 1LS kontaktid *1—3* ja *5—7* suletud. Pärast seda, kui mõõteriistad fikseerivad sünkronismi momenti, surutakse nupule 1N ja kontaktori 1KL pool saab toidet üle varem suletud lüliti 1LJ kontaktide *5—7.*

Avariilise seiskamise elektromagneti pooli toidetakse järgmisest vooluahelast: lüliti 1LS kontaktid *1—3,* kaitse väljumisrelee 1RK normaalselt suletud kontaktid, lüliti 1L, mis lülitatakse sisse enne agregaadi käivitamist. Pärast agregaadi lülitamist paralleeltööle tuleb käsijuhtimisratta kruvi välja keerata kuni lõpuni. Isesünkroniseerimisel on käivitamise järjekord analoogiline ülalkirjeldatuga — ainult selle erinevusega, et agregaat hakkab pöörlema ergutamata olukorras ja sisselülitamisimpulss antakse pöörlemiskiiruse mõõtesaatja poolt sünkroonkiirusele lähedase kiiruse saavutamise momendil. Üheaegselt sisselülitamisimpulsiga šunteeritakse takistus ergutaja ergutusahelas ja generaator tõmbub sünkronismi.

Pärast agregaadi käivitamist ja selle lülitamist paralleeltööle viiakse režiimilüliti niisugusesse asendisse, mis vastab automaatse juhtimisega hüdroelektrijaama tööle. Seejuures lüliti 1LJ kontaktid *5—7* avanevad ja kontaktid *9—10* sulguvad. Samaaegselt viiakse sünkroniseerimisrežiimi lüliti 1LS sellisesse asendisse, kus kõik tema kontaktid on avatud. Nagu laotatud skeemist nähtub, saavad liinikontaktori 1KL ja avariilise seiskamise elektromagneti AS poolid edasi toidet vooluahelast, mis läbib lüliti 1LJ kontakte *9—10.*

Kahe agregaadi töötamisel viiakse ühe agregaadi režiimilüliti niisugusesse asendisse, mispuhul sulguvad kontaktid *2—3.* Selles lüliti 1LJ asendis toidetakse kontaktori ja avariilise väljalülitamis-elektromagneti vooluahelat lüliti 1LJ kontaktide *2—3* ja väljalülitamisrelee RB normaalselt suletud kontaktide kaudu, mis lülitab selle agregaadi välja hüdroelektrijaama koor-

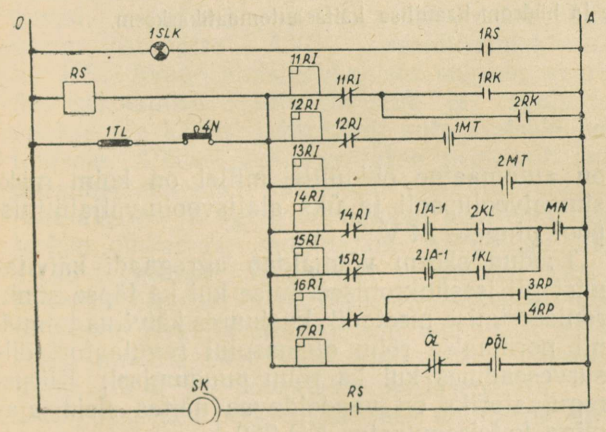
muse vähenemisel kuni 30—35% nimikoormusest. Nimetatud relee töötamine selgub agregaadi kaitse laotatud skeemi (joon. 313) ja signalisatsiooni laotatud skeemi (joon. 314) vaatlemisel.



Joon. 313. 2×105 kVA hüdroelektrijaama agregaadi kaitse skeem.

Kaitse väljuvreleed 1RK (joon. 313) läbib vool agregaadi hüdromehaanilise või elektrilise kaitse releede ja mõõtesaatjate rakendumisel, mis on ka näidatud skeemis. Seda liiki kaitseseadiste hulka kuuluvad: agregaadi kaitse pöörlemiskiiruse suurenemise vastu pöörlemiskiiruse mõõtesaatja 1MP sulguvate kontaktide abil; kaitse ülemise biefi veenivoo avariilise vähenemise vastu (nivoo mõõtesaatja MN abil); kaitse turbiini kandelaagrite avariilise soojenemise vastu (temperatuuri mõõtesaatja 1MT); generaatori maksimaalvoolukaitse (3 voolureleed RV); kaitse pinge tõusu vastu (relee 1RP).

Relee 1RK rakendumise põhjuse ja koos sellega agregaadi väljalülitamise põhjuse leidmiseks on hüdromehaanilise ja elektrilise kaitse üksikutesse vooluahelatesse üles seatud vastavate numbritega indikaatorreleed (signaalreleed) RI.



Joon. 314. 2×105 kVA hüdroelektrijaama signalisatsiooni skeem.

Hüdroelektrijaama operatiiv-vahelduvvooluga hoiatus- ja avariisignalisatsiooni laotatud skeem on toodud joonisel 314 ja see koosneb järgmistest põhielementidest.

Järjestikku signalisatsioonireleega RS, mis on kogu hüdroelektrijaama kohta üldine, ühendatakse mõõtesaatjate ja releede kontaktid, mis lülitavad sisse signaali, indikaatorreleede poolid ning nende normaalselt suletud kontaktid.

Mõõtesaatjate kontaktide sulgumisel pingestatakse signaalrelee RS, mis rakendudes käivitab signaalkella SK ja kollase lambi kilbi paneelil ning samuti signalisatsiooni valveametniku kodus; relee RS sisselülitamisel vastav indikaatorrelee RI ei rakendu, sest mõlemate releede järjestikku ühendatud mähiseid läbiv vool ei ole relee RI rakendumiseks küllaldane.

Helisignaali lõpetamiseks surub valveametnik nupule 4N, misjärel paralleelselt relee RS vooluahelaga lülitatakse takistus 1TL. Vooluahela üldine takistus seetõttu väheneb, vool suureneb, vastav indikaatorrelee rakendub, avab oma normaalselt suletud kontaktid ja relee RS toiteahel katkeb. Seetõttu signaalkella töötamine lakkab, signaallamp 1SLK kustub ja lipuke vastaval indikaatorreleel näitab valveametnikule põhjust, mis kutsus esile signaali andmise.

Toodud laotatud signalisatsiooniskeemis on vooluahelates järgmised indikaatorreleed: 11RI — agregaatide kaitse releede rakendumine; 12RI — esimese agregaadi kandelaagri ülekuumenemine; 13RI — teise agregaadi kandelaagri ülekuumenemine; 14RI — esimese agregaadi piirkoormus, kui teine agregaat ei tööta; 15RI — teise agregaadi piirkoormus, kui esimene agregaat ei tööta; 16RI — maaühendus hüdroelektrijaama kõrgepingelattidel; 17RI — vastutusrikka kõrgepingeliini õlilüliti avariiline väljalülitamine.

Kui hüdroelektrijaamas töötab üks agregaat ja koormus ulatub agregaadi suurima lubatava koormuseni, siis reguleeriva seadise kilbi ülestõstmisel piirasendisse sulguvad avanäitaja 1IA-1 või 2IA-1 normaalselt avatud kontaktid indikaatorreleede 14RI või 15RI vooluahelates. Seejuures relee RS suleb oma kontaktid ja käivitab valveametniku kodus signaali teise agregaadi käivitamise vajaduse kohta. Kahe agregaadi töötamisel ja hüdroelektrijaama koormuse vähenemisel kuni 30—35% nimikoormusest sulguvad reguleeriva seadise avanäitaja teised äärmised kontaktid 1IA-2 ja 2IA-2 (joon. 312), mis asetsevad sisselülitamisrelee RB vooluahelas. Viimane rakendub ja avab oma normaalselt suletud kontaktid liinikontaktorite poolide 1KL ja 2KL ahelates, mistõttu lülitatakse välja ja seisatakse see agregaat, mille režiimilüliti LJ on

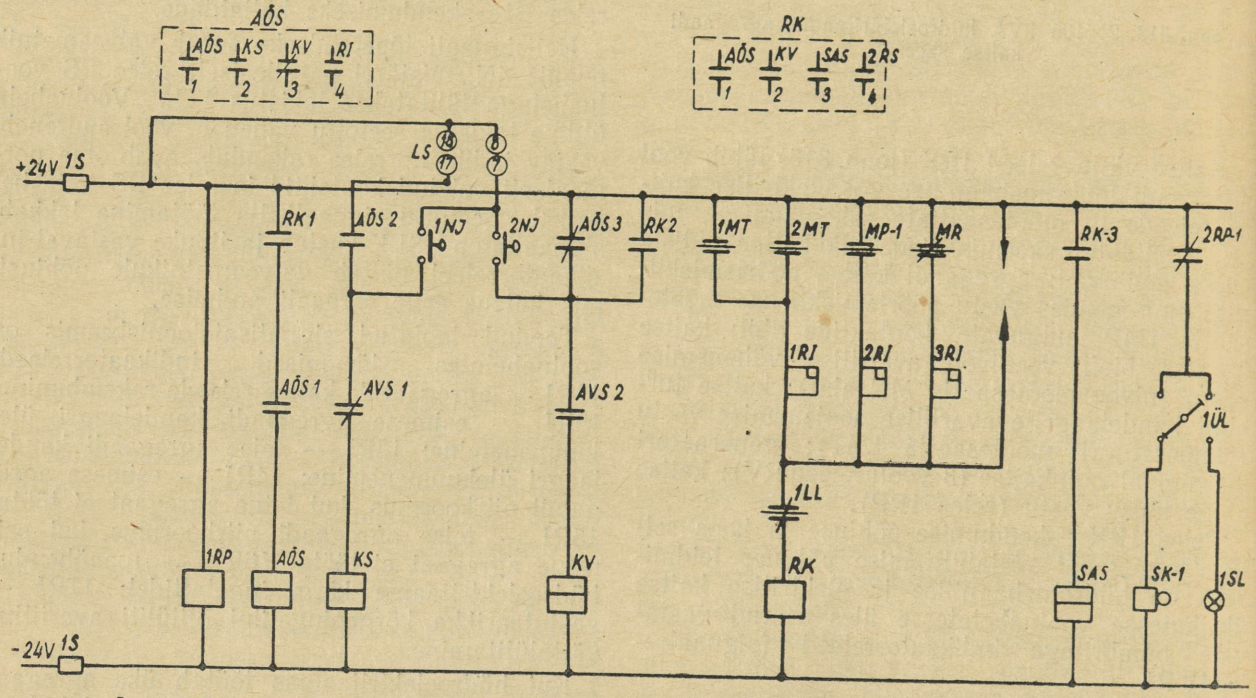
seatud asendisse, kus kontaktid *2—3* suletakse (töötava agregaadi reservasend).

Nagu nähtub toodud skeemidest, toimub agregaadi automaatne seiskamine relee RB või RK rakendumisel, elektromagneti lüliti 1L käsitsi lülitamisel või kontaktori surunupule 2N vajutamisel. Seejuures kulgeb seiskamisprotsess järgmises järjekorras: avariilise seiskamise elektromagneti pool AS jääb vooluta; regulaatori vedru mõjul annab tõukur kangi õlale löögi, kang pöördub ümber telje ja viib noka vardas olevast pilust välja; kangist lahutatud varras ei kanna enam pendli poolt arendatavat jõudu edasi kilbi tõmbevardale ja viimane langeb omakaalu mõjul alla ning suleb vee ligipääsu töörattale; agregaat jääb seisma.

HÜDROELEKTRIJAAMA AUTOMAATIKASKEEM OPERATIIV-ALALISVOOLU KASUTAMISEL (24 V)

Joonisel 315 on toodud 200—400 kVA hüdroelektrijaama agregaadi juhtimise ja hüdromehaanilise kaitse laotatud automaatikaskeem. Agregaat töötab koos teiste samasuguste agregaatidega ühistele generaatoripinge-kogumislattidele.

Pingettõstvas alajaamas tõstetakse generaatoripinge kuni 10 kV ja selle pingega antakse energia teenindatavasse põllumajandusrajooni. Üks väljuvatest liinidest on sidestusliiniks kohaliku energiasüsteemiga. Generaatori ja kogumislattide vaheliseks kommutatsiooniaparaadiks



Joon. 315. 200 kuni 400 kVA agregaadi juhtimise ja hüdromehaanilise kaitseautomaatikaskeem.

Vaatlesime hüdroelektrijaama automaatikaskeemi. Elektrijaama turbiinid on sel puhul varustatud otsese toimega regulaatoritega, kusjuures operatiivvooluks on võetud vahelduvvool. Võimsamate maahüdroelektrijaamade automatiseerimisel kasutatakse operatiivvooluna peamiselt alalisvoolu. Neil juhtudel, kui hüdroelektrijaamas kasutatakse solenoidajamitega kõrgepingelülitite distantsjuhtimist, valitakse alalisvoolu pingeks 110 V; kõigil muudel juhtudel on kõige sobivamaks pinge 24 V.

on automaatne õhklüliti, millel on kolm maksimaalvoolupooli ja üks alalisvoolu-väljalülituspool pingele 24 V.

Toodud skeem võimaldab agregaadi käivitamist nii isesünkroniseerimise kui ka täpse sünkroniseerimise meetodil, kusjuures käivitus toimub nii normaalse rõhu olemasolul regulaatori õlisurveseadmes kui ka rõhu puudumisel. Kiirusregulaatoriks on vaadeldavas näites elektriajamiga katelregulaator КЭ-350.

Vaatleme operatsioonide järjekorda agregaadi

käivitamisel isesünkroniseerimise teel, kui kogumislatid on pingestatud teisest agregaadist või energiasüsteemist.

Kõigepealt viiakse sünkroniseerimisrežiimi lüliti LS asendisse, mille juures sulguvad kontaktid *17—18*. Juhtaparaadi avapiiramismehhanism suletakse, mistõttu avariilise seiskamise seadis jääb riivistatuks.

Regulaator viiakse käsitsi juhtimiselt üle automaatsele juhtimisele ja avapiiramismehhanism avatakse täielikult.

Hüdroturbiini juhtaparaat avaneb, agregaat hakkab pöörlema ja töötab tühijooksurežiimis. Momendil, kui agregaadi kiirus läheneb sünkroonkiirusele, suleb libistusrelee oma normaalselt avatud kontakti ja signaallamp süttib.

Üheaegselt signaallambi süttimisega lülitatakse käsitsi sisse generaatori automaatlüliti AÕS. Selle lüliti pool, mida toidetakse sõltumatust vooluallikast, jääb pingeta ja normaalselt avatud kontakt AÕS-1 sulgub; sellega on pooli AÕS toitevooluahel ette valmistatud ja juhul, kui relee RK rakendub, sulgub selle normaalselt avatud kontakt RK-1 ja annab impulsi automaatlüliti väljalülitamiseks.

Automaatlüliti sisselülitamisel sulgub ka tema teine normaalselt avatud kontakt AÕS-2, mistõttu vool läbib automaatse väljasummutusseadise sisselülitamiskontaktori poolt KS, summutustakistus ergutaja ergutusmähise ahelas šunteeritakse ja väljasummutusseadis riivistub; kontakt AVS-1 avaneb ja kontakt AVS-2 sulgub. Generaator tõmbub sünkronismi ja pärast pöörlemiskiiruse muutmise mehhanismi reguleerimist võtab agregaat endale aktiivkoormuse. Seejärel pööratakse sünkroniseerimislüliti nullasendisse.

Jälgime nüüd agregaadi käivitusprotsessi käsitsi sünkroniseerimise korral. Sünkroniseerimisrežiimi lüliti pööratakse käsitsi sünkroniseerimise asendisse, mispuhul kontaktid *7—8* sulguvad. Surudes nupule 1NJ, lülitub sisse väljasummutusseadise AVS sisselülitamiskontaktor KS. Avapiiramismehhanism sulgub, avariilise seiskamise seadis riivistub ja regulaator viiakse üle käsitsi juhtimiselt automaatsele juhtimisele. Pärast seda avatakse aeglaselt avapiiramismehhanism täielikult, mistõttu juhtaparaat avaneb ja agregaat hakkab pöörlema tühijooksu olukorras; automaatne kiirusregulaator astub tegevusse. Järgnevalt teostatakse käsitsi sünkroniseerimist sünkroniseerimisseadise mõõteriistade järgi ja sünkronismi momendil lülitatakse automaatselt sisse automaatne võimsuslüliti. Lüliti LS pööratakse nullasendisse.

Reguleerides pöörlemiskiiruse muutmise mehhanismi, võtab agregaat endale koormuse.

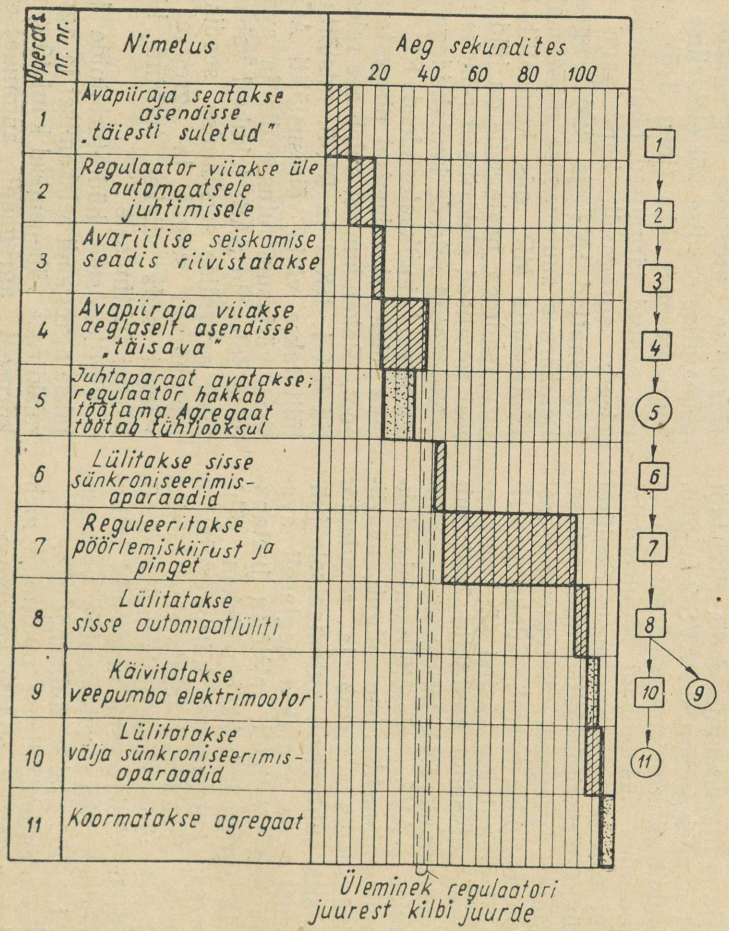
Neil juhtudel, kui kogumislattidel puudub pinge ja õlisurveseadmes pole vajalikku rõhku, toimub käivitamine palju lihtsamate operatsioonidega järgmises järjekorras: avariilise seiskamise seadis riivistatakse; turbiini juhtaparaat avatakse käsitsi asendini, mis vastab tühijooksule; agregaat hakkab pöörlema ja saavutab nimipöörlemiskiiruse, seejärel lülitatakse automaatselt sisse automaatne võimsuslüliti; kogumislattidel tekib normaalne pinge ja lülitatakse sisse õlipumba elektrimootor; agregaat koormatakse liinide sisselülitamisega; õli normaalse rõhu korral katlas avatakse avapiiramismehhanism täiesti ja regulaator viiakse automaatse juhtimise asendisse.

Vaatlesime agregaatide mitmesuguseid käivitamisrežiime. Joonisel 315 toodud skeem annab ettekujutuse ka agregaadi normaalsest ja avariilisest seiskamisest. Normaalne seiskamine toimub valvepersonali poolt järgmiste operatsioonidega: väljalülitamisele kuuluv agregaat vabastatakse koormusest, reguleerides hüdroturbiini pöörlemiskiiruse muutmise mehhanismi; automaatlüliti AÕS lülitatakse välja, misjärel väljasummutusseadise väljalülitamiskontaktor KV vabastab riivistuse ja väljasummutusseadis võtab asendi, mispuhul väljasummutustakistus dešunteeritakse ja takistus lülitatakse ergutaja ergutusmähise ahelasse. Järgnevalt suletakse regulaatori käsitsi juhtimise abil juhtaparaat ja agregaat jääb seisma.

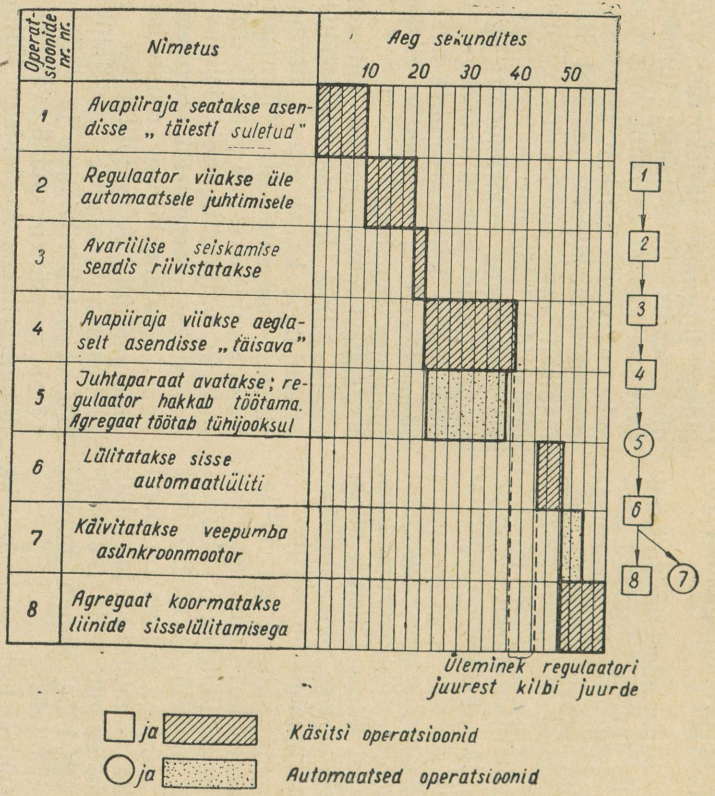
Vaatleme veel lõpuks agregaadi avariilise seiskamise protsessi agregaadi ühe hüdromehaanilise seadise või elektrilise kaitse toimel. Nagu skeemist näha (joon. 315), on agregaadile üles seatud järgmised hüdromehaanilise kaitse releed: agregaadi kandelaagri temperatuuri mõõtesaatjad 1MT ja 2MT, agregaadi kiiruse ülemäärase suurenemise mõõtesaatja MP, rõhu mõõtesaatja MR, mis kontrollib õli rõhku õlisurveseadmes; peale selle on hüdroelektrijaamas veel tavalised elektrilised releekaitseseadised.

Nimetatud releede kontaktidega on järjestikku ühendatud indikaatorreleed RI, kusjuures vastava relee rakendumisel pingestatakse relee RK pool. Rakendumisel suleb see relee oma kontaktid RK-1, RK-2 ja RK-3, mistõttu automaatselt lülitatakse välja võimsuslüliti AÕS, lülitatakse sisse väljasummutusseadis ja avariilise seiskamise solenoid SAS; lukukeel vabaneb, hüdroturbiini avariilise seiskamise seadis käivitatakse, juhtaparaat sulgub ja agregaat jääb seisma. Pärast seda viiakse turbiini kiirusregulaator käsitsi juhtimisele.

Vertikaalsete hüdroturbiinide korral kasutatakse agregaadi seiskamisel ja agregaadi pöörlemiskiiruse vähenemisel kuni 40% nimipöörlemiskiirusest agregaadi automaatset või käsitsi pidurdamist.



Joon. 316. Hüdroagregaadi käivitusdiagramm; katel on rõhu all ja hüdroelektrijaama kogumislatid on pingestatud.



Joon. 317. Esimese agregaadi käivitusdiagramm; katel on rõhu all, kuid hüdroelektrijaama kogumislatid ei ole pingestatud.

Skeemi paremal poolel on näidatud operatiivvooluahela sulavkaitsmete läbipõlemise signalisatsiooni seadis, mis pingerelee RP abil lülitab sisse kas signaalkella või -lambi.

HÜDROAGREGAATIDE JUHTIMISE DIAGRAMMID

Hüdroelektrijaama automatiseerimise projekteerimisel ja samuti hüdroelektrijaama ekspluateerimisel iseloomustatakse automaatset käivituse protsessi juhtimist ja normaalset ning avariilist seiskamist ülevaatlike diagrammidega. Nende koostamisel on silmas peetud operatsioonide järjekorda ja neis näidatakse, missuguseid operatsioone teostab teeninduspersonal ja missugused toimuvad automaatselt.

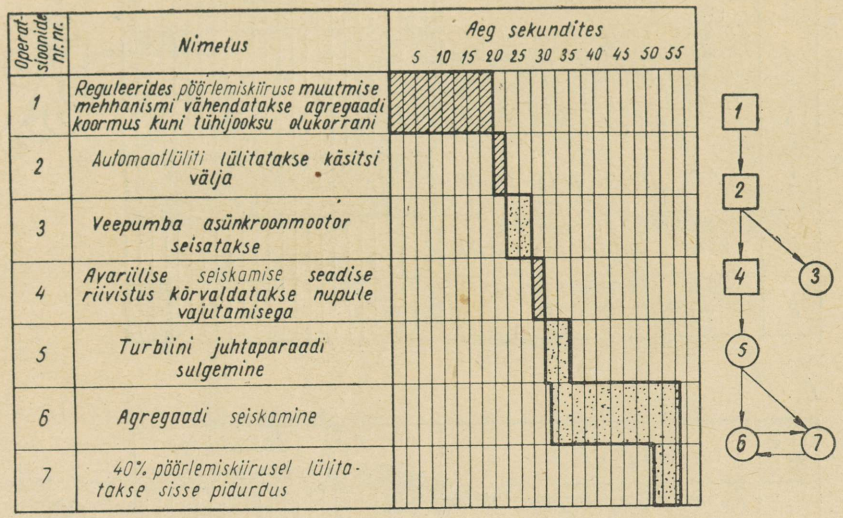
Maahüdroelektrijaamade projekteerimisel pöörab Giproselelektro erilist tähelepanu diagrammidele, milledes peale operatsioonide järjestuse näidatakse ka aeg, mille jooksul kulgeb üks või teine juhtimisprotsess.

Joonisel 316 on toodud hüdroagregaadi käivitusdiagramm, kui kiirusregulaatori katel on rõhu all ja hüdroelektrijaama kogumislatid on pingestatud.

Nagu diagrammilt nähtub, kestab kaasaegsete juhtimisseadmetega varustatud agregaadi kogu käivitusprotsess, kaasa arvatud ka sünkroniseerimine, ligikaudu 2 minutit. Käivitamisel teostatakse enamik operatsioone käsitsi.

Joonisel 317 on näidatud esimese agregaadi käivitamise diagramm, kui õlisurveseadises on rõhk, kuid hüdroelektrijaama lattidel puudub pinge. Käivitusprotsess kestab ligikaudu üks minut, sest puudub sünkroniseerimise vajadus.

Analoogiliselt käivitusprotsesside diagrammile koostatakse ka seiskamisprotsesside diagrammid, kuid siinjuures tuleb eraldada käsitsi ja automaatsete operatsioonidega normaalset seiskamist (joon. 318) avariilisest seiskamisest, mis toimub automaatselt, ilma teeninduspersonali vähimagi osavõtuta. Avariiline seiskamine kutsutakse esile kas ühe hüdromehaanilise kaitse (joon. 319, *a*) rakendumisel või elektrilise kaitse toimimisel (joon. 319, *b*).



Joon. 318. Agregaadi normaalse seiskamise diagramm.

HÜDROELEKTRIJAAMA TEHNILISE VESIVARUSTUSE AUTOMATISEERIMINE

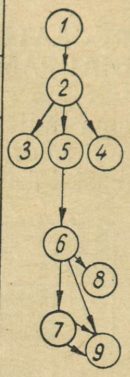
Hüdroelektrijaamades peab tehnilise vesivarustuse süsteem tagama rea õlijahutusseadiste, laagrite ja kompressorite katkestamatut veega varustamist, samuti hüdroturbiini puitplastmassist või kummist laagriliudade laagrite veega määrimist.

Keskmise survega hüdroelektrijaamades (alates 10 kuni 100 m) on hüdroelektrijaamade kõigi tarbijate tehniliseks vesivarustuseks küllaldane vee loomulik surve. Üksikute tarbijate jaoks eraldatakse vesi ülejaamalistest veesurvemagistraalidest hargnemiste teel, ilma igasuguste automaatseadisteta, lihtsate kontrollmõõteriistade ülesseadmisega.

Madala survega (alla 10 m) ja kõrge survega (üle 100 m) hüdroelektrijaamades on raske kasutada ülemise biefi loomulikku survet. Neil juhtudel soovitatakse tehnilise vee tarbijaid toita ülejaamalisest survepaagist, mis automaatselt täidetakse elektriajamiga pumba abil. Kui

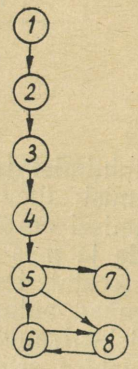
a

operats. nr. nr.	Nimetus	Aeg sekundites 3 6 9 12 15 18 21 24 27 30 33
1	Rakendub mingi hüdro-mehaaniline kaitse	
2	Rakendub väljumis-relee RK	
3	Lülitatakse sisse ülejaamaline hoiatussignalisatsiooni relee 2RS ja signaalkell	
4	Lülitatakse välja õhk-automaatlüliti	
5	Antakse toide SAS-le. Kõrvaldatakse avariilise seiskamise seadise riivistus	
6	Turbiini juhtaparaadi sulgemine	
7	Agregaadi seiskamine	
8	Lõpplüliti 1LL lülitab välja väljumisrelee RK	
9	40% pöörlemiskiirusel lülitatakse sisse piduraus	



b

operats. nr. nr.	Nimetus	Aeg sekundites 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55
1	Automaatlüliti väljalülitamine lühise korral	
2	Rakendub väljumis-relee RK	
3	Antakse toide SAS-le. Kõrvaldatakse avariilise seiskamise seadise riivistus	
4	Lülitatakse sisse ülejaamaline hoiatussignalisatsiooni relee ja signaalkell	
5	Turbiini juhtaparaadi sulgemine	
6	Agregaadi seiskamine	
7	Lõpplüliti 1LL lülitab välja väljumis-relee RK	
8	40% pöörlemiskiirusel lülitatakse sisse piduraus	

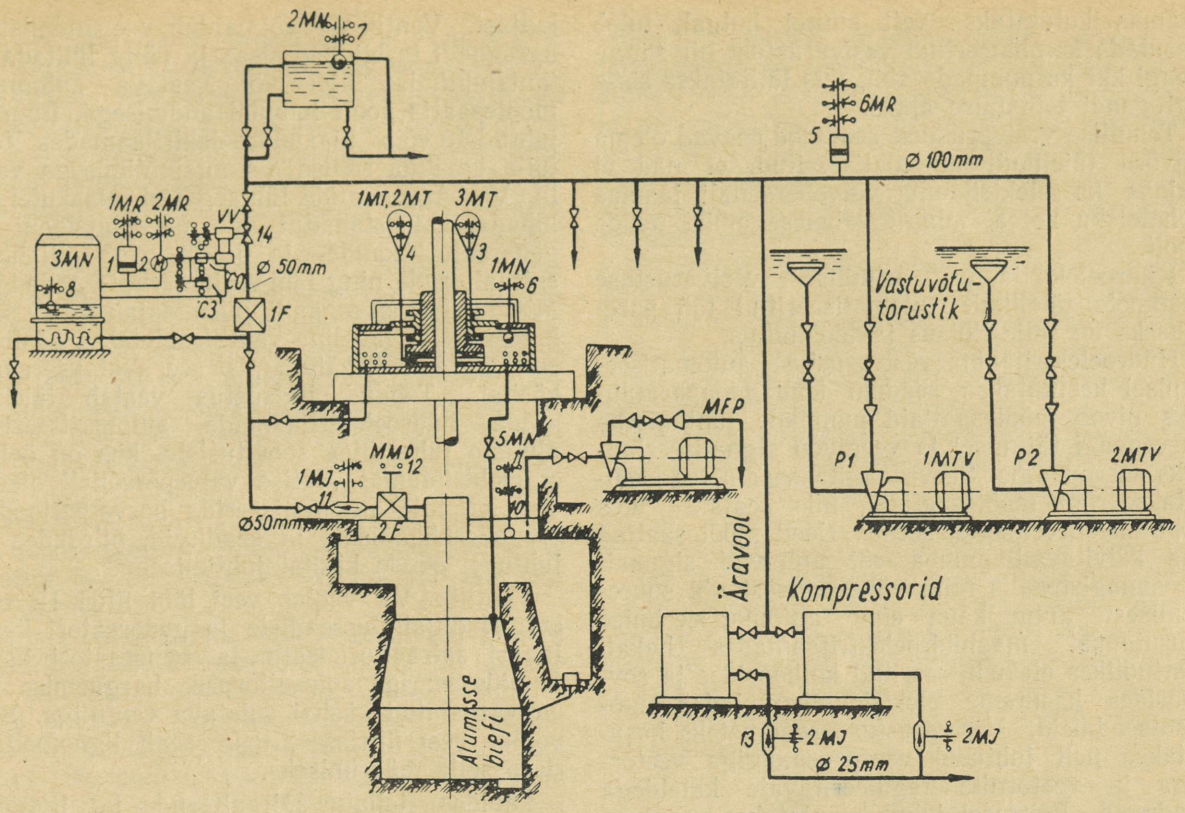


Tingmärgid:

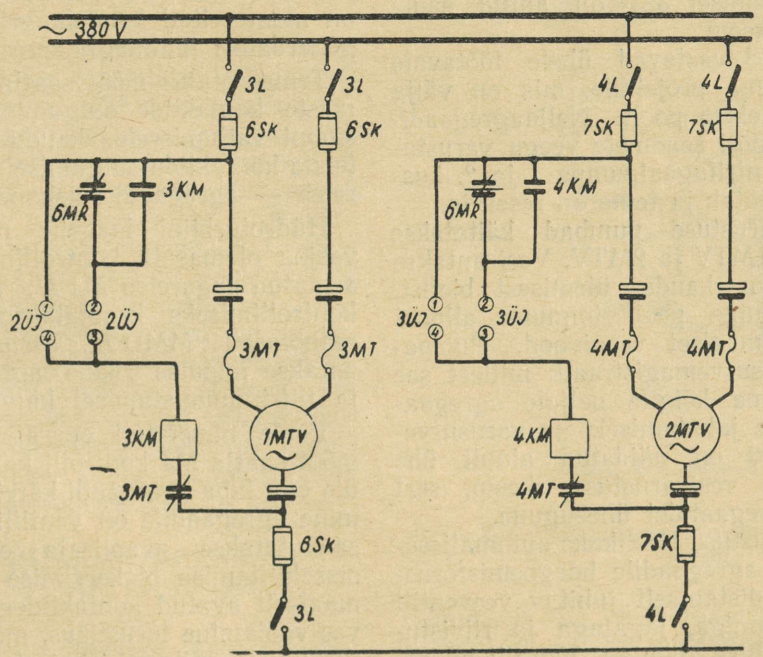
□ ja ▨ Käsitsi operatsioonid

○ ja ▩ Automaatsed operatsioonid

Joon. 319. Agregaadi avariilise seiskamise diagramm:
a — hüdromehaanilise kaitse toimel; *b* — elektrilise kaitse toimel.



Joon. 320. Automatiseeritud hüdroelektrijaama tehnilise vesivarustuse ja temperatuuri kontrollimise skeem: *1, 2* ja *5* — rõhu mõõtesaatjad; *3* ja *4* — temperatuuri mõõtesaatjad; *6, 7, 8, 9* ja *10* — nivoo mõõtesaatjad; *11* ja *13* — jugareleed; *12* — diferentsiaal-manomeeter; *14* — hüdroajamiga ventiil.



Joon. 321. Automatiseeritud hüdroelektrijaama tehnilise vesivarustuse laotatud skeem.

jaamas kulutatakse vett suurel hulgal, tuleb kasutada kombineeritud vesivarustust nii survepaagi kui ka pumpade abil, mis lülitatakse sisse agregaadi töötamise ajaks.

Tehnilise vesivarustuse seadmed peavad olema niivõrd täielikult automatiseeritud, et nad ei vajaks ka elektrijaama valvepersonali jaamas kohaloleku korral mingit vahelesegamist nende poolt.

Hüdroelektrijaama tehnilise vesivarustuse seadmete täielikult automatiseeritud töö paremuseks on selle lihtsus ja töökindlus.

Hüdroelektrijaama vesivarustuse automatiseerimisel kasutatakse seadme komandoaparatuuriks nivoo mõõtesaatjaid pumpade juhtimiseks survepaagi täitmisel ja veenivoo signaliseerimiseks survepaagis. Survepaagita seadmetes kasutatakse rõhu mõõtesaatjaid, mis seatakse üles kogumis-survemagistraalile. Need mõõtesaatjad kas käivitavad pumba või annavad signaali survemagistraalis rõhu vähenemisest või suurenemisest. Juba kaua enne automatiseerimise juurutamist maahüdroelektrijaamades hakati eesrindlikes elektrifitseeritud kolhoosides ja sovhoosides kasutama elektripumbamajades automaatseadmeid. Vesivarustuse seadmeteks kasutatakse neil juhtudel veesurvepaagiga veetorniga ja veetornita reguleeritavate kateldega seadmeid. Esimesel juhul kasutatakse veenivoo mõõtesaatjaid, teisel juhul — rõhu mõõtesaatjaid.

Joonisel 320 on toodud madala survega maahüdroelektrijaama tehnilise vesivarustuse põhimõtteskeem ja joonisel 321 on antud sama seadme laotatud skeem.

Mõlemad skeemid vastavad ühele töötavale maahüdroelektrijaama projektile, mis on välja töötatud Giproselelektro poolt. Neljaagregaadilise elektrijaama kõigi seadmete veega varustamiseks on kaks tsentrifugaalpumpa *1* ja *2*, kusjuures üks pump töötab ja teine on reservis.

Tehnilise vesivarustuse pumbad käitatakse elektrimootoritega 1MTV ja 2MTV. Vesi antakse pumpadele torustiku kaudu ülemisest biefist, kusjuures vee võtmine peab toimuma allpool ülemise biefi minimaalset veenivood. Pumpadest voolab vesi survemagistraali, millest see hargneb elektrijaama kõigile neljale agregaadile, kompressorite jahutamiseks ja varusurvepaaki. Joonisel 320 on näidatud ainult ühe agregaadi seadiste vesivarustuse skeem, sest see on kõikidel agregaatidel ühesugune.

Tehnilise vesivarustuse täielikuks automatiseerimiseks on igale agregaadile hargnemistorustikku üles seatud distantselt juhitav veeventiil VV *14*, õli-hüdroajamiga, jagajaga ja riivistusega elektromagnetilise ajamiga. Ventiili hüdroajamisse voolab õli hüdroturbiini regulaatori katlast. Ventiil VV võimaldab vee andmist iga agregaadi tarbijatele sisse ja välja lülitada distantsjuhtimise abil või vastava automaatse mõõtesaatja poolt impulsi andmisega. Enamikel juhtudel võib maahüdroelektrijaamades toime tulla ka ilma sellise distantsjuhtimisega ventiilita VV. Agregaatide lühiaegsetel seisakutel võib lubada katkestamatut vee tsirkulatsiooni läbi generaatori kande- ja juhtlaagrite õlijahutuse spiraaltorude ning läbi vesimäärimisega laagrite. Mis puutub agregaadi pikemaajalistesse seisakutesse, siis tavaline ventiil suletakse käsitsi ja enne agregaadi käivitamist see avatakse samuti käsitsi. Toodud lihtsustus vastab täielikult «Maa hüdroelektrijaamade automatiseerimise ajutiste juhendite» soovitustele, kus on öeldud, et elektrijaamas alatise valvepersonali olemasolul ei tule automatiseerida harva-perioodilise tööga mehhanisme ja seadiseid, piirdudes neil juhtudel nende käsitsi juhtimisega.

Ventiilist VV voolab vesi läbi filtri 1F regulaatori õlijahutusseadiste ja generaatori kandelaagri spiraaltorudesse ja generaatori kandetappidesse: iga spiraaltorusse hargnemise koht on varustatud käsitsi suletava ventiiliga. Edasi voolab vesi filtrisse 2F ja sealt lignofoollaagrisse selle määrimiseks.

Läbides jahutus-spiraaltorud ja lignofoollaagri, voolab vesi läbi toru elektrijaama alumisse biefi. Õli jahutuse kontrollimiseks generaatori juht- ja kandelaagrites kasutatakse kolme termosignalisaatorit (temperatuuri mõõtesaatjat) 1MT, 2MT ja 3MT *3, 4*. Kaks esimest neist on monteeritud kandelaagritesse ja kolmas — generaatori juhtlaagri keresse.

Temperatuuri mõõtesaatjad toimivad oma esimeste kontaktide sulgumisel hoiatussignalisatsiooni väljumisrelee kaudu signaalile (kell) ja teiste kontaktide sulgumisel üle kaitse väljumisrelee — agregaadi seiskamisele.

Hüdroturbiini laagrite määrimiseks mineva veejoa olemasolu kontrollimiseks on torustikku asetatud jugarelee MJ *11*, filtri 2F korrasoleku kontrollimiseks kasutatakse aga diferentsiaalmanomeetrit MMD *12*. Vesimäärimise katkemisel antakse impulss rikkis agregaadi seiskamiseks ja filtri ummistumisel käivitatakse helisignaal.

Peale nimetatud operatsioonide teostab joa mõõtesaatja MJ kontrolli ka ventiili VV avamise üle ega luba agregaadi käivitamist, kui vee andmine agregaadile on ventiili poolt suletud. See saavutatakse avapiiraja elektrimootori MAP sisselülitamise blokeerimise teel relee MJ normaalselt avatud kontaktidega. Niipea kui tekib vee voolamine torustikus, mis annab vett hüdroturbiini laagrite määrimiseks, sulguvad relee MJ normaalselt avatud kontaktid ja seetõttu on

võimalik käivitada avapiiraja elektrimootorit ning järelikult ka agregaati käivitada.

Tehnilise vesivarustuse survetorustikku on üles seatud rõhkrelee 6MR *5*, mis kontrollib vee rõhku ja annab töötava pumba avariilisel seiskamisel impulsi reservpumba sisselülitamiseks.

Täielikult seisva elektrijaama käivitamiseks, kui pinge puudumise tõttu ei ole võimalik käivitada tehnilise vesivarustuse mootoreid, kasutatakse tehnilise vee reservpaaki, kust vesi voolab isevoolu teel vett tarbivatele seadistele. Selle paagi maht on arvestatud ühe hüdroelektriagregaadi tööks 20—25 minuti jooksul. Reservpaagis küllaldase veehulga olemasolu kontrollimiseks kasutatakse veenivoo releed 2MN *7*, mis käivitab hoiatussignalisatsiooni, kui paagis veenivoo langeb allapoole sättenivood.

Joonisel 321 on näidatud tehnilise vesivarustuse elektrimootorite juhtimise automatiseerimise laotatud skeem. Seadme käivitamisprotsess kulgeb järgmiselt.

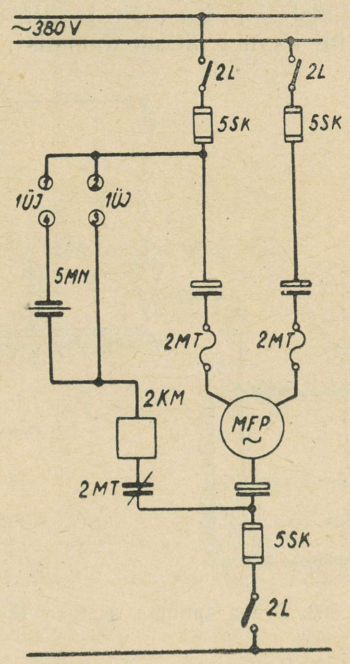
Pärast hüdrojaama agregaadi käivitamist lülitatakse sisse vinnaklülitid 3L ja 4L, kusjuures tehnilise vesivarustuse elektrimootorite 1MTV ja 2MTV juhtimise ümberlülitid seatakse eelnevalt asendisse «välja lülitatud» («отключено»). Seejärel viiakse töötavaks võetava mootori (näiteks mootori 1MTV), ümberlüliti 2ÜJ asendisse, kus kontaktid *1—4* on suletud ja sellega magnetkäiviti 3KM abil käivitatakse tehnilise vesivarustuse mootor 1MTV. Reservis oleva agregaadi mootori 2MTV juhtimise ümberlüliti 3ÜJ seatakse asendisse, kus kontaktid *2—3* sulguvad.

Esimese pumbaagregaadi 1MTV normaalsel töötamisel hoitakse rõhk torustikus küllaldaselt kõrge, mistõttu rõhkrelee 6MR normaalselt suletud kontaktid avanevad ja on agregaadi normaalse töö korral avatud. Kui aga agregaadi 1MTV rikke tõttu rõhk survetorustikus langeb allapoole sätterõhku, sulguvad relee 6MR kontaktid ja annavad impulsi magnetkäiviti 4KM poolile. Seetõttu sulguvad käiviti peakontaktid ja mootor 2MTV käivitatakse automaatselt. Vaatamata järgnevale relee 6MR kontaktide avanemisele jätkab mootor 2MTV normaalset töötamist, sest relee 6MR kontaktid šunteeritakse magnetkäiviti normaalselt avatud abikontaktidega. Tehnilise vesivarustuse elektrimootoreid kaitstakse liigkoormuse vastu magnetkäivitite 3KM ja 4KM soojusreleedega 3MT ja 4MT.

HÜDROELEKTRIJAAMA DRENAAŽSEADMETE AUTOMATISEERIMINE

Hüdroelektrijaamades seatakse tavaliselt üles pumbad filtratsioonivee eemaldamiseks hüdroturbiini kaanelt ja vee pumpamiseks drenaažkaevudest. Vastavalt «Maahüdroelektrijaamade automatiseerimise projekteerimise ajutistele juhenditele» tuleb drenaažkaevude veenivoo kontrolli ja drenaažpumpade käivitamist ning seiskamist teostada kaheastmelise rakendumisega nivoo mõõtesaatjatega: üks aste peab toimima pumba sisselülitamisele ja teine aste — signaalile. Drenaažpumbad tuleb monteerida nii, et ei tuleks kasutada abipumpasid peapumpade esialgseks täitmiseks. Kui see on aga raske teostada ja drenaažpumpasid tuleb siiski eelnevalt veega täita, siis ei pruugi ka automatiseerimist ette näha, sest see vajaks väga keerukaid seadiseid, mida aga ei õigusta drenaažvee pumpamise tehnoloogiline protsess. Selliste seadmete juures võib piirduda drenaažpumpade käsitsi juhtimisega koos automaatse signalisatsiooniga, mis teatab vajadusest pumpa käsitsi sisse lülitada, kui drenaažvee nivoo tõuseb üle lubatud piiri.

Vee ärajuhtimiseks turbiini kaanelt soovitatakse võimaluse korral kasutada selle loomulikku äravoolu drenaažkaevu. Kui see aga pole võimalik, seatakse üles pumbad filtratsioonivee eemaldamiseks turbiini kaanelt. Selleks kasutatakse iseimevaid pumpasid, mida võib käivitada nii automaatselt kui ka käsitsi.



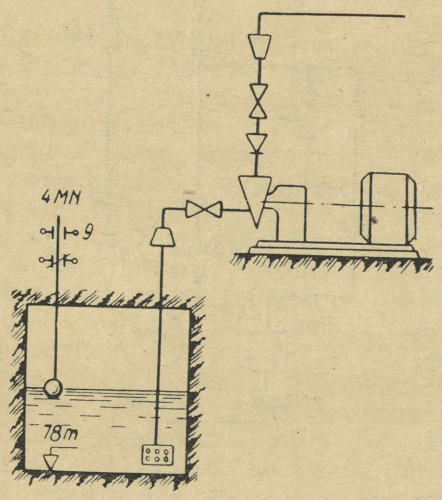
Joon. 322. Filtratsioonivee pumba mootori juhtimise skeem.

Joonisel 320 on näidatud elektripump MFP filtratsioonivee eemaldamiseks hüdroturbiini kaanelt. Joonisel 322 on toodud selle pumba automaatse ja käsitsi juhtimise laotatud skeem.

Filtratsioonipumba elektrimootori MFP käsitsi sisselülitamisel asetatakse juhtimisümberlüliti 1ÜJ asendisse, kus kontaktid *2—3* sulguvad; enne seda lülitatakse sisse vinnaklüliti 2L.

Automaatse juhtimise korral seatakse juhtimise ümberlüliti sellisesse asendisse, kus kontaktid *1—4* sulguvad. Magnetkäiviti 2KM pooli toitev vooluahel läbib nimetatud kontaktidega järjestikku ka nivoorelee (nivoo mõõtesaatja) 5MN normaalselt avatud kontakti, mis on üles seatud hüdroturbiini kaanele ja mis kontrollib filtratsioonivee nivood. Selle nivoo kõrgenemisel sulgub relee 5MN normaalselt avatud kontakt ja lülitab sisse magnetkäiviti 2KM pooli toiteahela, mistõttu mootor lülitatakse tööle.

Pärast sisselülitamist töötab pumpagregaat niikaua, kuni veenivoo turbiini kaanel väheneb niivõrd, et relee 5MN normaalselt avatud kontakt uuesti avaneb ja katkestab magnetkäiviti toiteahela. Elektrimootori kaitse liigkoormuste vastu teostatakse soojusreleega 2MT. Nivoorelee 5MN teine normaalselt avatud kontakt sulgub turbiini kaanel filtratsioonivee palju kõrgema nivoo korral. Olles lülitatud hoiatussignalisatsiooni ahelasse, saadab ta impulsi helisignaalile neil juhtudel, kui pumpagregaat MFP mingil põhjusel ei lülitu tööle ja filtratsioonivee nivoo turbiini kaanel jätkab tõusmist.



Joon. 323. Drenaažpumba asetuse skeem.

Joonisel 323 on toodud elektrimootoriga drenaažpumba skeem vee väljapumpamiseks äravoolureservuaarist. Pumbasse tuleb enne tööle rakendamist eelnevalt vett sisse valada, mistõttu väljapumpamise automatiseerimine on väga keerukas ja maaelektrijaamades seda protsessi tavaliselt ei automatiseerita.

Drenaažvee nivoo tõusmisel äravoolureservuaaris kindla piirini suleb nivoorelee 4MN oma normaalselt avatud kontaktid ja saadab valveametnikule koju helisignaali selle kohta, et tuleb käivitada elektripump äravoolureservuaarist vee väljapumpamiseks.

HÜDROELEKTRIJAAMA PNEUMAATIKASEADMETE AUTOMATISEERIMINE

Hüdroelektrijaama pneumaatikaseadmed peavad varustama suruõhuga hüdroagregaatide pidurdusseadist ja turbiini kiirusregulaatorite õlisurveseadmete katelde õhupatju. Mõnel juhul varustatakse suruõhuga ka kommutatsiooni- ja muude aparaatide pneumaatilisi ajameid või pneumaatilisi instrumente. Hüdroelektrijaama pneumaatikaseadmete põhielementideks on kõrgrõhukompressorid ja madalrõhuressiivrid (mahutid).

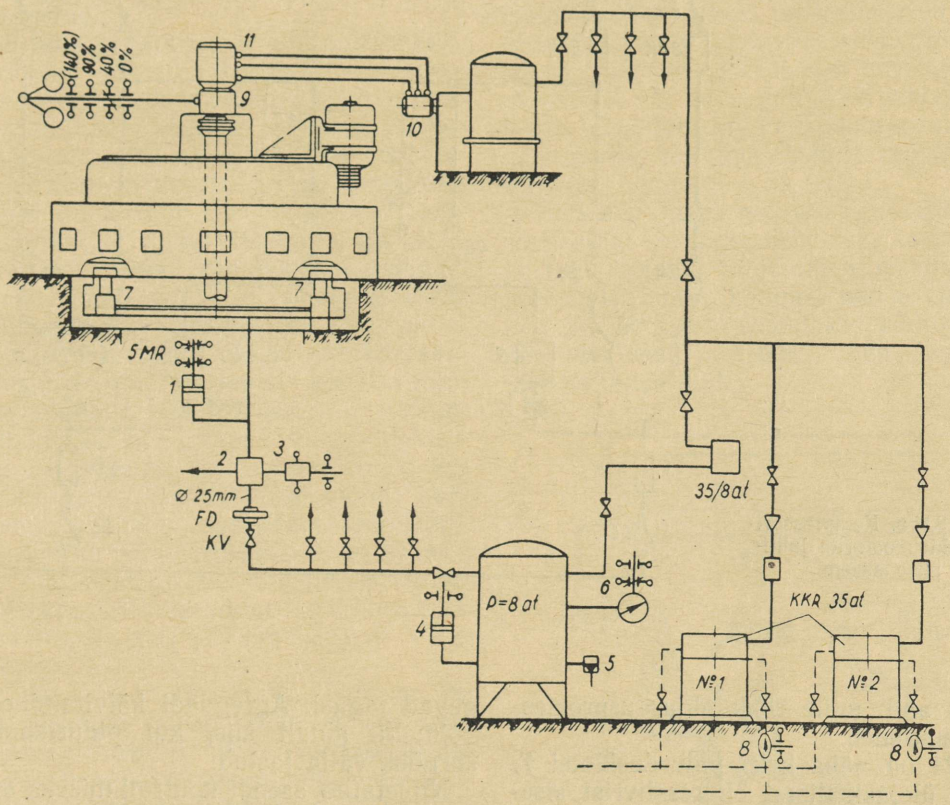
Kõrgrõhukompressorite (KKR) automatiseerimise süsteem peab tagama nende automaatse käivitamise, seiskamise ja normaalse töö kontrolli, kusjuures käivitusprotsessi kergendamiseks käivitatakse kompressorid koormamata olukorras. Selleks ühendatakse kompressori seiskamisel kõrgrõhuruum automaatselt väljalasketoruga.

Mõõteorganiks, mis saadab impulsi kompressori automaatseks käivitamiseks ja seiskamiseks, on rõhkrelee (rõhu mõõtesaatja), mis monteeritakse ressiivrile. Suruõhuseade peab olema varustatud kaitseklappidega, mis lasevad rõhu ohtlikul suurenemisel liigse suruõhu välja. Kompressorite vesijahutajad ühendatakse tehnilise vesivarustuse süsteemiga, kusjuures jahutamist kontrollitakse jugareleedega.

Joonisel 324 on toodud nelja hüdroagregaadiga maahüdroelektrijaama pneumaatikaseadmete ja pidurdussüsteemi skeem ning joonisel 324 a — kompressorite elektrimootorite juhtimise skeem. Kaks kõrgrõhukompressorit KKR on sidurdatud elektrimootoritega 1MK ja 2MK, mida toidetakse elektrijaama 380 V omatarbekogumislattidelt. Mootorid ühendatakse võrguga vinnaklülitite 5L ja 6L, sulavkaitsmete 8SK ja 9SK ja magnetkäivitite *5* ja *6* abil. Kummastki kompressorist siseneb suruõhk kõrgrõhumagistraali. Sealt suunatakse suruõhk hüdroturbiinide regulaatorite õlisurveseadme katelde õhupatjadesse, samuti reduktorisse, mis alandab rõhku ligikaudu kuni 8 at, ja ressiivrisse; edasi antakse madaldatud rõhuga õhk iga agregaadi pidurdusseadisesse ja kui see on vajalik, siis ka pneumaatilistele ajamitele. Üks kompressoritest töötab, teine on reservis.

Töötav kompressor pumpab perioodiliselt õhku ressiivrisse. Regulaatorite õlisurveseadmete survekatelde esialgne täitmine toimub samuti kompressoritest. Kompressorite mootoreid juhitakse samal viisil kui tehnilise vesivarustuse pumpade elektrimootoreidki. Elektrimootorite töörežiim määratakse juhtimisümberlülititega 4ÜJ ja 5ÜJ. Üks agregaatidest, näiteks 1MK, töötab ja teine on reservis.

Rõhu langemisel ressiivris sulgub relee 3MR kontakt ja lülitab sisse magnetkäiviti *5* pooli vooluahela. Seetõttu mootor 1MK hakkab pöörlema ja käivitab kompressori, mis õhu sissepumpamisega suurendab rõhku ressiivris. Kindla rõhu saavutamisel relee 3MR kontakt avaneb ja kompressoragregaat jääb seisma. Agregaat võib töötada ainult siis, kui kompressori jahutusseadis on täiesti korras. Seadise korrasolekut kont-



Joon. 324. Pneumaatikaseadmete ja hüdrogeneraatorite pidurdussüsteemi skeem: *1* — õhu-rõhkrelee 5MR pidurdussüsteemis; *2* — pidurdusjagaja JP; *3* — pidurdusjagaja solenoid SJP; *4* — rõhkregulaator 3MR; *5* — kaitseklapp; *6* — kontaktmanomeeter 4MR; *7* — pidurdusklotsid; *8* — jugarelee 2MJ; *9* pöörlemiskiiruse mõõtesaatja MP; *10* — pendli elektrimootor; *11* — pendelgeneraator.

Elektrijaama esmakordsel käivitamisel tuleb luua regulaatorite õlisurveseadmetes õhupadjad. Selleks viiakse ümberlüliti 4ÜJ asendisse, mispuhul sulguvad kontaktid *1—4*. Seejärel käivitatakse käsitsi kompressor 1MK ja siis viiakse ümberlüliti 4ÜJ asendisse, mispuhul kontaktid *2—3* sulguvad ja kompressor läheb üle automaatsele juhtimisele. Automaatse juhtimise ahelaga ühendatakse järjestikku ressiivril asetseva rõhkrelee 3MK normaalselt suletud kontaktid ja jugarelee 2MJ normaalselt avatud kontaktid. Jugarelee on üles seatud jahutusveetorule, mis on ühendatud kompressori spiraaltoruga.

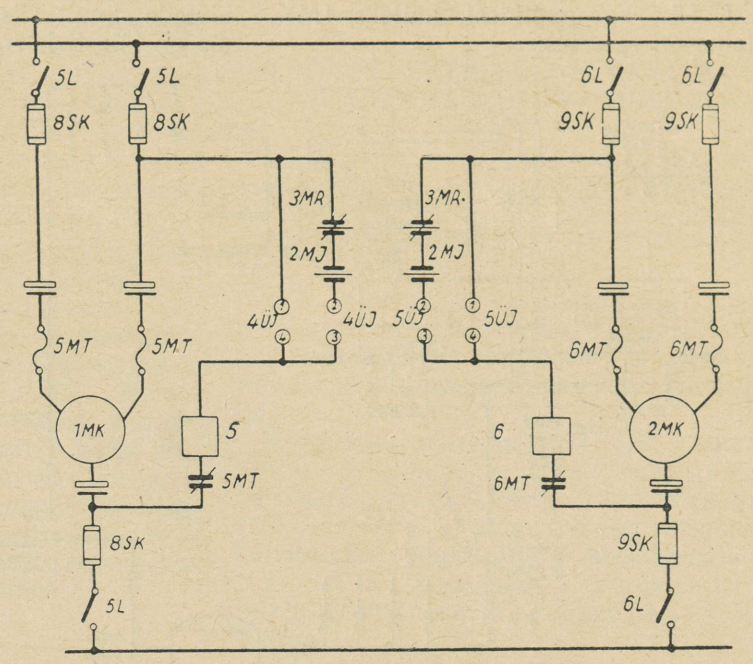
rollib jugarelee 2MJ: jahutussüsteemi rikke korral jäävad relee 2MJ kontaktid avatuks, mis takistab automaatset käivitumist ja kompressoragregaadi tööd.

Peale rõhkrelee 3MR seatakse ressiivrile üles kontaktmanomeeter 4MR, mis suleb oma kontaktid rõhu ülemäärasel langemisel ressiivris ja saadab impulsi hoiatus-helisignalisatsiooniseadme sisselülitamiseks.

Hüdroelektrijaama suruõhuseadmete automatiseerimise küsimuse vaatlemisel tuleb käsitleda ka hüdrogeneraatorite pidurdamisprotsessi automatiseerimist. Pidurdamist kasutatakse hüdroturbiinagregaadi täieliku seiskamisaja lühenda-

miseks, s. t. aja, mis kulub juhtaparaadi sulgemise momendist kuni agregaadi täieliku seismajäämiseni. Nagu teada, on hüdroagregaatide paljudel tüüpidel kestev pöörlemine väiksel pöörlemiskiirusel väga ohtlik agregaadi kandelaagri segmentidele. Seetõttu tuleb kasutada pidurdamis omakorda lülitab sisse pidurdusjagaja elektromagneti pooli SJP operatiivvooluahela.

Pärast pidurdamisprotsessi teostumist jääb jagaja elektromagneti pool vooluta, klapp suleb suruõhu juurdepääsu pidurdusklotsidele, nende kambrid ühendatakse välisõhuga ja klotsid lan-



Joon. 324 a. Kompressorite elektrimootorite juhtimise skeem.

mist suruõhu abil, mille rõhk pidurdusprotsessil aeglaselt suureneb.

Joonisel 324 on näha kaks pidurdusklotsi *7*, mis töötavad ülejaamalisest õhuressiivrist siseneva suruõhu abil. Üldise õhutorustiku generaatoriharusse on monteeritud: käsiventiil KV, drosseldav diafragma filtriga FD, pidurdusjagaja JP *2* ja ülevooluklapp elektromagnetilise ajamiga SJP (ülevooluklapp on välja töötatud Usbekenergo poolt). Kui pool on vooluta, ühendab klapp pidurikambrid välisõhuga. Elektromagneti pooli pingestamisel pidurdusjagaja JP nihkub edasi, suleb pidurikambri ning välisõhu vahelise ühenduse ja avab õhule juurdepääsu survetorustikust hüdroagregaadi pidurdusklotside alla. Agregaadi pidurdus lülitatakse automaatselt sisse pärast seda, kui hüdroturbiini juhtaparaat on suletud ja kiirus on langenud kuni 40% nimikiirusest.

Nagu näha hüdroagregaadi juhtimise üldisest skeemist, suleb pöörlemiskiiruse mõõtesaatja MP pöörlemiskiiruse vähenemisel kuni 40% nimikiirusest oma kontaktid. Sellega ta annab impulsi pidurduse vaherelee sisselülitamiseks, gevad tagasi. Agregaadi käivitamine on uuesti võimalik ainult siis, kui pidurikambritest on suruõhk välja lastud.

Nimetatud asendi kontrollimiseks on üles seatud rõhkrelee 5MR, mille normaalselt suletud kontakt asub hüdroagregaadi käivitusahelas. Suruõhu esinemisel klotside all avab relee 5MR oma normaalselt suletud kontakti ja, katkestades agregaadi käivitamise operatiivvooluahela, ei võimalda agregaati käivitada.

HÜDROELEKTRIJAAMA VÕIMSUSE REGULEERIMINE VEEVOOLU JÄRGI

Hüdroturbiinide automaatsete kiirusregulaatorite staatiliste karakteristikute vaatlemisel selgitati, et hüdroagregaadid, millede regulaatoritel on väiksem jääk-ebaühtlusaste, s. t. väiksema langusega karakteristik, võtavad endale paralleeltöö korral suhteliselt suurema osa koormusest.

Kui on vajalik, et antud agregaat paralleeltööl süsteemiga või sama hüdroelektrijaama

teiste agregaatidega töötaks võimalikult vähe muutuva koormusega, siis tema kiirusregulaatorile antakse maksimaalne ebaühtlusaste. Sel juhul regulaator on vähe tundlik pöörlemiskiiruse muutuste suhtes, mis on seotud kogu koormuse muutumisega süsteemis ja töötab peaaegu muutumatu võimsusega. Kui kiirusregulaator täielikult välja lülitada, siis töötab agregaat koormuste mistahes muutumistel süsteemis muutumatu võimsusega, sõltumatult koormuse muutumisest süsteemis.

Seega võib teha järelduse, et hüdroagregaatidel, mis töötavad graafiku kohaselt baasikoormusega, s. t. konstantse võimsusega, on kiirusregulaator üleliigne. Vajalik sagedus võrgus hoitakse sel juhul nende agregaatidega, mis töötavad tippkoormuse katmiseks ja on varustatud tundlikkude automaatsete kiirusregulaatoritega.

Öeldust järgneb, et väikese ja keskmise võimsusega agregaate, mis lülitatakse suhteliselt võimsasse energiasüsteemi, on otstarbekohane varustada lihtsaimate regulaatorite või servoajamitega, mis teostavad ainult juhtaparaadi täielikku avamist või sulgemist või turbiinikambri kilbi tõstmist või allalaskmist turbiini juhtaparaadi kindla ava juures. Sellisel elektromehaanilisel servoajamil ei ole automaatse kiirus- või võimsusregulaatori funktsioone, kuid võimaldab muuta käsitsi agregaadi töörežiimi.

Koormusgraafiku järgi baasikoormust katvate agregaatide juhtimisprotsessi automatiseerimine on väga efektiivselt teostatav võimsuse automaatse reguleerimisega veevoolu järgi.

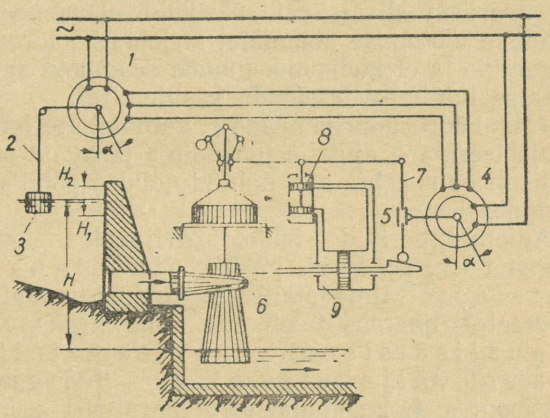
Veevoolu järgi hüdroagregaadi võimsuse reguleerimise ülesanne seisab selles, et viia täielikku vastavusse turbiini läbiv veehulk antud momendil juurdevoolava veehulgaga, sõltumatult süsteemi elektriliste koormuste muutumistest. Nagu juba nimetatud, võib võimsust reguleerida veevoolu järgi neil juhtudel, kui sel viisil reguleeritav agregaat töötab koormusgraafiku järgi baasikoormusel ja kõik koormuse muutumised kaetakse agregaatide poolt, mis juhivad sagedust süsteemis ning töötavad graafiku tippkoormuse katmisel.

Hüdroelektrijaama töötamisel graafiku baasikoormusel peab tema koormus olema selline, et pikema aja jooksul veekulu turbiinis võrduks juurdevoolava vee hulgaga. Vastupidisel juhul esineksid hüdroelektrijaamas ebatootlikud vee äralaskmised või toimuks ülemise biefi veetaseme mahatöötamine kõigi sellega kaasuvate tagajärgedega.

Reguleerimisparameeter, s. t. põhisuurus, mis muutub veevoolu järgi võimsuse automaatse reguleerimisseadise mõjul, peab olema hüdroturbiini läbiv veehulk, kusjuures see veehulk muutub täidesaatva mehhanismi — turbiini juhtaparaadi — reguleerimisega. Reguleeritav suurus, mis tuleb võimalikult hoida antud taseme juures, on hüdroelektrijaama surve ehk ülemise biefi veenivoo.

Seega on hüdroelektrijaama võimsuse reguleerimisel veevoolu järgi üheks põhielemendiks reguleeriv või komandoseadis, mis reageerib reguleeritavale suurusele — ülemise biefi veenivoole ja annab komandoimpulsid võimsusregulaatorile. See seadis on varustatud ujukmehhanismidega koos vastavate veenivoo mõõtesaatjatega. Seadise täidesaatev mehhanism on kas elektriline või hüdrauliline servoajam, mis reguleerib hüdroturbiini juhtaparaadi ava, või turbiini automaatse kiirusregulaatori reguleerimiskarakteristiku nihutamise süsteem.

Veevoolu järgi reguleerimise üheks oluliseks elemendiks on sidemehhanism komandoaparaadi ja reguleerimist täidesaatva mehhanismi vahel, arvestades suurt kaugust nende elementide vahel. Sellist sidet teostatakse hüdroelektrijaamades tavaliselt juhtmete kaudu sünkroonse selsün-ülekande abil.



Joon. 325. Hüdroelektrijaama automaatne võimsuse reguleerimine veevoolu järgi.

Joonisel 325 on toodud veevoolu järgi agregaadi võimsuse automaatse reguleerimise üks skeemidest, kus kasutatakse kiirusregulaatorit, mis muudab hüdroturbiini juhtaparaadi ava [35].

Selsün-mõõtesaatja *1* on ühendatud mehaanilise ülekande *2* abil hüdroelektrijaama ülemise biefi ujukiga *3*. Selsün-vastuvõtja *4* rootor on ühendatud mehaanilise ülekande abil turbiini *6* kiirusregulaatori pöörlemiskiiruse muutmise mehhanismi muhviga *5*. Selsüni *4* pöörlemisel muutub kangi *7* asend, mis on kiirusregulaatori jäiga tagasiside kangiks, ja nihutab sellega ka kiirusregulaatori reguleerimiskarakteristikut. Näi-

teks pöörduvad ülemise biefi nivoo vähenemisel kuni väikseima rõhuni H_1 (tavalise nivoo asemel, mis vastab rõhule H) mõlemate selsünide rootorid vastu kellaosuti liikumise suunda nurga α võrra. Tagasiside kangi asend muutub, jagaja kolb *8* langeb, suruõli hakkab voolama servomootori *9* silindri vasakusse poolde ja tõrjub paremalt poolt õli välja. Pärast seda hakkab turbiini juhtaparaat sulguma. Ülemise biefi veenivoo tõusmisel kulgeb võimsusregulaatoritöö vastupidises järjekorras.

Mitme agregaadi paralleeltöö korral kasutatakse veevoolu järgi reguleerimisel töö stabiilsuse suurendamiseks tagasisideseadiseid (joon. 325).

Tagasiside elemendiks on lisa-diferentsiaalselsün, mille rootor ühendatakse mehaaniliselt kiirusregulaatori pöörlemiskiiruse muutmise mehhanismi kangi muhviga [35].

SIGNALISATSIOON AUTOMATISEERITUD ELEKTRIJAAMADES

Automatiseeritud hüdroelektrijaamade hoiatus- ja avariisignalisatsiooni üksikuid elemente ja seadiste töötamise põhimõtet kirjeldati hüdroagregaatide ja elektrijaama muude seadmete automaatse juhtimise skeemide käsitlemisel.

«Maahüdroelektrijaamade automatiseerimise projekteerimise ajutiste juhendite» järgi on signalisatsiooni kohta ette nähtud nõuded põhiliselt järgmised.

Automatiseeritud hüdroelektrijaamas peab olema töö-, avarii- ja hoiatussignalisatsioon. Ilma alalise teeninduspersonalita hüdroelektrijaamas tuleb ette näha lisaks veel signalisatsioon valveametniku kodust väljakutsumiseks. Töösignalisatsioon, s. t. kommutatsiooniaparatuuri asendi signalisatsioon, toimub ainult optiliste signaalide abil; avarii- ja hoiatussignalisatsioon varustatakse optiliste vahenditega ja helisignaaliga (lampidega, sireenidega, indikaatorreleedega). Avarii- ja hoiatushelisignaalid peavad valvepersonaliga või ilma selleta hüdroelektrijaamades toimima katkestamatult seni, kuni personali poolt signaal käsitsi katkestatakse. Optilistel avarii- ja hoiatussignaalidel (lampidel ja indikaatorreleedel) peab olema seadis signaali tsentraliseeritud või kohalikuks käsitsi katkestamiseks.

Signalisatsiooni vooluahela kaitsmete korrasolekut kontrollitakse tavaliselt pingerelee või signaallampidega.

Valveametnikule koju viiakse ainult üks optiline või helisignaal, mis märgib, et valveametnik peab tulema elektrijaama. Helisignaal varustatakse käsitsi katkestamisega nii valveametniku kodus kui ka elektrijaamas. Optiline signaal valveametniku kodus võetakse ära ainult jaama aparatuuri vastavate abikontaktidega.

Tavaliselt ei nähta automatiseeritud maahüdroelektrijaamades ette pidevat ekspluatatsioonilist valvekorda. Erandi moodustavad vaid suure võimsusega ja keeruka tehnilise seadmestikuga elektrijaamad (üle 1500—2000 kW). Maahüdroelektrijaamade teenindamiseks organiseeritakse valvekorrad personali olles oma kodus. Koduse valveametniku kohustustesse kuuluvad elektrijaama põhiseadmestiku, automaatika-aparatuuri ja hüdroseadmete perioodiline ülevaatus. Elektrijaamas teostab ta vaid harva korduvaid mitteautomaatseid operatsioone (käsitsi käivitamine, agregaatide plaanikohane seiskamine), viib läbi juhendite järgi agregaatide töörežiimi vajalikke muutmisi ja võtab tarvitusele vastavad abinõud hüdroelektrijaama üksikute elementide töös ebanormaalsete režiimide tekkimise juhtudel.

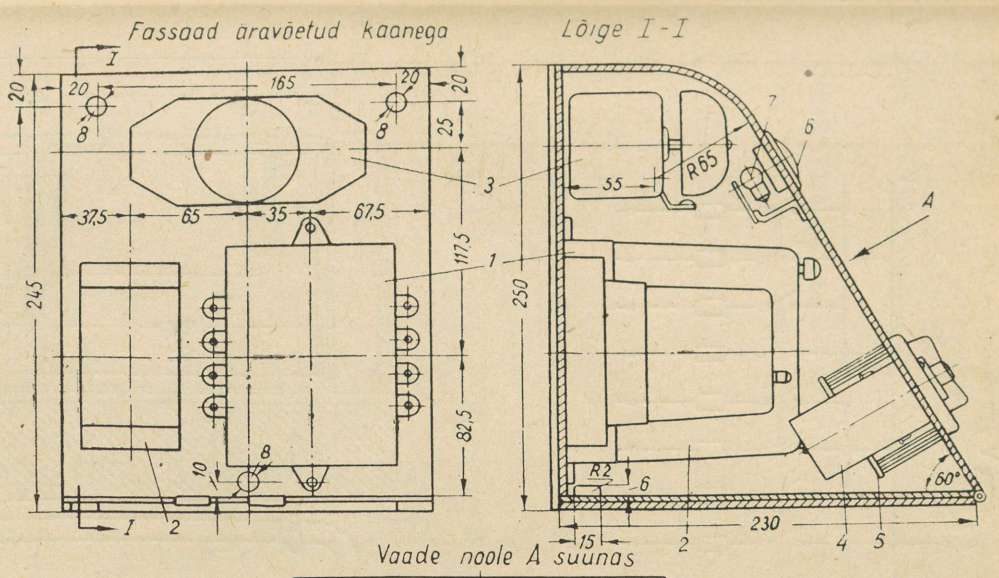
Joonisel 326 on toodud valveametniku koduse signalisatsiooni laotatud skeem ja joonisel 327 signalisatsioonitabloo, mis vastab Giproselelektro poolt väljatöötatud skeemile ja mida soovitatakse kasutada põllumajanduse elektrifitseerimise süsteemis.

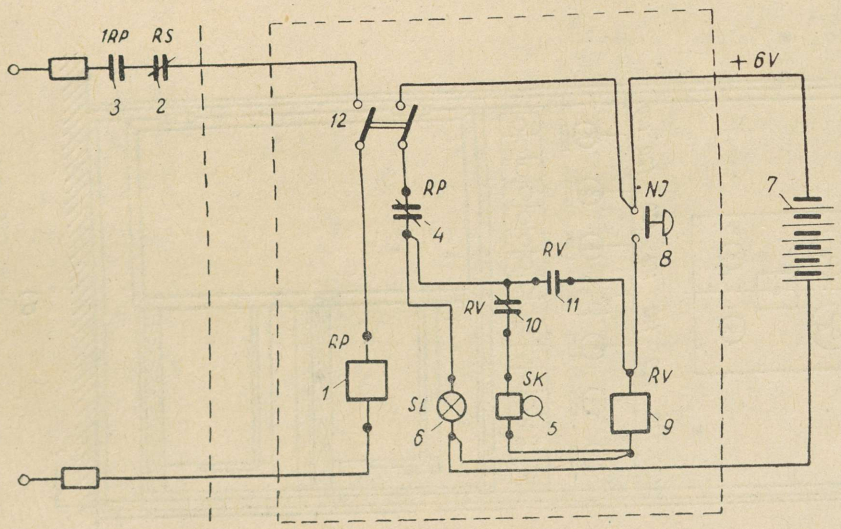
Selgitame järgnevalt signaalseadise tööd laotatud skeemi järgi.

Valveametniku koju tabloole on üles seatud minimaalpingerelee *1*, mida toidetakse hüdroelektrijaama omatarbelattidelt ülejaamalise signalisatsiooni väljuvrelee RS normaalselt suletud kontakti *2* ja ülejaamalise signalisatsiooniahelate pinge-kontrollrelee 1RP normaalselt avatud kontakti *3* kaudu. Elektrijaama seadmete normaalsel töötamisel läbib valveametniku kodus relee RP pooli vool ja relee hoiab oma normaalselt suletud kontakti *4* avatuna. Kui elektrijaamas lülitatakse sisse signalisatsiooni väljuvrelee RS või pinge kontrollrelee 1RP, jääb relee RP pool toiteta; kontakt *4* sulgub ja lülitab sisse signaalkella *5* ja signaallambi *6*, mida toidetakse väikesest leelis-akupatareist *7*. Viimane koosneb viiest elemendist tüüp ЖН-22, kogupingega 6 V. Helisignaal katkestatakse nupuga *8*, kusjuures nupule surumisel lülitatakse sisse vaherelee *9*, mille pool on arvestatud pingele 6 V.

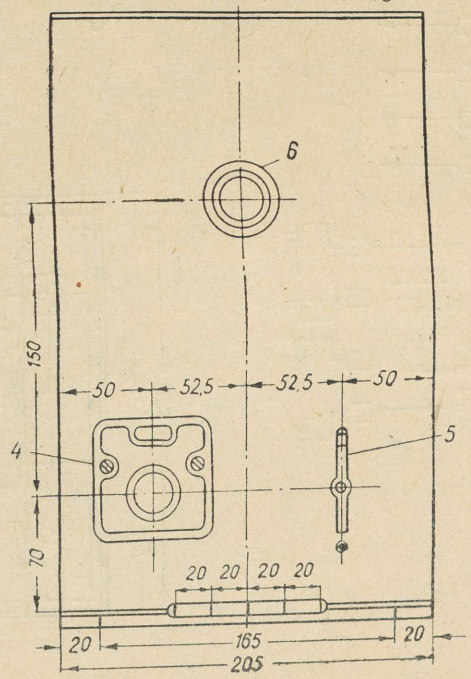
Relee *9* blokeerub oma kontaktidega *11* ja, avades kontakti *10*, katkestab signaalkella *5* toite. Minimaalpingerelee *1* klemmide pingestamisel avaneb selle kontakt *4* ja viib lülituse algasendisse, sest relee *9* pooli toiteahel katkeb. Seadme normaalse töö korral on lüliti *12* valveametniku kodus kogu aeg sisselülitatud olekus.

Joonisel 327 on näidatud kogu aparatuuri paigutus tabloole valveametniku kodus. Aparatuur on paigutatud kasti, mis on valmistatud terasplekist. Kasti tagaseinale on monteeritud mini-

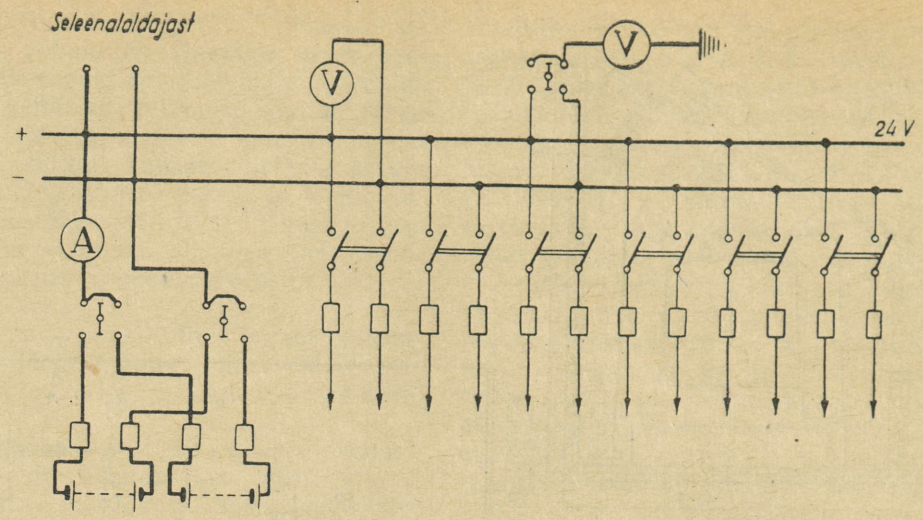




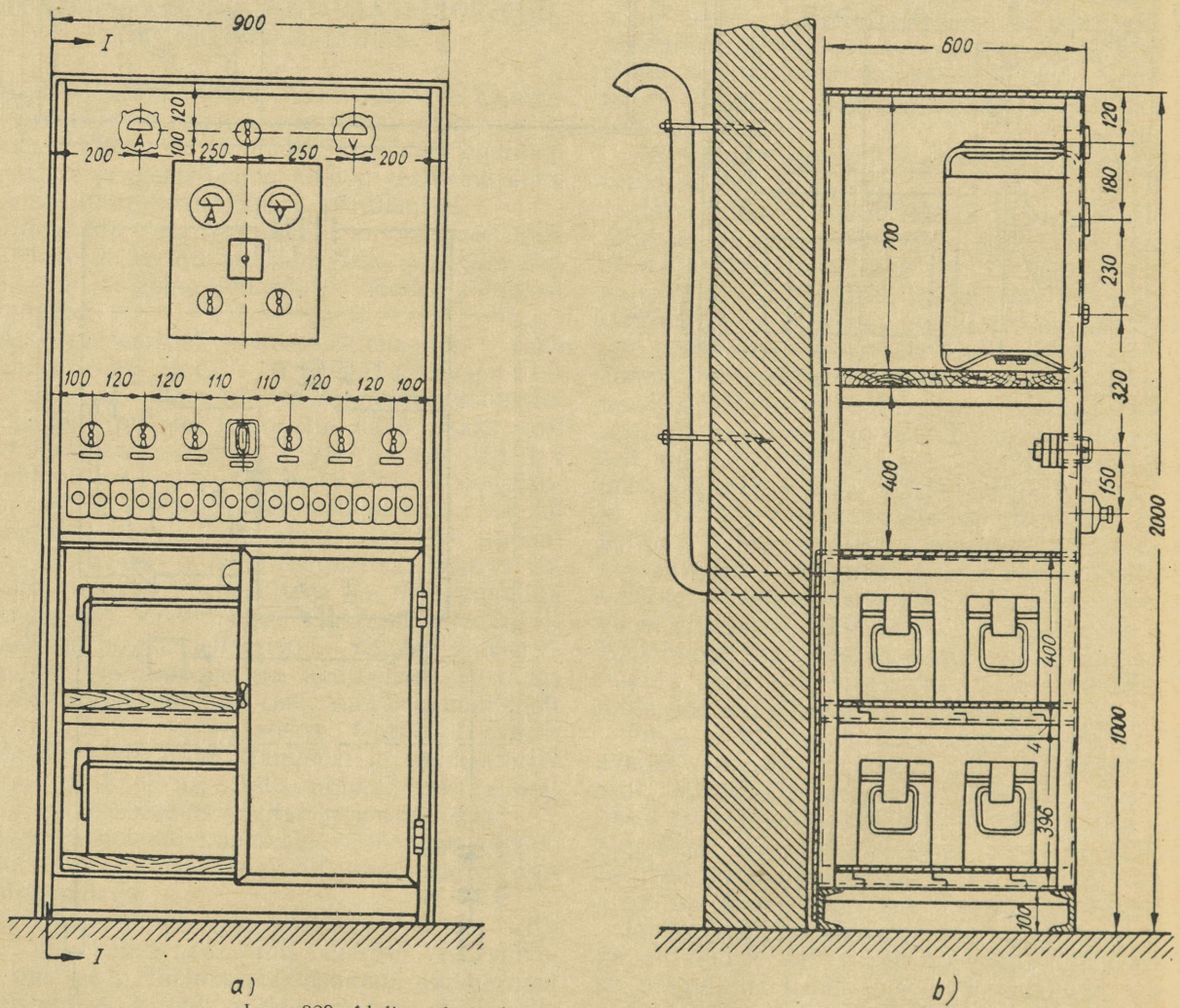
Joon. 326. Valveametniku koduse signalisatsiooniseadise skeem.



Joon. 327. Valveametniku koduse signalisatsiooniseadise konstruktsioon.



Joon. 328. Tüüpse alalisvoolu-jaotusseadme kommutatsiooniskeem.



Joon. 329. Alalisvoolu-jaotusseade: *a* — fassaad; *b* — lõige *I—I*.

maalpingerelee *1*, vaherelee *2* ja elektrikell *3* ning kasti esiseinal paiknevad signaallambi *7* armatuur *6*, helisignaali katkestusnupp *4* ja pakettlüliti *5*. Tabloo mõõted on toodud samal joonisel.

OPERATIIV-ALALISVOOLU JAOTUSSEADE

Seoses releekaitse, automatiseerimise ja avariivalgustuse juurutamisega elektrijaamades tekkis Glavselelektro süsteemis vajadus 24 V pingega standardsete operatiiv-alalisvooluseadmete järele. Giproselelektro töötas välja alalisvoolupaneelkapi tüüpkonstruktsiooni, mida soovitatakse juurutada nii uutesse ehitatavatesse elektrijaamadesse kui ka nendesse elektrijaamadesse, mis on juba ekspluatatsioonis, kuid kuuluvad rekonstrueerimisele.

Joonisel 328 on toodud standardse alalisvooluseadme kommutatsiooniskeem. Toiteseadiseks on siin võetud seleenalaldaja BCA-6 ja kahesektsiooniline akupatarei, mis koosneb leelisakudest.

Leelisakupatareidel on happeakupatareidega võrreldes rida eeliseid: teenindamise lihtsus, suurendatud mehaaniline tugevus, vastupidavus lühistel ja lühiajalistel ülekoormustel, seatina kokkuhoid ja elektriseadmele ohtlike aurude puudumine ekspluatatsioonis.

Patareid laetakse pideva järellaadimise režiimis, kusjuures elektrijaama normaalse töö korral toidetakse aparatuuri seleenalaldajast.

Giproselelektro arvestuse järgi koosnevad standardse seadme alalisvoolutarbijad lampidest, mis näitavad kõrgepinge-kommutatsiooniaparatuuri asendit (keskmiselt 7 lampi, igaüks 15 W) ja automaatseadiste vooluahelate pinge-kontrollreleedest (5 releed, igaüks 7 W). Üldine võimsus on ligikaudu 140 W, pingel 24 V vastab voolule 6 A. Agregaatide avariilisel seiskamisel lülitatakse sisse mitu releed, kõrgepingelülitite väljalülitamispoolid ja automaatsete väljasummutusseadiste kontaktorite poolid.

Töötava patarei väljalülitamiseks ja reservpatarei sisselülitamiseks kasutatakse pakettümberlülitit.

Alalisvooluseadme töö jälgimiseks ja kontrollimiseks kasutatakse ampermeetrit töötava akupatarei vooluahelas, voltmeetrit alalisvoolulattidel ja ümberlülitiga voltmeetrit alalisvooluahelate isolatsiooni kontrollimiseks. Voltmeeter pinge mõõtmiseks alalisvoolulattidel kuulub seleenalaldaja juurde ja on ühendatud alaldaja väljuvatele klemmidele.

Joonisel 329 on näidatud standardse alalisvoolu-jaotusseadme (kapp-paneeli) fassaad ja külgvaade. Kapi alumisesse osasse, 0,9 m kõrgusele, on monteeritud 4 komplekti akupatareisid 10 ЖН-45 ja kapp on tihedalt suletav kummitihenditega ustega. Patareid seatakse kahte horisontaalsesse ritta õliga immutatud puidust riiulitele. Patareide eest hoolitsemise võimaldamiseks tehakse kapi külgmiste seinte alumised osad äravõetavad. Need kinnitatakse raamistiku külge kruvidega. Hermeetilisuse saavutamiseks keevitatakse kapi akuriiuli tagumine sein ja ülemine kate raamistiku külge. Kapi tagakülje ülemine osa jäetakse lahtiseks. Kapi akuriiuli tagumise külje ülemisse ossa puuritakse augud ventilatsioonitorude jaoks gaasi ärajuhtimiseks. Kapi esikülje ülemisele osale paigutatakse kommutatsiooniaparatuur, kaitsmed, mõõteriistad ja seleenalaldaja koos kilbiga.

KOLMETEISTKÜMNES PEATÜKK

ELEKTRIENERGIA ÜLEKANNE JA JAOTUS

ELEKTRISEADMETE NIMIPINGED

Elektrigeneraatoreid, jõutrafosid ja elektrienergia tarbijaid iseloomustab nimipinge, millele nad on ette nähtud normaalse töö korral. Need elektriseadmete põhielemendid töötavad nimipingel kõige ökonoomsemalt.

Tabelis 83 on toodud nimipingete andmed, mis on ГОСТ 721-41 järgi kohustuslikud kõigi elektriseadmete kohta NSV Liidus.

Tabel 83

Elektriseadmete nimipinged

Elektrienergia tarbijate nimipinged			Generaatorite nimipinged		Kolmefaasiliste trafode nimiliinipinged	
alalisvoolukorral	kolmefaasilise vahelduvvoolu korral		alalisvoolugeneraatorid	kolmefaasilised vahelduvvoolugeneraatorid (liinipinge)	primaarmähiste klemmidel	sekundaarmähiste klemmidel
	liinipinge	faasipinge				
Voltides						
110	—	—	115	—	—	—
—	127	—	—	133	—	133
220	220	127	230	230	230	230
—	380	220	—	400	380	400
440	—	—	460	—	—	—
—	500	—	—	525	500	525
Kilovoltides						
—	3	—	—	3,15	3 ja 3,15	3,15 ja 3,3
—	6	—	—	6,3	3 ja 6,3	6,3 ja 6,6
—	10	—	—	10,5	10 ja 10,5	10,5 ja 11
—	—	—	—	15,75	15,75	—
—	35	—	—	—	35	38,5
—	110	—	—	—	110	121
—	(154)	—	—	—	(154)	(169)
—	220	—	—	—	220	242

Märkus: sulgudes näidatud pinget ei soovitata kasutada ja see on lubatud ainult olemasoleva seadme laiendamisel.

Viimasel ajal on üles tõstetud küsimus vajaduse kohta laiendada nimipingete skaalat ja tuua sisse mõned uued suurused, muuseas pinge 20 kV, mis real juhtudel omab tähtsust maaelektriseadmetes.

Tabelis 83 toodud nimipingete skaalast kasutatakse maaelektriseadmetes peamiselt järgmisi pingeid: madalpingelised tarbijad — 380/220 V, kusjuures elektrimootorid lülitatakse liinipingele 380 V ja elektrilambid faasipingele 220 V; kõrgepingelised tarbijad, sealhulgas ka jõutrafode primaarmähiste toitmiseks, — 6 kV, 10 kV ja 35 kV; generaatorid — 400 V ja 6,3 kV; jõutrafode sekundaarmähised 400 V, 6,3 kV, 10,5 kV ja 38,5 kV. Trafode ja elektrivõrgu pinge valimisel tuleb eelistada pinget 10 kV (10,5 kV) pingele 6 kV (6,3 kV), generaatorid valitakse pingele 6,3 kV (või 400 V) — edasise pinge tõstmisega 10 või 35 kV-le jaamalähedases alajaamas (vt. viies peatükk).

Elektrivõrgu nimipinge vastab tarbijate nimipingele, mis võetakse võrdseks liini alguses ja liini lõpus esineva pinge aritmeetilise keskmisega. Kui näiteks kõrgepingeliini alguses on pinge 10,5 kV ja liini lõpus on see 9,5 kV, siis liini alguses ja lõpus on pingete aritmeetiline keskmine:

$$\frac{10{,}5 + 9{,}5}{2} = 10 \text{ kV}.$$

Liini algusesse ühendatud tarbijad (pingetmadaldavad alajaamad) töötavad kõrgema pingega kui liini lõppu ühendatud tarbijad.

ELEKTRIÕHULIINID

Maal kasutatakse väliste elektriliinidena peamiselt õhuliine puitmastidel. Elektrienergia ülekandmiseks õhuliinide kaudu kasutatakse teras-, alumiinium-, terasalumiinium- ja mõnel juhul ka vask-paljasjuhtmeid. Juhtme materjali,

margi ja ristlõike valik sõltub ülekantavast võimsusest, pinge ja voolu süsteemist, võrgu tähtsusest ja konfiguratsioonist ning lubatavast pinge langusest tarbijate klemmidel (vt. neljateistkümnes peatükk). Kõige enam on maaelektrisüsteemides levinud terasjuhtmed, millede omadusi on uuritud rea nõukogude teadlaste ja inseneride poolt [36, 51].

Elektriseadme ratsionaalse ja ohutu ekspluateerimise tagamiseks tuleb õhuliinide projekteerimisel ja nendele juhtmete valimisel lähtuda järgmistest kaalutlustest:

1) juhe, mastid ja isolaatorid peavad olema mehaaniliselt küllalt vastupidavad;

2) mingisugustel asjaoludel ei ole lubatav juhtmete soojenemine elektrivoolust üle ohtliku piiri, mis on kindlaks määratud kehtivates juhendites;

3) tarbija klemmidel normaalse pinge tagamiseks ei tohi pingekaod juhtmetes ületada teatud piire.

Maavõrkudes on pinge kõrvalekaldumise piirid:

— 10% täiskoormuse korral,

+ 7,5% koormuse korral, mis moodustab 25% nimikoormusest.

Juhtmete vajaliku mehaanilise tugevuse tagamiseks on «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjades» normeeritud mitmesugustest materjalidest juhtmete minimaalsed lubatavad läbimõõdud ja ristlõiked. Andmed nende kohta on toodud tabelis 84.

Tabel 84

Juhtmete minimaalsed läbimõõdud ja ristlõiked

Juhtmete konstruktsioon ja materjal		Õhuliini klassid		
		I	II	III
Traatjuhtmed	Vask	Ei lubata	10 mm²	6 mm²
	Teras		∅ 3,5 mm	∅ 2,75 mm
	Pronks		—	∅ 2,5 mm
	Alumiinium ja selle sulamid		Ei lubata	
Köisjuhtmed	Vask, pronks, teras	16 mm²	10 mm²	10 mm²
	Alumiinium ja selle sulamid	25 mm²	16 mm²	16 mm²

Piksekaitse trosside minimaalsed lubatavad ristlõiked valitakse samuti tabeli 84 järgi.

Õhuliinid kuuluvad ühte või teise klassi, sõltuvalt liini tähtsusest ja pingest, lähtudes järgmistest tunnustest.

I klassi kuuluvad liinid nimi-liinipingega 35 kV ja üle selle; erandiks on need 35 kV liinid, mis toidavad vähemtähtsaid tarbijaid, millede hulka kuuluvad «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjade» klassifikatsiooni järgi ka põllumajanduslikud rajoonid; II klassi kuuluvad liinid nimipingega alates 1 kuni 20 kV (kaasa arvatud), samuti 35 kV liinid, mis toidavad põllumajanduslikke rajoone; III klassi — liinid 1 kV ja madalama pingega.

Õhuliini ehitamisel ja monteerimisel tuleb juhtmete lõtve suurus võtta vastavatest monteerimistabelitest. Lõtve suurus sõltub juhtme materjalist ja ristlõikest, mastidevahelisest visangust ja õhutemperatuurist, mille juures teostatakse monteerimist. Kõrvalekaldumine nõutavast lõtve suurusest võib põhjustada ohtlikke mehaanilisi ülepingeid ja juhtmete katkemisi või lubamatult suurt lõdvet.

Elektriõhuliinide paljasjuhtmed ei tohi soojeneda voolu toimel üle 70°, sest kõrgemal temperatuuril nende mehaaniline tugevus väheneb märgatavalt. Tuleb arvestada seda, et juhtmete ülemäärane soojenemine on seotud elektrienergia suuremate kadudega.

Soojenemine sõltub juhet läbivast voolust, juhtme materjalist ja ristlõikest.

Tabelis 85 on toodud andmed kestvalt lubatavate koormuste kohta amprites vask-, alumiinium-, terasalumiinium- ja teras-paljasjuhtmete kohta, mis paiknevad välisõhus.

Tabel 85

Kestvalt lubatavad koormused vask-, alumiinium-, terasalumiinium- ja teras-paljasjuhtmetele amprites õhutemperatuuril 25°

Nimiristlõige mm²	Juhtmete mark			
	МГ	А	АС	ПС
4	50	—	—	—
6	70	—	—	—
10	95	—	—	—
16	130	105	—	—
25	180	135	—	—
35	220	170	170	80
50	270	215	220	90
70	340	265	275	125
95	415	325	335	140
120	485	370	380	175
150	570	440	445	—
185	645	500	515	—
240	770	585	610	—

Märkus: Teras-traatjuhtmetel on lubatavad koormused: ЖØ4 korral — 35 A, ЖØ5 korral — 40 A ja ЖØ6 korral — 60 A.

Õhuliini juhet, mis on valitud pingekao, lubatava soojenemise ja mehaanilise tugevuse järgi, tuleb kontrollida ka ökonoomse voolutiheduse suhtes, mis on toodud tabelis 86.

Tabel 86

Ökonoomsed voolutihedused A/mm²

Tippkoormuse kasutamise kestus (tundi aastas) Juhtme materjal	Kuni 3000	3000—5000	Üle 5000
Vask	2,5	1,75	1,25
Alumiinium	1,5	1,0	0.75
Teras	0,45	0,4	0,35

ELEKTRIÕHULIINIDE JUHTMED

Elektriõhuliinide juhtmeteks kasutatakse nii traatjuhtmeid kui ka köisjuhtmeid. Esimesed valmistatakse ainult terasest või vasest, teised — terasest, vasest ja alumiiniumist. Õhuliinide paljasjuhtmete elektrilised ja mehaanilised põhiandmed on: erijuhtivus k, tõmbetugevus δ ja erikaal p.

Vask-paljasjuhtmed МГ valmistatakse nii traat- kui ka köisjuhtmetena külmalt tõmmatud vasktraadist, mis vastab kehtivate standardite nõuetele.

Vaskjuhtmete andmed on: $k = 53$ m/Ω mm²; $\delta = 39$ kg/mm²; $p = 8{,}9$ g/cm³.

Vaskjuhtmed on vastupidavad atmosfäärilistele mõjudele ja korrosioonile, mis tekib ümbritsevas õhus leiduvate keemiliste lisandite toimel. Vask-traatjuhtmeid valmistatakse ristlõikega kuni 10 mm² ja köisjuhtmeid — alates 16 mm² ja enam.

Tabelis 87 on toodud vask-paljasjuhtmete mõned arvutusparameetrid ГОСТ 839-41 järgi.

Tabel 87

Vask-paljasjuhtmed

Nimiristlõige mm²	Traatide arv	Juhtme arvutusläbimõõt mm	Aktiivtakistus temperatuuril 20°, mitte üle Ω / km
4	1	2,2	4,65
6	1	2,7	3,06
10	1	3,5	1,84
16	7	5,1	1,20
25	7	6,3	0,74
35	7	7,5	0,54
50	7	9,0	0,39
70	19	10,6	0,28
95	19	12,4	0,20
120	19	14,0	0,158

Alumiiniumjuhtmetel on võrreldes vaskjuhtmetega väiksem juhtivus ($k = 32$ m/Ω mm²), väiksem mehaaniline tugevus ($\delta = 16$ kg/mm²) ja väiksem erikaal ($p = 2{,}7$ g/cm³).

Alumiiniumi erijuhtivus on 1,65 korda väiksem kui vase erijuhtivus, kuid alumiiniumi erikaal on 3,3 korda väiksem kui vase erikaal. Sellest järeldub, et ühesuuruse kaalu korral on alumiiniumjuhtmete juhtivus 2 korda suurem kui vaskjuhtmete juhtivus ja ümberpöördult — ühesuguse juhtivuse saamiseks tuleb võtta alumiiniumjuhet kaalu järgi kaks korda vähem kui vaskjuhet.

Neil juhtudel, kui ei saada rahuldavaid tulemusi maaelektrivõrkude ehitamisel terasjuhtmetega, kasutatakse alumiiniumjuhtmeid (mitte aga vaskjuhtmeid), tänu nende suhteliselt heale majanduslikkusele.

Kuna alumiiniumjuhtmed on väiksema mehaanilise tugevusega, valmistatakse neid ainult köisjuhtmetena — ristlõikega mitte alla 16 mm. Alumiiniumjuhtmete kasutamisel lühenevad aga õhuliini visangud, mis tingib vajaduse teatud määral suurendada mastide ja liiniarmatuuri hulka.

Tabelis 88 on toodud alumiinium-paljasjuhtmete tehnilised põhiandmed.

Tabel 88

Alumiinium-paljasjuhtmed

Nimiristlõige mm²	Traatide arv	Juhtmete arvutusläbimõõt mm	Aktiivtakistus temperatuuril 20°, mitte üle Ω / km
16	7	5,1	1,96
25	7	6,3	1,27
35	7	7,5	0,91
50	7	9,0	0,63
70	7	10,6	0,45
95	7	12,4	0,33
120	19	14,0	0,27

Alumiiniumjuhtmed riknevad söövitavate hapete, kloor- ja leelisühendite aurude mõjul, mistõttu neid ei soovitata kasutada keemiatehaste ja mereranna lähedastes elektriõhuliinides.

Terasjuhtmed, nii traat- kui ka köisjuhtmed, on põllumajanduse elektrifitseerimisel kõige enam levinud. Traatjuhtmeid valmistatakse läbimõõtudega 3, 4, 5 ja 6 mm ja iseloomustatakse järgmiste põhiomadustega.

1. Teras-traatjuhtme elektrijuhtivus on alalisvoolu korral 7 korda väiksem kui vase elektrijuhtivus.

2. Lõõmutamata juhtme mehaaniline tugevus on 1,7 korda suurem kui vaskjuhtmel.

3. Vahelduvvoolu korral on terasjuhtme aktiivtakistus R_ω palju suurem kui oomiline takistus R_q alalisvoolu korral. See takistuse suurenemine toimub pinnaefekti tõttu (voolu väljatõrjumine juhtme tsentrist selle perifeeriale), mis terasjuhtmete korral avaldab eriti suurt mõju, sest terasel on eriti suur magnetiline läbitavus. Terasjuhtmete aktiivtakistus suureneb ka ü m-

bermagneetimiskadude (hüstereesi) tõttu.

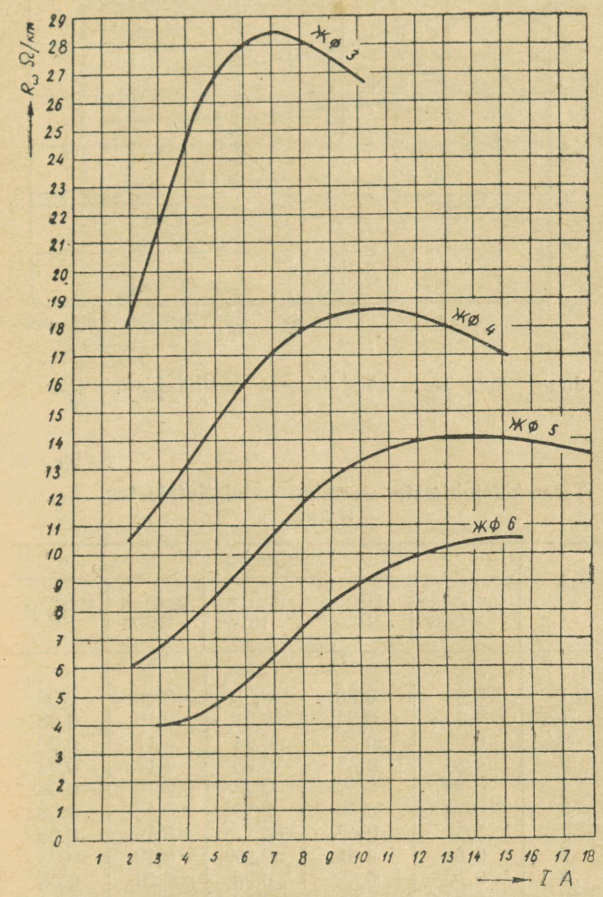
4. Voolu suurendamisel suureneb terasjuhtmete takistus kuni teatud piirini. Joonistel 330 ja 331 on toodud vahelduvvoolu korral terastraatjuhtmete aktiivtakistuse (R_ω) ja kogutakistuse (Z) sõltuvus voolust.

5. Takistus vahelduvvoolule sõltub terasjuhtme materjali keemilisest koostisest, eriti selles sisalduvast süsinikust. Süsinikusisalduse suurenemisel kasvab teatud piirini ka juhtme takistus.

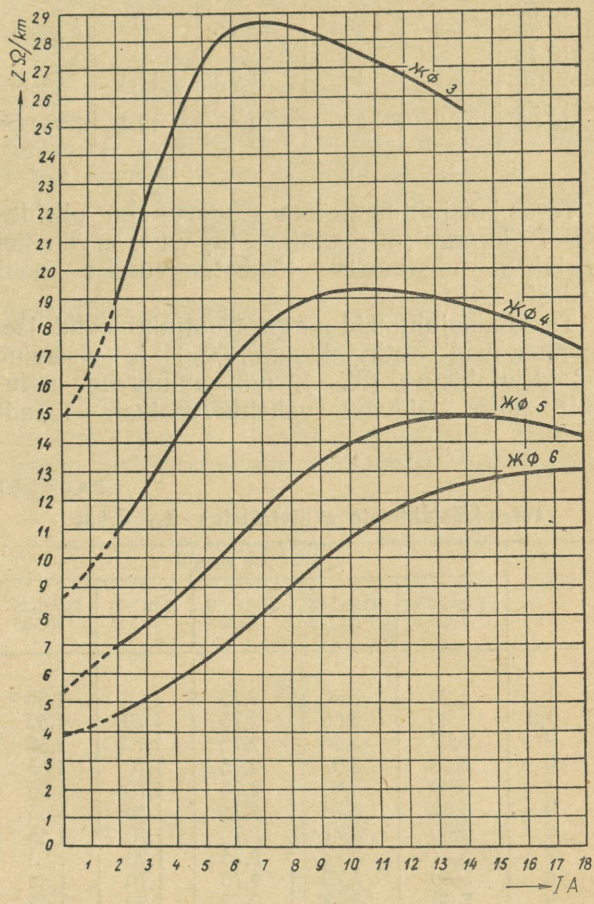
8. Tõmbetugevus on 60—70 kg/mm² ja katkepinge — $^1/_3$ sellest.

9. Terasjuhtme takistus alalisvoolule temperatuuril 20° on 132 Ω mm²/km.

Teras-köisjuhtmetel on üksikute traatide vahel mittemagnetiline vahekiht (tsingist ja õhust). Võrreldes teras-traatjuhtmetega (täisjuhtmetega) väheneb selliste juhtmete magnetiline juh-



Joon. 330. Teras-traatjuhtmete aktiivtakistus R_ω.



Joon. 331. Teras-traatjuhtmete induktiivtakistus Z.

suurendamine halvendab materjali oomilist juhtivust ja suurendab hüstereesikadusid.

6. Juhtme elektrilistele omadustele avaldab suurt mõju selle töötlemise moodus. Keermetis suurendab terasjuhtme mehaanilist tugevust, vähendab aktiiv- ning kogutakistust ja suurendab cos φ. Oomiline takistus keermetise korral pisut suureneb, kuid külmalt tõmmatud ja lõõmutamata juhtmetel on pinnaefekt tunduvalt väiksem kui lõõmutatud juhtmetel.

7. Pingekadu terasjuhtmes ei muutu võrdeliselt vooluga, vaid eksponentsiaalselt, sest voolu tivus. Ka pinnaefekti mõju väheneb tunduvalt. Pinnaefektile mõjub ka juhtme köiestamise moodus, s. t. üksikute traatide arv ja keeru samm.

Teras-köisjuhtmeid toodetakse elektriliinide jaoks ristlõigetega 25, 35, 50, 70 ja 95 mm² (ГОСТ 5800-51). Neid juhtmeid tähistatakse ПС või ПМС, kusjuures ПС märgib juhtmeid, mis on kokku keeratud tavalistest terastraatidest, ja ПМС — vasetatud terasest.

Tabelis 89 on toodud ГОСТ 5800-51 järgi valmistatud teras-köisjuhtmete põhilised konstruktiivandmed.

Tabel 89

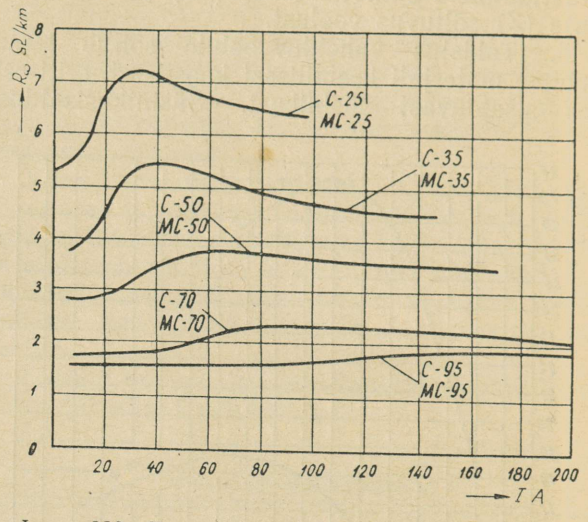
Teras-köisjuhtmete põhilised konstruktiivandmed

Juhtme mark	Traadi läbimõõt mm	Traatide arv juhtmes	Juhtme teoreetiline ristlõikepind mm²	Juhtme arvutuslik läbimõõt mm	1000 m juhtme arvutuskaal kg
ПС-25 ПМС-25 ПС-35	2,5	5	24,6	5,6	194,3
ПМС-35 ПС-50	2,6	7	37,2	7,8	295,7
ПМС-50 ПС-70	2,3	12	49,8	9,2	396,0
ПМС-70 ПС-95	2,3	19	78,9	11,5	631,6
ПМС-95	1,8	37	94,0	12,6	754,8

Teras-köisjuhtmete tõmbetugevus on piirides 65—70 kg/mm²; mehaanilise tugevuse arvutustel võetakse lubatavaks tõmbetugevuseks pool sellest.

Teras-köisjuhtmeid nagu traatjuhtmeidki iseloomustavad aktiivtakistus (R_ω) ja sisemine induktiivtakistus (X_{sis}), mis muutuvad sõltuvalt juhet läbivast vahelduvvoolust. Traadi elektriline eritakistus alalisvoolule temperatuuril 20° ei tohi ületada 138 Ω mm²/km harilike traatide korral ja 146 Ω mm²/km vasetatud traatide korral.

Joonisel 332 ja tabelis 90 on toodud teras-



Joon. 332. Teras-köisjuhtmete aktiivtakistus R_ω.

Tabel 90

Teras-köisjuhtmete aktiivtakistus R_ω Ω/km

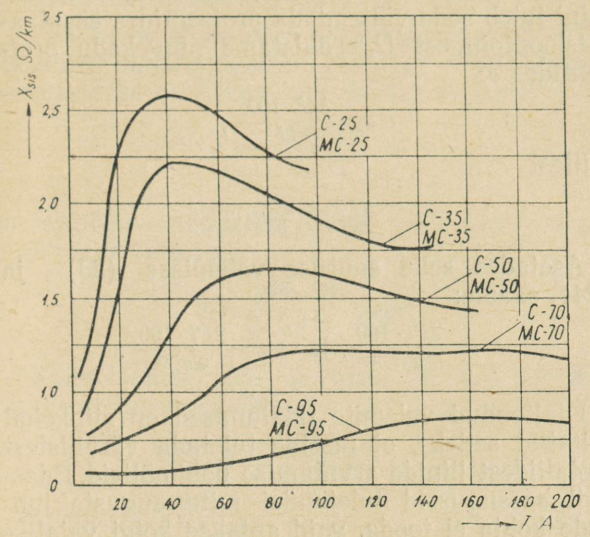
Vool A	Juhtmete margid				
	ПМС-25 ПС-25	ПМС-35 ПС-35	ПМС-50 ПС-50	ПМС-70 ПС-70	ПМС-95 ПС-95
1	5,25	3,66	2,75	1,70	1,55
1,5	5,26	3,66	2,75	1,70	1,55
2	5,27	3,66	2,75	1,70	1,55
3	5,28	3,67	2,75	1,70	1,55
4	5,30	3,69	2,75	1,70	1,55
5	5,32	3,70	2,75	1,70	1,55
6	5,35	3,71	2,75	1,70	1,55
7	5,37	3,73	2,75	1,70	1,55
8	5,40	3,75	2,76	1,70	1,55
9	5,45	3,77	2,77	1,70	1,55
10	5,50	3,80	2,78	1,70	1,55
15	5,97	4,02	2,80	1,70	1,55
20	6,70	4,40	2,85	1,72	1,55
25	6,97	4,89	2,95	1,74	1,55
30	7,10	5,21	3,10	1,77	1,56
35	7,10	5,36	3,25	1,79	1,56
40	7,02	5,35	3,40	1,83	1,57
45	6,92	5,30	3,52	1,88	1,57
50	6,85	5,25	3,61	1,93	1,58
60	6,70	5,13	3,69	2,07	1,58
70	6,60	5,00	3,73	2,21	1,61
80	6,50	4,89	3,70	2,27	1,63
90	6,40	4,78	3,68	2,29	1,67
100	6,32	4,71	3,65	2,33	1,71
125	—	4,60	3,58	2,33	1,83
150	—	4,47	3,50	2,38	1,87
175	—	—	3,45	2,23	1,89
200	—	—	—	2,19	1,88

Tabel 91

Teras-köisjuhtmete sisemine induktiivtakistus X_{sis} Ω/km

Vool A	Juhtmete margid				
	ПМС-25 ПС-25	ПМС-35 ПС-35	ПМС-50 ПС-50	ПМС-70 ПС-70	ПМС-95 ПС-95
1	0,54	0,33	0,23	0,16	0,08
1,5	0,55	0,34	0,23	0,16	0,08
2	0,55	0,35	0,24	0,17	0,08
3	0,56	0,36	0,25	0,17	0,08
4	0,59	0,37	0,25	0,18	0,08
5	0,63	0,40	0,26	0,18	0,08
6	0,67	0,42	0,27	0,19	0,08
7	0,70	0,45	0,27	0,19	0,08
8	0,77	0,48	0,28	0,20	0,08
9	0,84	0,51	0,29	0,20	0,08
10	0,93	0,55	0,30	0,21	0,08
15	1,33	0,75	0,35	0,23	0,08
20	1,63	1,04	0,42	0,25	0,09
25	1,91	1,32	0,49	0,27	0,09
30	2,01	1,56	0,59	0,30	0,09
35	2,06	1,64	0,69	0,33	0,09
40	2,09	1,69	0,80	0,37	0,10
45	2,08	1,71	0,91	0,41	0,11
50	2,07	1,72	1,00	0,45	0,11
60	2,00	1,70	1,10	0,55	0,13
70	1,90	1,64	1,14	0,65	0,15
80	1,79	1,57	1,15	0,70	0,17
90	1,73	1,50	1,14	0,72	0,20
100	1,67	1,43	1,13	0,73	0,23
125	—	1,29	1,04	0,73	0,31
150	—	1,27	0,95	0,73	0,34
175	—	—	0,94	0,71	0,35
200	—	—	—	0,69	0,35

köisjuhtmete vahelduvvoolu-aktiivtakistuse sõltuvus juhet läbivast voolust ja joonisel 333 ning tabelis 91 on toodud analoogilised andmed sisemise induktiivtakistuse kohta.



Joon. 333. Teras-köisjuhtmete sisemine induktiivtakistus X_{sis} .

Terasalumiiniumjuhtmeid kasutatakse 35 kV ja kõrgema pingega elektriülekandeliinides. Need juhtmed koosnevad teras-köisjuhtmest südamikust ja alumiinium-köisjuhtmest kattest. Ülekandeliinide elektrilisel arvutusel võetakse arvesse ainult juhtme alumiiniumist osa juhtivus, terassüdamiku juhtivus aga jäetakse arvesse võtmata. Võrreldes sama juhtivusega vaskjuhtmetega, on terasalumiiniumjuhtmed väiksema kaalu ja suurema läbimõõduga. Viimane asjaolu omab tähtsust kõrgepinge-ülekandeliinide (üle 35 kV) koroonakadude vähendamise suhtes.

Tabelis 92 on toodud terasalumiiniumjuhtmete *AC* põhiandmed.

Tabel 92

Terasalumiiniumjuhtmed AC

Nimiristlõige mm²	Traatide arv		Terassüdamiku arvutusristlõige mm²	Juhtme arvutusläbimõõt mm	Aktiivtakistus temperatuuril 20°, mitte üle Ω/km
	alumiiniumist	terasest			
35	6	3	4	8,3	0,91
50	6	7	7	9,9	0,63
70	6	7	9	11,7	0,45
95	28	7	18	13,9	0,33
120	28	7	22	15,3	0,27

KÕRGE- JA MADALPINGELIINI JUHTMETE ELEKTRILINE ARVUTUS

Õhuliinide elektriline arvutus seisab selles, et etteantud või pinge muutuste tabelist võetud pingekadude järgi (protsentides või voltides) leitakse õhuliini juhtme ristlõige.

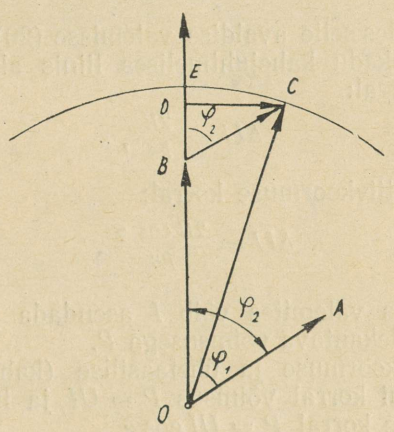
Tuleb vahet teha mõistete «pingelang» ja «pingekadu» vahel. Induktiivsuseta koormuse korral, s. t. kui võimsustegur $\cos\varphi = 1$, on need mõisted samaväärsed, induktiivkoormusel aga erinevad.

Juhtmeid läbiv elektrivool tekitab neis pingelangu. Elementaarne kahejuhtmeline võrk aktiivkoormusega liini lõpus kujutab endast kahe juhtme ja tarbija takistuse järjestikku-ühendust. Pinge tarbija klemmidel U_2 on madalam pingest toitepunktis U_1 pingelangu võrra juhtmetes, s. t. suuruse võrra

$$\triangle U = 2IR,$$

kus: $\triangle U$ — pingekadu (või -lang) V;
I — vool ahelas A;
R — ühe juhtme takistus oomides.

Tarbija klemmipinge $U_2 = U_1 - \triangle U$. Induktiivkoormusel, s. t. ühest väiksema võimsusteguri korral, ei lange vooluvektor kokku pingevektoriga.



Joon. 334. Vahelduvvooluahelate voolude ja pingete vektordiagramm.

Joonisel 334 on kujutatud liini lõppu ühendatud induktiivkoormusega elementaarse kahejuhtmelise elektrivõrgu vektordiagramm. Juhtmete endi induktiivsus on niivõrd väike, et selle võib jätta arvestamata. Vektor *OA* kujutab voolu I ja vektor *OB* — pinget tarbija klemmidel U_2; nende kahe vektori vaheline nihkenurk on φ_2. Pingelang juhtmetes on näidatud vektoriga *BC*, mis juhtmete tühise induktiivsuse tõttu on sama-

suunaline vooluvektoriga OA ja suuruselt võrdne $2IR$-ga.

Pinge liini alguses määrab vektorite OB ja BC geomeetrilise summa, s. t. vektori OC. Liini alguses esineva pinge ja voolu vaheline nihkenurk on φ_1.

Antud juhul ei oma juhtmete arvutamisel otsustavat tähtsust mitte pingelangu vektor BC, mille suurus on $2IR$, vaid liini alguses esineva pinge (OC) ja selle lõpus esineva pinge (OB) algebraline vahe, s. t. pingekadu $\triangle U$.

Võttes keskpunktiks punkti O ja tõmmates kaare raadiusega OC, leiame:

$$BE = OC - OB = \triangle U.$$

Edasisel lihtsustamisel asendame kaare CE punktist C tõmmatud ristlõiguga vektori OB pikendusele, jättes arvestamata väikese vea, mis selle juures teeme. BE asemel võib küllaldase täpsusega valida BD ja lugeda, et

$$\triangle U = BD = BC \cos \varphi_2$$

ehk

$$\triangle U = 2IR \cos \varphi_2. \qquad (20)$$

Väljendades takistuse R erijuhtivuse k (m/Ω mm²) (vase või alumiiniumi korral, liini pikkuse l (m) ja juhtme ristlõike s (mm²) kaudu, saame:

$$R = \frac{l}{ks}\ \Omega.$$

Asetades selle avaldise valemisse (20), leiame, et pingekadu kahejuhtmelises liinis aktiivkoormuse korral:

$$\Delta U = \frac{2Il}{ks}, \qquad (21)$$

ja induktiivkoormuse korral:

$$\Delta U = \frac{2Il \cos \varphi}{ks}. \qquad (22)$$

Nendes valemites võib I asendada juhtmete kaudu ülekantava võimsusega P.

Aktiivkoormuse ja ühefaasilise (kahejuhtmelise) liini korral võimsus $P = UI$ ja induktiivkoormuse korral $P = UI \cos \varphi$.

Asetades valemites (21) ja (22) I asemele P, saame aktiivkoormuse korral:

$$\Delta U = \frac{2Pl}{ksU},$$

ja induktiivkoormuse korral:

$$\Delta U = \frac{2Pl \cos \varphi}{ksU \cos \varphi} = \frac{2Pl}{ksU},$$

s. t. lähtudes ülekantavast võimsusest, saame mõlemal juhul analoogilised valemid:

$$\triangle U = \frac{2Pl}{ksU}. \qquad (23)$$

Selle valemi järgi arvutatakse väga sageli mitte pingekadu, vaid juhtme ristlõiget:

$$s = \frac{2Pl}{k\Delta UU}. \qquad (24)$$

Valemis on $\triangle U$ voltides, kuid kõige sagedamini tuleb seda väljendada protsentides ekspluatatsioonipingest U. Tähistame pingekadu protsentides e:

$$e = \frac{\Delta U \cdot 100}{U},$$

millest

$$\Delta U = \frac{eU}{100}.$$

Asetades selle suuruse valemisse (23) ja (24), saame:

$$e = \frac{2Pl \cdot 100}{ksU^2} \text{ ja } s = \frac{2Pl \cdot 100}{keU^2}.$$

Ülaltoodud valemite tuletamised on siinkohal esitatud selleks, et meelde tuletada värvilistest metallidest liinide arvutamise põhimõtteid. Edaspidi seesuguseid tuletamisi mitmesuguste juhtude kohta ei tooda, vaid antakse kõigi vajalike selgitustega arvutusvalemid, mida kasutatakse maakõrgepingeliinide ja -madalpingeliinide projekteerimisel.

Arvutusvalemites kasutatakse järgmisi tähistusi:

U_f — faasipinge V;
U_l — liinipinge V;
I — vool A;
P — võimsus W;
l — arvutatava liinilõigu pikkus m;
L — arvutatava liinilõigu pikkus km;
R — värvilisest metallist juhtme takistus Ω/km;
R_ω — terasjuhtme aktiivtakistus Ω/km;
X_{sis} — terasjuhtme sisemine induktiivtakistus Ω/km;
$X_{väl}$ — terasest ja värvilistest metallidest juhtmete väline induktiivtakistus Ω/km;
Z — terasjuhtme kogutakistus Ω/km;
γ — erijuhtivus (vasel 53 m/Ω mm², alumiiniumil 32 m/Ω mm²;
s — juhtme ristlõige mm²;
D — juhtmetevaheline kaugus cm;
r — juhtme raadius cm.

Arvutusvalemite kasutamisel neil juhtudel, kui koormus P on antud kilovattides, korrutatakse lugejat 1000-ga.

Kõik valemid on antud pingekao arvutamiseks mingis liinilõigus või terves liinis — ühe koormusega liini lõpus. Neil juhtudel, kui leitakse pingekadu ühesuuruse ristlõikega ja

samast materjalist juhtmetega liinis, kuid paljude koormustega, mis asetsevad liini erinevates punktides, võetakse korrutise PI asemel vastav korrutiste summa ΣPl, kus P on mingis punktis esinev koormus vattides ja l — liini pikkus selle algusest kuni koormuse ühenduskohani.

Vask- ja alumiiniumjuhtmete arvutus. Ühefaasilise madalpingeliini (1 faas + 0) juhtmed arvutatakse mistahes cos φ korral valemiga:

$$e = \frac{2Pl \cdot 100}{ksU_f^2}\ \%$$

ja ristlõike leidmiseks antud või valitud pingekao järgi valemiga:

$$s = \frac{2Pl \cdot 100}{keU_f^2}\ \text{mm}^2.$$

Kahefaasilise liini (2 faasi + 0) juhtmed arvutatakse valemiga:

$$e = \frac{2{,}25\,Pl \cdot 100}{ksU_l^2}\ \%.$$

Kolmefaasilise liini (3 faasi + 0) juhtmed arvutatakse valemiga:

$$e = \frac{Pl \cdot 100}{ksU_l^2}\ \%.$$

Nagu nähtub ülaltoodud valemitest, võib madalpingeliinide juhtmete arvutamisel jätta juhtmete induktiivsuse arvesse võtmata; koormuse induktiivsust arvestatakse sellega, et valemites on koormused mitte voltamprites, vaid vattides.

Kõrgepingeliinides ei saa juhtmete induktiivsust arvestamata jätta ja seetõttu toimub juhtmete arvutus pingekadude järgi valemiga:

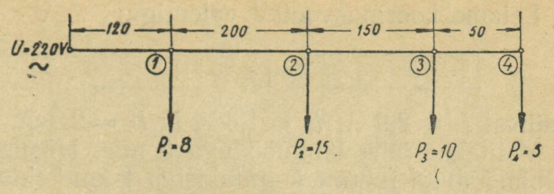
$$e = \frac{1{,}73\,IL\,(R\cos\varphi + X_{väl}\sin\varphi)}{U_l}\ \%.$$

Värvilistest metallidest juhtmete väline induktiivtakistus leitakse, juhul kui juhtmed paiknevad võrdkülgse kolmnurga tippudes, kolmefaasilise 50 Hz voolu korral valemiga:

$$X_{väl} = 314\left(4{,}6\lg\frac{D}{r} + 0{,}5\right)\cdot 10^{-4}\ \Omega/\text{km},$$

kus: D — juhtmetevaheline kaugus cm;
r — juhtme raadius cm.

Näide. Valida alumiiniumjuhtmete ristlõige kolmefaasilisele madalpingeliinile, pingega 380/220 V, mille skeem on toodud joonisel 335, kui suurim pingekadu alajaamast kuni kõige kaugema tarbijani ei tohi ületada 6% (tabeli järgi lubatav pingemuutus).



Joon. 335. Madalpingevõrgu skeem juhtmete arvutusnäite juurde. Kaugused on meetrites ja koormused — kilovattides.

Juhtmete ristlõige

$$s = \frac{\Sigma Pl \cdot 100}{keU_l^2} =$$

$$= \frac{(8\cdot 120 + 15\cdot 320 + 10\cdot 470 + 5\cdot 520)\cdot 10^3\cdot 100}{32\cdot 6\cdot 380^2} =$$

$$= \frac{13060\cdot 10^3\cdot 100}{32\cdot 6\cdot 380^2} = 47\ \text{mm}^2.$$

Tuleb valida lähim suurem juhtme ristlõige — 50 mm². Kontrollime tegelikku pingekadu juhtme A-50 korral:

$$e = \frac{\Sigma Pl\cdot 10^3\cdot 100}{ksU_l^2}\ \% = \frac{13060\cdot 10^3\cdot 100}{32\cdot 50\cdot 380^2} = 5{,}7\%.$$

Teras-traatjuhtmed arvutatakse tavaliselt kogutakistuse Z järgi, mis on toodud joonisel 331. Valitud juhtmest koormusvoolu läbimisel esinev pingekadu arvutatakse järgmiste valemitega. Ühefaasilise liini korral (1 faas + 0):

$$e = \frac{2ILZ\cdot 100}{U_f}\ \%.$$

Kahefaasilise liini korral (2 faasi + 0):

$$e = \frac{1{,}5ILZ\cdot 100}{U_f}\ \%.$$

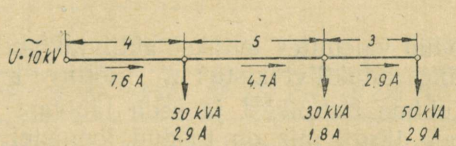
Kolmefaasilise liini korral (3 faasi + 0):

$$e = \frac{ILZ\cdot 100}{U_f}\ \%.$$

Kolmefaasilise kõrgepingeliini korral:

$$e = \frac{1{,}73ILZ\cdot 100}{U_l}\ \%.$$

Näide. Leida pingekadu 10 kV pingega liinis, mis on näidatud joonisel 336.



Joon. 336. Terasjuhtmetega 10 kV liini arvutusskeem. Kaugused on kilomeetrites ja koormused — kilovoltamprites.

Leiame koormusvoolud valemiga:

$$I = \frac{S \cdot 10^3}{1{,}73\,U},$$

millest $I_1 = 2{,}9$ A, $I_2 = 1{,}8$ A ja $I_3 = 2{,}9$ A.

Valitakse juhe läbimõõduga 5 mm. Niisuguse läbimõõduga juhtme kogutakistus 1 km kohta on joonise 330 kõverate järgi:

Vool I A	7,6	4,7	2,9
Takistus Z Ω/km	12	9,1	7,5

Pingekadu arvutatakse iga liinilõigu kohta valemiga:

$$e = \frac{1{,}73\,ILZ \cdot 100}{U_1}\ \%.$$

Arvutustulemused koondame tabelisse.

Liinilõik	Pingekadu lõigus %	Üldse liini algusest %
1	6,3	6,3
2	3,7	10,0
3	1,1	11,1

Pingekadu kaugeima punktini on antud näites seega 11,1%.

Teras-köisjuhtmed arvutatakse järgmiste valemitega.

Ühefaasiline madalpingeliin cos $\varphi = 1$ korral (1 faas + 0):

$$e = \frac{2ILR_\omega \cdot 100}{U_f}\ \%.$$

Kahefaasiline madalpingeliin cos $\varphi = 1$ korral (2 faasi + 0):

$$e = \frac{1{,}5\,ILR_\omega \cdot 100}{U_f}\ \%.$$

Kolmefaasiline madalpingeliin cos $\varphi = 1$ korral (3 faasi + 0):

$$e = \frac{ILR_\omega \cdot 100}{U_f}.$$

Kolmefaasilised kõrgepinge- ja madalpingeliinid cos $\varphi < 1$ korral:

$$e = \frac{1{,}73\,IL\left[R_\omega \cos\varphi + (X_{sis} + X_{väl}) \sin\varphi\right] \cdot 100}{U_1}\ \%.$$

Toodud valemites leitakse aktiivtakistus R_ω ja sisemine induktiivtakistus X_{sis} sõltuvalt valitud terasjuhtme ristlõikest ja seda läbivast voolust kõverate järgi, mis on toodud joonistel 332 ja 333 või tabelite 90 ja 91 järgi. Terasjuhtmete väline induktiivtakistus leitakse valemiga:

$$X_{väl} = 314 \cdot 4{,}6 \lg \frac{D}{r}\, 10^{-4}\ \Omega/\text{km}.$$

Nagu nähtub toodud valemitest ja näidetest, on terasjuhtmete analüütiline arvutamine küllaltki töömahukas, sest ülesanne lahendatakse eelnevalt valitud ristlõike ja selle järgneva pingekao kontrollimise abil.

Terasjuhtmete arvutamisel kasutavad projekteerimisorganisatsioonid oma praktikas graafilist arvutusmeetodit erinomogrammide järgi, mis on toodud põllumajanduse elektrifitseerimise mitmesugustes käsiraamatutes [7, 15] või Glavselelektro «Põllumajanduslike elektriseadmete projekteerimise juhendites».

Nomogrammid on koostatud kõigi ekspluatatsioonipingete ja mitmesuguste juhtmemarkide kohta. Teras-traat- ja köisjuhtmete kohta on selliste nomogrammide näited toodud joonistel 337 ja 338.

Nomogrammi järgi leitakse juhtme pingekadu 1 km kohta protsentides nimipingest, sõltuvalt ülekantavast aktiiv- või näivvõimsusest.

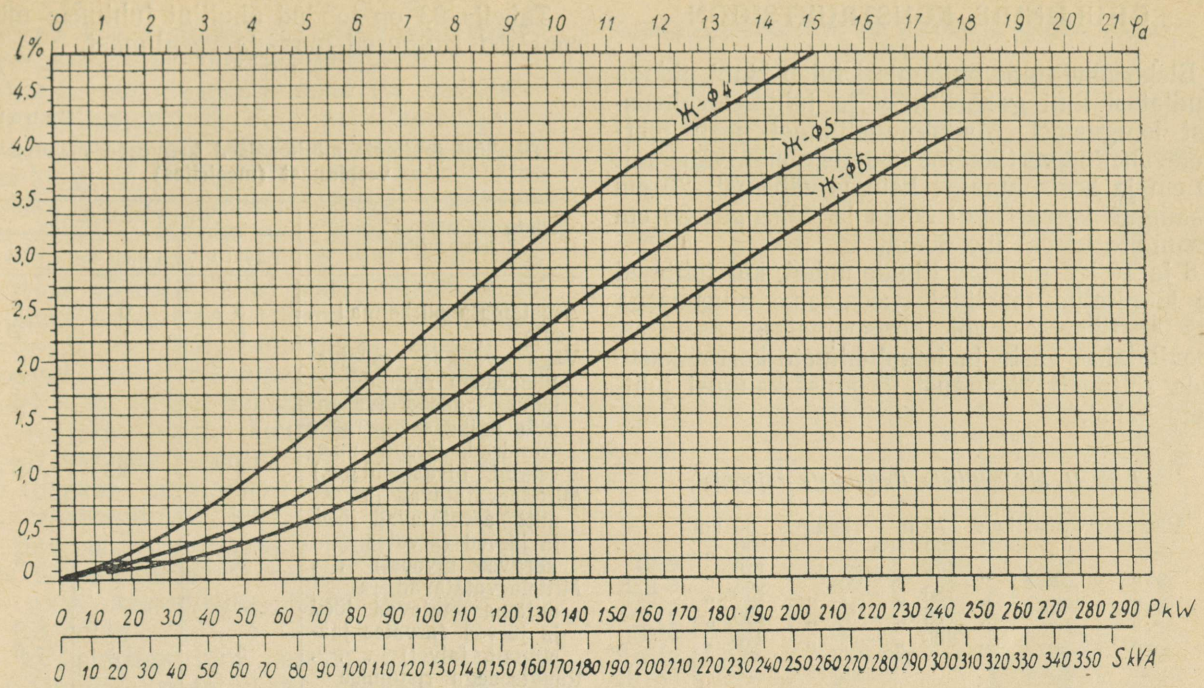
Joonisel 337 kujutatud nomogrammi järgi teostatud juhtmete graafiline arvutus joonisel 336 toodud näite kohta on koondatud järgnevasse tabelisse (juhtme läbimõõt on 5 mm).

Liinilõik	Koormus kVA	Pikkus km	Pingekadu 1 km kohta %	Pingekadu lõigu kohta %	Pingekadu liini algusest alates %
1	130	4	1,6	6,4	6,4
2	80	5	0,7	3,5	9,9
3	50	3	0,4	1,2	11,1

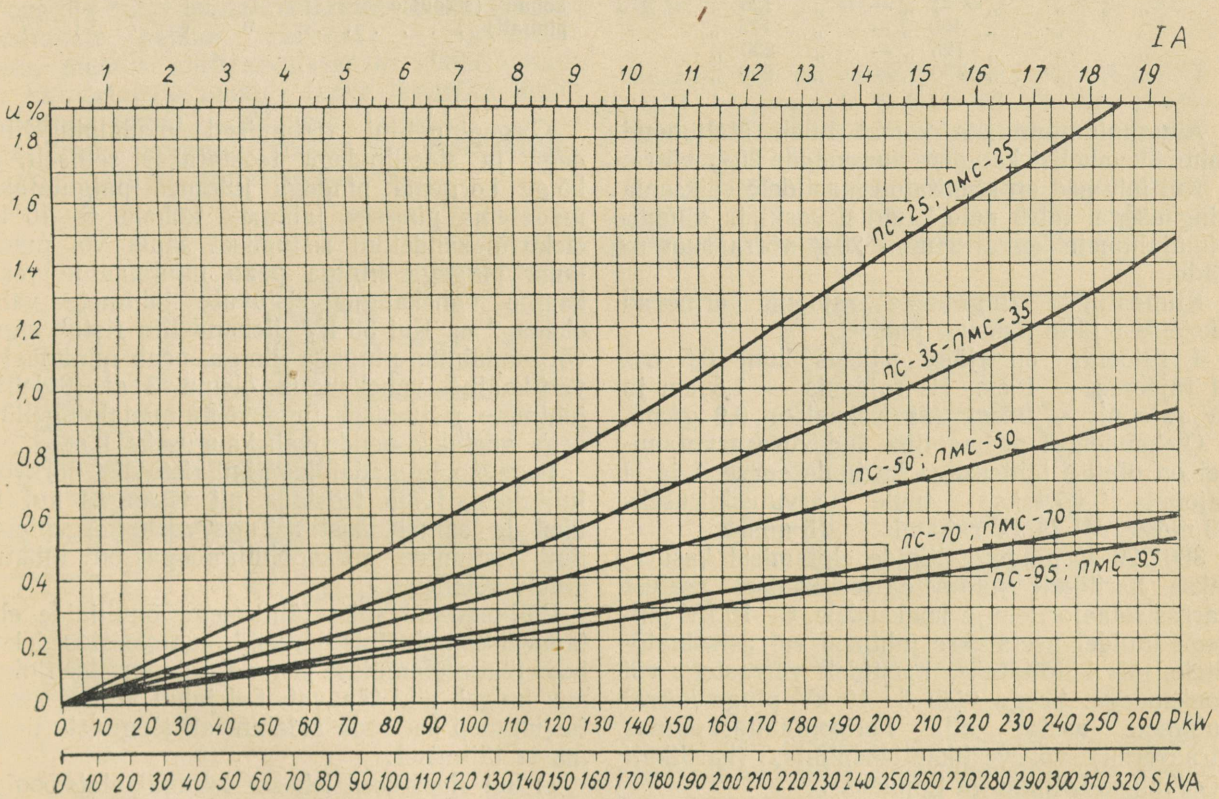
Nagu näeme, langevad analüütilise ja graafilise arvutuse tulemused kokku.

Peale ülalkirjeldatud arvutusmeetodite, mida projekteerimisorganisatsioonid kasutavad oma praktikas, on nõukogude teadlaste poolt esitatud veel mitmed kõrge- ja madalpingeliinide terasjuhtmete täiustatud arvutusmeetodid. Nende hulka kuuluvad arvutusmeetodid, mis on soovitatud V. N. Stepanovi, V. K. Pljugatševi, A. M. Ganelini ja S. G. Kuzanovi poolt.

Kõik need meetodid võimaldavad lahendada õhuliinide juhtmete arvutuse ja valiku küsimusi ühe korraga, ilma mitmesuguste variantide võrdlemiseta [49, 50].



Joon. 337. Näitlik nomogramm teras-traatjuhtmete arvutamiseks; nimipinge 10 kV, cos $\varphi = 0{,}8$, $L = 1$ km.



Joon. 338. Näitlik nomogramm teras-köisjuhtmete arvutamiseks; nimipinge 10 kV, cos $\varphi = 0{,}8$, $\Delta = 1$ km.

ÕHULIINIDE KONSTRUKTSIOON

Elektriõhuliinide ehitamisel tuleb kinni pidada kindlatest liini gabariitidest ja juhtmetevahelistest kaugustest. Madalpingeliinidel peab juhtmetevaheline vertikaalne kaugus olema vähemalt 40 cm ja horisontaalne kaugus vähemalt 20 cm visangute korral kuni 30 m ja vähemalt 30 cm visangute korral üle 30 m.

6 ja 10 kV pingega liinide puhul, kui juhtmed on kinnitatud mastidele normaalse pingsusega kas vertikaalses või horisontaalses asetuses, soovitatakse vask- ja terasjuhtmete korral kasutada sõltuvalt visangust järgmisi kaugusi juhtmete vahel.

I ja II klimaatiliste tingimuste rajoonis

Visangu korral kuni	75	m	— kaugus	80	cm
„ „ „	100	„	— „	90	„
„ „ „	125	„	— „	110	„
„ „ „	150	„	— „	130	„
„ „ „	175	„	— „	150	„
„ „ „	200	„	— „	175	„

III ja IV klimaatiliste tingimuste rajoonis

Visangu korral kuni	50	m	— kaugus	100	cm
„ „ „	75	„	— „	125	„
„ „ „	100	„	— „	175	„
„ „ „	125	„	— „	200	„
„ „ „	150	„	— „	250	„

Alumiiniumjuhtmete korral tuleb ülaltoodud juhtmetevahelisi kaugusi suurendada 20% võrra.

Kui juhtmed on kinnitatud mastidele väiksema pingsusega, tuleb neid kaugusi vask- ja alumiiniumjuhtmete korral samuti 20% võrra suurendada.

Klimaatiliste tingimuste rajoonid erinevad üksteisest jäite paksuse poolest.

I rajoonis on jäite paksus kuni 0,5 cm, II rajoonis — 1 cm, III rajoonis — 1,5 cm ja IV rajoonis — 2 cm. Jää erikaal on 0,9 g/cm³.

Ülekandeliini mehaanilise tugevuse arvutamisel on olulise tähtsusega ka tuule surve. I ja II rajoonis võetakse tuule arvutuskiiruseks 10 m/sec, III ja IV rajoonis — 15 m/sec.

380/220 V pingega liinide ehitamisel kasutatakse harilikult juhtmete vertikaalset asetust varrasisolaatoritele ja konksudele. 6—10 kV pingega liinidel asetatakse juhtmed varrasisolaatoritele, mis kinnitatakse mastidele varrastega või konksudega. Seega võib 6—10 kV pinge korral juhtmete asetus olla horisontaaltasapinnas (traaversil) või vertikaaltasapinnas (harilikult võrdkülgse kolmnurga tippudes).

Kõrgepingeliini läbiminekul asulatest või ristumisel teedega, sideliinidega jne., tehakse juhtmetele kahekordne side.

Tabelis 93 on toodud õhuliini juhtmete minimaalsed kaugused maa- ja veepinnast.

Tabel 93

Õhuliini juhtmete minimaalsed kaugused maa- ja veepinnast (meetrites)

Liini poolt läbitava rajooni iseloomustus	Liini nimipinge kV		
	kuni 1	1 kuni 20	35
Asustamata piirkonnad .	5	6	6
Asulad	6	7	7
Väga väikese asustustihedusega rajoonid, kuhu transpordivahendite ligipääs on raske (tundrad, järsud mäeveerud, liivastepid jne.)	4	4,5	5
Mittelaevatatavad ja mitteparvetatavad jõed ja järved (arvates kõrgvee nivoost) . .	3	3	3
Mittelaevatatavad ja mitteparvetatavad jõed ja järved (arvates jääpinnalt, talvel) . . .	5	5,5	6
Raudteedega ristumise kohad (raudteerööpa pealt)	7,5	7,5	7,5
Autoteedega ristumise kohad (sõidutee pinnalt)	6	7	7

Kõrgepingeliini ristumised madalpingeliinidega ja sideliinidega teostatakse selliselt, et kõige kõrgema pingega juhtmed paigutatakse madalama pingega juhtmete kohale. 6—10 kV elektriülekandeliini ristumisel sama või madalama pingega liiniga peab minimaalne vertikaalne vahekaugus ristuvate juhtmete vahel olema 2 m. Kui 35 kV ülekandeliin ristub sama või madalama pingega liiniga, peab minimaalne vertikaalne vahekaugus olema 3 m. Sideliini juhtmete ristumisel tugevvoolu-madalpingeliinidega võetakse nende vahekauguseks 1 *m*.

Tugevvoolu-madalpingeliini ristumist nõrkvooluliinidega võib teostada nii visangus kui ka ühel ja samal mastil. Tugevvoolu-kõrgepingeliini ristumine nõrkvooluliinidega on lubatud ainult visangus.

Põllumajandusliku tähtsusega õhuliinide ehitamisel esineb tihti juhtusid, kus sisestused kolhoosnikute elamuisse peavad ristuma sideliiniga, mis kulgeb piki tänavat. Sel juhul võivad sisestusjuhtmed asetseda sideliini all järgmiste tingimuste täitmisel:

1) kui sisestused tehakse kummiisolatsiooniga juhtmetega ПР-380;

2) kui ristumiskoha kaugus sideliini juhtmetest on vähemalt 1 m;

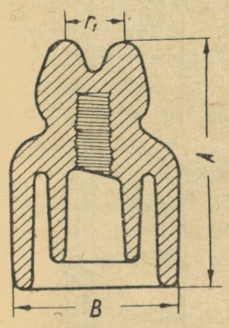
3) kui juhtmete isolatsiooni seisukorda perioodiliselt kontrollitakse ja. isolatsiooni nõrgenemisel asendatakse juhtmed uutega.

Kolhoosnikute elamuisse minevate madalpingeliini sisestusjuhtmete kõige madalamad punktid hoone juures peavad olema maast vähemalt 2,75 m kõrgusel — tingimusel, et sisestusvisang ei ristuks krundile sissesõidu teega, sisestusvisangu pikkus ei ületaks 10 m ja kinnituskõrgus mastil oleks vähemalt 5,25 m. Kui neid tingimusi ei ole võimalik täita, peab juhtmete madalaim punkt olema maast vähemalt 3,5 m kõrgel.

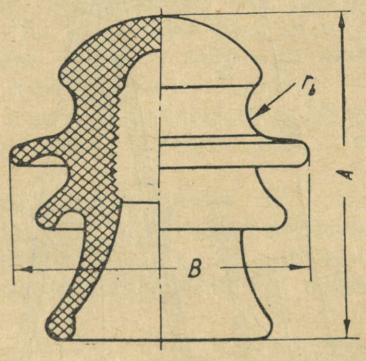
Kõrge- ja madalpinge-õhuliinide mastide valmistamiseks kasutatakse peamiselt mändi. Real juhtudel võib selleks kasutada ka teisi puiduliike, näiteks lehist, kuuske ja hõbekuuske (nulgu). Nendest puiduliikidest mastide mehaanilise tugevuse arvutamisel tuleb männile lubatavat arvutuspinget korrutada parandusteguriga, mis on lehise korral — 1,2, kuuse korral 0,9 ja hõbekuuse korral — 0,8. Arvutusel võetakse palgi loomulikuks läbimõõdu juurdekasvuks 0,8 cm/m.

35 kV pingega liini postide ja tüvitulpade ladva läbimõõt peab olema vähemalt 18 cm; madalpingeliinide ja 6—10 kV liini postide ja tüvitulpade ning kuni 35 kV (kaasa arvatud) liinimastide kõigi muude töötavate elementidena kasutatavate palkide läbimõõt — vähemalt 17 cm; mastide mittearvutatavate abielementidena kasutatavate palkide ladva läbimõõt mistahes pinge korral — vähemalt 14 cm.

Igasuguse pingega õhuliinides kasutatakse enamikel juhtudel varrasisolaatoreid.



Joon. 339. Madalpingeliini varrasisolaator ТФ.



Joon. 340. Varrasisolaator Ш ja ШД.

Joonisel 339 ja tabelis 94 on toodud mõõted ja lubatavate koormuste andmed madalpingeisolaatorite ТФ kohta.

Tabel 94

Madalpingeisolaatorite ТФ mõõted ja suurim lubatav koormus

Isolaatori tüüp	Mõõted mm			Suurim lubatav koormus kg
	A	B	r_1	
ТФ-3	90	72	18	450
ТФ-2	112	85	21	450
ТФ-1	135	93	24	450

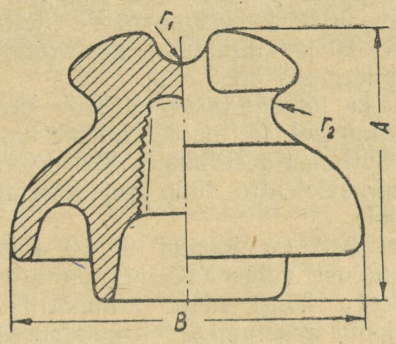
Tabel 95

Kõrgepinge-varrasisolaatorite mõõted ja andmed
(jooniste 340 ja 341 juurde)

Isolaatori tüüp	Mõõted mm		Koormus kg		Minimaalne läbilöögipinge kV
	A	B	proovi	purustav	
Ш-6	90	85	450	800	65
ШД-6	108	100	—	1 300	76
ШС-6	90	120	—	1 400	93
Ш-10	110	105	600	1 100	78
ШД-10	126	112	—	1 900	90
ШС-10	106	140	—	1 400	101
Ш-20	165	160	800	1 400	111
ШД-20	190	185	1 200	—	140
Ш-35	255	240	2 000	—	156
ШД-35	275	255	2 000	—	125

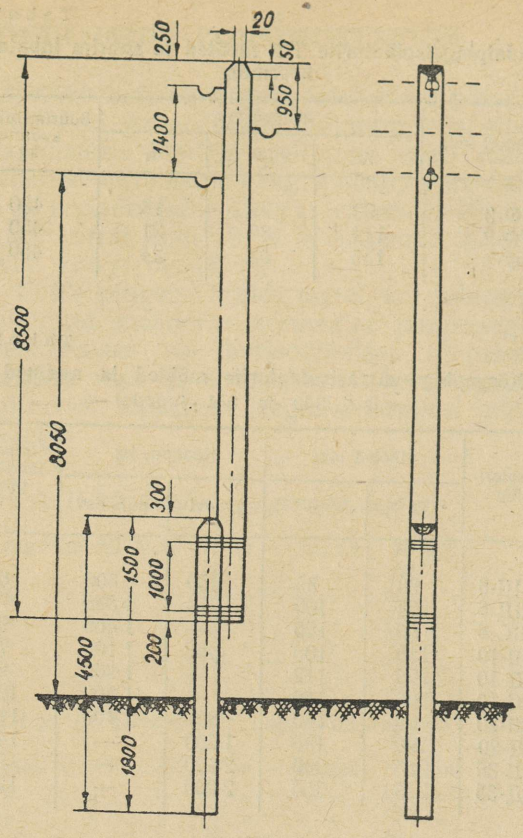
Joonisel 340 on näidatud varrasisolaatorid Ш ja ШД — pingetele 6 kuni 35 kV. Arv pärast isolaatori tähist näitab, missugusele ekspluatatsioonipingele see on arvutatud.

Tabelis 95 on antud kõrgepinge-varrasisolaatorite Ш, ШД ning ШС (joon. 341) mõõted ja mehaanilised ning elektrilised andmed.

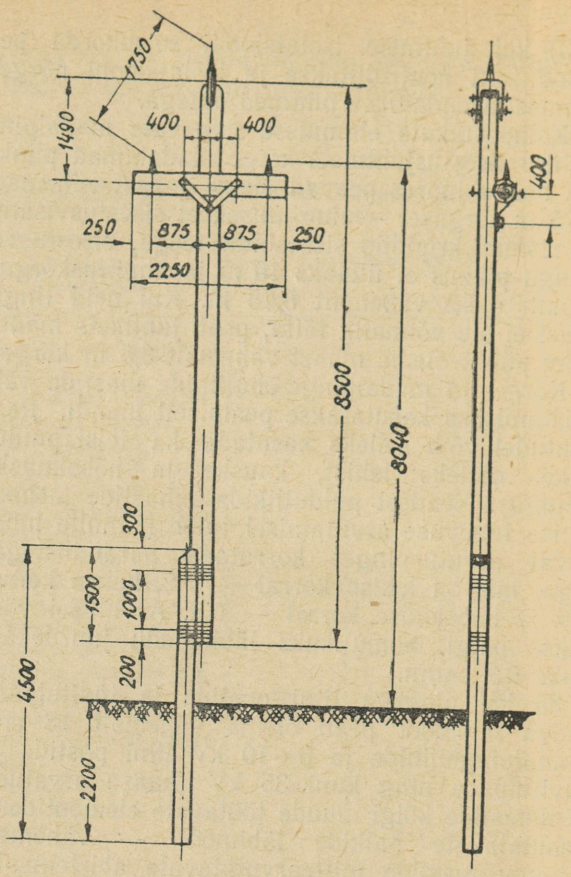


Joon. 341. Varrasisolaator ШС.

6—10 kV pingega maaliinides kasutatakse eranditult lihtmaste (küünalmaste), mis kaevatakse normaalselt 1,8—2 m ulatuses maasse. Nii asustatud kui ka asustamata rajoonides monteeritakse isolaatorid mastidele konksude ja polti-



Joon. 342. Konksudega vahemast.



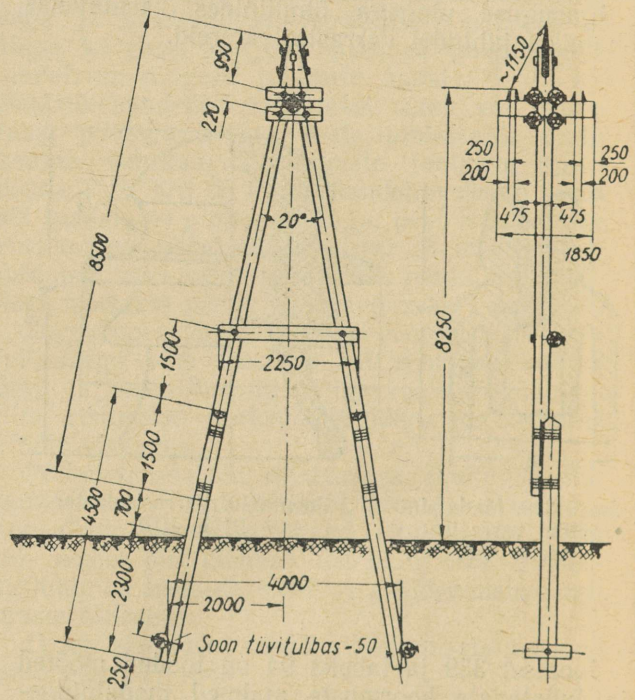
Joon. 343. Traaversiga vahemast.

dega. Ankur-, nurk- ja lõppmastidel monteeritakse isolaatorid tavaliselt poltidele ja mastid ise varustatakse puidust traaversitega. Mastid koostatakse alati kahest osast — tüvitulbast ja postist. 6—10 kV liini kõigi mastitüüpide posti standardpikkuseks on 8,5 m.

Kõrge- ja madalpinge-õhuliinide projekteerimisel, ehitamisel ja monteerimisel kasutatakse tüüpsete puitmastide albumit, mis on välja töötatud Giproselelektro tüüp-projekteerimise osakonna poolt.

Joonisel 342 on toodud 6—10 kV õhuliini tüüpne puidust vahemast, mis on ette nähtud püstitamiseks kõigi nelja klimaatiliste tingimuste rajooni asustamata piirkondadesse. Nagu jooniselt näha, on mast varrasisolaatorite pealekeeramiseks varustatud konksudega ja ta on ette nähtud 4,5 ja 6 mm läbimõõduga terasest traatjuhtmete, maksimaalselt 35 mm² ristlõikega teras- ja vask-köisjuhtmete ja kuni 70 mm² ristlõikega alumiiniumjuhtmete jaoks.

Joonisel 343 on näidatud asustamata piirkondades kasutatav vahemast puidust traaversiga. See mast on ette nähtud raskemate juhtmete



Joon. 344. Ankurmast 6—10 kV.

jaoks, nimelt: kuni 50 mm² ristlõikega vask- ja teras-köisjuhtmete ja kuni 120 mm² ristlõikega alumiiniumjuhtmete jaoks.

Joonisel 344 on näidatud 6—10 kV õhuliinide ankurmasti joonis.

KÕRGE- JA MADALPINGEJUHTMETE KOOSASETUS

Maaliinide ehitamisel, eriti nn. elektrienergia jaotuse segasüsteemi kasutamisel, on mõnikord otstarbekas asetada kõrge- ja madalpingeliini juhtmed samale mastile. Elektrijaamade Ministeeriumiga kooskõlastatud Glavselelektro eriinstruktsioonidega on kindlaks määratud kõrge- ja madalpingejuhtmete koosasetusega liinilõikude ehitamise ja ekspluatatsiooni juhendid.

Vastavalt neile instruktsioonidele on maavõrkudes madalpingejuhtmete asetamine koos kõrgepingejuhtmetega ühistele mastidele lubatud juhul, kui kõrgepingeliini pinge ei ole üle 10 kV. Kõrgepingeliini juhtmed tuleb sel puhul asetada madalpingejuhtmetest kõrgemale.

Kõrgepingeliini alumise juhtme ja madalpingeliini ülemise juhtme vertikaalne vahekaugus peab olema vähemalt 1,5 m.

Kõrgepingeliini juhtmeid tuleb jätkata mastide isolaatorite juures, mitte aga visangus.

Koosasetusega liinilõigus ei tohi kõrgepingeliini juhtmetes lubatav tõmbepinge ületada ühte neljandikku tõmbetugevusest traatjuhtmete korral ja ühte kolmandikku tõmbetugevusest köisjuhtmete korral.

Samuti nagu eraldi asetsevates madalpingeliinides, tuleb ka koosasetuse korral nulljuhe paigutada allapoole faasijuhtmeid. Kui kasutatakse tänavavalgustite tsentraliseeritud sisse- ja väljalülitamist, tuleb lisajuhe valgustite jaoks paigutada kõigist liinijuhtmetest allapoole.

Kogu koosasetuse ulatuses kasutatakse kõrgepingejuhtmete kahekordset kinnitust liini mastide külge.

Selleks et kaitsta madalpingeliini liigpingelainete ülekandumise eest, mis levivad kõrgepingeliinis, tuleb koosasetusega liinilõigu algusesse ja lõppu üles seada torulahendajad või kaitsesädevahe.

Torulahendajad seatakse üles koosasetusega liinilõigu esimesele mastile. Lahendajate väline sädevahe tuleb võtta 25 mm. Lahendaja maandustakistus ei tohi ületada 20Ω ja teda võib ühendada madalpingevõrgu nulljuhtme korduvmaandustega.

Torulahendajate puudumisel võib kasutada kahekordse kaitsesädevahega seadiseid. Need seatakse üles kõrgepingeliini mastile, mis on lähim koosasetusega liinilõigule.

Sädevahe suuruseks võetakse 750 mm. Sädevahe maandustakistus ei tohi nagu lahendajate korralgi ületada 20Ω, kuid mingil juhul ei tohi ühendada kaitsesädevahede maandusi madalpingevõrgu korduvmaandustega.

Koosasetusega liinilõigu äärmistele mastidele seatakse madalpingevõrgu nulljuhtme korduvmaandused, sõltumatult sellest, kas sellel mastil madalpingeliin lõpeb või mitte. Nulljuhtme korduvmaandus on vajalik ka koosasetusega liinilõigu madalpingeliini hargnemiskohtades, kui selle haru pikkus ületab 0,5 km.

See abinõu tagab kaitset eraldi mastidele asetatud madalpingeliini osast levivate liigpingelainete ülekandumise vastu kõrgepingeliini.

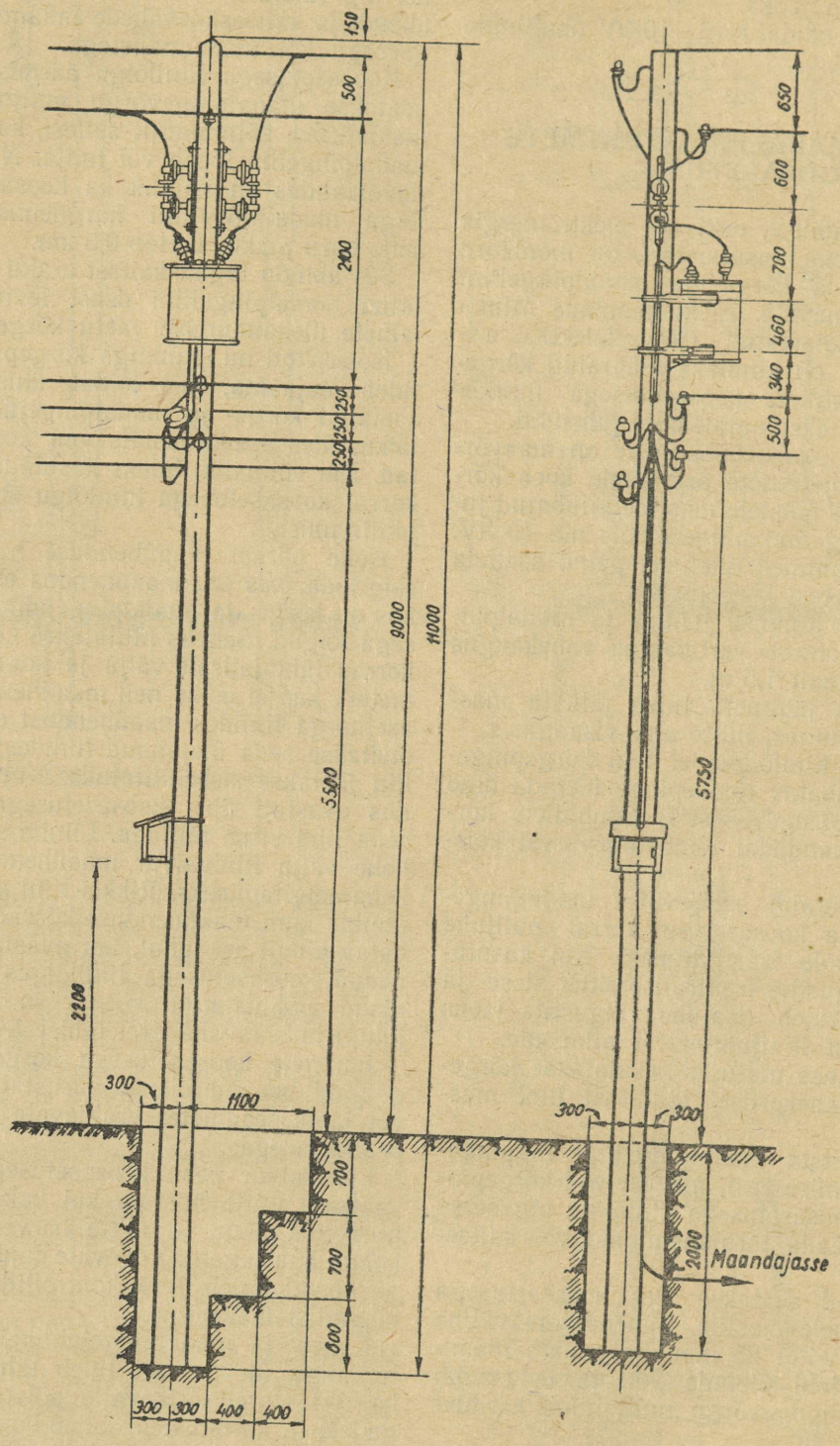
Isoleeritud nullpunktiga kõrgepingeliini korral tuleb alajaama, mis toidab ühistele mastidele asetatud kõrge- ja madalpingejuhtmetega liinilõiku, üles seada isolatsiooni kontrollmõõteriistad. Kui võimalik, tuleks kasutada maaühenduse korral koosasetusega liinilõigu automaatset väljalülitamist.

Kohe pärast maaühenduse avastamist tuleb selgitada, kas see maaühendus ei esine liinides, kus on kõrge- ja madalpingejuhtmete koosasetusega lõigud. Selleks lülitatakse need liinid järjekorras lühiajaliselt välja ja kontrollitakse juhtmetelt, kas ei esine neil maaühendust. Kui koosasetusega liinides maaühendust ei avastata, siis otsitakse seda ülejäänud liinides; koosasetusega liin jäetakse sisselülitatuks. Kui aga maaühendus avastati ühel koosasetusega liinil, ei tohi seda liini sisse lülitada. Liinile saadetakse otsekohe välja liinivalvur maaühenduse põhjuse ja koha selgitamiseks. Rikkis liini ajutine sisselülitamine kuni maaühenduse kõrvaldamiseni on lubatav ainult sel juhul, kui avastatud rike ei esinenud koosasetusega liinilõigus või kui see ei olnud põhjustatud kõrge- ja madalpingeliini juhtmete omavahelisest lühisest.

Juhtmete koosasetusega kõrge- ja madalpingeliinid peavad olema varustatud alajaamades või jaotusseadmetes eraldavate tingmärkide või pealkirjadega.

Liinivalvur peab koosasetusega liinilõiku üle vaatama mitte harvem kui kaks korda kuus ja piirkonna ülem — mitte harvem kui üks kord kolme kuu tagant. Tugevate tuulte, jäite ja äikese korral tuleb liini kontrollida ka väljaspool plaanilisi ülevaatusi.

Kõrge- ja madalpingejuhtmete koosasetusega liinilõigu ülevaatusel tuleb tähelepanu osutada ka isolaatoreil esinevaile põletusjälgedele, pragudele ja kinnitustele; tuleb kontrollida mastide, bandaažide ja maandusjuhtmete olukorda; juhtmete ühenduste olukorda, ülelöögi jälgi, katkemist; juhtmete lõtve suurust ja juhtmete omavahelist kaugust; lahendajate seisukorda väliś-



Joon. 345. Ühefaasilise trafo asetus mastil.

pinna osas; kaitsesarvedes sulamisjälgede esinemist ja hoiatusplakatite olemasolu ning korrasolekut.

Koosasetusega liinilõigu puitmastide mädanemise astet kontrollitakse süstemaatiliselt vähemalt kaks korda aastas. Kui mädanemise sügavus on üle 10% posti esialgsest läbimõõdust, lülitatakse liin välja kuni masti vahetamiseni või uue tüvitulba paigaldamiseni.

Koosasetusega liinilõikudes ükskõik kumma liini remontimisel lubatakse inimeste ülesminekut masti otsa ainult mõlema liini väljalülitamise korral.

ELEKTRIENERGIA JAOTUSE SEGASÜSTEEM

Maarajoonidele iseloomuliku väikese koormustiheduse korral on otstarbekas kasutada energia jaotamise segasüsteemi. Selle süsteemi olemus seisab järgmises. Põhilised kõrgepingemagistraalid ehitatakse kolmefaasiliste ülekandeliinidena, milledega ühendatakse kolmefaasilised trafoalajaamad suhteliselt võimsate jõutarbijate toitmiseks. Väikese võimsusega tarbijate (valgustus ja väikesed mootorid) toitmiseks kasutatakse ühefaasilisi väikese võimsusega trafosid. Ühefaasiliste trafoalajaamade kasutamine ei tekita mingeid raskusi, sest trafod on äärmiselt kompaktsed ja selliste alajaamade konstruktsioon on väga lihtne.

Segasüsteemi korral võib ühe juhtme asemel kasutada maad. Seega asendatakse kolmejuhtmelised magistraalid kahejuhtmelistega ja kahejuhtmelised haruliinid — ühejuhtmelistega. Tänu ühefaasilise trafoalajaama konstruktsiooni lihtsusele võib nende arvu objektidel tunduvalt suurendada. Sel juhul paigaldatakse trafo tarbija lähedale, mistõttu madalpinge-õhuliinide pikkus on minimaalne.

Seega on kõik segasüsteemi elemendid kokkuvõetavad järgmises. Pingettõstvast trafoalajaamast väljuvad kolmejuhtmelised (või 2 juhet + maa) kõrgepingeliinid. Võimsamate jõutarbijate (masina-traktorijaamade viljapeksupunktid, jne.) toitmiseks ehitatakse kolmefaasilised trafoalajaamad. Valgustustarbijate ja väikeste mootorite toitmiseks monteeritakse asustatud punkti erinevatesse kohtadesse kõrgepingeliini mastidele ühefaasilised trafod, millega ühendatakse kolmefaasilise kõrgepingeliini kaks faasi. Ühefaasiliste trafode madalpingeklemmidelt toidetakse tarbijaid pingega 220 või 2 × 220 V. Ühefaasiliste trafode ülesseadmisel tuleb arvestada seda, et toitetrafo ja elektrijaama generaatori üksikud faasid oleksid koormatud ühtlaselt.

Segasüsteemi korral, isegi ühe juhtme asemel maa kasutamiseta, saavutatakse suur juhtmematerjali kokkuhoid.

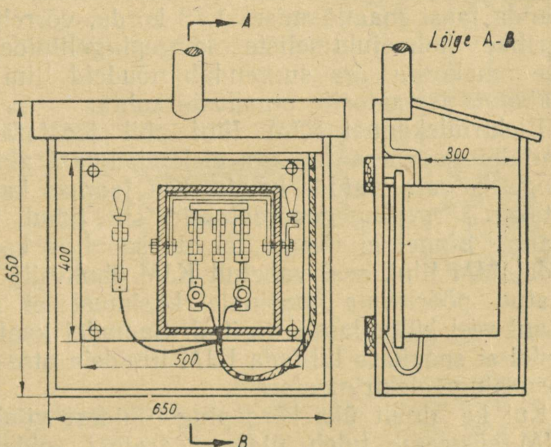
Segasüsteemi saab edukalt kasutada liinipingetel 6, 10 ja 20 kV. Harilikult ühendatakse 6 või 10 kV võrkudes ühefaasilised trafod liinipingele. 10 või 20 kV võrkudes võib kasutada ka otseselt maandatud nullpunktiga süsteemi, mispuhul ühefaasilised trafod lülitatakse faasipingetele (vastavalt 6 kV või 11,5 kV), faasi ja maa vahele. Ühefaasilised kõrgepinge-haruliinid tehakse selle variandi korral ühejuhtmelised, analoogiliselt 6 või 10 kV liinipingega liinide ühefaasilistele haruliinidele, mis on teostatud «kaks juhet — maa» süsteemi järgi, kus ühe juhtme asemel kasutatakse maad.

ВИЭСХ uurimused näitasid, et elektrienergia jaotamise segasüsteemi korral on maal kõige sobivamad ühefaasilised eritrafod, millede rauas- ja vaseskadude suhe on piirides 1 : 3 kuni 1 : 5. Meie elektritööstus toodab ühefaasilisi 5 kVA võimsusega trafosid OMC, mis vastavad rauas- ja vaseskadude optimaalsete suhete tingimustele (vt. joon. 64).

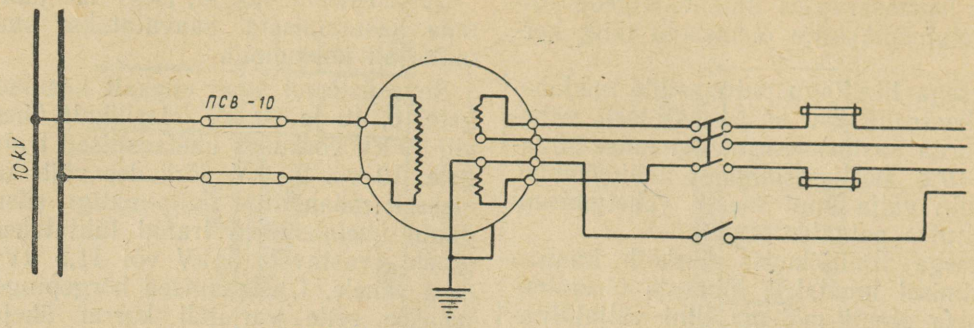
Niisugune trafo kaalub ligikaudu 200 kg, kusjuures ühe masti otsa võib vajaduse korral üles seada ka kaks trafot.

Väikeste spetsiaalsete ühefaasiliste elektrimootorite asemel võib segasüsteemi juurutamisel kasutada ka tavalisi kolmefaasilisi mootoreid. Viimaseid käivitatakse käivitustakisti abil, mida võidakse valida kohapeal ВИЭСХ poolt väljatöötatud meetodi järgi [12].

Joonisel 345 on toodud ühe postiga mastalajaama konstruktsioon. Isolaatorid on siin kinnitatud konksudele. Masti konstruktsioon on välja töötatud ВИЭСХ võrkude ja süsteemide laboratooriumi poolt.



Joon. 346. Ühefaasilise alajaama kilp.



Joon. 347. Ühefaasilise alajaama ühendusskeem.

See konstruktsioon on arvestatud kõrge- ja madalpingejuhtmete koosasetamiseks ühisele mastile.

Joonisel 346 on toodud ühe- ja kolmefaasiliste vinnaklülititega ühefaasilise alajaama kilbi konstruktsioon. Ühendusskeem on näidatud joonisel 347.

Ühefaasiline vinnaklüliti on ette nähtud tänavavalgustite sisse- ja väljalülitamiseks.

ÜLEKANDESÜSTEEM MAA KASUTAMISEGA ÜHE JUHTME ASEMEL

Maavõrkudes on levinud kõrgepingeliinid, kus ühe juhtme asemel kasutatakse maad — süsteemi järgi «kaks juhet — maa» ehk lühendatult KJM. Selle süsteemi korral väheneb juhtmete, isolaatorite ja konksude kulu peaaegu ühe kolmandiku võrra; liini mastid võivad olla teatud määral peenemad ja mastidevahelisi visanguid võib suurendada, mis vähendab puidu kulu.

KJM liini kasutamisel tuleb pöörata erilist tähelepanu töö- ja kaitsemaanduste asetusele, s. t. ohutuse tagamisele võrgu ekspluateerimisel. Kahe õhujuhtme pinge suureneb maa suhtes kolmanda faasi maandamisel 1,73 korda, võrreldes harilike kolmejuhtmeliste kõrgepingeliinidega. See omakorda aga suurendab nõudeid liini ja alajaama isolaatorite omaduste kohta.

Elektriülekannet KJM liini abil teostatakse madalpingegeneraatoritega elektrijaamast ainult pingettõstvate trafode kaudu. Kui jaamas kasutatakse kõrgepingegeneraatoreid, siis juhul, kui jaamas pinget ei tõsteta, ei ole soovitav kasutada KJM liini, sest vahetult KJM õhuliinile lülitatud pöörlevate masinate küsimust ei ole siiani veel küllaldaselt uuritud. Samadel kaalutlustel ei soovitata lülitada KJM liinidele otseselt kõrgepinge-elektrimootoreid.

Kui ka ainult üks kõrgepingeliinidest viiakse KJM süsteemi, tuleb üldisest trafost toidetav kogu kõrgepingevõrk viia tööle selle süsteemi järgi, sest vastasel korral on kolmejuhtmelistel liinidel kõik maandatud süsteemi iseärasused: kahes faasis esineb maa suhtes kõrgendatud pinge, suured lühisvoolud maaühenduse korral jne.

KJM ülekandeliini pingekao elektriline arvutus teostatakse samade valemite ja nomogrammidega, mida kasutatakse harilike kolmejuhtmeliste liinide arvutamisel. KJM liini maandusseadiste ja tema poolt sideliinidele avaldatava mõju arvutamise juhised, samuti KJM seadme monteerimise juhised, on esitatud eriuurimustes ja vastavates käsiraamatutes [40, 41].

Kolmanda liinijuhtme ärajätmine KJM süsteemi korral võimaldab tunduvalt lihtsustada kõigi mastiliikide konstruktsioone.

Giproselelektro tüüpprojekteerimise osakonna andmetel suurendab alumise juhtme ärajätmine konksudega vahemastidel ja ülemise juhtme ärajätmine traaversitega mastidel (traaversi kinnituskoha tõstmisel) tunduvalt masti gabariiti. See võimaldab juhtmete lõdvet suurendada kuni 2,5 m ja pisut suurendada arvutusvisanguid. Seejuures jääb aga harilikult kasutatavate palkide pikkus muutumatuks ja traaversitega vahemastidel võib tüvitulba pikkust isegi vähendada 4 m-ni. Ülemise juhtme ärajätmine annab ka tunduvat terassepiste kokkuhoidu, sest kõigi traaversitega erimastide ja vahemastide korral ei ole vaja metallist ülaosa ülemise juhtme jaoks. Seega KJM kõrgepingeliini ehitamisel hoitakse kokku mitte ainult juhtmeid, isolaatoreid ja konkse (vardaid), vaid ka maste ja terassepiseid.

Toome siinkohal mõned andmed puidu ja sepiste kokkuhoiu kohta KJM liini ehitamisel, võrreldes hariliku kolmejuhtmelise liini ehitamisega. Võib arvestada, et juhtmete kokkuhoid on kõigil juhtudel ligikaudu 33% ja konksude (varraste) ning isolaatorite kokkuhoid on isegi pisut suurem — visangute suurenemise ja sellega seoses ka kandemastide arvu vähenemise tõttu.

6—10 kV KJM liini ehitamisel I klimaatiliste

tingimuste rajoonis väheneb puidu kulu 1 km liini kohta, võrreldes hariliku kolmejuhtmelise liiniga, kandemastide osas keskmiselt 2,86 m³-lt kuni 2,3 m³-ni ehk 19,6%. Kogu puidukulu, kaasa arvatud ka A-mastid, väheneb 5,33 m³-lt kuni 4,36 m³-ni ehk 19%. Sepiste kulu väheneb keskmiselt 153,72 kg-lt 84,46 kg-ni ehk 45%.

Samuti saadakse ka kõigis ülejäänud klimaatiliste tingimuste rajoonides puidu ja terassepiste tunduvat kokkuhoidu.

Kokkuhoiu võrdlusandmed on koondatud tabelisse 96.

Tabel 96

Puidu ja terassepiste kokkuhoid 6—10 kV KJM liini ehitamisel, võrreldes hariliku kolmejuhtmelise liiniga (1 km kohta)

Näitajad	Klimaatiliste tingimuste rajoonid			
	I	II	III	IV
Puidu kulu kolmejuhtmelisele liinile, m³ . . .	5,33	6,1	8,02	9,8
Puidu kulu KJM liinile, m³	4,36	5,26	6,56	7,56
Kokkuhoid %	19	13,8	18,2	22,9
Terassepiste kulu kolmejuhtmelisele liinile kg .	153,72	172	216,05	264
Terassepiste kulu KJM liinile kg	84,46	96	136	164
Kokkuhoid %	45	44,1	36,9	37,8

Kõigi nelja klimaatilise tingimuse rajooni kohta väheneb kogu puidukulu 6—10 kV KJM liini ehitamisel, võrreldes hariliku kolmejuhtmelise liiniga, keskmiselt 18% ja terassepiste kulu — 40%.

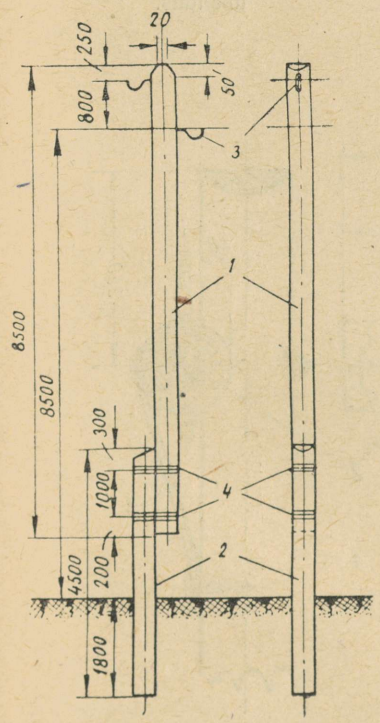
Tabelis 97 on toodud 6 ja 10 kV õhuliinide mastidevaheliste visangute võrdlusandmed liinide kohta, mis kulgevad asustamata rajoonides. Tabelis võrreldakse kolmejuhtmelist süsteemi KJM süsteemiga, kusjuures visangute andmed kehtivad kõigi nelja klimaatiliste tingimuste rajooni kohta.

Tabel 97

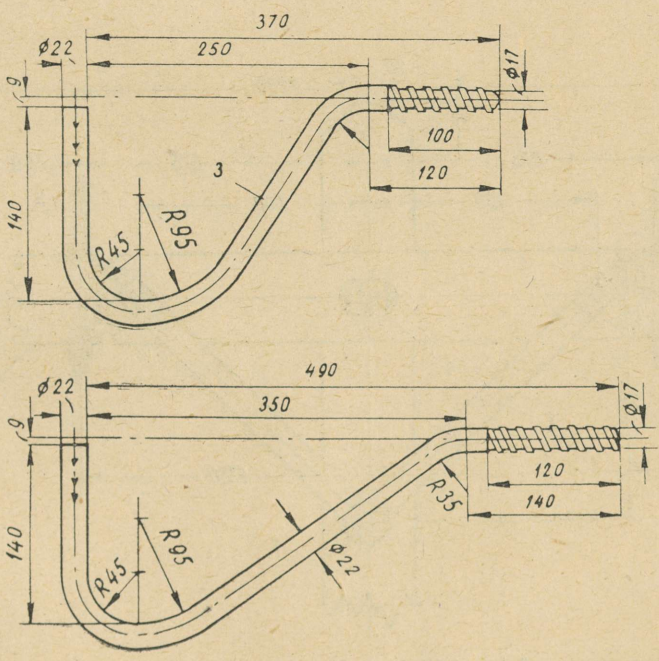
Harilike kolmejuhtmeliste liinide ja KJM liinide visangud asustamata rajoonides (meetrites)

Klimaatiliste tingimuste rajoonid	Juhtmete mark			
	Ж-4	Ж-5	А-25	ПС-35
I rajoon, 3 juhet . . .	117	126	102	174
I „ KJM	136	145	123	205
II rajoon, 3 juhet . . .	81	94	74	144
II „ KJM	94	109	85	167
III rajoon, 3 juhet . . .	58	69	52	114
III „ KJM	67	80	60	130
IV rajoon, 3 juhet . . .	46	56	42	94
IV „ KJM	53	65	48	108

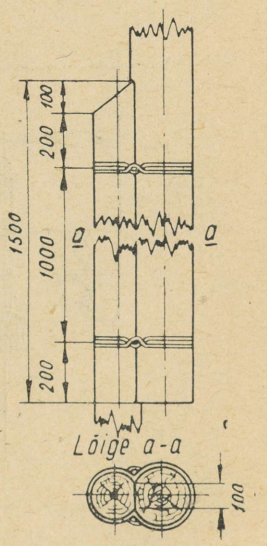
Joonisel 348 on toodud KJM liinis kasutatava puidust kandemasti ja selle detailide joonis.



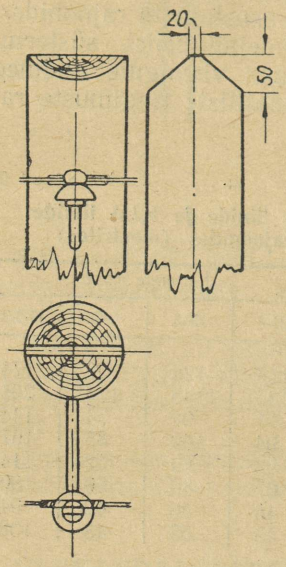
Joon. 348. Konksudega vahemast «kaks juhet — maa» süsteemi liinile.



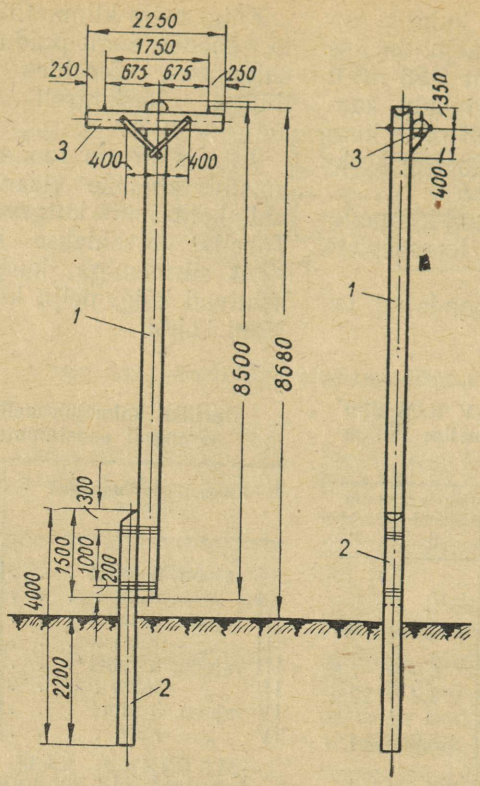
Joon. 349. Teraskonksud KB-22 ja KB-25.



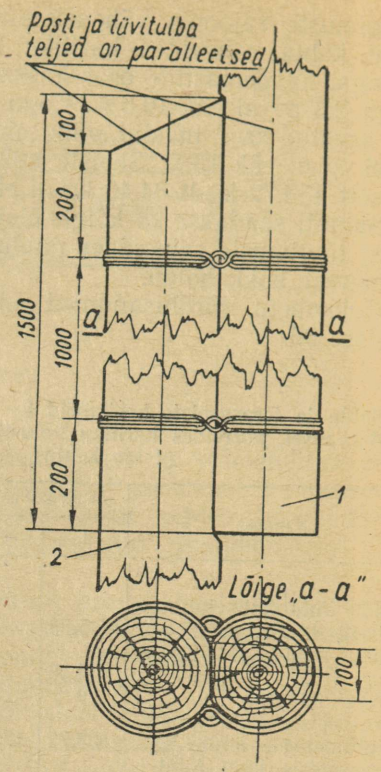
Joon. 350. «Kaks juhet — maa» süsteemi liini vahemasti posti ja tüvitulba omavaheline ühendus.



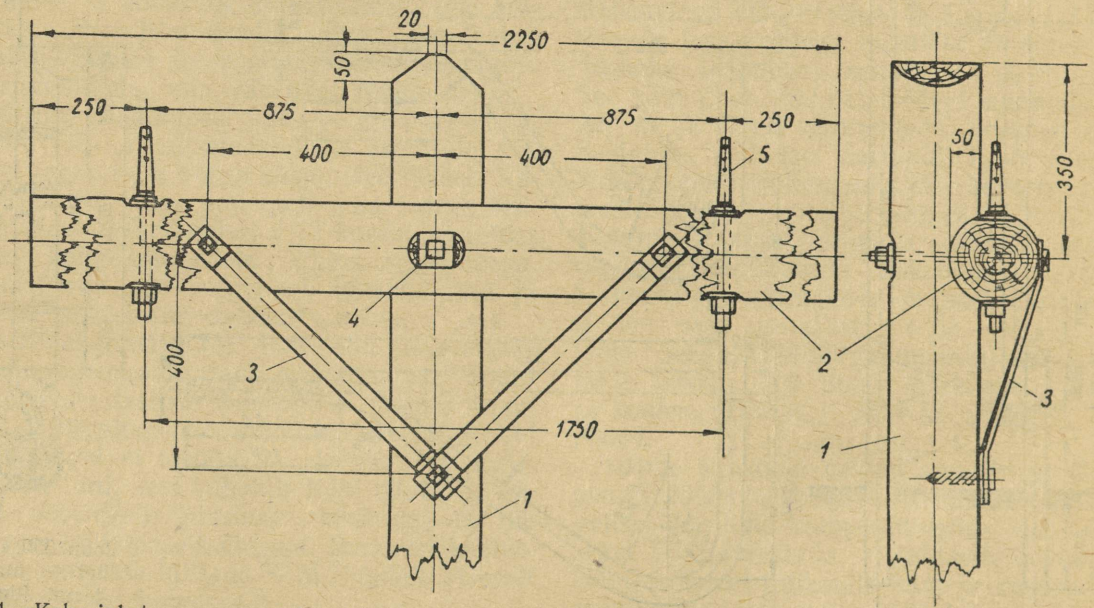
Joon. 351. Juhtmete kinnitus isolaatorite külge.



Joon. 352. «Kaks juhet — maa» süsteemi liini traaversitega vahemast: *1* — post; *2* — tüvitulp; *3* — traavers.



Joon. 353. Traaversitega masti posti ja tüvitulba omavaheline ühendus.



Joon. 354. «Kaks juhet — maa» süsteemi liini masti traavers: *1* — post; *2* — traavers; *3* — tugilatt; *4* — polt; *5* — varras.

Mast on arvestatud kõigis neljas klimaatiliste tingimuste rajoonis juhtmete Ж-4, Ж-5, A-16, A-25 ja A-35 asetamiseks. Juhtmetele Ж-6 ja A-50 sobib joonisel 348 toodud mast ainult I ja II klimaatiliste tingimuste rajoonis. Teras-köisjuhtmete ПС ja ПМС asetamiseks see mast ei sobi.

Mast koosneb 160 mm läbimõõduga ning 8,5 m pikkusest männipostist *1* ja 160 mm läbimõõduga ning 4,5 m pikkusest tüvitulbast *2*. Isolaatorite pealekeeramiseks kasutatakse КВ-22 tüüpi või raskemate juhtmete korral КВ-25 tüüpi konkse *3*.

Konksu (joon. 349) teravaks tehtud otsale on lõigatud silindriline või kooniline keere, mis hõlbustab konksu sissekeeramist puitposti. Konksu teine ots on täkitud liiniisolaatorite paremaks pealekeeramiseks.

Posti *1* (joon. 348) kinnitamiseks tüvitulba *2* külge kasutatakse 5,5 mm läbimõõduga traadist bandaaž-sidet *4* (6 keerdu ühe bandaaži kohta).

Joonisel 350 on näidatud posti ühendamine tüvitulbaga. Peab arvestama seda, et vaatamata posti ja tüvitulba ülemiste otste ühesugustele läbimõõtudele on ühenduskohas post jämedam kui tüvitulp.

Joonisel 351 on näidatud juhtmete kinnitamine isolaatoritele: terasjuhtmete kinnitamiseks kasutatakse 2 mm läbimõõduga terastraati ja alumiiniumjuhtmete kinnitamiseks — 3 mm läbimõõduga alumiiniumtraati.

KJM liini raskemate juhtmete korral (35 ja 50 mm² ristlõikega terasjuhtmed ning köisjuhtmed) kasutatakse kõigis klimaatiliste tingimuste rajoonides traaversitega tugimaste, mis on näidatud joonisel 352.

Post *1*, mille läbimõõt on 160 mm ja pikkus 8,5 m, kinnitatakse tüvitulba *2* külge, mille pikkus on 4 m ja läbimõõt 210 mm.

Joonisel 353 on näidatud posti *1* ühendamine tüvitulbaga *2*. Traavers *2* (joon. 354), milleks on 2,25 m pikkune ja 160 mm läbimõõduga palk, kinnitatakse posti ülaosa külge poldi *4* ja tugilattide *3* abil. Isolaatorid keeratakse varrastele *5*.

KJM liini spetsiaalsed ankur-, nurk- ja lõppmastid valitakse vastavalt Giproselelektro tüüpkonstruktsioonide albumile.

NELJATEISTKÜMNES PEATÜKK

ARVUTUSLIKUD PINGEKAOD, PINGEMUUTUS JA PINGE REGULEERIMINE MAAELEKTRIVÕRKUDES

LUBATAVATE PINGEMUUTUSTE NORMID

Elektrienergia ülekandeliinid tuleb arvutada nii, et pinge elektrivõrgu mistahes punktis, s. t. mistahes tarbija klemmidel, oleks lubatavates, normeeritud piirides. Pinge ei tohi langeda ega tõusta üle nende piiride kogu elektrivõrgu või selle üksikute osade mistahes koormusrežiimidel.

Normaalsest madalam pinge on lubamatu seepärast, et elektrienergia tarbijad hakkavad sel juhul töötama tunduvalt väiksema efektiivsusega: väheneb tunduvalt lampide valgusvoog, elektrimootorite pöördemoment ja soojendusriistade soojuslik efekt. Kõrgem pinge on samuti ebasoovitav, sest see põhjustab elektrienergia tarbijate riknemisi — lampide ja soojendusriistade läbipõlemist, elektrimootorite isolatsiooni riknemist jne.

«Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjades» on normeeritud mitmesuguse otstarbega elektriseadmetele lubatavad pingemuutuste piirid. Maaelektrivõrkudes ei tohi voolutarbijate klemmipinge mistahes võrgu punktis ja mistahes koormusrežiimil tõusta rohkem kui 7,5% ja langeda rohkem kui 10% võrgu nimipingest. Põllumajanduse elektrifitseerimise praktika ja Glavselelektro normatiivide alusel on kindlaks määratud arvutusviisid, millega kontrollitakse pingemuutuste vastavust lubatavatele piiridele voolutarbijate klemmidel. Pinge tõusu piir 7,5% vastab arvutatava elektrivõrgu minimaalsele koormusele. Võrk koosneb pingettõstvast ja -madaldavast trafost ning kõrge- ja madalpingeliinidest. Minimaalseks koormusrežiimiks on võetud 25% ülekandesüsteemi täiskoormusest.

Pingemuutuse piir vähenemise suunas (—10%) vastab elektrivõrgu täiskoormusele (100%).

Seega alajaamale või elektrijaamale kõige lähema tarbija klemmipinge ei tohi 25% koormusel olla üle 107,5% nimipingest. Alajaamast või elektrijaamast kõige kaugema tarbija klemmipinge ei tohi täiskoormusel olla alla 90% nimipingest. Kõigil juhtudel ei saa kõrge- ja madalpingeliini juhtmetes esinevate pingekadude arvutuslikku protsenti varem kindlaks määrata.

Sõltuvalt sellest, missugused on pingemuutused toitepunktis, valitakse arvutuslikud pingekaod teiste piirkondade jaoks selleks, et arvutada juhet. Õhuliinide projekteerimisel tuleb leida pingemuutus punktides, alates elektrijaamast ja lõpetades tarbijatega. Arvutus toimub, nagu ülal nimetatud, kahe põhitöörežiimi kohta: täiskoormusel ja koormusel, mis moodustab 25% maksimaalsest koormusest. Enne õhuliinide arvutamist tuleb kõigi võrgu elementide kohta koostada ligikaudne pingemuutuste tabel.

PINGEKAOD JA PINGELISA JÕUTRAFODES

Pingemuutuste tabeli koostamiseks tuleb selgitada jõutrafode ülempinge-poole haruühendustel (väljavõtteklemmidel) pinge reguleerimise küsimusi.

Maaelektrijaamades ja -alajaamades kasutatavate kolmefaasiliste trafode kõrgepingemähise pinge on 10 000—6000 V, kusjuures pinget on võimalik muuta pluss või miinus 5%. Madalpingemähise pinge on tühijooksul 400/230 V.

Koormuse all töötamisel erineb pinge trafo madalpingemähise klemmidel vastavast pingest tühijooksul trafos esinevate pingekadude võrra, s. t.

$$\Delta U_t = U_o - U_1,$$

kus: $\triangle U_t$ — pingekadu trafos V;
U_o — pinge madalpingemähise klemmidel tühijooksul, kui kõrgepingemähise klemmidel esineb nimipinge;
U_1 — pinge antud koormusel.

Pingekadu väljendatakse protsentides standardsest ekspluatatsioonipingest U_n valemiga:

$$u_t = \frac{\Delta U_t}{U_n} \cdot 100,$$

kus: u_t — suhteline pingekadu trafos %;
U_n — ekspluatatsioonipinge V.

Suurus u_t leitakse sõltuvalt trafo koormustegurist (suhtelisest koormusest), võimsustegurist ja trafos esinevatest aktiivsest ja induktiivsest pingelangust valemiga:

$$u_t = k(u_r \cos\varphi + u_s \sin\varphi)\ \%,$$

kus: k — trafo koormustegur;
u_r — suhteline aktiivne pingelang trafos %;
u_s — suhteline induktiivne pingelang trafos %.

Kataloogides ja käsiraamatutes on antud tavaliselt trafo suhteline lühispinge u_k ja vaseskaod (lühisekaod) — P_k vattides.

Nimetatud andmete järgi leitakse ülaltoodud valemi jaoks vajalikud suurused järgmiste valemite abil:

$$u_r = \frac{P_k \cdot 100}{S_n \cdot 1000}\ \% = \frac{P_k}{10\,S_n}\ \%,$$

$$u_s = \sqrt{u^2_k - u^2_r},$$

$$k = \frac{S_1}{S_n},$$

kus: S_n — trafo nimivõimsus kVA;
S_1 — trafo arvutusvõimsus kVA (nimikoormusel $S_1 = S_n$ ja 25% koormusel $S_1 = 0{,}25\ S_n$).

Toome mõned näited pingekadude leidmise kohta trafo nimikoormuse ($k = 1$) ja $\cos\varphi = 0{,}8$ korral.

Näide 1. Trafo $S_n = 20$ kVA, 10/0,4 kV.

Käsiraamatu andmetel:

$$P_k = 600\ \text{W},\ u_k = 5{,}5\%.$$

Järelikult:

$$u_r = \frac{P_k}{10\,S_n} = \frac{600}{10 \cdot 20} = 3\%;$$

$$u_s = \sqrt{u^2_k - u^2_r} = \sqrt{5{,}5^2 - 3^2} = 4{,}63\%;$$

$$u_t = k(u_r \cos\varphi + u_s \sin\varphi) =$$
$$= 1\,(3 \cdot 0{,}8 + 4{,}63 \cdot 0{,}6) = 5{,}18\%.$$

Näide 2. Trafo $S_n = 50$ kVA, 6/0,4 kV, $P_k = 1325$ W, $u_k = 5{,}5\%$.

$$u_r = \frac{1325}{10 \cdot 50} = 2{,}65\%;$$

$$u_s = \sqrt{5{,}5^2 - 2{,}65^2} = 4{,}83\%;$$

$$u_t = 1\,(2{,}65 \cdot 0{,}8 + 4{,}83 \cdot 0{,}6) = 5{,}02\%..$$

Näide 3. Trafo $S_n = 560$ kVA, 10/0,4 kV, $P_k = 9400$ W, $u_k = 5{,}5\%$.

$$u_r = \frac{9400}{10 \cdot 560} = 1{,}68\%;$$

$$u_s = \sqrt{5{,}5^2 - 1{,}68^2} = 5{,}25\%;$$

$$u_t = 1\,(1{,}68 \cdot 0{,}8 + 5{,}25 \cdot 0{,}6) = 4{,}82\%.$$

Näidetest selgub, et pingekadu maaelektrijaamades ja -alajaamades kasutatavates kõigis jõutrafodes on nimikoormusel ja $\cos\varphi = 0{,}8$ korral ligikaudu 5%. Sellest järeldub, et maakõrgepinge- ja madalpingeliinide projekteerimisel võib suhteliste arvutuslike pingekadude väärtuseks võtta trafo täiskoormusel 5% ekspluatatsioonipingest.

Teistel koormustel on arvutuslikud pingekaod (u_t) võrdelised trafo koormusteguriga k. 25% koormusel moodustavad need vastavatest nimikoormuse suhtelistest pingekadudest 0,25, s. t. $0{,}25 \cdot 5 = 1{,}25\%$.

Kõrgepingejuhtmed võib ühendada trafo normaalklemmidega või klemmidega +5% või —5%. 6 kV trafodel vastab see klemmidele 6000, 6300 ja 5700 V. Kasutades klemme +5%, s. t. 6300 V, trafo ülekandetegur suureneb. Kasutades klemme 5700 V, ülekandetegur vastavalt väheneb.

Täiskoormusel tuleb madalpinge-poole pinget vähendada 5% võrra ja 25% koormusel — 1,25% võrra. Näiteks on trafo 6000/400 V ühendatud kõrgepingevõrku klemmidega —5% (5700 V). Tema ülekandetegur $k = 14{,}2$. Rakendatav pinge olgu tegelikult 5900 V.

Madalpinge-poolel on pinge tühijooksul $5900 : 14{,}2 = 415$ V; täiskoormusel — $415 \cdot 0{,}95 = 394$ V ja 25% koormusel — $415 \cdot 0{,}9875 = 410$ V.

Kui see trafo ühendada kõrgepingevõrku klemmidega 6000 V ($k = 15$), siis vastavad suurused on: tühijooksul $5900 : 15 = 394$ V ja 25% koormusel $394 \cdot 0{,}9875 = 387$ V. Vaadeldes viimast juhtu, pöörame tähelepanu ka sellele, et kõrgepinge-poolel on pinge trafo klemmidel 5900 V, s. t. väiksem kui ekspluatatsioonipinge (6000 V). Madalpingemähise klemmidel saime tühijooksul 394 V, s. t. 14 V rohkem kui nimi-

pinge (380 V). Kui rakendaksime kõrgepingemähise klemmidele pinge 6000 V, siis saaksime tühijooksul 400 V, s. t. rakendades trafo kõrgepingemähise klemmidele ekspluatatsioonipinge, saaksime trafos pinge, mis ligikaudu 5% võrra ületab ekspluatatsioonipinge.

Pingetmadaldavad trafod annavad mähise keskmistel väljavõtteklemmidel kõigil juhtudel ekspluatatsioonipingele 5% pingelisa. See pingelisa on nendes trafodes ette nähtud selleks, et oleks võimalik kompenseerida pingekadusid trafo sees ja osaliselt ka väljuvates madalpingejuhtmetes. Analoogilised arvutused näitavad, et 6300 V klemmide kasutamisel on pingelisa tühijooksul võrdne nulliga ja 5700 V klemmidel on see võrdne pluss 10%. Selles võib veenduda, kui vaadeldes näidet, kus kõrgepingeklemmide pingestamisel pingega 5900 V saadi madalpingepoolel 415 V.

Pingelisa on:

$$\frac{(6000-5900)\cdot 100}{6000}+\frac{(415-380)\cdot 100}{380}=10\%.$$

Need arvutused kehtivad ka 10 kV trafode korral.

Seega saadakse järgmised pingelisad:

Klemmid	Pingelisa %	Klemmid	Pingelisa %
9 500	+ 10	5700	+ 10
10 000	+ 5	6000	+ 5
10 500	0	6300	0

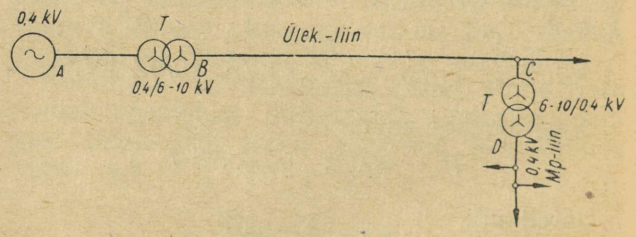
Elektrijaama ja pingettõstva alajaama projekteerimisel tuleb arvestada seda, et ei ole olemas spetsiaalseid väikese võimsusega pingettõstvaid trafosid. Sel juhul kasutatakse harilikke pingetmadaldavaid trafosid, juhtides energia madalpingemähise klemmidele ja tarbides energiat kõrgepingemähise klemmidelt.

Analüüsides ülaltoodud näiteid, kui standardset pingetmadaldavat trafot toidetakse madalpinge-poolelt, võib veenduda, et pingetmadaldav trafo, töötades pingettõstvana, ei saa anda kõrgepinge-poole mistahes väljavõtteklemmide korral mingit pingelisa, isegi tühijooksul mitte. Parimal juhul, s. t. 6300 V või 10 500 V klemmide kasutamisel on pingelisa võrdne nulliga. 6000 ja 10 000 V klemmide kasutamisel on see —5%, 5700 ja 9500 V klemmide korral aga —10%. Seega tuleb võtta juhiseks, et pingettõstvad trafod peavad olema ühendatud kõigil juhtudel kõrgemapingeliste väljavõtteklemmidega, s. t. 6300 või 10 500 V, selleks et vähemalt tühijooksul saada ekspluatatsioonipinget.

PINGEMUUTUSTE ARVUTAMINE EELVALIKU TEEL

Maaelektrijaamades kasutatakse madalpingegeneraatoreid pingega 400/230 V, võimsusega kuni 500 kVA. Normaaltingimustel annavad nad pinge, mis on 5% kõrgem ekspluatatsioonipingest (380 ja 220 V). Ergutuse reguleerimisega või automaatse ergutusregulaatori sätte muutmisega (kompaundeerimisega) võib tipp-koormuse tundidel hoida kõrgemat generaatoripinget. Seejuures ei tohi jaama pinge ületada 380 V rohkem kui 7,5%. Minimaalse koormuse tundidel (25%) võib pinget madaldada kuni ekspluatatsioonipingeni, s. t. kuni 380 V.

Generaatorist antakse elektrienergia ühendusjuhtmete ja jaotuskilbi lattide kaudu pingettõstvale trafole. Neid elemente ei arvutata pingekadude, vaid voolutiheduse järgi. Nendes elementides on pingekaod tühised ja projekteerimisel pingemuutuse arvutamisel nendes esinevate kadudega harilikult ei arvestata. Edasi siseneb energia (joon. 355) pingettõstvasse trafosse. Sellel peavad klemmid olema ühendatud, nagu ülal nimetatud, asendisse +5% (näiteks 6300 V), misjuhul pingelisa tühijooksul on null. Pingettõstvas trafos on pingekadu täiskoormusel 5% ja 25% koormusel — 1,25%. Edasi kulgeb 6—10 kV kõrgepingeliin. Olgu kõrgepingeliinis pingekaod täiskoormusel 10,2% ekspluatatsioonipingest, kusjuures 25% koormusel on need kaod vastavalt 2,55%. Kõrgepingeliinist toidetakse pingetmadaldava trafo kaudu madalpinge-haruliini. Suurte kadude tõttu kõrgepingeliinis tuleb see trafo lülitada kõrgepingeliiniga klemmide 5700 V (—5%)abil. Seega vähendame ülekandetegurit ja koos sellega suurendame pinget trafo madalpinge-poolel. Pingetmadaldava trafo väljavõte (—5%) annab pingelisa +10%. Täiskoormusel on kaod trafos 5% ja 25% koormusel —1,25%.



Joon. 355. Maaelektrijaamast toidetava elektrivõrgu skeem.

Trafost antakse elektrienergia mööda madalpingeliini tarbijale. Madalpingevõrk arvutatakse sellisele pingekaole, mis kooskõlastatakse täielikult pingetmadaldava trafo sekundaarklem-

mide pingenivooga täiskoormusel. Kogu pingemuutuse arvutus koondatakse ülevaatlikku tabelisse, kuhu märgitakse kahe võetud koormusrežiimi (100% ja 25%) korral maaelektrijaama võrgu erinevate elementide suhtelised pingemuutused.

Näitlikud arvutused on koondatud tabelisse 98.

Tabel 98

Pingemuutused ja -kaod maaelektrijaama võrgus

Võrgu element	Koormusrežiim %	
	100	25
Jaama elektrigeneraatorid	+ 7,5	0
Pingelisa pingettõstvates trafodes 6300 V (10 500 V) pingega väljavõtteklemmide korral	0	0
Pingekadu pingettõstvas trafos . .	— 5,0	— 1,25
Pingekadu kõrgepingeliinis . . .	—10,2	— 2,55
Pingelisa pingetmadaldavas trafos 5700 V (9500 V) pingega väljavõtteklemmide korral	+10,0	+10,0
Pingekadu pingetmadaldavas trafos	— 5,0	— 1,25
Pingenivoo pingetmadaldava trafo sekundaarklemmidel	— 2,7	+ 4,95
Pingekadu madalpingeliinis . . .	— 7	0
Arvutuse resultaat	— 9,7	+ 4,95

Nagu nähtub toodud tabelist, tuleb selleks, et valida madalpingeliini arvutuse jaoks lubatavad pingekaod, kõik eespool olevad suurused eelnevalt summeerida ja leida pingetmadaldava trafo pingenivoo madalpingemähise klemmidel. Meie näite korral on see täiskoormusel — 2,7% ja osakoormusel (25%) + 4,95% nimipingest (380/220 V). Madalpingevõrgu võib arvutada pingekaole 7%, kusjuures pingemuutus vähenemise suunas on õhuliini kõige kaugemas punktis täiskoormusel —9,7% (nagu näha toodud arvutusest). Seega on meil teatav reserv (0,3%) kuni lubatava normini —10%. Seda reservi kasutatakse sisemiste jõu- ja valgustusjuhtmete projekteerimisel, sest normid määravad lubatavad pingemuutused voolutarbijate klemmidel.

Pingemuutuste arvutustabelite koostamisel tuleb alati jätta reserv 0,3—1% sisevõrkude pingekadude katteks.

Tuleb tähelepanu pöörata madalpingevõrgu pingekao leidmisele osakoormuse režiimi korral.

Kui koormus on väike ja trafode väljavõtteklemmide ühendused jäävad muutmatuks, huvitab meid pinge tõus, mitte aga pinge langus, mida väikeste koormuste korral peaaegu kunagi ei esine. Sel juhul on ülekuumenemise suhtes kõige halvemas olukorras pingetmadaldavale trafole kõige lähemad elektrienergia tarbijad.

Seega 100% koormusrežiimi korral arvestame pingekao leidmisel arvutatava madalpingeliini lõpus asetsevaid tarbijaid; 25% koormusel aga madalpingeliini alguses asetsevaid tarbijaid.

Arvutame leitud pingekadude järgi tegeliku pinge.

100% koormusel (kõige kaugem sisestus) on liinipinge

$$U_l = \frac{380\,(100 - 9{,}7)}{100} = 343 \text{ V},$$

faasipinge $U_f = 343 : 1{,}73 = 199$ V.

25% koormusel (lähim voolutarbija) on liinipinge

$$U_l = \frac{380\,(100 + 4{,}95)}{100} = 400 \text{ V},$$

faasipinge $U_f = 400 : 1{,}73 = 230$ V.

Pingemuutuse arvutus on läbi viidud suhteliste suurustega. Selleks et veenduda suhteliste suurustega arvutamise õigsuses, tuleb kõik arvutused läbi viia ka absoluutsuurustes, antud juhul voltides. Arvutuse teostame ülekandeliini kahe pinge puhul — 6 kV ja 10 kV.

Energia ülekandmise skeem on kujutatud joonisel 355.

1. Variant: elektrienergia ülekanne pingel 6000 V. *100% koormusrežiim.* Generaatori klemmipinge hoiame ergutaja ergutusreostaadi reguleerimisega või kompaundeerimissüsteemi või pingeregulaatori sättega 408 V, 2% üle generaatori nimipinge (400 V). Trafo on ühendatud ülekandeliiniga väljavõtteklemmidega 6300 V ja seega on tühijooksul ülekandetegur 6300 : 400 = 15,75.

Andes elektrienergiat madalpingeklemmidele pingega 408 V, saame tühijooksul kõrgepingepoolel 408 · 15,75 = 6450 V.

Kaod pingettõstvas trafos on 5% nimipingest, s. o. 6000 · 0,05 = 300 V.

Seega pinge trafo kõrgepingeklemmidel (punkt *B*) on 6450 — 300 = 6150 V.

Elektriülekandeliini kaod on 10,2%, s. t. 612 V. Pingetmadaldava trafo kõrgepingeklemmidel (punkt *C*) on pinge 6150 — 612 = 5538 V.

Saadava pinge madala nivoo tõttu valime pingetmadaldava trafo väljavõtteklemmid 5700 V, s. t. ülekandetegur osutub sel juhul kõige väiksemaks ja tühijooksul on see 5700 : 400 = 14,25.

Pingetmadaldava trafo madalpingeklemmidel (punkt *D*) on pinge meie näite puhul tühijooksul 5538 : 14,25 = 389 V; täiskoormusel, arvestades maha 5% ekspluatatsioonipingest (380 V), on pinge 389—19 = 370 V.

Kaod madalpingeliinis kõige kaugemasse hoonesse sisestumiseni moodustavad 7%, s. t. 380 · 0,07 = 27 V.

Kõige kaugema voolutarbija sisestusel on

pinge 370 — 27 = 343 V, seega sama, mis saadi pingemuutuste tabeliga arvutades; pinge on 9,7% madalam ekspluatatsioonipingest (380 V).

25% koormusrežiim. Väikesel koormusel hoitakse generaatori klemmipinge võrdne ekspluatatsioonipingega (380 V).

Samade väljavõtteklemmide (6300 V) ja ülekandeteguri 15,75 korral on pinge punktis *B* tühijooksul 380 : 15,75 = 6000 V ja 25% koormusel

$$\frac{6000\,(100 - 1{,}25)}{100} = 5925 \text{ V}.$$

Pingekaod elektriülekandeliinis 25% koormusel on 2,55% 6000 V-st, s. t. 153 V, ja punktis *C* saame pinge

$$5925 - 153 = 5882 \text{ V}$$

ning madalpinge-poolel punktis *D*:

$$5772 : 14{,}25 = 405 \text{ V}.$$

Pingekaod pingetmadaldavas trafos on 1,25%, s. o. ligikaudu 5 V.

Pinge trafo madalpingeklemmidel või lähima voolutarbija klemmidel on 405 — 5 = 400 V, seega sama, mis saime pingemuutuste tabeli abil suhtelistes suurustes arvutamisel.

Näitame, et ülekandeliini pinge 6 kV asemel 10 kV valimisel suhtelises suuruses väljendatud pingemuutuste tabelis midagi ei muutu.

2. variant: elektrienergia ülekanne pingel 10 kV. *100% koormusrežiim.* Punktis *A* on generaatori klemmipinge 408 V.

Pingettõstva trafo väljavõtteklemmid on 10 500 V; ülekandetegur 10 500 : 400 = 26,25. Pinge punktis *B* tühijooksul 408 · 26,25 = = 10 720 V. Pingekaod trafos on 10 000 · 0,05 = = 500 V. Pinge punktis *B* täiskoormusel 10 720 — 500 = 10 220 V. Kaod 10 kV ülekandeliinis on 10,2% ehk 1020 V.

Pinge punktis *C* 10 220 — 1020 = 9200 V.

Pingetmadaldava trafo ülekandetegur 9500 V väljavõtteklemmide puhul 9500 : 400 = 23,75.

Pinge punktis *D* tühijooksul 9200 : 23,75 = = 389 V.

Pingekaod trafos täiskoormusel on 5%, s. t. 19 V.

Sellest järeldub, et pingetmadaldava trafo madalpingeklemmidel on pinge täiskoormusel 370 V. Arvestades pingekadusid madalpingeliinis (7%, s. o. 27 V), on kõige kaugema voolutarbija sisestusel pinge 343 V. See langeb täielikult kokku vastavate näitajatega 6 kV pingega elektrienergia ülekande variandi korral.

Ülaltoodud maaelektriliinide arvutusmeetod eeldab tingimata vastureguleerimise kasutamist, mille juures maksimaalse koormuse tundidel hoitakse maaelektrijaamade generaatoripinge kogumislattidel palju kõrgem pinge, kui minimaalse koormuse tundidel.

Selline vastureguleerimine on teostatav isoleeritult töötavates jaamades või kohalikku energiasüsteemi ühendatud elektrijaamades kas käsitsi kompaundeerimisseadiste sätete vastava reguleerimisega või pinge reguleerimisega.

Maaelektrivõrkude ühendamisel võimsate energiasüsteemide võrkudega näevad «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjad» ette, et süsteemi normaalrežiimi korral elektrijaama kogumislattidel ja 110 kV ja kõrgema pingega alajaama sekundaarpinge (3—10 kV) lattidel, samuti ka 35 kV alajaama lattidel, kuhu on ühendatud kaugeleulatuvad võrgud, mis toidavad suure koormuse kõikuvusega tarbijaid, tuleb kasutada vastureguleerimist 0—5% ulatuses võrgu nimipingest.

PINGEMUUTUSTE ANALÜÜTILINE ARVUTUS

Pingemuutuste arvutuse lõppsihiks on, nagu ülal nimetatud, arvutuslike pingekadude leidmine, mis on vajalikud õhuliini projekteerimisel, samuti ka trafode väljavõtteklemmide asendi valik.

Need küsimused lahendatakse harilikult põhisuuruste eelvalikuga ja pingemuutuste arvutustabeli koostamisega. Töö kergendamiseks võib soovitada ülesande analüütilise lahendamise võtteid.

Edaspidi kasutame järgmist valemites esinevate põhisuuruste tähistust:

$\Delta U_{p>}$, $\Delta U_{p<}$ — vastureguleerimise piirid maaelektrijaamade generaatorite klemmidel või rajoonialajaamade sekundaarpinge-kogumislattidel.

Maaelektrijaamadel $\Delta U_{p>} = 7{,}5\%$ ja $\Delta U_{p<} = 0\%$. Rajoonialajaamade sekundaarpinge kogumislattidel $\Delta U_{p>} = 5\%$ ja $\Delta U_{p<} = 0\%$.

sU_{t_1}, sU_{t_2}, sU_{t_3} — pingelisa protsentides, sõltuvalt järjestikku asetsevate trafode 1, 2, 3 jne. väljavõtteklemmide asendist.

ΔU_{t_1}, ΔU_{t_2}, ΔU_{t_3} — ülalnimetatud trafode pingekaod protsentides nende nimikoormusel.

ΔU_{l_1}, ΔU_{l_2}, ΔU_{l_3} — järjestikku asetsevate kõrge- ja madalpingeliinide pingekaod protsentides; näiteks liinid 35, 10 ja 0,4 kV, kusjuures $\Sigma\Delta U_l$ — märgib kõigi pingetega liinide pingekadude summat ja $\Sigma\Delta U_{lk}$ — pingekadude summat ainult kõrgepingeliinides.

Kõrgepingeliinide pingekadude summa $\Sigma\Delta U_{lk}$ eraldamine omab olulist tähtsust 25% koormusrežiimi jaoks, sest sel juhul on määravaks lähimate voolutarbijate pingenivoo, millede puhul

kaod madalpingevõrgus võrduvad nulliga. $\Delta U_{n>}$, $\Delta U_{n<}$ märgivad normide järgi lubatavat voolutarbijate klemmipinge muutuste piire minimaalsel ja maksimaalsel koormusel.

Tulles tagasi tabeli 98 juurde, võib 100% ja 25% koormusrežiimide kohta tuua järgmised suhted:

$$\Delta U_{p>} + \Sigma sU_t + \Sigma\Delta U_t + \Sigma\Delta U_l \geqslant \Delta U_{n<}; \quad (25)$$

$$\Delta U_{p<} + \Sigma sU_t + 0{,}25\,\Sigma\Delta U_t + 0{,}25\,\Sigma\Delta U_{lk} \leqslant \Delta U_{n>}. \quad (26)$$

Lahendades mõlemad võrratused otsitava suuruse $\Sigma\Delta U_l$ suhtes, leiame:

$$\Sigma\Delta U_l \geqslant \Delta U_{n<} - \Delta U_{p>} - \Sigma sU_t - \Sigma\Delta U_t; \quad (27)$$

$$\Sigma\Delta U_{lk} \leqslant 4\Delta U_{n>} - 4U_{p<} - 4\Sigma sU_t - \Sigma\Delta U_t. \quad (28)$$

Asetame valemitesse kõik meile teada olevad suurused (vt. tabel 98 ja joonis 355), nimelt $\Delta U_{n<} = -10\%$, $\Delta U_{n>} = +7{,}5\%$, $\Delta U_{p>} = +7{,}5\%$, $\Delta U_{p<} = 0\%$, $\Sigma sU_t = +10\%$ (pingettõstvas trafos on pingelisa 0 ja pingetmadaldavas trafos on + 10%, kokku + 10%).

$\Sigma\Delta U_t = -10\%$. Valemist (27) saame:

$\Sigma\Delta U_l \geqslant -10 - 7{,}5 - 10 + 10$ ehk $\Sigma\Delta U_l \geqslant -17{,}5\%$.

Valemi (28) järgi saame:

$$\Sigma\Delta U_{lk} \leqslant 4 \cdot 7{,}5 - 4 \cdot 0 - 4 \cdot 10 + 10,$$

$$\Sigma\Delta U_{lk} \leqslant 0.$$

Sellest näeme, et kõrge- ja madalpingeliini juhtmetes peab summaarne pingekadu olema piirides 0 kuni —17,5%.

Juhtmete kokkuhoiu seisukohalt tuleb pingekadu (absoluutväärtuselt) valida lähedane piirile, s. t. —17,5%.

Pingekaod jagunevad erinevatele ülekandeliinidele järgmiselt:

10 kV liin	10,2%
0,4 „ „	7,0%
Sisejuhtmed	0,3%
Kokku	17,5%

Analoogilised kaod saime ka tabeli 98 järgi arvutamisel.

Vaatleme näitena arvutuslike pingekadude valikut maaelektriliinile, mis ühendatakse rajooni elektrisüsteemiga.

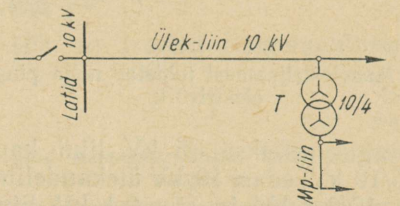
Näide. Joonisel 356 on näidatud maaelektriliini skeem, mis on ühendatav 10 kV rajoonialajaama kogumislattidega.

Siin: $\Delta U_{n<} = -10\%$, $\Delta U_{n>} = +7{,}5\%$, $\Delta U_{p>} = +5\%$, $\Delta U_{p<} = 0\%$, pinge transformeerimise astmeid on üks ja $\Sigma sU_t = +10\%$ ning $\Sigma\Delta U_t = -5\%$.

Asetades nimetatud suurused valemisse (27) ja (28), saame:

$\Sigma\Delta U_l \geqslant -10 - 5 - 10 + 5$; $\Sigma\Delta U_l \geqslant -20$.

$\Sigma\Delta U_{lk} \leqslant 4 \cdot 7{,}5 - 4 \cdot 0 - 4 \cdot 10 + 5$; $\Sigma\Delta U_{lk} \leqslant -5$.



Joon. 356. 10 kV rajoonialajaama lattidega ühendatava elektrivõrgu skeem.

Ülekandeliini kõigis lülides peavad summaarsed pingekaod olema — 20% piirides. Võtame maksimaalsed kaod, s. t. 20%.

Pingemuutused kõigis lülides on toodud tabelis 99. Madalpingeliini arvutuslike pingekadude hulka kuuluvad ka pingekaod sisejuhtmetes.

Tabel 99

Pingemuutused maaelektrivõrgus, mis on ühendatud rajoonialajaama 10 kV kogumislattidega

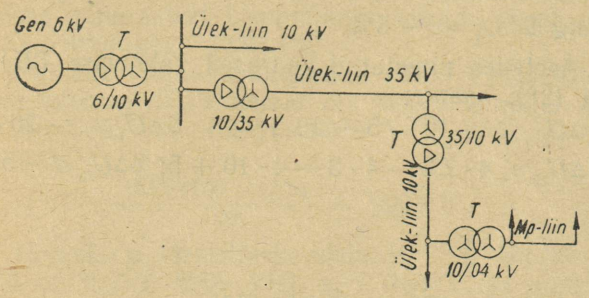
Võrgu element	Koormusrežiim %	
	100	25
Rajoonialajaama 10 kV kogumislatid	+ 5	0
Elektriülekandeliin 10 kV	—10	— 2,5
Trafo 10/0,4 kV — pingelisa	+10	+10
Trafo 10/0,4 kV — kaod	— 5	— 1,25
Liin 0,4 kV	—10	0
Voolutarbija klemmidel	—10	+ 6,25

PINGEMUUTUSTE ARVUTUSED MITME PINGEASTMEGA VÕRKUDES

Kasutades ülaltoodud valemeid (27) ja (28), lahendame pingemuutuse küsimuse mitme pingeastmega maaelektrivõrkudes.

Joonisel 357 on toodud maaelektrijaama võrgu skeem. 6 kV pingega generaator on ühendatud blokki pingettõstva trafoga. Kogumislattidelt

pingega 10 kV väljuvad 10 kV liinid. Peale selle on kaugemate rajoonide energiaga varustamiseks üles seatud pingettõstev trafo 10/35 kV.



Joon. 357. Maaelektrijaamast toidetav nelja pingeastmega elektrivõrk.

Elektrienergia antakse 35 kV liini kaudu alajaama 35/10 kV, edasi 10 kV ülekandeliini kaudu alajaama 10/0,4 kV ja siis 0,4 kV liini kaudu tarbijatele.

Meil on keerukas võrk, milles on järjestikku neli trafot oma pingelisadega ja pingekadudega ja kolm ülekandeliini oma pingekadudega.

Määrame kõik lähtesuurused pingemuutuste arvutusteks. Nagu harilikult, on $\Delta U_{p>} = +7{,}5\%$, $\Delta U_{p<} = 0$, $\Delta U_{n>} = +7{,}5\%$, $\Delta U_{n<} = -10\%$, kaks pingettõstvat trafot 6/10 ja 10/35 kV annavad paremal juhul pingelisa 0; kaks pingetmadaldavat trafot 35/10 ja 10/0,4 kV on seatud pingelisaga $+10\%$. Seega $\Sigma sU_t = +20\%$, pingekaod neljas trafos, igaühes -5%, on $\Sigma \Delta U_t = -20\%$. Leiame otsitavad summaarsed pingekaod liinides 35, 10 ja 0,4 kV.

Saame:

$$\Sigma \Delta U_l \geqslant \Delta U_{n<} - \Delta U_{p>} - \Sigma sU_t - \Sigma \Delta U_t;$$

$$\Sigma \Delta U_l \geqslant -10 - 7{,}5 - 20 + 20;$$

$$\Sigma \Delta U_l \geqslant -17{,}5\%.$$

25% koormusrežiimil:

$$\Sigma \Delta U_{lk} \leqslant 4\Delta U_{n>} - 4\Delta U_{p<} - 4\Sigma sU_t - \Sigma \Delta U_t;$$

$$\Sigma \Delta U_{lk} \leqslant 4 \cdot 7{,}5 - 4 \cdot 0 - 4 \cdot 20 + 20;$$

$$\Sigma \Delta U_{lk} \leqslant -30\%.$$

Analüüsides arvutustulemust, võime teha järgmise järelduse.

Et täiskoormusel pingekadu tarbija klemmidel ei ületaks lubatud piiri (-10%), selleks ei tohi võrgu kõigi lülide summaarsed pingekaod ületada 17,5%. Osakoormusel (25%) peavad voolutarbija klemmidel pinge tõusu piiri ($+7{,}5\%$) säilitamiseks arvutuslikud pingekaod kõrgepingeliinides olema suuremad kui 30%.

Ülesanne on seega antud lähtetingimuste juures lahendamatu ja normide järgi lubatavaid pingemuutusi pole võimalik hoida. Kui võtame ülekandeliinides summaarseteks pingekadudeks 17,5%, siis täiskoormusel pingemuutuse küsimuse rahuldaval lahendamisel esineb 25% koormusel lubamatu pingetõus (ülekuumenemine). Kui aga osakoormusel võtta summaarsed arvutuslikud pingekaod 30%, vastavalt pinge lubatava suurenemise piirile, saaksime täiskoormusel normide järgi lubamatu, äärmiselt suure pinge vähenemise.

Tabelis 100 on toodud kahe järgmise režiimi karakteristikud:

1) kõigi pingetega liinide summaarsed pingekaod on 17,5% ja

2) ainult kõrgepingeliinide summaarsed pingekaod on 30%.

Kaod 35, 10 ja 0,4 kV üksikutes õhuliinides jaotame vastavalt: 6%, 6% ja 5,5% ning 15%, 15% ja 5,5%.

Tabel 100

Pingemuutused maaelektrijaamast toidetavas võrgus
(joonisel 357 kujutatud skeemi juurde)

Süsteemi element	$\Sigma\Delta U_l$ = −17,5 %		$\Sigma\Delta U_{lk}$ = −30 %	
	100 %	25 %	100 %	25 %
Generaator 6 kV	+ 7,5	0	+ 7,5	0
Trafo 6/10 kV — pingelisa	0	0	0	0
Trafo 6/10 kV — kaod . .	— 5	— 1,25	— 5	— 1,25
Trafo 10/35 kV — pingelisa	0	0	0	0
Trafo 10/35 kV — kaod .	— 5	— 1,25	— 5	— 1,25
Ülekandeliin 35 kV . . .	— 6	— 1,5	—15	— 3,75
Trafo 35/10 kV — pingelisa	+10	+10	+10	+10
Trafo 35/10 kV — kaod .	— 1	— 1,25	— 5	— 1,25
Ülekandeliin 10 kV . . .	— 6	— 1,5	—15	— 3,75
Trafo 10/0,4 kV — pingelisa	+10	+10	+10	+10
Trafo 10/0,4 kV — kaod .	— 5	— 1,25	— 5	— 1,25
Ülekandeliin 0,4 kV . . .	— 5,5	0	— 5,5	0
	— 10	+12 [1]	−27,5 [1]	+ 7,5 %

[1] Normide järgi lubamatu.

Valitud lähteandmete korral ei saa energia ülekande küsimust rahuldavalt lahendada, nagu see nähtub ka toodud tabelist, kus osakoormusel saame lubamatu pinge suurenemise + 12%, täiskoormusel aga lubamatu pinge vähenemise —27,5%.

Eritellimisel valmistatud lisaväljavõttega +5% pingettõstvate trafode kasutamine halvendab olukorda veelgi, sest pinge tõus esineb osalisel koormusel veelgi teravamalt. Antud juhul tuleb kas ühe pingetmadaldava trafo pingelisa vähendada ja samaaegselt tunduvalt suurendada õhuliinide juhtmete ristlõiget või tuleb üksikutes tarbijavõrgu osades kasutada reguleerita-

vat bustertrafot. Mittereguleeritava bustertrafo abil ei saa antud juhul olukorda parandada.

Arvutame pingekaod, kui 10/0,4 kV trafode korral võtta väljavõtteklemmide +5% asemel + 10%. 100% koormusrežiimil saame:

$$\Sigma \Delta U_1 \geqslant -10 - 7{,}5 - 15 + 20;$$

$$\Sigma \Delta U_1 \geqslant -12{,}5.$$

25% koormusrežiimil:

$$\Sigma \Delta U_{1k} \leqslant 4 \cdot 7{,}5 - 4 \cdot 0 - 4 \cdot 15 + 20;$$

$$\Sigma \Delta U_{1k} \leqslant -10.$$

Seega peab pingekadu mõlemates kõrgepingeülekandeliinides (35 ja 10 kV) olema osakoormusel 10% ja summaarsed pingekaod kõigis kolmes liinis (35, 10 ja 0,4 kV) ei tohi täiskoormusel ületada 12,5%. Seega pingekaod 0,4 kV liinis ei tohi olla üle 2,5%.

Need tingimused on läbiviidavad kõrgepingeliinide maksimaalsel lähendamisel tarbijatele.

Tabelis 101 on toodud vaadeldava juhu kohta pingemuutused kõigis võrguelementides.

Tabel 101

Pingemuutused maaelektrijaama nelja pingeastmega võrgus

Võrgu element	Koormusrežiim %	
	100	25
Generaator 6 kV	+ 7,5	0
Trafo 6/10 kV — pingelisa	0	0
Trafo 6/10 kV — kaod	— 5	— 1,25
Trafo 10/35 kV — pingelisa	0	0
Trafo 10/35 kV — kaod	— 5	— 1,25
Ülekandeliin 35 kV	— 5	— 1,25
Trafo 35/10 kV — pingelisa	+10	+10
Trafo 35/10 kV — kaod	— 5	— 1,25
Ülekandeliin 10 kV	— 5	— 1,25
Trafo 10/0,4 kV — pingelisa	+ 5	+ 5
Trafo 10/0,4 kV — kaod	— 5	— 1,25
Liin 0,4 kV	— 2,5	0
Voolutarbija klemmidel	—10	+ 7,5

Vaadeldavas elektrivõrgu skeemis on ka 10 kV pingega elektrijaama kogumislatid, kust väljuvad 10 kV liinid lähemasse ümbruskonda. Pingekadu nendel liinidel arvutatakse nagu kahe järjestikuse pingeastmega ülekande korral (joon. 355):

$$\Sigma \Delta U_1 \geqslant -10 - 7{,}5 - 10 + 10;$$

$$\Sigma \Delta U_1 \geqslant -17{,}5;$$

$$\Sigma \Delta U_{1k} \leqslant 4 \cdot 7{,}5 - 4 \cdot 0 - 4 \cdot 10 + 10;$$

$$\Sigma \Delta U_{1k} \leqslant 0.$$

Nagu näeme, on summaarne pingekadu kõrge- ja madalpingeliinides 17,5% ja pingekadu ainult kõrgepingeliinis võib olla mistahes suurusega piirides 0 kuni —17,5%.

Kadude jaotamine kõrge- ja madalpingeliinide vahel summaarsete pingekadude (17,5%) ulatuses võib olla meelevaldne ja ühelgi juhul ei ületa pingemuutus voolutarbija klemmidel normide järgi lubatavaid piire.

Isegi sel juhul, kui kaod 10 kV liinis (lähim alajaam 10/0,4 kV) on tühised ja kaod madalpingeliinides on viidud kuni 17,5%-ni, ei lähe pingekadu voolutarbija klemmidel üle lubatavate piiride.

Tabelis 102 on toodud pingemuutused selle juhu kohta.

Tabel 102

Pingemuutused maaelektrijaama kahe pingeastmega võrgus

Võrgu element	Režiim	
	100%	25%
Generaator 6 kV	+ 7,5	0
Trafo 6/10 kV — pingelisa	0	0
Trafo 6/10 kV — kaod	— 5	— 1,25
Liin 10 kV	—10 (0)	— 2,5 (0)
Trafo 10/0,4 kV — pingelisa	+10	+10
Trafo 10/0,4 kV — kaod	— 5	— 1,25
Liin 0,4 kV	— 7,5	0
	-7,5(-17,5)	
Voolutarbija klemmidel	—10	+ 5 (7,5)

Märkus: Sulgudesse on pandud arvutuslikud pingekaod piirjuhtumi kohta (lähim alajaam).

Nagu näha resultatiivsetest andmetest (sulgudes), jääb pingemuutus lubatavatesse piiridesse, nagu seda näidati ülal ka analüütilisel teel kriteeriumite järgi:

$$\Sigma \Delta U_1 \geqslant -17{,}5 \text{ ja } \Sigma \Delta U_{1k} \leqslant 0.$$

Selle näite vaatlemisel võib teha järgmised järeldused.

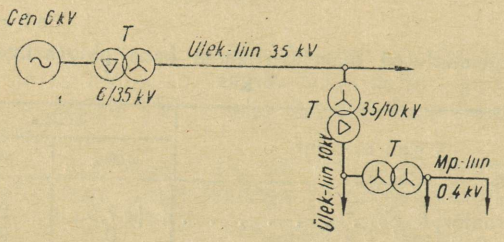
Mitme pingeastme korral (üle kahe) ei osutu võimalikuks täielikult kasutada maksimaalseid pingelisasid, mida võiks anda trafode väljavõtteklemmide ümberühendamine. Järelikult ei osutu võimalikuks suurendada ka arvutuslikke pingekadusid juhtmetes sellega, et lähendada need kaod majanduslikele kadudele, mille juures projekteeritav võrk töötab ökonoomilise voolutihedusega. Vastavalt «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjadele» on ökonoomilised voolutihedused, sõltuvalt tippkoormuse kasutamise kestusest, vaskjuhtmetele — 2,5 kuni 1,25 A/mm², alumiiniumjuhtmetele — 1,5 kuni 0,75

A/mm² ja terasjuhtmetele — 0,45 kuni 0,35 A/mm² (vt. tab. 86).

Arvutusvalemitega selgitatud summaarsete pingekadude jaotamisel elektrivõrgu üksikute liinide vahel tuleb suurimad arvutuslikud pingekaod anda toitvatele ja jaotus-kõrgepingeliinidele ning ülejääk — madalpinge-jaotusvõrgule.

Täpne arvutuslike pingekadude osa liinidele tuleb leida pingemuutuse lubatud piiride kaudu täis- ja osakoormusel, vastavalt soovitatud valemitele (27) ja (28).

Vaatleme kõige sagedamini esinevaid ja kõige ratsionaalsemaid elektrivõrgu skeeme, mispuhul hüdroelektrijaamast või soojuselektrijaamast toidetakse maarajoone kolme järjestikuse pingeastmega (joon. 358).



Joon. 358. Maaelektrijaamast toidetav kolme pingeastmega elektrivõrk.

Siin on 6 kV generaator ühendatud blokki pingettõstva trafoga 6/35 kV.

Energia antakse 35 kV pingega alajaama 35/10 kV, siis 10 kV ülekandeliini kaudu alajaama 10/0,4 kv ja edasi jaotatakse 0,4 kV õhuliini abil.

Kasutame pingettõstval trafol klemme pingelisaga 0 ja mõlemal pingetmadaldaval trafol 35/10 ja 10/0,4 kV klemme + 10%. Valemite (27) ja (28) järgi:

$$\Sigma \Delta U_l \geqslant \Delta U_{n<} - \Delta U_{p>} - \Sigma sU_t - \Sigma \Delta U_t;$$

$$\Sigma \Delta U_l \geqslant -10 - 7{,}5 - 20 + 15;$$

$$\Sigma \Delta U_l \geqslant -22{,}5\%;$$

$$\Sigma \Delta U_{lk} \leqslant 4\,\Delta U_{n>} - 4\,\Delta U_{p<} - 4\,\Sigma sU_t - \Sigma \Delta U_t;$$

$$\Sigma \Delta U_{lk} \leqslant 4 \cdot 7{,}5 - 4 \cdot 0 - 4 \cdot 20 + 15;$$

$$\Sigma \Delta U_{lk} \leqslant -35\%.$$

Nagu näeme, ei ole pingetmadaldavate trafode valitud väljavõtteklemmide korral (+10%) võimalik kolme pingeastmega energiaga varustamise ülesannet rahuldavalt lahendada. Täiskoormuse kriteeriumi järgi peab kõigis kolmes õhuliinis pingekadu olema 22,5% ja osakoormuse kriteeriumi järgi ainult kõrgepingeliinides pingekadu — 35%. Ilmselt pole võimalik neid kahte nõuet üheaegselt rahuldada.

Vaatleme analoogilist kolme pingeastmega elektrivõrgu varianti, kasutades ühel pingetmadaldaval trafol klemme + 10% ja teisel + 5%. Siis:

$$\Sigma \Delta U_l \geqslant -10 - 7{,}5 - 15 + 15;$$

$$\Sigma \Delta U_l \geqslant -17{,}5\%;$$

$$\Sigma \Delta U_{lk} \leqslant 4 \cdot 7{,}5 - 4 \cdot 0 - 4 \cdot 15 + 15;$$

$$\Sigma \Delta U_{lk} \leqslant -15\%.$$

Sel juhul peaksid pingekaod ülekandeliinides 35 ja 10 kV olema osakoormuse kriteeriumi järgi 15%, kuid täiskoormuse kriteeriumi järgi ei tohiks kõigis kolmes liinis summaarne kadu ületada 17,5%. Selles, nagu neljaastmelise ülekande juhulgi, on madalpingeliini osas pingekadu 2,5%. Kuid vaadeldaval juhul on kaod kõrgepingeliinis lähedased ökonoomsetele kadudele voolutiheduse järgi.

Pingemuutused joonisel 358 toodud skeemi kohta on toodud tabelis 103.

Tabel 103

Pingemuutused maaelektrijaama kolme pingeastmega võrgus

Võrgu element	Koormusrežiim %	
	100	25
Generaator 6 kV	+ 7,5	0
Trafo 6/35 kV — pingelisa	0	0
Trafo 6/35 kV — kaod	— 5	— 1,25
Ülekandeliin 35 kV	— 7	— 1,75
Trafo 35/10 kV — pingelisa	+10	+10
Trafo 35/10 kV — kaod	— 5	— 1,25
Ülekandeliin 10 kV	— 8	— 2,0
Trafo 10/0,4 kV — pingelisa	+ 5	+ 5
Trafo 10/0,4 kV — kaod	— 5	— 1,25
Liin 0,4 kV	— 2,5	0
Voolutarbija klemmidel	—10	+ 7,5

PINGE REGULEERIMINE MAAELEKTRIVÕRKUDES

Ülaltoodud näited tõendavad, et ökonoomsele voolutihedusele vastavate pingekadude valik ei tekita erilisi raskusi kahe pingeastmega maaelektrivõrkude korral ja samuti maaelektrivõrkude korral, mis ühendatakse rajoonialajaama 6—10 kV kogumislattidele vastureguleerimisega.

Kuid ökonoomsete pingekadude küsimust kolme ja nelja järjestikuse pingeastmega maaelektri-

võrkude kohta ei saa lahendada täiesti rahuldavalt, vaatamata generaatoripinge vasturegu-leerimisele piirides +7,5% maksimaalse ja 0% minimaalse koormuse korral.

Nagu ülal juba selgitati, ei tohi maaelektrijaama kolme pingeastmega võrgus, kuhu kuuluvad: generaator 6 kV — trafo 6/35 kV — ülekandeliin 35 kV — trafo 35/10 kV — ülekandeliin 10 kV — trafo 10/0,4 kV — liin 0,4 kV — tarbija, summaarsed arvutuslikud pingekaod võrgu 35, 10 ja 0,4 kV liinides ületada 17,5% ja seejuures pingekaod madalpingeliinis ei tohi ületada 2,5%. Järelikult me ei saa antud kogukadusid vabalt jaotada ja suurendada arvutuslikke pingekadusid madalpingeliinis kõrgepingeliinide kadude arvel.

Maaelektrijaama nelja pingeastmega võrkudes, kuhu kuuluvad: generaator 6 kV — trafo 6/10 kV — trafo 10/35 kV — ülekandeliin 35 kV — trafo 35/10 kV — ülekandeliin 10 kV — trafo 10/0,4 kV — liin 0,4 kV — tarbija, on ökonoomsete pingekadude küsimuse lahendamine veelgi raskem. Siin ei tohi pingekadude summa võrgu kolmes liinis ületada 12,5%, sealhulgas madalpingeliinis ainult 2,5%. Niivõrd väike arvutuslik pingekadu ei anna tegelikult võimalust energiat tarbijatele jaotada. See näitab, et on ebaotstarbekas kasutada maaelektrivõrkudes ilma spetsiaalsete pingereguleerimise abinõudeta nelja ja mõnikord ka kolme pingeastet.

Arvestades seda, et kaugus maa-alajaamast kuni koormuste keskpunktini on väljuvate madalpingeliinide kaudu 250 m, saame järgmised piirvõimsused, mida on võimalik üle kanda nende liinide kaudu erinevate juhtmete korral, kui pingekaod on 2,5% (tab. 104).

Tabel 104

Piirvõimsused, mida on võimalik üle kanda õhuliinide kaudu 250 m kaugusele, kui pingekaod on 2,5%

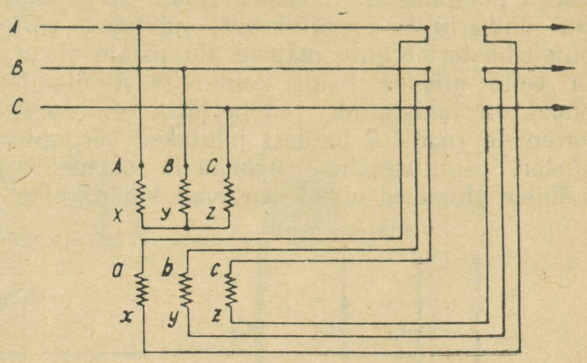
Juhtme materjal	Läbimõõt või ristlõige	Võimsus kW
Teras	∅ 5 mm	3,0
Teras	35 mm²	7,5
Teras	50 mm²	10,5
Alumiinium	16 mm²	16,0
Alumiinium	25mm²	25,0

Mitme pingeastmega maaelektrivõrgus on ülal selgitatud põhjuste tõttu vajalik pinge reguleerimine võrkudes, eriti tarbijate-alajaamade väljaviikudel ja madalpingeliini kaugetes punktides.

Võrguregulaatoritena peaksid leidma laialdast kasutamist lisapingetrafod — busterregulaatorid.

ELEKTRIVÕRGU BUSTERREGULAATORID

Busterregulaatoreid (bustereid) liigitatakse mittereguleeritavateks ja reguleeritavateks. Reguleeritavaid bustereid ehitatakse ka automaatsetena. Mittereguleeritavaid bustereid soovitas ins. B. S. Mešel kasutada madalpingevõrkudes [42].



Joon. 359. Kolme ühefaasilise trafo lülitamine lisapingetrafona.

Joonisel 359 on näidatud põhimõtteskeem kolme ühefaasilise trafo lülitamise kohta lisapingetrafona. Ühefaasiliste trafode asemel võib kasutada harilikke katla-trafosid, mis on ette nähtud pingele 220/12 või 220/24 V. Trafo ülempingemähised ühendatakse tähte ja lülitatakse 380 V võrku. Sekundaarmähised ühendatakse sama võrgu juhtmete vahele järjestikku.

Trafo sekundaarmähise nimivool peab vastama 380 V võrgu nimivoolule. Tähte ühendatud busteri ergutusmähis indutseerib sekundaarmähistes pinge, mis moodustab 3—5% põhipingest ja liitub selle pingega.

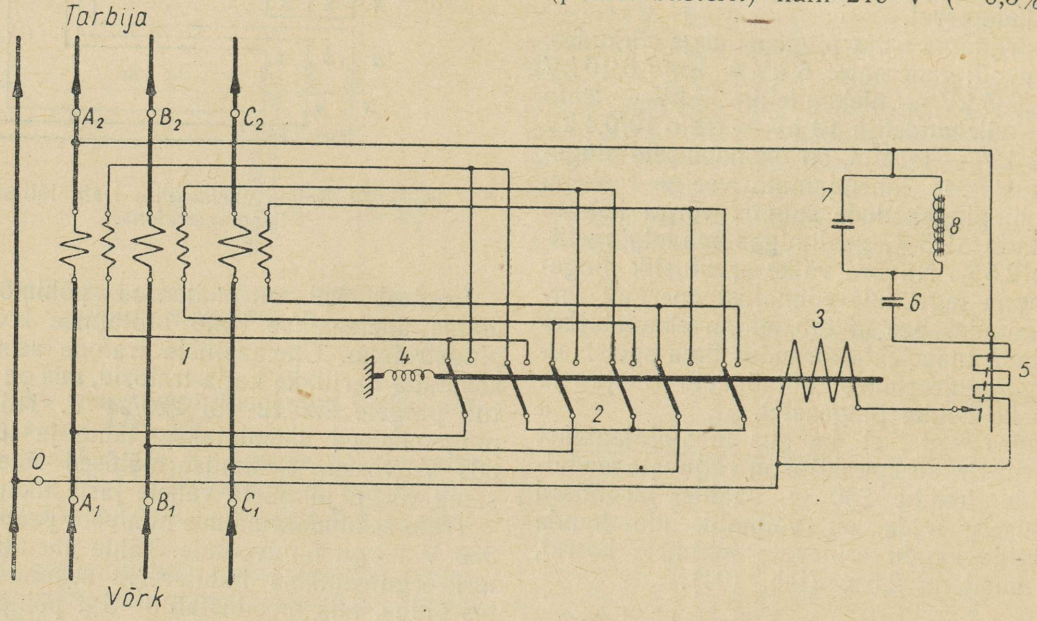
Kui buster varustada ümberlülitiga, mis muudaks voolu suuna ergutusmähises vastasssuunaliseks, s. t. pingestataks klemmid *X, Y, Z* ja lühistataks mähiste otsad *A, B, C*, siis buster madaldaks pinget. Sellised käsitsi või automaatselt reverseeritavad busterid omavad suurt tähtsust maaelektriseadmetes.

Automaatselt reverseeritav buster РНБ-ВИМЭ maaelektrivõrkudele on välja töötatud A. G. Zahharini ja I. A. Budzko poolt [43].

Regulaatori põhimõtteskeem on toodud joonisel 360 ja selle konstruktsioon on näidatud joonisel 361.

Automaatne busterregulaator monteeritakse kas tarbija-alajaamast väljuvasse madalpingepealiini, koormatud madalpingeliini või vastutatava võimsustarbija sisestusliini, kusjuures vajalik võimsus ei tohi ületada regulaatori transiitvõimsust, mis tehase poolt toodetavatel regulaatoritel on 20 kVA.

Kolmefaasiline trafo *1* koosneb ergutusmähisest (peenest traadist) ja lisapingemähisest (jämedast traadist). Ümberlüliti *2* võimaldab muuta lisapingemähise pinge suunda madalpingevõrgu põhipinge suhtes. Kui pinged on faasis, siis mõlemad pinged liituvad. Lisapingemähise pinge märgi muutmisel see lahutub võrgu põhipingest. Skeemis (joon. 360) näidatud ümberlüliti asendi korral juhitakse võrgupinge busteri ergutusmähise alumistele otsadele ja selle mähise kõigi kolme faasi ülemised otsad on lühistatud. Ümberlüliti pöördumisel paremale (pooli *3* toimel) juhitakse võrgupinge busteri ergutusmähise ülemistele otsadele ja mähiste alumised otsad osutuvad lühistatuiks.



Joon. 360. Automaatse busterregulaatori РНБ põhimõtteskeem.

Seega muudetakse ümberlülitiga pinge suund lisapingemähises võrgu pinge suhtes vastupidiseks.

Regulaatori mõõteelement, mis on lülitatud faasipingele (220 V), töötab resonantsi põhimõttel ja ta koosneb paralleelsest kondensaatorist *7*, paispoolist *8*, järjestikusest kondensaatorist *6* ja soojusreleest *5*.

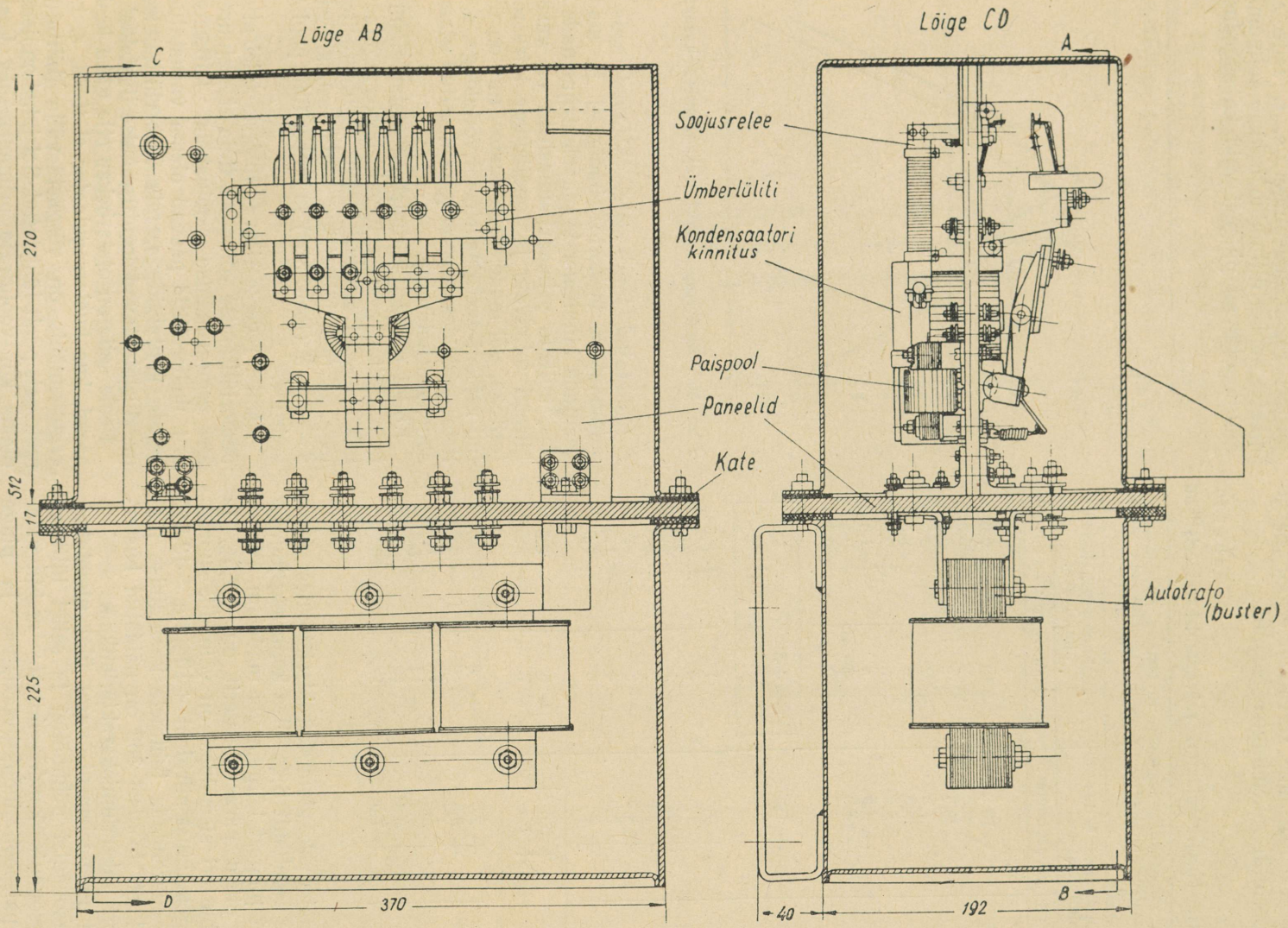
Nimipingest madalama ja nimipingele lähedaste pingete korral on soojusrelee normaalolukorras ja ümberlüliti pool on vooluta. Vedru *4* mõjul võtab ümberlüliti vasakpoolse asendi, nagu see on näidatud skeemis (joon. 360). Pinge suureneb, sest buster lisab põhipingele lisapingemähise pinge. Niipea kui pingetõus võrgus (pärast regulaatorit) ületab kindla suuruse, mis sõltub mõõteelemendi sättest, paindub soojusrelee plaadike ja suleb ümberlüliti pooli vooluahela. Ümberlüliti pöördub parempoolsesse asendisse ja lisapingemähise pinge lahutub võrgupingest. Väljalastavate busterite РНБ-ВИМЭ reguleerimisaste on +2,5% võrgupingest ja neid saab sisse seada reguleerimiseks +6 kuni —0,5% ekspluatatsioonipingest.

Kui 380/220 V süsteemis faasipinge või 3×220 V süsteemis liinipinge tõuseb tarbija poolel (pärast busterit) kuni 233 V (+6%), siis regulaator madaldab automaatselt seda pinget 5%, s. o. 11 V võrra, sest rakendub ümberlüliti ja 2,5% pinge lisamise asemel madaldab seda 2,5% võrra. Kui pinge langeb tarbija poolel (pärast busterit) kuni 219 V (—0,5%), tõstab regulaator pinget 5%, sest ümberlüliti lülitub ümber. Mistahes momendil on tarbijapoolne pinge alati 2,5% võrra kas kõrgem või madalam kui pinge toitepoolel.

Võttes arvesse, et automaatne buster tõstab või madaldab pinget ainult kindlates piirides, tuleb selgitada, kuidas töötab see reaalsetes tingimustes ja kuidas leida pingemuutus maaelektrijaamade võrkudes nende regulaatorite kasutamise korral.

Vaatleme maksimaalselt koormuselt minimaalsele ülemineku režiimi, mispuhul pinge tõuseb ja vastupidi, minimaalselt koormuselt maksimaalsele ülemineku režiimi, mispuhul pinge langeb.

Tabelis 105 on toodud pingemuutused protsentides nimipingest, arvestades muutumise



Joon. 361. Busterregulaator РНБ.

märki järgmistes punktides: automaatse busteri sisestusel ja pärast busterit. Pinge tõusmise ja langemise režiimide korral on eraldi märgitud ümberlüliti rakendumise tsoonid.

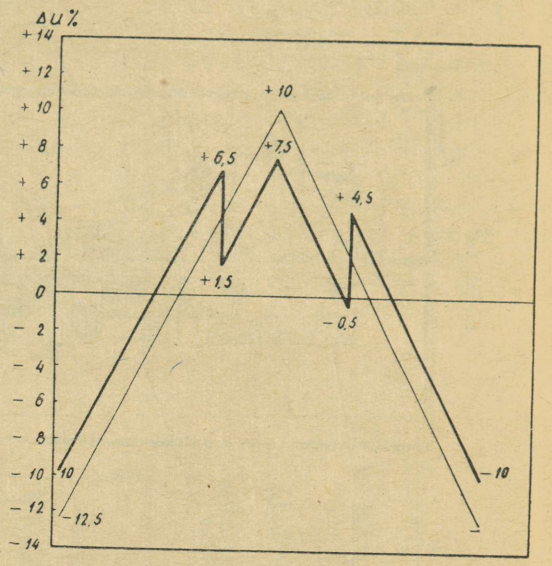
Tabel 105

Automaatse busterregulaatori rakendumiskarakteristikud

Koormuse vähenemise režiim maksimaalselt minimaalsele		Koormuse suurenemise režiim minimaalselt maksimaalsele	
Pingemuutused %-des nimipingest		Pingemuutused %-des nimipingest	
enne busterit	pärast busterit	enne busterit	pärast busterit
—12,5	—10	+10	+ 7,5
—12	— 9,5	+ 9	+ 6,5
—11	— 8,5	+ 8	+ 5,5
—10	— 7,5	+ 7	+ 4,5
— 9	— 6,5	+ 6	+ 3,5
— 8	— 5,5	+ 5	+ 2,5
— 7	— 4,5	+ 4	+ 1,5
— 6	— 3,5	+ 3	+ 0,5
— 5	— 2,5	+ 2	— 0,5
— 4	— 1,5	+ 1,5	— 1
— 3	— 0,5	+ 1,5	+ 4
— 2	+ 0,5	+ 1	+ 3,5
— 1	+ 1,5	0	+ 2,5
0	+ 2,5	— 1	+ 1,5
+ 1	+ 3,5	— 2	+ 0,5
+ 2	+ 4,5	— 3	— 0,5
+ 3	+ 5,5	— 4	— 1,5
+ 3,5	+ 6	— 5	— 2,5
+ 4	+ 6,5	— 6	— 3,5
+ 4	+ 1,5	— 7	— 4,5
+ 5	+ 2,5	— 8	— 5,5
+ 6	+ 3,5	— 9	— 6,5
+ 7	+ 4,5	— 10	— 7,5
+ 8	+ 5,5	— 11	— 8,5
+ 9	+ 6,5	— 12	— 9,5
+10	+ 7,5	— 12,5	—10

Nagu näha rakendumiskarakteristikutest, muutub pinge tegelikult 5%, olles kogu aeg juurdejuhitavast pingest kõrgem või madalam. Pingemuutuse piirid pärast busterit on +7,5% ja —10%; busteri sisendusel on võimalik suurendada pingemuutust piirideni +10% ja —12,5% ja seega suurendada juhtmete kasutamise majanduslikkust. Joonisel 362 on näidatud busterregulaatori rakendumiskarakteristikud.

Busteri mõõteelement, nagu ülal nimetatud, töötab resonantsi põhimõttel ja sellel lülitusel esineb resonants kondensaatorite mahtuvustakistuse, paispooli induktiivtakistuse ja pinge kindla suhte korral. Teatavasti sõltuvad vooluahela mahtuvus- ja induktiivtakistused vahelduvvoolu korral mitte ainult kondesaatorite mahtuvustest ja paispooli endainduktsioonist, vaid ka voolu sagedusest. Sageduse muutus muudab busteri rakendumispinget, s. t. selle ergutusmähise ümberlülitumine hakkab toimuma mitte ainult sõltuvalt pingest vaid ka sagedusest.



Joon. 362. Busterregulaatori rakendumise karakteristik.

Nimetatud tingimustel töötavad seda tüüpi automaatsed busterid ebaõigesti ja neid võib kasutada ainult nende maaelektrijaamade võrkudes, millede primaarjõumasinad on varustatud kiiresti toimivate ja tundlikkude kiirusregulaatoritega, või maaelekrivõrkudes, mis on ühendatud rajooni energiasüsteemi võrkudega, s. t. sellistes võrkudes, kus on garanteeritud standardse sageduse hoidmine.

Kõigil muudel juhtudel on otstarbekam kasutada käsitsi reverseeritavaid busterregulaatoreid, mis erinevad automaatsetest regulaatoritest sellega, et neis lülitatakse välja resonantselement *6 — 7 — 8* (joon. 360) ja ümberlüliti pool *3* ning vedru *4*.

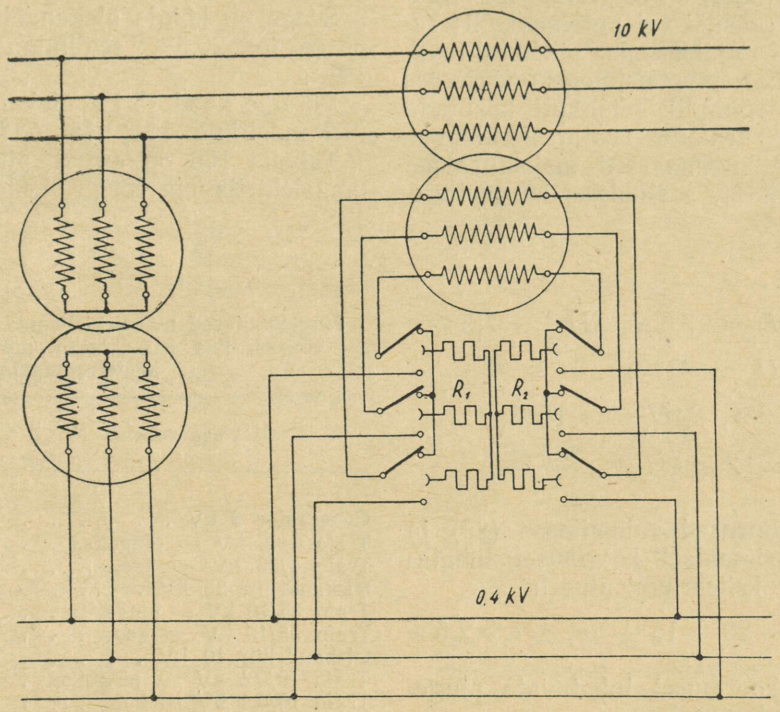
Käsitsi reverseeritavas busteris tuleb ette näha ümberlülitamise võimalus, ilma et seejuures busteri ergutusmähise vooluahelat katkestatakse, s. t. ümberlülitid peavad olema varustatud libisevate kontaktidega, mis ümberlülitamise momendil lühistavad ergutusmähise lisatakistusega.

Peale selle on otstarbekas ette näha keskmine asend, kus busterregulaator ei tööta, s. t. selle ergutusmähis on võrgust välja lülitatud ja mõlemalt poolt lühistatud. Sel juhul on lisapingemähis kui voolutrafo primaarmähis, kusjuures sekundaarmähis on lühistatud. Sel juhul buster ei avalda võrgu tööle mingit mõju.

Joonisel 363 on toodud käsitsi reverseeritava

kõrgepingebusteri skeem [42]. Juhtimist teostatakse lisakontaktidega kahe ümberlüliti abil. Kui vasakpoolne (skeemi järgi) ümberlüliti on alumises asendis, siis on busteri ergutusmähise vasakpoolsetele otstele ühendatud toide; samaaegselt on parempoolne ümberlüliti pööratud ülemisse asendisse ja selle kontaktidega on ergutusmähise parempoolsed otsad lühistatud. tus on sama, mis valemite (27) ja (28) väljatoomisel.

Busterregulaatori automaatsel või käsitsi lülitamisel maksimaalkoormuse tundidel suurendab ta pinget ΔU_b võrra ja minimaalkoormuse tundidel vähendab pinget ΔU_b võrra. Seega kui harilikel tingimustel võib maksimaalkoormusel pinge voolutarbija klemmidel erineda eksplua-



Joon. 363. Käsitsi reverseeritava busterregulaatori skeem.

Vasakpoolse ümberlüliti lülitamisel üles ja parempoolse ümberlüliti lülitamisel alla antakse toide ergutusmähise parempoolsetele otstele ja vasakpoolsed otsad lühistatakse. Busteri toime muutub vastassuunaliseks. Mõlemate ümberlülitite väljalülitamisel, nagu see on näidatud joonisel 363, lülitatakse ergutusmähis võrgust välja ja mõlemad pooled lühistatakse. Busteri mõju kaob.

BUSTERREGULAATORITE ARVUTUS JA ANALÜÜS MAAELEKTRIVÕRKUDES KASUTATAVUSE KOHTA

Järgnevalt käsitleme mittereguleeritavate; reguleeritavate ja reverseeritavate pingeregulaatorite kasutatavuse küsimust maaelektrivõrkudes ja busterregulaatorite valiku meetodit.

Tähistame reverseeritava busterregulaatori pinge reguleerimise astmed $\pm \Delta U_b$. Muu tähistatsioonipingest $\Delta U_n <$ võrra, siis, arvestades busteriga, võib pinge olla ΔU_b võrra madalam. Analoogiliselt sellele võib minimaalkoormuste tundidel voolutarbija klemmidel pinge tõusta ΔU_b võrra üle normides lubatava väärtuse.

Pingete tasakaal maksimaalkoormusel:

$$\Delta U_{p>} + \Sigma s U_t + \Sigma \Delta U_t + \Sigma \Delta U_l \geqslant \Delta U_{n<} - \Delta U_b$$

ja minimaalkoormusel:

$$\Delta U_{p<} + \Sigma s U_t + 0{,}25\,\Sigma \Delta U_t + 0{,}25\,\Sigma \Delta U_{lk} \leqslant \leqslant \Delta U_{n>} + \Delta U_b .$$

Siit leiame reguleerimisastmed:

$$\Delta U_b \geqslant \Delta U_{n<} - \Delta U_{p>} - \Sigma s U_t - - \Sigma \Delta U_t - \Sigma \Delta U_l \qquad (29)$$

ja

$$\Delta U_b \geqslant \Delta U_{p>} + \Sigma s U_t + 0{,}25\,\Sigma \Delta U_t + + 0{,}25\,\Sigma \Delta U_{lk} - \Delta U_{n>} . \qquad (30)$$

Nelja ja kolme järjestikuse pingeastmega maaelektrivõrkude pingemuutuste küsimuse käsitlemisel veendusime, et pingetmadaldavate trafode reguleerimisklemme ei olnud võimalik täielikult kasutada. Peale selle olid neil juhtudel 0,38 kV võrkudes lubatud arvutuslikud pingekaod ainult 2,5%, mis on täiesti ebamajanduslik.

Järgnevaks ülesandeks on selgitada, missugused peavad olema (käsitsi või automaatselt) reverseeritava busteri reguleerimise piirid, et maaelektrijaama kolme pingeastmega võrkudes (joon. 358) oleks võimalik täielikult kasutada pingetmadaldavate trafode väljavõtteklemme (+10%). Võtame summaarsed maksimaalsed pingekaod $\Delta U_l = 25\%$, sealhulgas kõrgepingeliinides $\Delta U_{lk} = 20\%$.

Saame:

$$\Delta U_{n<} = 10\%,\ \Delta U_{n>} = 7{,}5\%,\ \Delta U_{p>} = 7{,}5\%,$$
$$\Delta U_{p<} = 0\%;$$
$$\Sigma s U_t = +20\%,\ \Sigma\Delta U_t = -15\%,$$
$$\Sigma\Delta U_{lk} = -20\%,\ \Sigma U_l = -25\%.$$

Asetades need suurused valemitesse (29) ja (30), saame: maksimaalsel koormusel lubatavate pingemuutuste kriteeriumi alusel:

$$\Delta U_b \geqslant -10 - 7{,}5 - 20 + 15 + 25,\ \Delta U_b \geqslant 2{,}5\%$$

ja minimaalsel koormusel lubatavate pingemuutuste kriteeriumi alusel:

$$\Delta U_b \geqslant 0 + 20 - 0{,}25 \cdot 15 - 0{,}25 \cdot 20 - 7{,}5;$$
$$\Delta U_b \geqslant 3{,}75\%.$$

Sellest järeldub, et meie näite korral ei rahulda reverseeritava busteri pingeastmed ±2,5% minimaalkoormuste tingimust.

Valime automaatselt või käsitsi reguleeritava reverseeritava busterregulaatori reguleerimisastmed ±4%.

Pärast busteri reguleerimisastmete valikut tuleb täpsustada oletatavaid pingekadusid kõrge- ja madalpingevõrkudes pingetmadaldavate trafode väljavõtteklemmide mõlemate astmete reguleerimise abil. Vastavalt busterite reguleerimisastmetele, lahendades võrratused (29) ja (30) $\Sigma\Delta U_l$ ja $\Sigma\Delta U_{lk}$ suhtes, saame:

$$\Sigma\Delta U_l \geqslant U_{n<} - \Delta U_b - \Delta U_{p>} - \Sigma s U_t - \Sigma\Delta U_t; \quad (31)$$

$$\Sigma\Delta U_{lk} \leqslant 4\Delta U_{n>} + 4\Delta U_b - 4\Delta U_{p<} - 4\Sigma s U_t - \Sigma\Delta U_t. \quad (32)$$

Asetades valemitesse kõik suurused, sealhulgas $\Delta U_b = 4\%$, saame:

$$\Sigma\Delta U_l \geqslant -10 - 4 - 7{,}5 - 20 + 15;$$
$$\Sigma\Delta U_l \geqslant -26{,}5\%;$$
$$\Sigma\Delta U_{lk} \leqslant 4 \cdot 7{,}5 + 4 \cdot 4 - 4 \cdot 0 - 4 \cdot 20 + 15;$$
$$\Sigma\Delta U_{lk} \leqslant -19\%.$$

Seega on kõigis ülekandeliinides summaarsed pingekaod 26,5%, sealhulgas kõrgepingeliinides 19%.

Võtame kaod 35 kV ülekandeliinis 9%, 10 kV ülekandeliinis 10% ja madalpingeliinis 7,5%.

Tabelis 106 on antud pingemuutused kõigis maaelektrijaama võrgu elementides.

Tabel 106

Pingemuutused maaelektrijaama kolme pingeastmega võrgus, kus kasutatakse ±4% reverseeritavaid busterregulaatoreid

Võrgu element	Koormusrežiim %	
	100	25
Generaator 6 kV	+ 7,5	0
Trafo 6/35 kV — pingelisa	0	0
Trafo 6/35 kV — kaod	— 5	— 1,25
Ülekandeliin 35 kV	— 9	— 2,25
Trafo 35/10 kV — pingelisa	+10	+10
Trafo 35/10 kV — kaod	— 5	— 1,25
Ülekandeliin 10 kV	—10	— 2,5
Trafo 10/0,4 kV — pingelisa	+10	+10
Trafo 10/0,4 kV — kaod	— 5	— 1,25
Madalpingeliin	— 7,5	0
Busteri mõju	+ 4	— 4
Voolutarbija klemmidel	—10	+ 7,5

Võrreldes tabeli 106 andmeid tabeli 103 andmetega, kus näitajad olid toodud ilma busteri kasutamiseta, näeme, et ilma igasuguse energia kvaliteedi halvenemiseta on kõigis liinides pingekaod suurenenud 17,5%-lt kuni 26,5%-ni. See võimaldab tunduval määral kokku hoida juhtmeid ja suurendada elektriülekande ökonoomsust, s. t. lähendada arvutuslikke pingekadusid ökonoomsetele pingekadudele, mispuhul maaelektrijaama projekteeritav liin või töötav võrk töötab kõigis pingeastmetes ökonoomse voolutihedusega.

Tuleb vaadelda ka ±2,5% astmetega reverseeritava busteri kasutatavuse küsimust kõigi võimaluste kasutamise korral, mida annavad pingetmadaldavate trafode väljavõtteklemmid (10 + + 10 = 20%). Leiame maksimaalsed pingekaod

maksimaal- ja minimaalkoormuste kriteeriumite järgi, võttes arvesse, et busteri astmed on $\Delta U_b = 2{,}5\%$.

Valemite (31) ja (32) abil leiame selle juhu kohta:

$$\Sigma\Delta U_1 \geqslant -10 - 2{,}5 - 7{,}5 - 20 + 15;$$

$$\Sigma\Delta U_1 \geqslant -25\%.$$

ja

$$\Sigma\Delta U_{1k} \leqslant 4 \cdot 7{,}5 + 4 \cdot 2{,}5 - 4 \cdot 0 - 4 \cdot 20 + 15;$$

$$\Sigma\Delta U_{1k} \leqslant -25\%.$$

Näeme, et $\pm 2{,}5\%$ astmetega busteri kasutamisega ei saa lahendada küsimust, sest kõigi kolme õhuliini pingekadude summa ei tohi ületada 25%, kõrgepingeliinis aga ei tohi pingekadude summa teise kriteeriumi järgi olla väiksem kui 25% ($\leqslant -25\%$). Madalpingeliini kadudeks aga ei jäägi arvutuslikke pingekadusid.

Kui loobuda pingetmadaldavate trafode väljavõtteklemmide täielikust kasutamisest ja võtta neil pingelisa mitte $10 + 10 = 20\%$ vaid $10 + 5 = 15\%$, siis $\pm 2{,}5\%$ astmetega busteri kasutamisel saame järgmised tulemused:

$$\Sigma\Delta U_1 \geqslant -10 - 2{,}5 - 7{,}5 - 15 + 15;$$

$$\Sigma\Delta U_1 \geqslant -20\%;$$

$$\Sigma\Delta U_{1k} \leqslant 4 \cdot 7{,}5 + 4 \cdot 2{,}5 - 4 \cdot 0 - 4 \cdot 15 + 15;$$

$$\Sigma\Delta U_{1k} \leqslant -5\%.$$

Nende tingimuste järgi võime valida kõigi kolme liini pingekadude summa niisuguse kadude jagunemisega üksikutes liinides, et kõrgepingeliinis ületaksid kaod 5%. Näiteks valime kaod 35 kV ülekandeliinis 7%, 10 kV ülekandeliinis 8% ja madalpingeliinis 5%.

Tabel 107

Pingemuutused maaelektrijaama kolme pingeastmega võrgus, kus kasutatakse $\pm 2{,}5\%$ reguleeritavat busterregulaatorit.

Võrgu element	Koormusrežiim %	
	100	25
Generaator 6 kV	+ 7,5	0
Trafo 6/35 kV — pingelisa	0	0
Trafo 6/35 kV — kaod	— 5	— 1,25
Ülekandeliin 35 kV	— 7 (—2)	— 1,75(—0,5)
Trafo 35/10 kV — pingelisa	+10	+ 10
Trafo 35/10 kV — kaod	— 5	— 1,25
Ülekandeliin 10 kV	— 8 (—3)	— 2,0(—0,75)
Trafo 10/0,4 kV — pingelisa	+ 5	+ 5
Trafo 10/0,4 kV — kaod	— 5	— 1,25
Madalpingeliin	— 5 (—15)	0
Reverseeritava busteri mõju	+ 2,5	— 2,5
Voolutarbija klemmidel	—10	+ 5 (+7,5)

Võrk töötab tarbija klemmidel lubatavate pingemuutustega, kuid ilma et täielikult kasutataks lubatavaid pingemuutuste piire, nagu see on näha tabelist 107.

Täielik kasutamine esineks siis, kui pingekaod kõrgepingeliinis oleksid ainult 5%, ja kaod madalpingevõrgus 15%. Arvud, mis vastavad nimetatud tingimustele, on paigutatud sulgudesse. Selline kadude jagunemine on loomulikult ebaotstarbekas ja $\pm 2{,}5\%$ piiridega reverseeritavat busterit ei saa soovitada vaadeldava maaelektrijaama kolme pingeastmega võrgule.

Kui $\pm 2{,}5\%$ reverseeritava busteri asemel kasutada mittereguleeritavat busterit 5% astmega, mis toimib ainult pinge lisamisele ja on minimaalkoormuste tundidel välja lülitatud (lühistatud), siis saaksime vaadeldava skeemi kohta järgmised tingimused:

$$\Sigma\Delta U_1 \geqslant -10 - 5 - 7{,}5 - 15 + 15;$$

$$\Sigma\Delta U_1 \geqslant -22{,}5\%;$$

$$\Sigma\Delta U_1 \leqslant 4 \cdot 7{,}5 + 4 \cdot 0 - 4 \cdot 0 - 4 \cdot 15 + 15;$$

$$\Sigma\Delta U_{1k} \leqslant -15;$$

s. t. pingekaod 35 kV ülekandeliinis võiks võtta 7%, 10 kV ülekandeliinis — 8% ja madalpingeliinis — 7,5%.

Ülekanne saadakse sel puhul küllaltki ökonoomne. Pingemuutused on toodud tabelis 108.

Tabel 108

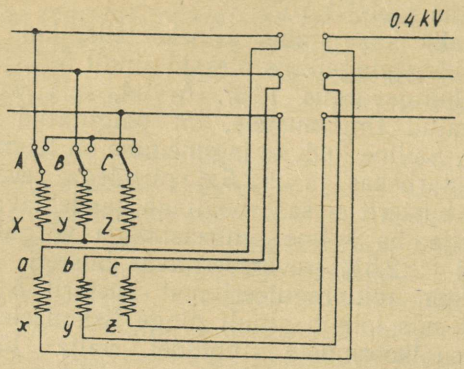
Pingemuutused maaelektrijaama kolme pingeastmega võrgus, kus kasutatakse +5% reguleeritavat mittereverseeritavat busterregulaatorit

Võrgu element	Koormusrežiim %	
	100	25
Generaator 6 kV	+ 7,5	0
Trafo 6/35 kV — pingelisa	0	0
Trafo 6/35 kV — kaod	— 5	— 1,25
Ülekandeliin 35 kV	— 7	— 1,75
Trafo 35/10 kV — pingelisa	+10	+10
Trafo 35/10 kV — kaod	— 5	— 1,25
Ülekandeliin 10 kV	— 8	— 2,0
Trafo 10/0,4 kV — pingelisa	+ 5	+ 5
Trafo 10/0,4 kV — kaod	— 5	— 1,25
Madalpingeliin	— 7,5	0
Mittereverseeritava busteri mõju	+ 5	0
Voolutarbija klemmidel	—10	+ 7,5

Tuleb märkida, et mittereverseeritava busteri kasutamine ei võimalda täielikult pingetmadaldavate trafode kõikides pingeastmetes ära kasutada pingelisa (+10%).

Võrreldes reverseeritavat busterit reguleeritava mittereverseeritava busteriga (tab. 108),

tuleme järeldusele, et ±4% piirides reverseeritav buster, võrreldes +5% ulatuses reguleeritava mittereverseeritava busteriga, võimaldab suurendada maaelektrijaama kolme pingeastmega võrkude kõigis ülekandeliinides arvutuslikke pingekadusid 22,5%-lt kuni 26,5%-ni, s. t. 4%. Kuid mittereguleeritavad busterid on lihtsamad kui reverseeritavad.



Joon. 364. Reguleeritava mittereverseeritava busterregulaatori põhimõtteskeem.

Ühte või teist tüüpi reguleeritava busteri valiku küsimus lahendatakse iga projekteeritava objekti kohta ülaltoodud meetodi järgi võrreldavate variantide läbitöötamisega.

Joonisel 364 on näidatud reguleeritava mittereverseeritava busteri põhimõtteskeem.

Maaelektrijaama nelja järjestikuse pingeastmega võrgu puhul ei saa elektrienergiaga varustamise ökonoomsuse küsimust rahuldavalt lahendada ilma busteri kasutamiseta. Busteri parameetrite valiku meetod sellise elektrijaama jaoks on analoogiline ülaltooduga.

VIIETEISTKÜMNES PEATÜKK

MAANDAMINE JA NULLIMINE MAAELEKTRIJAAMADES, -ALAJAAMADES JA -VÕRKUDES

MAANDAMISE JA NULLIMISE TÄHTSUS

Igal elektriseadmel on peale voolujuhtivate osade rida üksikuid osasid, mis normaalselt ei ole pingestatud, näiteks masinate kered, trafode paagid, aparaatide ja mõõteriistade kestad, kande- ja tugikonstruktsioonid ning -detailid. Kuid avarii korral, saades metallilise ühenduse voolujuhtivate osadega, võivad need osad saada äärmiselt ohtlikeks teeninduspersonalile.

Inimeste kokkupuutumise vältimine seadmete normaalselt pingestamata metallosadega nende täieliku piiramise või isoleeriva materjalikihiga katmise teel on praktiliselt väga raskesti läbiviidav.

Eriti raske on kokkupuutumiste eest kaitsta massiliselt kasutatavaid tarbijaseadmeid. Ainuke vahend, mis võib tagada küllaldast ohutust juhusliku kokkupuutumise vastu metallkerede ja detailidega, mis on rikke tõttu sattunud pinge alla, on nende juba varem teostatud maandamine, mis vähendab nende osade potentsiaali maa suhtes ohutu suuruseni.

Efektiivne kaitsevahend, mis eelistatult on levinud massiliselt kasutatavates seadmetes madalate ekspluatatsioonipingete korral, eriti 380/220 V süsteemis, on nullimine, s. t. elektriseadme normaalselt pingestamata metallosade ühendamine süsteemi maandatud nulljuhtmega.

MAANDUSSEADISTE DEFINITSIOONID

Üleliiduliste eeskirjade alusel kasutatakse maanduste ja nullimise kohta järgmist terminoloogiat.

Maandajaks (maanduselektroodiks) nimetatakse metalljuhet või juhtmete rühma, mis on otseses kokkupuutes maaga. Nende juhtmete ülesandeks on luua elektriline ühendus maaga, mis omab teatud valgumistakistust.

Maandusjuhtmeteks nimetatakse metalljuhtmeid, mis ühendavad elektriseadme maandatavad osad maandajaga.

Maandamine on seadme mingi osa tahtlik ühendamine maandajaga.

Maandusseadiseks nimetatakse maandaja ja maandusjuhtmete kompleksi.

Pingeks maa suhtes nimetatakse elektriseadme mingi osa (juhtmete, sisseseadme, maanduse jne.) ja väljaspool voolude maasse valgumise tsooni asuvate pinnase punktide vahelist pinget. Need punktid asuvad praktiliselt keskendatud maandajast üle 20 m kaugusel ja kontuurmaandajast kaugusel, mis ületab kontuuri diagonaali pikkuse.

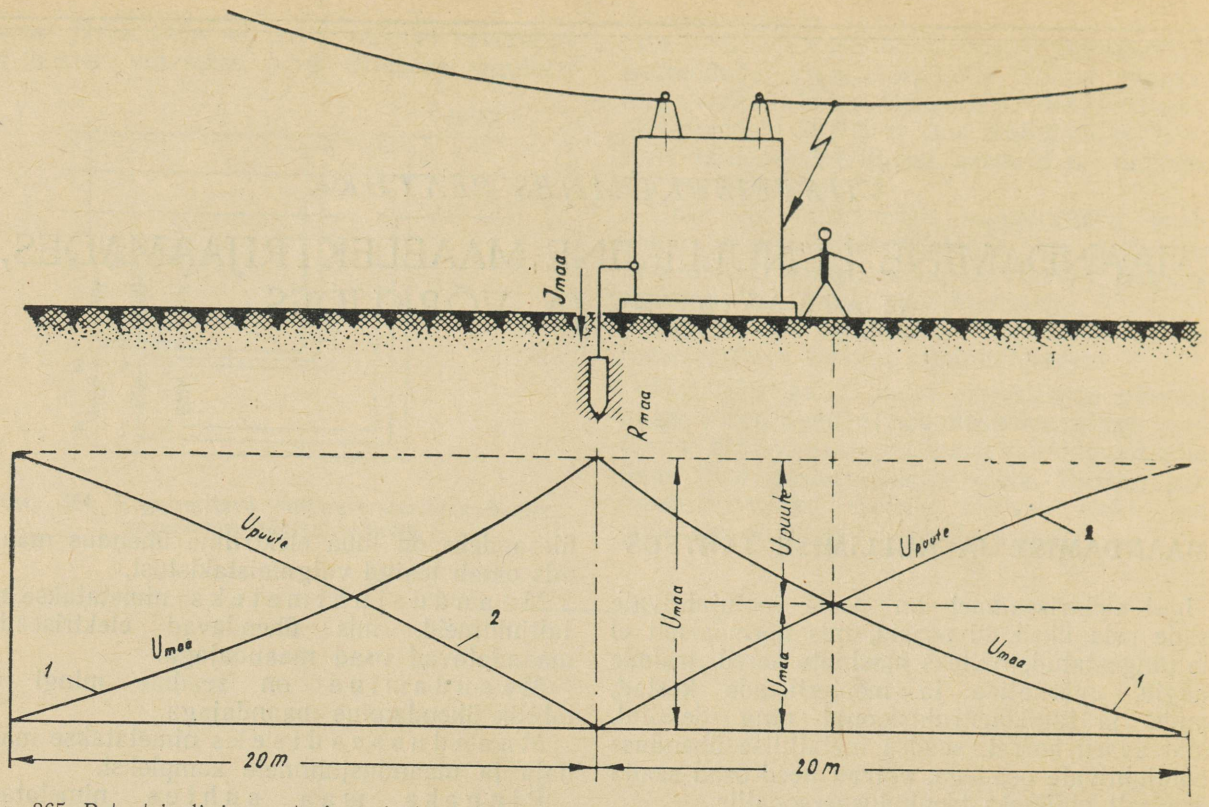
Joonisel 365 on näidatud potentsiaali U_{maa} jagunemine maa suhtes seadme voolujuhtivate osade maaühenduse korral.

Isolatsiooni rikke tõttu puutus elektriaparaadi mähis metalliliselt kokku maandatud kestaga. Maandajat läbib maaühendusvool I_{maa}; pinge selles punktis on $U_{maa} = I_{maa} R_{maa}$. Erinevate punktide potentsiaali jaotumist näitab kõver *1*. Vastavalt ülaltoodud määrangule on potentsiaal 20 m kaugusel maandajast võrdne nulliga.

Maandaja takistuseks R_{maa} (voolu valgumistakistust) nimetatakse maandaja pinge (maa suhtes) ja maandajast maasse kulgeva voolu suhet.

Maandustakistus koosneb maandaja ja maandusjuhtmete takistusest.

Maaühenduseks (lühiseks maaga) nimetatakse pingestatud seadmeosade juhuslikku elektrilist ühendust konstruktsiooniosadega, mis ei ole maast isoleeritud, või ühendust vahetult maaga. Sellise lühise tekkimist masinates ja aparaatides nimetatakse kereühenduseks.



Joon. 365. Potentsiaali ja puutepinge jaotumine maa suhtes elektriseadme voolujuhtiva osa maaühendusel: kõver *1* — potentsiaali jaotumine; kõver *2* — puutepinge jaotumine.

Maaühendusvooluks I_{maa} nimetatakse isolatsiooni normaaltingimuste riknemise tagajärjel tekkivat voolu, mis voolab maasse läbi lühisekoha.

Puutepinge U_{puute} on pinge maaühendusega vooluahelas kahe sellise punkti vahel, millega inimene võib üheaegselt kokku puutuda. Joonisel 365 on näidatud puutepinge kõver *2*.

Sammupingeks nimetatakse maaühendusvoolust põhjustatud pinget kahe pinnase punkti vahel, mis on teineteisest 0,8 m kaugusel.

Töömaandus on elektrivooluahela mingi punkti maandus, mis on vajalik seadme ettenähtud töö tagamiseks nii normaal- kui ka avariitingimustes. Seda teostatakse otseselt või läbi eriaparaatide (kaitsmed, lahendajad, takistid).

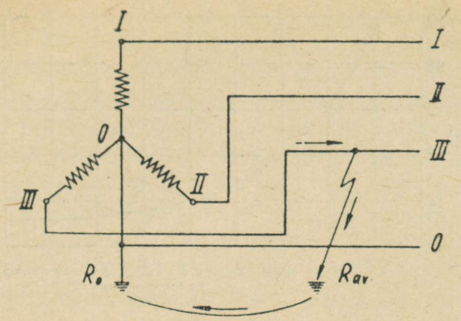
Kaitsemaanduseks nimetatakse pingestatud osadest isoleeritud seadme metallosade ühendamist maandajaga. Seda tehakse ohtlike puute- ja sammupingete kaitseks.

Nullimine on seadme normaaltöö olukorras pingestatud osadest isoleeritud metallosade metalliline ühendamine maandatud null- (või maandatud faasi-) juhtmega. Nullimist kasutatakse seadme kiireks väljalülitamiseks kereühenduse korral.

GENERAATORITE JA TRAFODE NULLPUNKTI MAANDUSTAKISTUS MAANDATUD NULLJUHTMEGA 380/220 V SÜSTEEMIS

Generaatorite ja trafode nullpunkti maandustakistus, mis on lubatav ohutustehnika nõuete kohaselt, leitakse juhu jaoks, kui faasijuhe on katkenud ja langenud maapinnale, kuid ei puutu vahetult kokku maandatud nulljuhtmega või nullitud esemetega. Nullitud esemega kokkupuutumisel läbib avariivool nulljuhet ja ainult väikene osa sellest, sattudes maasse läbi korduvmaanduse, võib läbida nullpunkti maanduse.

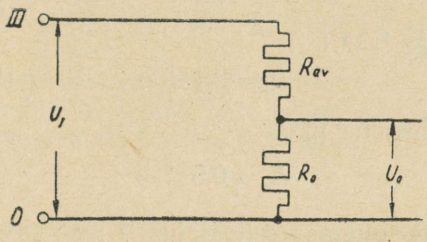
Kui jätta nulljuhtme korduvmaanduste mõju arvestamata, siis ühe faasijuhtme maaühendusel läbib maaühendusvool I_{maa} ahelat, mis on näidatud joonisel 366, nimelt: rikkis faasist (antud juhul III faasist) läbi juhtme ja maa kokkupuutekoha, läbi maa ning edasi läbi generaatori või trafo nullpunkti töömaanduse tagasi nullpunkti.



Joon. 366. Maaühendusvoolu kulgemise skeem 380/220 V võrgus.

Nagu näha aseskeemist (joon. 367), on faasipingele U_f lülitatud järjestikku ühe faasijuhtme avariilise maaühenduse üleminekutakistus R_{av} ja seadme nullpunkti ekspluatatsioonimaanduse takistus R_0:

$$I_{maa} = \frac{U_f}{R_{av} + R_0}. \qquad (33)$$



Joon. 367. Aseskeem maaühendusvoolu kohta.

Teisest küljest saab nullpunkt takistust R_0 läbiva voolu tõttu maa suhtes potentsiaali $U_0 = I_{maa}\, R_0$, millest $I_{maa} = \frac{U_0}{R_0}$; asetades selle avaldise valemisse (33), saame:

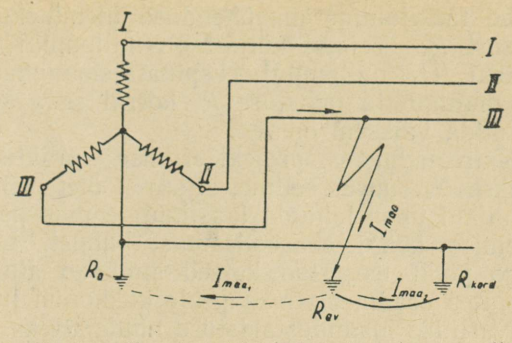
$$\frac{U_0}{R_0} = \frac{U_f}{R_{av} + R_0}$$

ehk

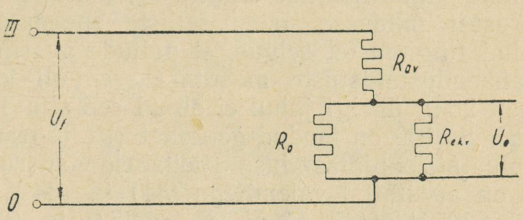
$$R_0 = R_{av} \frac{U_0}{U_f - U_0}. \qquad (34)$$

Vaatleme ülalnimetatud suuruste vahelist sõltuvust, arvestades nulljuhtme korduvmaandust, mille me taandame üldiseks leppeliseks korduvmaanduseks, mis on keskendatud ühte kohta — R_{kord}.

Joonisel 368 ja 369 on näidatud maaühendusvoolu I_{maa} kulgemine ühe faasijuhtme avariilisel maaühendusel.



Joon. 368. Maaühendusvoolu kulgemise skeem nulljuhtme korduvmaanduste korral.



Joon. 369. Korduvmaandustega vooluahela aseskeem.

Sel juhul vool I_{maa} hargneb ja läbib kaks paralleelharu — ekspluatatsioonimaanduse takistuse R_0 ja korduvmaanduse takistuse R_{kord}. Ühe takistuse asemel on meil kaks paralleelselt ühendatud takistust R_0 ja R_{kord}, kusjuures nende ekvivalentne takistus

$$R_{ekv} = \frac{R_0 R_{kord}}{R_0 + R_{kord}}.$$

Arvestades, et nulljuhtme kõigi korduvmaanduste kogutakistus võrdub generaatori või trafo nullpunkti ekspluatatsioonimaanduse takistusega, s. t. $R_0 = R_{kord}$, siis saame:

$$R_{ekv} = \frac{R_0^2}{2R_0} = \frac{R_0}{2}.$$

Asetades valemisse (34) R_0 asemel $\frac{R_0}{2}$, saame võrkude arvutamiseks, arvestades korduvmaandustega, järgmise valemi:

$$R_0 = 2R_{ekv} \frac{U_0}{U_f - U_0}. \qquad (34')$$

Valemites (34) ja (34′) sõltub otsitav ekspluatatsioonimaanduse takistus elektriseadme faasipingest U_f, faasijuhtme avariilisel maaühendusel esinevast nullpunkti potentsiaalist U_0

ja ühe faasijuhtme maaühenduse üleminekutakistusest R_{av}. Teisest küljest on nullpunkti potentsiaal U_o nullpunkti ekspluatatsioonimaanduse muutumatu takistuse R_o korral seda suurem, mida väiksem on R_{av}.

Elektriseadmete projekteerimise praktikas võetakse U_o suurus selline, et see ei ületa 65 V. R_{av} valikul tuleb lähtuda faasijuhtme maa peale langemise kõige ebasoodsamast juhust. Lenenergo poolt teostatud katsed annavad alused töötavates seadmetes maa peale kukkunud juhtme avariilise maandustakistuse hindamiseks.

Katsete korral loodi kõige raskemad avariitingimused, nimelt: 16 mm² ristlõikega ja 30 m pikkune paljasvaskjuhe tallati 75% ulatuses oma pikkusest mudasse. Isegi selliste spetsiaalselt loodud tingimustel selgus, et paljude avariiliste maaühendustakistuste mõõtmisel see oli keskmiselt 25 Ω; ühelgi juhul ei olnud see alla 14 Ω.

Tabelis 109 on toodud generaatorite ja trafode ekspluatatsioonimaanduse takistuse suurused, mis on arvutatud valemitega (34) ja (34′), kui $U_f = 220$ V, $U_o = 65$ V, $R_{av} = 25$ Ω ja $R_{av} = 14$ Ω.

Tabel 109

Generaatorite ja trafode nullpunkti ekspluatatsioonimaanduse takistuse suurused Ω

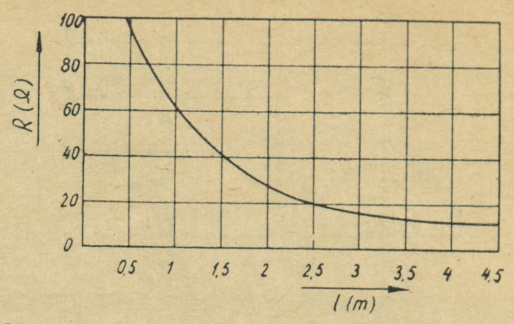
R_{av}	Nulljuhtme korduvmaandused	R_o
14	Mitte arvestatud	5,9
14	Arvestatud	11,8
25	Mitte arvestatud	10,5
25	Arvestatud	21,0

Näeme, et nullpunkti maanduse arvutamisel kõigub maandaja takistus 5,9 kuni 21 Ω piirides.

«Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjades» on tähelepanu juhitud sellele, et kuni 100 kVA võimsusega generaatorite ja trafode nullpunktide maandustakistus ei tohi ületada 10 Ω. Generaatoritel ja trafodel võimsusega üle 100 kVA ei tohi see suurus olla üle 4 Ω.

MAANDUSTE KONSTRUKTSIOON JA ARVUTUS

Maandajatena kasutatakse harilikult 50 mm läbimõõduga 2—3 m pikkusi terastorusid. Pikemate torude kasutamine ei ole otstarbekas, sest seetõttu maandaja valgumistakistus märgatavalt ei vähene. Maandaja valgumistakistuse sõltuvus toru pikkusest on näidatud joonisel 370. Sõltumatult takistusest peab toru olema pikem kui pinnase külmumise sügavus.



Joon. 370. Torumaandaja voolu valgumistakistuse sõltuvus toru pikkusest.

Peale torude kasutatakse maandusseadistes laialdaselt ka teraslinte (latte) paksusega vähemalt 4 mm ja ristlõikega mitte alla 48 mm².

Praktilistes tingimustes kasutatakse maandusseadmete ligikaudseks arvutamiseks järgmisi valemeid:

Toru, läbimõõduga 25—50 mm:

$$R = 0{,}9\,\frac{\rho}{l}.$$

Latt ja traat:

$$R = 2{,}1\,\frac{\rho}{l}.$$

Ümmargune plaat:

$$R = 0{,}5\,\frac{\rho}{l},$$

kus: ρ — pinnase eritakistus Ω m;
l — elektroodide mõõted meetrites, s. t. toru, lati ja traadi pikkus või ümmarguse plaadi läbimõõt.

Pinnase eritakistust on kõige parem määrata maandusmõõtja abil.

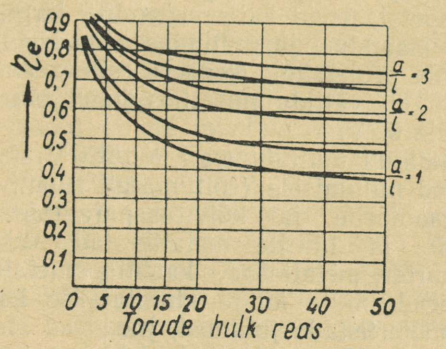
Maandusseadme eelarvutuste jaoks võib pinnase eritakistuse võtta tabelist 110.

Tabel 110

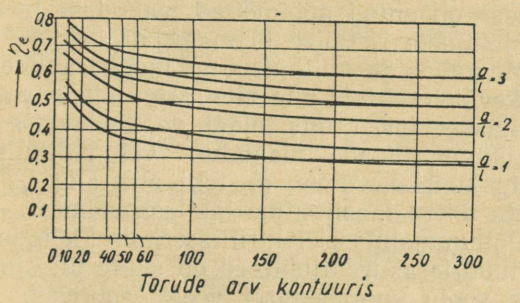
Pinnase eritakistus (10^4 Ω cm)

Pinnase liik	Eritakistus 10^4 Ω cm
Niiske pinnas	1,9
Kuiv pinnas	26
Liiv	37
Savikas liiv	2,5
Liivakas savi	11
Savi	0,2—0,15
Savikivi	18
Mustmullamaa	25
Jõevesi	10
Merevesi	0,01—0,05

Antud kogutakistuse järgi üksikute maandajate arvu leidmisel tuleb võtta arvesse maandaja kasutustegurit (ekraneerimistegurit) η_e. See sõltub üksikute maandajate vahelisest kaugusest, maandajate pikkusest ja nende koguarvust. Kasutustegur võtab arvesse maandajate vastastikust ekraneerimist ja see leitakse joonistel 371—374 toodud kõverate abil. Kõverad annavad kasutusteguri mitmesuguse kujuga maandajate kohta, nimelt: torumaandajate kohta, mis paiknevad reas, arvestamata üksikuid maandajaid ühendavate teraslattide mõju (joon. 371) ja torumaandajate kohta, mis moodustavad kontuuri, arvestamata teraslattide mõju (joon. 372) [44].



Joon. 371. Reas asetsevate torumaandajate kasutustegur, arvestamata ühendavate teraslattide mõju.



Joon. 372. Kontuuri moodustavate torumaandajate kasutustegur, arvestamata ühendavate teraslattide mõju.

Ühenduslattide kasutustegur leitakse reas asetsevate torumaandajate korral joonise 373 järgi ja torumaandajate kontuuri jaoks joonise 374 järgi. Kasutusteguri väärtus on siin toodud torumaandajate omavaheliste kauguste a ja pikkuse l mitmesuguste suhete korral.

Keeruka maandaja torude arv leitakse valemiga:

$$n = \frac{R_1}{R_{maa}\,\eta_e},$$

kus: R_1 — üksiku maandaja takistus Ω;
R_{maa} — maandustakistus Ω;
η_e — kasutustegur.

Toodud valem ei arvesta torumaandajatevaheliste ühenduslattide mõju.

Lattide pikkused meetrites leitakse valemi $l = 1{,}05an$ abil, kus a — torudevaheline kaugus meetrites ja n torude arv.

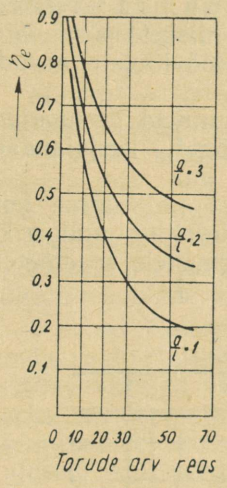
Lattide ja üksikute torude valgumistakistused leitakse ülaltoodud valemite abil:

$$R_t = 0{,}9\frac{\rho}{l} \text{ ja } R_1 = 2{,}1\frac{\rho}{l}$$

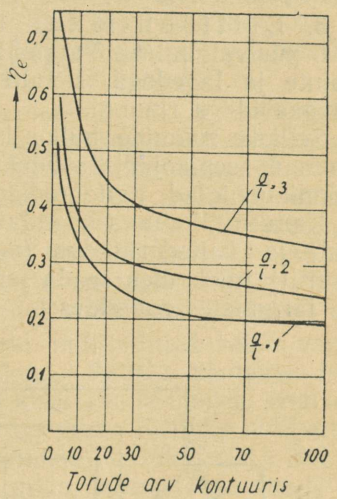
ning torudest ja lattidest koosneva keeruka kontuuri valgumistakistus [44]:

$$R_{maa} = \frac{1}{\frac{\eta_{el}}{R_1} + \frac{n\,\eta_{et}}{R_t}},$$

kus: η_{et} — torumaandajate kasutustegur (võetakse joonise 372 järgi);
η_{el} — lattide kasutustegur, arvestades lattide ja torude vastastikust ekraneerimist (võetakse joonise 374 järgi).



Joon. 373. Reas asetsevate torumaandajate terasest ühenduslattide kasutustegur.



Joon. 374. Torumaandajate kontuuri terasest ühenduslattide kasutustegur.

KAITSEMAANDUSE JA -NULLIMISE KASUTAMINE MITMESUGUSTES HOONETES

Ohu järgi, mis võib tekkida inimese kokkupuutumisel elektriseadme voolujuhtivate osadega või seadme niisuguste osadega, mis normaalselt pole pingestatud, kuid satuvad pinge alla

isolatsiooni läbilöögi, isolatsiooni riknemise või juhtmete pealelangemise korral, liigitatakse ruumid kolme põhirühma.

1. Suurendatud ohuta ruumid: mitte kuumad kuivad köetavad ruumid, temperatuuriga kuni +20°, mittejuhtivast materjalist põrandatega, elektriseadme voolujuhtivate osade läheduses ei ole metallkonstruktsioone ega muid sisseseade maandatud esemeid.

Selliste ruumide hulka kuuluvad linnatüüpi eluruumid, köetavad kontorid, puitpõrandatega lugemistoad ja klubid, ühiselamute eluruumide osa, isoleeritud põrandatega ja ilma metallist sisseseadeta tootmisruumid jm.

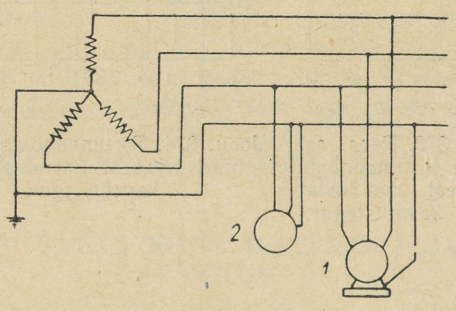
2. Suurendatud ohuga ruumid: voolujuhtivast materjalist põrandatega (betoonist, tellistest, muldpõrandad) ruumid, juhtiva tolmuga, kuivad, kuid mitteköetavad ruumid ja ka tööpinkidega varustatud ruumid.

Niisuguste ruumide hulka kuuluvad eluruumid muldpõrandatega majades, toiduvalmistamiskolletega ruumid ja köögid (ka puitpõrandate korral), köetavad töökojad, käimlad, laod, tuulekojad, remonditehased, masina-traktorijaamade töökojad, autogaraažid, veterinaarlaod jm.

3. Eriti ohtlikud ruumid: niisked, s. t. püsivalt niiske õhuga ja niiskete põrandate, seinte ja lagedega, samuti söövitavate aurude ja gaasidega ruumid.

Selliste ruumide hulka kuuluvad pesumajad, saunad, sepikojad, söödaköögid, karjalaudad, sõnnikuhoidlad, naftahoidlad jm.

Kaitsenullimine (maandatud nulljuhtme korral) ja kaitsemaandus (isoleeritud nullpunkti korral) tuleb üles seada järgmistele seadmetele ja järgmistes ruumides:



Joon. 375. Kaitsenullimise skeem.

1) maa suhtes pingega üle 65 V: eriti ohtlikes ruumides — elektriseadme kõigile pingestamata metallosadele, mis avarii korral võivad saada pingestatud, ja suurendatud ohuga ruumides — vaid metallosadele, mida töö juures haaratakse käega (hoorattad, riistade käepidemed, käsipuud, elektriinstrumendid jm.);

2) maa suhtes pingega üle 150 V nii eriti ohtlikes kui ka suurendatud ohuga ruumides kõigile elektriseadme metallosadele, mis ei ole pingestatud.

Suurendatud ohuta ruumides ei nähta nullimist ja maandamist ette seepärast, et hoida ära massiliselt kasutatavate valgustusseadmete kallinemist ja materjalide liigset kulu.

Nimetatud seadmetes tuleb kasutada sellist aparatuuri, mille juures pole vajadust ülalnimetatud spetsiaalsete kaitsevahendite järgi.

Kõik maandus- ja nullimisseadmed ehitatakse vastavalt projektile. Nendele esitatavaks põhinõudeks on vältida mistahes juhul puutepinge mitte üle 65 V.

Maandatud nulljuhtmega 380/220 V süsteemis kuuluvad nullimisele (sõltumatult ruumi liigist) elektrimootorite ja käivitusaparaatide kered, rosettide ja lülitite metallkestad, valgustusarmatuuride metallosad, kaablite metallkatted, gaasitorud, mille külge kinnitatakse kasutatavate mõõteriistade juhtmed, jne.

Joonisel 375 on toodud elektrimootori *1* ja valgustusseadise *2* metallkerede kaitsenullimise skeem maandatud nulljuhtmega 380/220 V süsteemis.

MAANDUS- JA NULLIMISJUHTMED

«Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjades» on antud põhimõtted maandus- ja nullimisjuhtmete ristlõike ja materjali valiku kohta.

Maandus- ja nullimisvõrgu magistraalide läbilaskevõime ei tohi olla alla 50% võimsaima liini läbilaskevõimest, mis toidab vaadeldavat seadet. Üksikute riistade maandus- või nullimisjuhtmete läbilaskevõime ei tohi olla alla $^1/_3$ seda riista toitva faasijuhtme läbilaskevõimest.

Põllumajanduse elektrifitseerimisel kõige enam levinud teras-traatjuhtmed on suure takistusega, mis voolu suurenemisel veelgi suureneb. Seetõttu soovitatakse valida nulljuhtme läbilaskevõime nii harudes kui ka neljajuhtmelises magistraalis võrdne faasijuhtmete läbilaskevõimega juhtudel, kui faasijuhtmetena kasutatakse teras-traatjuhtmeid.

Nullimisjuhtme ristlõige valitakse harilikult selline, et nulljuhtme ja voolujuhtivate osade vahelisel lühisel, ükskõik missuguses punktis see ka toimuks, tekiks lühisvool, mis ületaks vähemalt 2,5 korda lähima sulavkaitsme nimivoolu või 1,2 korda vastava automaatlüliti väljalülitamisvoolu.

Pikkades liinides, milledel on ka haruühendused, soovitatakse nulljuhtme ristlõike vähen-

damiseks kasutada astmelist kaitset, s. t. kaitsmeid faasijuhtmetes mitte ainult liini alguses, vaid ka haruühenduste kohtades kogu liini pikkusel — vastavalt koormusvoolu vähenemisele.

Nullimisjuhtmete vooluahelas ei tohi olla lahutatavaid seadiseid ega kaitsmeid. Kui on vajalik nulljuhtmetesse üles seada vinnaklüliteid, näiteks perioodilisteks kontrollimisteks, lubatakse kasutada ainult selliseid väljalülitusseadiseid, mis üheaegselt maandus- või nullimisjuhtme väljalülitamisega lülitavad välja ka kõik pingestatud juhtmed.

Elektriseadme iga maandatud element peab olema ühendatud maandajaga või maandusmagistraaljuhtmega eraldi harujuhtme abil. Mingil juhul ei ole lubatav lülitada maandus- (nullimis-) juhtme külge mitu kaitstavat seadmeosa järjestikku.

Maandus- ja nullimisvõrgus tuleb kasutada terasjuhtmeid. See reegel ei kehti liikuvate voolutarbijate maandusjuhtmete kohta, samuti ka mitte kõigi muude juhtude kohta, kui terasjuhtmete kasutamine on seotud konstruktiivsete raskustega.

Maandusseadmete mehaanilise vastupidavuse tagamiseks, eriti nende maasse kaevamisel, kus nad riknevad tugevdatud korrosiooni mõjul, tuleb kinni pidada normide järgi lubatavatest minimaalsetest ristlõigetest. Alljärgnevalt tuuakse andmed maandus- (nullimis- ja null-) juhtmete minimaalsete ristlõigete kohta (mm^2).

Terasjuhe, lahtiselt asetatud	12
Terasjuhe, kontrolliks ligipääsematu, enamasti maasse paigutatud:	
latid, paksusega mitte alla 4 mm	48
juhe, läbimõõduga mitte alla 6 mm	28
Vask-paljasjuhtmed, lahtiselt asetatud	4
Sama, kuid asetatud kanalitesse või kui neil on kaitsekate	1,5
Kaablite või köisjuhtmete vask-maandussooned, milledel on faasisoontega ühine kaitsekate .	1,0
Isoleeritud vaskjuhtmed, lahtiselt asetatud . .	2,5
Isoleeritud vaskjuhtmed valgustusarmatuuri ja valgustus- ning ühenduskarpide nullimiseks .	1,5

Märkus. Kantavad vaskjuhtmed, faasisoonte ristlõikega 4 mm^2 ja rohkem, peavad omama nullsooned, mille ristlõige on $^1/_3$ faasisoonte ristlõikest, kuid mitte alla 4 mm^2. Kantavatel juhtmetel ristlõikega 2,5 mm^2 ja vähem peavad nullsooned olema sama ristlõikega kui voolujuhtivad sooned.

Elu- ja kontoriruumides töö- ja tasandusvoolu jaoks ettenähtud nulljuhtmena tuleb kasutada ainult isoleeritud juhet, kuna aga tootmisruumidesse võib asetada paljasjuhtmeid. Maanduse ehitamisel tuleb erilist tähelepanu pöörata üksikute elementide kaitsele mehaaniliste rikete vastu.

Ruumidesse paigutatud maandusjuhtmed ja latid peavad olema vaatluseks ligipääsetavad ja kaitstud mehaaniliste ning keemiliste rikete vastu.

Niisketes ja söövitavate aurudega ruumides (näiteks loomalautades), kus kasutatakse jõuseadet, tuleb maandusjuhtmed seinale paigaldada nii, et nad oleksid seinast vähemalt 10 mm kaugusel.

Maandusjuhtmeid ühendatakse keevitamise, kokkukruvimise või neetimise teel. Maa-aluste ühenduste jaoks on kõige otstarbekam ülekattekeevisliide, kusjuures soovitatavaks ülekatte pikkuseks on kahekordne lati laius või ümarjuhtme kuuekordne läbimõõt.

Maandusjuhe keevitatakse vahetult maandaja külge. Samuti tuleb keevitamise teel ühendada ka maandusjuhe maandatavate metallkonstruktsioonidega. Maandusjuhtmete ühendamiseks masinate (aparaatide) keredega tuleb kasutada kindlaid poltühendusi. Vibratsiooni esinemisel tuleb võtta tarvitusele abinõud kontakti võimaliku nõrgenemise vastu, kasutades sel puhul kontramutreid, kontraseibe jm.

Kui seade on monteeritud metallkonstruktsioonile, ei tarvitse maandusjuhet ühendada otseselt seadmega sel juhul, kui konstruktsioon ise on maandatud ja kui konstruktsiooni ja seadme vahel on kindel elektriline kontakt.

Mootorite juures kaabli või kummi-voolikjuhtme kasutamisel on parimaks kaitsemaanduse mooduseks kaabli või juhtme neljanda soone kasutamine, mis ühendatakse mootori kerega. Kui võrk on ehitatud terastorus asetsevate juhtmetega, siis võib neid torusid kasutada nullimisjuhtmena sel juhul, kui on tagatud kõigi nende ühenduskohtade kindel elektriline kontakt.

Paiksed isoleeritud nulljuhtmed tuleb varustada eraldusmärkidega. Selleks kaetakse need erilise värviga või kasutatakse nende eristamiseks mõnda muud moodust. Näiteks nulljuhtme kinnitamisel kasutatakse teisekujulisi isoleeraluseid kui need, mida kasutatakse faasijuhtmete puhul. Erikujuliste isoleeraluste puudumisel tuleks null- ja faasijuhtmete isoleeralustele kinnitamisel kasutada teineteisest hästi erinevaid kinnitamisviise. Kogu seadmes, mis on ühendatud ühe ja sama võrguga, tuleb kasutada ühesugust ehitusviisi, mis võimaldab eksimatult eraldada nulljuhet teistest juhtmetest.

Tunduvalt raskem on nöörjuhtme korral nulljuhet ekspluatatsioonil eksimatult eristada. See on aga äärmiselt vajalik, sest kaitsmed ja lülitid tuleb üles seada kindlasti faasijuhtmetesse, mitte aga nulljuhtmesse. Lambipesade monteerimisel ühendatakse aga keerme hülss ainult nulljuhtmega, mitte mingil juhul faasijuhtmega.

380/220 V süsteemis tuleb kasutada kummalgi soonel erivärvilise välise punutisega nöörjuhtmeid või tuleb ühe soone väline punutis üle punuda teisevärvilise paelaga.

Torudesse asetamisel peab nulljuhe olema kergesti äratuntav.

Juhtmete katmiseks ja ühtlasi ka nulljuhtmetena kasutatavad terastorud ühendatakse omavahel keermetatud muhvidega. Peale selle tuleb valmistada kindlad ühendused torude ja harukarpide vahel. Rühmakilpidel tuleb torud ühendada maandavate magistraaljuhtmetega. Lahtise asetusviisi korral kõik torude ühenduskohad keevitatakse.

Ühendus- ja harukarpide juures tuleb toru- ja soomusjuhtmete metallkestade otsad omavahel ühendada bandaažiga kinnitatud traadi abil, seda korralikult kinni jootes. Monteeritud isoleertorude ühendusmuhvid tuleb joota torude külge.

Kõikide juhtmete, terastorude ning ühendus- ja harukarpide metallkestade nullimine või maandamine, mis eelnevalt on omavahel elektriliselt kokku ühendatud, toimub jaotus- (rühma-) kilbil eriklambriga. See eriklamber kinnitatakse juhtmete või torude metallkesta külge ja ühendatakse null- või maandusjuhtmega. Nimetatud klambrit võib ka elektriliselt ühendada kilbi metallkorpusega, mis omakorda peab olema nullitud või maandatud.

MAANDAMINE ÕHULIINIDES JA SISESTUSTES

Madalpinge jaotusvõrgu õhuliinide monteerimisel tuleb nulljuhe asetada kõige alla. See nõue on tingitud sellest, et nulljuhtmest viiakse haruühendused igale tarbijale, faasijuhtmetest aga järjekorras üksikutest faasidest. Peale selle on tänavavalgustuse tsentraliseeritud juhtimise ehitamisel kergem ja lihtsam ühendada valguspunkte nulljuhtme ja spetsiaalse lambijuhtme külge, mis kinnitatakse allapoole nulljuhet.

Nende mõlemate juhtmete asetamine liini põhijuhtmetest kõrgemale on ilmselt ebaotstarbekas, sest lambid ise kinnitatakse kronsteinidele allapoole õhuliini juhtmeid.

Peale toiteallika juures elektrijaamades ja alajaamades vajaliku nulljuhtme töömaanduse ehitatakse võrgu erinevates punktides korduvmaandused. Kui võrgu ulatuses on loomulikke maandajaid eriti väikese voolu valgumistakistusega (maasse asetatud veetorustik, arteesiakaevude torustik, hoonete ja sisseseade metallkonstruktsioonid, millel on kindel ühendus maaga jne.), siis on soovitav neid kasutada pea- või lisa-töömaandustena.

Vahelduvvooluvõrkudes tuleb nulljuhtme korduvmaandamist teostada õhuliinide otstes, nende haruühenduskohtades ja peale selle veel mitte-hargnevates osades iga 1—2 km tagant.

Korduv töömaandus pole nõutav alla 100 m pikkusega haruliinides ja selliste hoonete sisestustes, kus ei kasutata nullimist.

Neil juhtudel, kui toitva generaatori või trafo nullpunkti pea-töömaanduse takistus on üle 10 Ω, peab iga korduvmaandus olema takistusega mitte üle 30 Ω, kui selliste maanduste koguarv võrgus ei ole alla kolme. Kui generaatorite või trafode võimsus on üle 100 kVA, võetakse põhi-töömaanduse takistuseks 4 Ω ja iga korduvmaanduse takistuseks mitte üle 10 Ω.

Korduvmaandused tehakse ka liinides, kus kasutatakse kõrge- ja madalpingejuhtmete koosasetust.

Maandaja asukoha valikul tuleb otsida parima juhtivusega pinnas ja püüda maandaja asetada võimalikult kaitstava eseme lähedale.

Maandusjuhtmed ühendatakse veetorustikuga eelistatult torustiku majasse sisestuse vahetusse lähedusse. Kui seda on raske läbi viia, siis võib ühendusi teostada ka teistes kohtades, kuid tingimusel, et veetorustiku elemendid, mis remondi korral põhjustavad maandusahelas katkestust (veemõõtjad) või takistuse suurenemist (ääriklii-ted), varustatakse vähemalt 16 mm² ristlõikega vasest sildavate ühendustega. Remonttööd või veemõõtja äravõtmine ei tohi katkestada sildavat ühendust.

Gaasi- või kuuma ainet juhtivate torustikkude kasutamine maanduseks ei ole mingil juhul lubatav.

Sisestusliini nulljuhtmes ei tohi olla kaitsmeid ei postil ega hoone sees. Faasijuhtmete kaitsmed ei tarvitse olla postil ainult sel juhul, kui kaitsmed on üles seatud hoonesse, sisestuse vahetusse lähedusse.

Kui liini sisestus toimub tuleohtlikesse hoonetesse (rehed, heinaküünid, söödatagavara hoiukuurid, naftahoidlad jm.), tuleb kaitsmed asetada enne hoonesse sisestust.

Samuti tuleb kaitsmed üles seada enne sisestust sel juhul, kui sisestusliin läbib kergesti süttivast materjalist katusealuse.

Magistraal-õhuliinilt hoonesse sisenevatele haruliinide mastidele tuleb asetada niisugused sulavkaitsmed, mis ei võimalda kaitsme vahetamist pingestatud olukorras, näiteks seenekujulised sulavkaitsmed.

TARBIJATE JAOTUS- JA RÜHMAKILBID

Väljaspool elektrimasinate ruume asetsevad jaotuskilbid, mis on kinnitatud vahetult seinale või moodustavad eraldi seisva paneeli, mis on

ligipääsetavad tagaküljelt, peavad olema kaitstud üldise metallkattega, et vältida voolujuhtivate osadega kokkupuutumist. Kui kilpide esiküljel puuduvad lahtised voolujuhtivad osad, siis ei tarvitse kilbi esikülge kaitsta metallkattega. Jaotus- ja rühmakilbid, mis seatakse üles väljapoole elektrimasinate ruume ja mida teenindatakse esiküljelt, peavad olema kaitstud üldise metallkattega, et vältida voolujuhtivate osadega kokkupuutumist. Kilpide kate tuleb kõigil juhtudel kindlasti nullida.

Kilbid, milledel on vaid korkkaitsmed ja mis seatakse üles suurendatud ohuta ruumidesse sellisele kõrgusele, et nad pole kättesaadavad ilma redeli kasutamiseta, ei vaja kaitsekatet. Sel juhul tuleb kaitsta vaid külgi, et takistada abonentide juurdepääsu voolujuhtivatele osadele.

Suurendatud ohuga ruumides tuleb eriti ohtlikud voolu mittejuhtivad konstruktsiooniosad (vardad, poldid, lülitite metallkatted) esiteks omavahel elektriliselt ühendada ja siis ühendada nullimis- või maandussüsteemiga.

Jaotuspunktides, mis on teraskappides või mis on koostatud malmkastidest, tuleb maandus- või nullimislatt juba sees ühendada aparaadi kattega erikontakti abil.

380/220 V süsteemis varjestamata vinnaklülitite kasutamine pole lubatav; vinnaklülititel peab olema kate ilma käepideme lõiketa (vt. kaheksas peatükk).

Metallkatted on soovitav seespoolsel küljel katta isoleermaterjaliga, näiteks asbestiga. Isoleermaterjalide puudumisel tuleb kate elektriliselt ühendada kilbi metallkonstruktsiooniga, mis on maandatud või nullitud.

Tuleb kasutada portselanist sulavkaitsmeid (kork- või torukaitsmeid). Ribakaitsmete kasutamine ei ole soovitav. Juhul kui neid siiski tuleb kasutada, peab olema täidetud kaks järgmist eeltingimust: 1) kaitsmed tuleb katta isoleerainest, võimaluse korral tulekindlast materjalist kattega ja 2) peab olema võimalik sulavribasid vahetada pingestamata olukorras, asetades selleks vinnaklüliti enne sulavkaitsmeid.

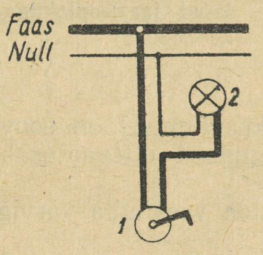
Harilikku tüüpi kaitsmepesasid lubatakse üles seada ainult suurendatud ohuta ruumidesse. Ülejäänud ruumides tuleb kasutada kilpe kork- või torukaitsmetega, mis monteeritakse isoleeralusele.

INSTALLATSIOONIMATERJALID JA VALGUSTUSARMATUUR

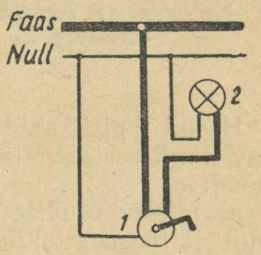
Nagu ülal nimetatud, tuleb lampide vooluahelates kasutatavad ühepooluselised lülitid üles seada faasijuhtmesse. Suurendatud ohuta ruumides (eluruumides, klubides, koolides, haiglates jm.), kus ei ole nõutav lülitite suur mehaaniline tugevus, võidakse kasutada kattega ja isoleerainest käepidemega lüliteid ning neid üles seada harilikul viisil (joon. 376).

Ruumides, kus eraldub ammoniaagiaure, tuleb lülitid ja sulavkaitsmed monteerida kotta või päris õue, kusjuures mõlemal juhul peab nende tüüp vastama välisseadme omale. Sellistesse ruumidesse lubatakse üles seada ainult eritüüpi lüliteid ja sulavkaitsmeid, mis on paigutatud tehaste poolt valmistatavatesse hermeetiliselt suletavatesse kastidesse.

Kui ruum on tuleohtlik, asetatakse lülitid ja kaitsmed väljapoole ruumi; ühendus teostatakse mööda välisseina isolaatoritel ja ruumi sisse viiakse ainult voolutarbijatele vajalikud juhtmed kõige lühemat teed mööda. Suurendatud ohuta ruumides ja neis ruumides, kus vajatakse lülitite suuremat mehaanilist tugevust, tuleb kasutada malmist poolhermeetilisi lüliteid, milledel on lisaklemmid nullimise jaoks.



Joon. 376. Isoleerainest kaanega ja käepidemega lüliti ülesseadmise skeem: *1* — lüliti; *2* — lamp.



Joon. 377. Metallkestaga lüliti ülesseadmise skeem: *1* — lüliti; *2* — lamp.

Lüliti kest tuleb nullida nulljuhtme küljest rulli lähedalt, millest tulevad juhtmed lülitile. Metallkaanega lüliti ülesseadmise skeem on toodud joonisel 377.

Kui lülitil puudub lisaklemm nullimiseks, võib nullimisjuhtme ühendada kaane ühe kruvi külge. Ühenduskoht tuleb vastavalt puhastada, joota ja määrida vaseliiniga kaitseks roostetumise vastu.

Pööratavate käepidemetega lülitid on soovitav monteerida selliselt, et pideme vertikaalne asend vastaks sisselülitatud ja horisontaalne asend väljalülitatud seisule.

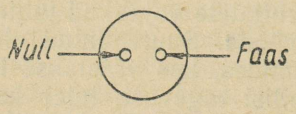
Pistikseadised 380/220 V süsteemis, mis koosnevad pistikupesast ja pistikust, peavad olema valmistatud selliselt, et ei esineks võimalust null- ja faasijuhtme kontaktide vahetamiseks. Pistikseadised, mis on ette nähtud nullimisele kuuluva metallkattega aparaatidele, peavad olema varustatud erikontaktiga. Kontaktid peavad paiknema selliselt, ei ei oleks võimalik vahetada nullimiskontakti voolujuhtmete kontaktidega.

Nullimiseks või maandamiseks ettenähtud

kontakti sisselülitumine peab toimuma varem ja väljalülitumine hiljem kui voolujuhtivatel kontaktidel. Kontaktide ja pistikseadiste konstruktsioon peab vältima voolujuhtivate osadega kokkupuutumise võimaluse ja ohtliku sädeme tekkimise kontaktide sulgumisel või avanemisel.

Pistikupesad, millede sees on sulavkaitsmed (vanad tüübid), pole kasutamiseks kohased, sest sulavribade vahetamisel võidakse kokku puutuda voolujuhtivate osadega.

Pistikupesade metallkestad peavad olema nullimiseks varustatud eriklemmidega.



Joon. 378. Pistikupesa horisontaalse kontaktide asetusega.



Joon. 379. Pistik lühendatud faasikontaktiga.

Harilike pistikseadiste kasutamisel on soovitav tarvitusele võtta järgmised ettevaatusabinõud:

a) pistikupesadele märkida veekindla värviga null- ja faasikontaktid;

b) pistikupesade monteerimisel kontaktide vertikaalse asetuse korral peab ülemine kontakt olema nullkontakt, alumine — faasikontakt. Pistikupesa kontaktide horisontaalse asetuse korral peab vasakpoolne kontakt olema nullkontakt ning parempoolne — faasikontakt (joon. 378).

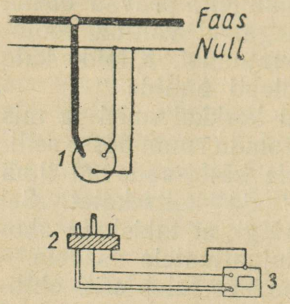
c) soovitav on, et pistiku faasikontakt oleks lühem (joon. 379);

d) ühendatavate tarbijate metallkestade nullimiseks ja maandamiseks ettenähtud erikontaktidega pistikupesade puudumisel on soovitav kasutada kolmepooluselisi pesasid, mis on ette nähtud jõutarbijatele, kasutades seejuures kolmandat vaba kontakti nullimiseks või maandamiseks; pistiku voolujuhtivad kontaktid peavad olema nullimiskontaktist lühemad (joon. 380).

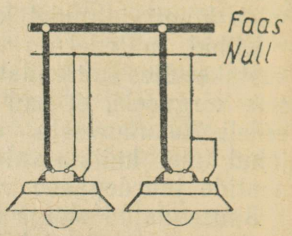
Lambipesadel ühendatakse alati keermestatud hülss võrgu nulljuhtmega, mitte aga faasijuhtmega. Metallist lambipesad peavad olema varustatud kõrge portselanrõngaga, mis täiesti ümbritseks lambi keermestatud metallsoklit. Lülitiga lambipesade kasutamine ei ole soovitav.

Armatuuride kõik metallosad (valgustite, lülitite ja pistikupesade jt. kestad) peavad olema nullitud, kui ei ole välditud nende metallosadega kokkupuutumise võimalus. Nullimiseks kasutatakse armatuurile eraldi kinnitatud tinutatud nullimisklemme.

Nullimisjuhtmed ühendatakse kas vahetult pealiini külge, kust võetakse haruühendus armatuurile, või haruühenduse enda külge. Selleks et nullimis- ja nulljuhtme ühenduskohta ei oleks võimalik juhuslikult vigastada, tuleb ühendus teha põrandalt sellisele kõrgusele, et ühenduskohta poleks põrandalt võimalik puudutada. Nullimisjuhtme ühendamine nulljuhtmega lambi juures ei ole samuti lubatav, sest mingil põhjusel voolujuhtiva nulljuhtme kontakti riknemisel või nulljuhtme riknemisel liini ja lambi vahel saab viimase kest lambi hõõgniidi kaudu maa suhtes täie faasipinge (220 V).



Joon. 380. Pistiku ühendusskeem aparaadi metallkesta nullimisega: *1* — kolmepooluseline pistikupesa; *2* — kolmepooluseline pistik; *3* — voolutarbija (aparaat).



Joon. 381. Metallist valgustusarmatuuri nullimise skeem.

Joonisel 381 on näidatud valgustusarmatuuri õige (vasakpoolne) ja ebaõige (parempoolne) ühendamine liiniga koos nullimisega. Tuleb vältida lampide vahetamist ja armatuuri puhastamist sisselülitatud olukorras.

Töökodades ja muudes tootmisruumides on soovitav kohalikke valgustusallikaid toita madaldatud pingega (mitte üle 40 V) pingetmadaldavatest eritrafodest (nn. katla-trafodest).

Eriti ohtlikes ruumides on keelatud kasutada kantavaid käsilampe pingel, mis ületab 24 V. Käsi-elektritööriistade ja kantavate elektrimootorite kasutamine on nendes ruumides lubatud ainult erandjuhtudel ja kvalifitseeritud personali järelevalvel.

Kui kohalik valgustus saadakse 380/220 V pingega üldisest võrgust, tuleb igale lambile eraldi üles seada seinale lüliti. Töökoha valgustuseks tuleb kasutada ainult isoleerkattega lambipesi. Metallist lambipesi, ka kõrge portselanist rõngaga, ei ole soovitav töökoha valgustamiseks kasutada. Portselanist lambipesa on töökoha valgustamisel otstarbekas kinnitada läbiva nipliga raudtoru külge. Reflektor «Alfa» kinnitatakse spetsiaalse hoidjaga portselanpadruni külge.

MAANDUSE MÕÕTMINE JA KONTROLLIMINE

Elektrijaama, alajaama või liini ekspluatatsiooni andmisel tuleb koos muu tehnilise dokumentatsiooniga esitada ka maandusseadme joonised ja skeemid ning maandustakistuse mõõtmise protokollid.

Elektrijaamades ja toitvates alajaamades tuleb ekspluatatsiooni ajal läbi viia maandustakistuse mõõtmisi ja maanduse ning nullimise välisjuhtmete seisukorra kontrollimisi mitte harvemini kui üks kord aastas. Tarbija-alajaamades ja õhuliinides tuleb nimetatud juhtmeid kontrollida mitte harvemini kui üks kord kolme aasta järel.

Vastavalt «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjadele» tuleb maandustakistust mõõta pinnase kõige väiksema juhtivuse perioodil — ühel aastal suvel, kõige kuivemal ajal, ja teisel aastal talvel, pinnase kõige sügavama külmumise ajal.

Voolu valgumistakistust ja pinnase eritakistust tuleb mõõta mitte alalisvooluga, vaid vahelduvvooluga.

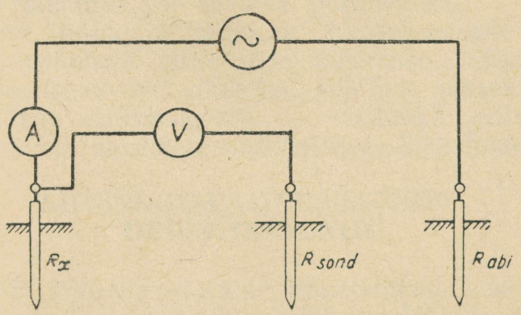
Alalisvooluga mõõtmise korral saadakse ebaõiged mõõtmistulemused maandaja pealispinna ja pinnasega kokkupuutekohtade vahel esineva elektrolüüsi mõjul.

Maandusseadmete projekteerimisel on kõigis arvutusvalemites lähtesuuruseks pinnase eritakistus. See eritakistus määratakse katseliselt spetsiaalse maandustakistusemõõtja MC-07 abil.

Seda maandustakistusemõõtjat kasutatakse valmis maandajate voolu valgumistakistuse kontrollmõõtmiseks nende vastuvõtmisel ja ekspluatatsioonitingimustes.

Maandustakistusemõõtja MC-07 on ehitatud «kolme maa» põhimõttel, s. t. peale maandaja mõõdetava takistuse R_x kasutatakse veel kahte maandust — abimaandust takistusega R_{abi} ja sondi, takistusega R_s (joon. 382). Peamõõteriistaks on ampermeeter (A) ja voltmeeter (V).

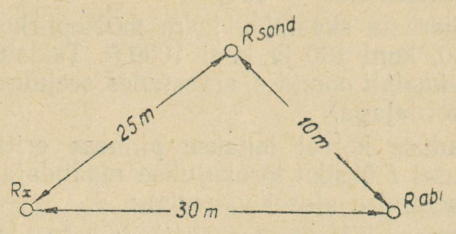
Maandustakistusemõõtjas MC-07 on voolu-



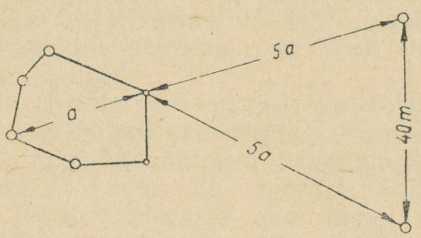
Joon. 382. Voolu valgumistakistuse mõõtmise skeem.

allikaks alalisvoolugeneraator, mis on ehitatud mõõteriista sisse ja mida käitatakse kaanest väljaulatuva vändaga hammasreduktori abil.

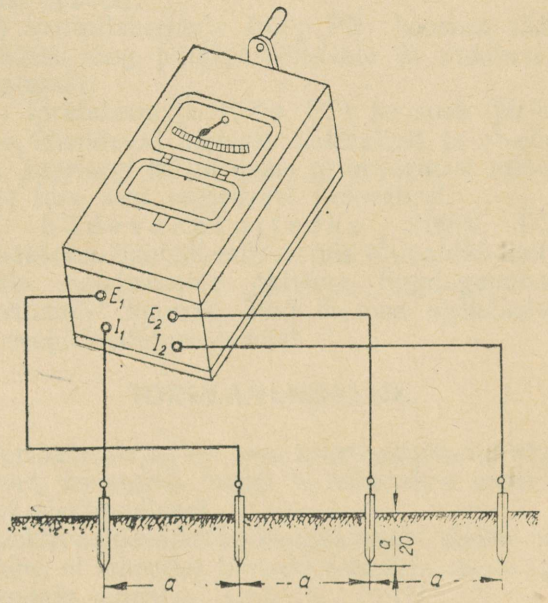
Generaatori võllile on monteeritud kaks sünkroonkommutaatorit, mis muundavad generaatori alalisvoolu vahelduvvooluks maandajate vooluahelate toitmiseks ja edasi vahelduvvoolu alalisvooluks logomeetri toitmiseks. See mõõteriist koosneb magnetelektrilisest ampermeetrist ja voltmeetrist. Logomeetri skaala on graduеeritud oomides.



Joon. 383. Minimaalsed kaugused mõõdetava maandaja, abimaandaja ning sondi vahel.



Joon. 384. Minimaalsed kaugused keeruka kontuurmaandaja, abimaandaja ja sondi vahel.



Joon. 385. Pinnase eritakistuse mõõtmine maandustakistusmõõtja MC-07 abil.

Mõõdetava maandaja, abimaandaja ja sondi omavahelised asendid üksikmaandaja kohta on näidatud joonisel 383 ja kontuurmaandajate kohta joonisel 384. Viimasel on a mõõdetava maandusseadme kontuuri diagonaal.

Abimaandajaks ja sondiks kasutatakse vähemalt 5 mm läbimõõduga terasvardaid, mis taotakse maasse vähemalt 0,5 m sügavusse.

Kui mõõdetava maanduse takistus on kuni 10 Ω, ei tohi abimaanduse takistus ületada 250 Ω ja sondi takistus — 1000 Ω.

Mõõteriista skaalal on kolm mõõtepiirkonda — kuni 10, kuni 100 ja kuni 1000 Ω. Takistus loetakse skaalalt oomides, arvestades seejuures vastava kordajaga.

Vajaduse korral leitakse pinnase eritakistus sügavusel l üksiku torukujulise maandaja takistuse mõõtmise alusel valemiga:

$$\rho = 2{,}73 \frac{Rl}{\lg \frac{4l}{d}} \Omega \text{ cm},$$

kus: R — üksiku torukujulise maandaja takistus, mis mõõdetakse mõõteriistaga;
l — maa sees oleva toruosa pikkus cm;
d — toru läbimõõt cm.

Projektide koostamiseks esialgsete andmete saamiseks, kui puuduvad ekspluatatsioonis olevad maandusseadmed, tehakse järgmine mõõtmine (joon. 385). Uuritaval alal lüüakse maasse mööda sirgjoont 4 varrast, üksteisest a sentimeetri kaugusele (15—20 m) ja sügavusele mitte üle 1/20 a. Mõõteriist MC-07 ühendatakse oma alumiste klemmidega I_1 ja I_2 äärmiste varraste külge ja ülemiste klemmidega E_1 ja E_2 — sisemiste varraste külge. Klemmide E_1 ja I_1 vaheline ühendus, mis tavalistel valgumistakistuste mõõtmistel on suletud, kõrvaldatakse. Vändast pööramisel näitab mõõteriist takistust oomides kahe sisemise varda vahel. Pinnase eritakistus

$$\rho = 2\pi a R \Omega \text{ cm},$$

kus: R — mõõteriista näit Ω;
a — elektroodidevaheline kaugus cm.

KUUETEISTKÜMNES PEATÜKK

MAAELEKTRIJAAMADE, -ALAJAAMADE JA -LIINIDE KAITSE ATMOSFÄÄRILISTE LIIGPINGETE VASTU

MAAELEKTRIVÕRKUDE ISEÄRASUSI

Maaelektrivõrkude üheks peamiseks iseärasuseks on kõrge- ja madalpinge-õhuliinide suhteliselt suur pikkus, võrreldes ülekantava või genereeritava võimsusega. See loob aga head tingimused pikse sagedasteks sisselöökideks maaelektrivõrgu erinevatesse punktidesse. Elektrivõrgu vähene ekraneerimine kõrgete ehituste poolt suurendab samuti pikse sisselöögiohtu.

Pikselahendused on ohtlikud liini mastidele, juhtmetele ja isolaatoritele, elektrijaama ja alajaama kallile sisseseadele ning elanikkonnale. Maaelektrijaamade ja -alajaamade põhiseadmed (generaatorid ja trafod) töötavad harilikult ilma reservita. Seetõttu viib nende rike seadme pikemaks ajaks tööst välja ja jätab abonendid elektrienergiata riknenud seadme kogu remondi ajaks.

Nii projekteerijad kui ka ekspluateerijad peavad pöörama erilist tähelepanu elektrijaamade ja alajaamade põhiseadmete ja -aparatuuri kaitsele atmosfääriliste liigpingete vastu.

Peale elektrijaamade ja alajaamade seadmete kaitse liinis levivate liigpingelainete vastu on suur tähtsus ka elektriseadme kaitsel otseste pikselöökide vastu, mis võivad endaga kaasa tuua tulikahju või seadme purunemise.

Enne liinide, alajaamade, elektrijaamade ja tarbijaseadmete piksekaitse küsimuse lähemat käsitlemist toome siinkohal põhiliste piksekaitseseadiste definitsioonid — vastavalt «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjadele».

LIIGPINGE-KAITSESEADISTE DEFINITSIOONID

1. P i k s e v a r d a k s nimetatakse seadist, mis kaitseb seadmestikku pikse otselöökide eest.

2. P i k s e v a r d a k a i t s e t s o o n on piksevarda poolt pikse otselöökide eest kaitstav ala.

3. P i k s e v a r d a k a i t s e n u r g a k s nimetatakse nurka piksevarda tippu läbiva vertikaaljoone ja joone vahel, mis ühendab piksevarda tippu kaitstava seadmestiku antud punktiga.

4. M a a n d a j a k s (maanduselektroodiks) nimetatakse metallvarrast või latti, mis on vahetus kokkupuutes pinnasega ja loob elektrilise ühenduse maaga.

5. M a a n d u s j u h t m e k s nimetatakse metalljuhet või juhtmete rühma, mis ühendab elektriseadme maandatavad osad maandajaga.

6. L a h e n d a j a on aparaat isolatsiooni kaitseks liigpingete vastu, mis võimaldab teostada ohtliku liigpingelaine lahendamist maasse ja sellele kiiresti järgnevat võrgu normaalse isolatsiooni taastamist maa suhtes (kaarleegi kustutuse seadis):

a) ventiillahendaja (tüüp PB) koosneb sädevahedest ning pingest sõltuvast takistusest;

b) torulahendaja (tüüp PT) koosneb järjestikku ühendatud välisest sädevahest ja sisemisest, kaarleegi mõjul gaasi genereerivast materjalist toru sees asetsevast sädevahest.

7. S ä d e v a h e k a i t s e k s (tüüp ПЗ) nimetatakse õhuvahemikku, mis võimaldab kaitstavale isolatsioonile ohtlikke liigpingelainete lahendamist maasse, kuid ei oma spetsiaalset kaarleegi kustutuse seadist.

TORULAHENDAJAD

Torulahendajad on oma konstruktsioonilt väga lihtsad, koosnedes torust ja selle sisse monteeritud elektroodidest.

Elektroodidevaheline kaugus peab olema niisugune, et lahendus toimuks toru sees, mitte aga lahendaja pinnal.

Torud valmistatakse materjalist, mis kaarleeklahenduse mõjul eraldab gaasi. Kaarleeklahen-

duse ja kaarleegi kustutamise käik on järgmine: atmosfäärilise liigpinge mõjul esineb läbilöök torulahendaja välises ja sisemises sädevahes, õhk sädevahedes ioniseerub ja mööda seda ioniseeritud teed suundub tööstusliku sagedusega ühefaasiline lühisvool maasse. Lühisvoolu kaarleegi kõrge temperatuuri mõjul eraldub toru seintest intensiivselt gaasi, mis suurendab rõhku torus.

Algab tormiline gaaside segunemine ja nende torust väljapuhumine heliga, mis meenutab püssilasku. Seejuures toimub sädevahe deionisatsioon ja lühisvoolu kaarleegi täielik kustutamine.

Kogu selle protsessi kestus on väga lühike (1—2 vahelduvvoolu perioodi), releekaitse või sulavkaitsmed ei jõua selle aja jooksul rakenduda. Torulahendajad katkestavad lühisvoolu kindlates piirides, mis on näidatud lahendajate andmetes.

Üle nende piiride ei garanteerita lahendajate normaalset ja efektiivset tööd. See on tingitud sellest, et ülemist piiri ületava voolu korral võib lahendaja puruneda toru sees eralduvate gaaside ülemäärase rõhu mõjul. Alumisest piirist väiksemate voolude korral on aga gaaside eraldumine niivõrd nõrk, et see võib osutuda mitteküllaldaseks kaarleegi kustutamise tagamiseks. Kustutusprotsess venib liialt pikale ja selle aja jooksul võib rakenduda kaitse, lülitades välja seadme. Seega torulahendajad kaitsevad väikeste lühisvoolude korral seadet küll liigpingete eest, kuid ei kindlusta tarbijatele katkestamatut varustamist elektrienergiaga.

Lahendaja poolt katkestatava voolu ülemine piir peab olema suurem kui lühisvoolu esimese poolperioodi suurim efektiivväärtus aperioodilise komponendi arvestamisel lahendaja ülesseadmise kohas. Lahendaja poolt katkestatava voolu alumine piir ei tohi ületada püsivlühisvoolu väikseimat efektiivväärtust (vt. kümnes peatükk).

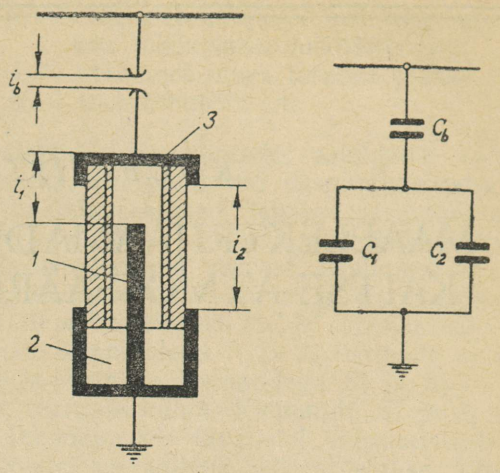
Torulahendajaid liigitatakse elektriseadme nimipinge järgi, mille kaitseks nad on ette nähtud, väljalülitatava voolu piiride järgi ja kaitsekarakteristikute järgi.

Torulahendajaid PT (разрядник трубчатый) toodetakse ülekandeliinide isolatsiooni kaitseaparaatidena atmosfääriliste liigpingete tagajärjel tekkivate rikete vastu. Lahendaja lülitatakse liinijuhtme ja maanduse vahele. Juhtmete ja lahendaja vahel peab olema väline sädevahe.

Välise sädevahe olemasolu kaitseb lahendaja isolatsiooni riknemise eest maasse voolavate voolude mõjul.

Joonisel 386 on näidatud torulahendaja ehitus.

Lahendaja ülesseadmine on õigustatud, kui ta rakendub ja juhib ära liigpingelaine energia

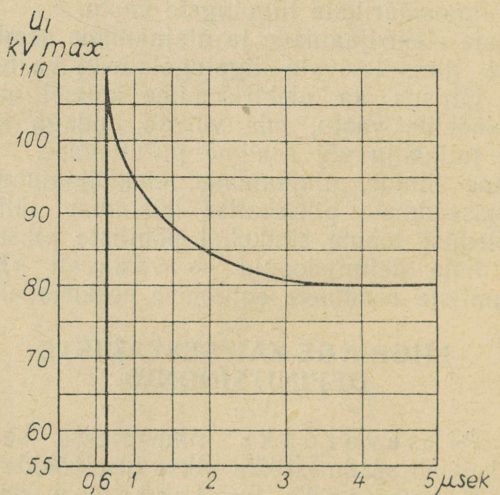


Joon. 386. Torulahendaja ehitus:
i_1 — sisemine sädevahe; i_2 — sädevahe bakeliittoru välispinnal; i_b — väline sädevahe; *1* — varraselektrood; *2* — reservuaar; *3* — otsik; C_1, C_2, C_b — vastavalt sisemise, pealispinna ja välise sädevahede mahtuvused.

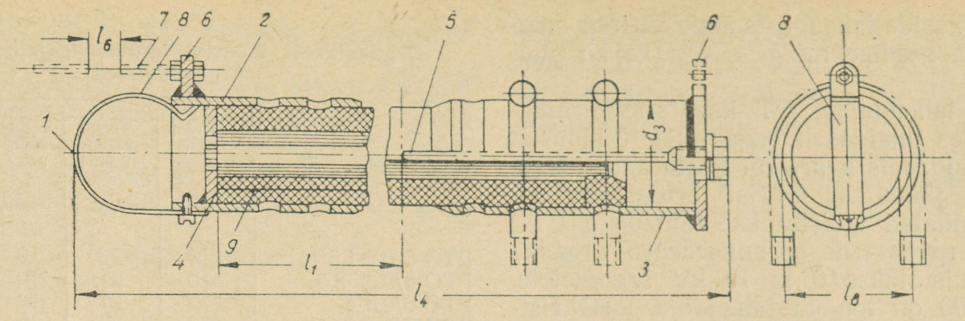
enne, kui laine pinge saavutab liini isolatsioonile ohtliku väärtuse. Lahendaja ei tohi rakenduda aga kommutatsiooni-liigpingete korral, mis pole ohtlikud liini isolatsioonile.

Lahendaja selline reguleerimine saadakse sisemise ja välise sädevahe kindlate suuruste korral ja ka lahendaja õige valikuga. Lahendaja parameetrid valitakse kaitstava objekti nimipinge, väljalülitatavate voolude diapasooni ja lahendaja karakteristikute järgi.

«Liigpingekaitse juhendite» järgi tuleb lahendaja valida vastavalt seadmes kasutatava isolatsiooni läbilöögi karakteristikule ja lahendajate lahenduskarakteristikule.



Joon. 387. Lahendaja PT-10/0,5—7 kaitsekarakteristik.



Joon. 388. Torulahendaja PT.

Lahendajad peavad omama 25 kuni 40 protsendise tagavara; see tagavara määratakse protsentides ordinaattelge mööda minimaalse kauguse järgi lahendaja karakteristiku ja isolatsiooni karakteristiku vastavate punktide vahel, mis on koostatud lahenduspingete minimaalselt võimalike väärtuste järgi.

Pinge- ja voolupiirid antakse lahendaja nomenklatuurses tähistuses tähtede PT järel, kusjuures lugejas näidatakse seadme nimipinge kilovoltides ja nimetajas väljalülitatavate voolude piirid kiloamprites.

Torulahendaja kaitsekarakteristikuks on pingeaja karakteristik, s. t. lahendaja rakendumisel suurima hetkelise pinge sõltuvus ajast (liigpinge impulsi algusest kuni lahendusmomendini mikrosekundites).

Lahendaja kaitsekarakteristik arvestab ka välist kaitsevahet, kuid see antakse arvestamata maandustakistuses ja mõlemapoolsetes ühendusjuhtmetes esinevat pingelangu.

Joonisel 387 on toodud lahendajate PT-10/0,5-7 kaitsekarakteristik pluss või miinus 1,5/40 μ sec laine korral.

Joonisel 388 on näidatud torulahendaja ehitus. Fiiber-bakeliittoru kustutab kaarleegi, mis tekib elektroodide vahel pärast lahendust.

Toru ühe otsa külge on kinnitatud metallotsik *2* (lahtine ots) ja teise otsa külge — metallreservuaar *3* (suletud ots). Avatud otsas on spetsiaalne näitaja *8*, mis kaldub lahendaja rakendumisel tagasi. Sisemine sädevahe l_1 kujuneb lahtise otsa plaatelektroodi *4* ja varraselektroodi *5* vahel.

Varraselektrood asetseb fiibrist torus ja kruvitakse reservuaari põhja külge. Kui varraselektroodi pind on põlenud, asendatakse see uuega. Plaatelektrood surutakse fiiber-bakeliittoru otsa ja keevitatakse lahtise otsiku külge.

Elektroodi *4* keskel on tähekujuline ava gaaside väljumiseks. Otsiku külge keevitatud kõrvakese *6* abil kinnitatakse varras *7*, mis on üheks välise sädevahe elektroodiks. Varda pikkus peab olema 6 ja 10 kV lahendajate korral vähemalt 150 mm ja 35 kV lahendajatel vähemalt 170 mm.

Rakendumise näitajaks *8* on metall-lint, mis on kinnitatud ühe otsaga lahendaja otsiku külge. Lindi teine ots on hariliku asendi korral painutatud otsiku sisse. Lahendaja rakendumisel paisatakse see näitaja ots väljuvate gaaside mõjul välja.

Tabelis 111 on toodud joonisel 388 näidatud lahendaja põhimõõted.

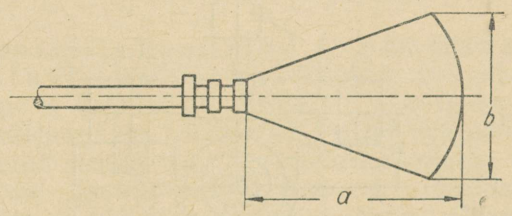
Lahendajatele PT-6 ja PT-10 küllaldaselt väikeste lahenduspingete saamiseks kasutatakse õhukesest metall-lindist lisaelektroodi *9* (joon. 388), mis asetseb fiibrist toru peale keritud bakeliitpaberi vahel.

Tabel 111

Lahendaja PT mõõted (joonise 388 juurde)

Lahendaja tüüp	Mõõted mm				
	l_4	l_1	l_6	l_8	d_3
PT-6/0,3—7 . . .	520	130	8— 15	51,5	44,5
PT-10/0,5—7 . . .	520	130	20	51,5	44,5
PT-35/0,4—3 . . .	720	175	60—100	43,5	35

Lahendajad kinnitatakse suletud otsaga (reservuaariga) kandekonstruktsiooni külge.



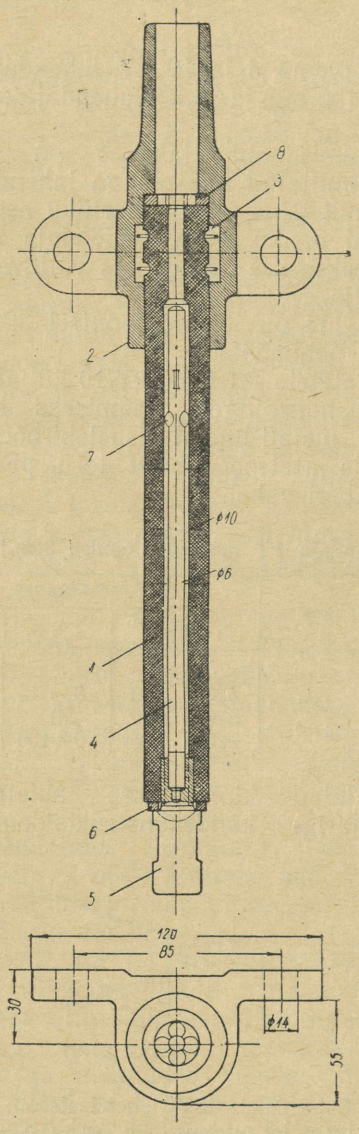
Joon. 389. Lahendajate PT lahendustsoon: 6 kV pinge korral $a = 1{,}5$ m, $b = 1$ m; 35 kV pinge korral $a = 2{,}5$ m, $b = 1{,}5$ m.

Joonisel 389 on toodud torulahendajate lahendustsoonid.

Üksikute faaside lahendustsoonid ei tohi omavahel ega ka seadme mingi osaga kokku puutuda.

Peale torulahendajate PT kasutatakse maaelektrivõrkudes laialdaselt orgaanilisest klaasist torulahendajaid, mis kaarleegi kustutamise efektiivsuselt ei jää maha fiibrist torulahendajast. Need lahendajad tähistatakse tähtedega PTO (разрядник трубчатый органического стекла) ja neid valmistatakse 6 ja 10 kV seadmetele.

Joonisel 390 on toodud lahendaja PTO ristlõige ja tabelis 112 lahendaja põhiandmed.



Joon. 390. Orgaanilisest klaasist torulahendaja PTO pingele 6—10 kV:
1 — orgaanilisest klaasist toru; *2* — raudklambrid; *3* — tsementtäide; *4* — terasest varraselektrood; *5* — kork; *6* — tekstoliitseib; *7* — tsentreerivad nukid; *8* — terasest plaadikujuline tähtelektrood.

Tabel 112

Orgaanilisest klaasist torulahendajate tehnilised põhiandmed

Lahendaja tüüp	Lahendaja kogupikkus *L* mm	Toru välisläbimõõt *d* mm	Väline sädevahe mm	Lahenduspinge sagedusel 50 Hz kV ef.	
				kuiv	märg
PTO-6/0,2-1,5	370	22	10	39	29
PTO-6/0,35-2,5	370	27	10	39	29
PTO-6/0,5-4	370	27	10	39	29
PTO-6/1-6	370	30	10	39	29
PTO-10/0,15-1,2	410	27	15	43	34
PTO-10/0,4-3,5	410	27	15	43	34
PTO-10/1-6	410	30	15	43	34

VENTIILLAHENDAJAD

Seadmestiku ja masinate kõige täiuslikumaks kaitseks liigpingete vastu on ventiillahendajad. Ventiillahendajate peaelementideks on töötakistus ja sädevahe. Lahendajate põhiosaks on viliitkettad, millede pinge-voolu karakteristik on ebalineaarne ja millede takistus ketastele rakendatava pinge suurenemisel järsult väheneb. Elektriseadme isolatsioonile ohtliku liigpinge tekkimisel esineb sädevahes ülelöök ja viliitkettad lülituvad ülelöögi momendil võrgu ja maanduse vahele.

Liigpingeimpulsiga sädevahe läbilöömisele järgnev tööstusliku sagedusega lühisvool katkestatakse sädevahes hetkel, mil vool läbib esimest korda nullväärtuse. Lühisvoolu piiravad viliitkettad. Viliitketaste takistus suureneb pärast sädevahe läbilöömist järsult, see lahendajat läbiv vool põhjustab elektrivõrgu juhtmete lainetakistuses ja piksekanali takistuses pingelangu.

Lühisvoolu katkestamisprotsessi kergendamiseks on lahendaja sädevahe koostatud üksikutest järjestikku ühendatud sädevahedest. Selleks et üksikute sädevahede osavõtt läbilöögist ja lühisvoolu katkestamisest oleks ühtlane, kasutatakse ventiillahendajate mahtuvuslikku (loomulikku) või oomilist(sund-) šunteerimist.

Lahendajate valikul tuleb võrrelda nende pinge-aja ja pinge-voolu karakteristikuid kaitstava isolatsiooni karakteristikuga. Kaitstava seadme maksimaalne tööpinge ei tohi mingil juhul ületada lahendajatele lubatavaid suurimaid pingeid. Elektritööstuse tehaste poolt valmistatavad ventiillahendajad on sobivad üles seada nii siseruumidesse kui ka välja.

Viliitkettad ja sädevahed suletakse atmosfääriliste mõjude eest kaitsmiseks hermeetilisse portselankesta.

Oma ülesande järgi liigitatakse ventiillahendajad kolme põhirühma: elektrijaama, alajaama

ja pöörlevate masinate kaitseks ettenähtud lahendajad.

Elektrijaama ventiillahendajad PBC (разрядник вентильный станционный) nimipingele kuni 20 kV (kaasa arvatud) koosnevad ühest elemendist. 35 kV ja kõrgema pinge korral koostatakse need kahest või rohkemast standardelemendist.

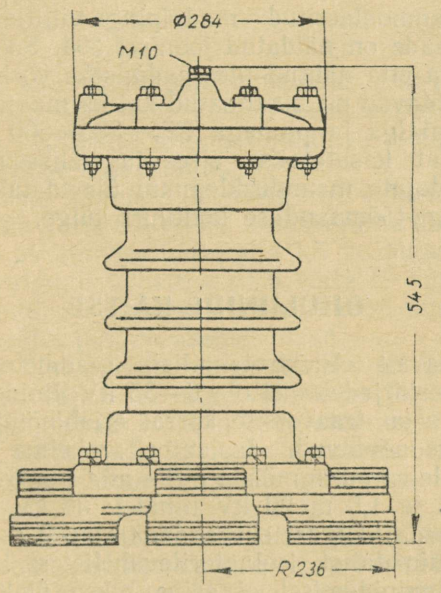
Tabelis 113 on toodud lahendajate PBC tehnilised põhiandmed.

Tabel 113

Lahendajate PBC tehnilised põhiandmed

Lahendaja	Nimipinge kV	Suurim lubatav pinge kV ef.	Kõrgus mm	Lahendaja aluse raadius mm
PBC-6 . . .	6	7,6	475	236
PBC-10 . . .	10	12,8	545	236
PBC-20 . . .	20	25	820	236
PBC-35 . . .	35	42	1320	236

Joonisel 391 on näidatud lahendaja PBC-10 üldvaade.



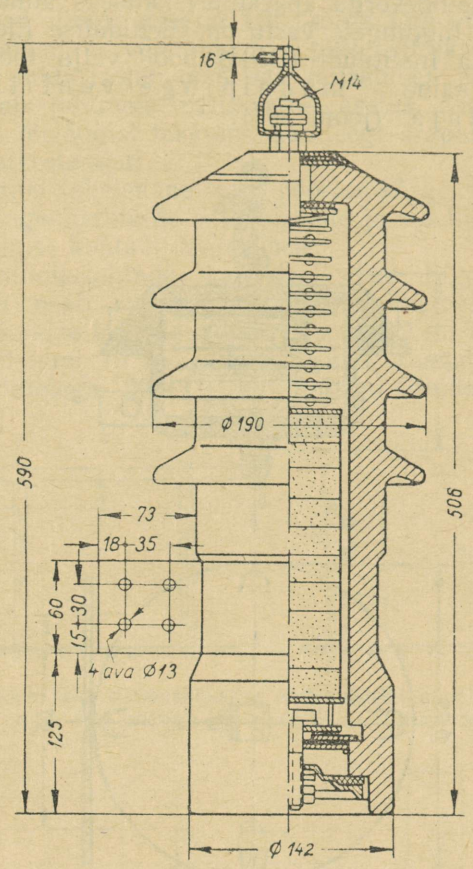
Joon. 391. Ventiillahendaja PBC-10.

Liinijuhe ühendatakse lahendaja katte külge poldiga (M-10).

Lahendaja PBC iga element koosneb viliitketastest ja sädevahedest, mis on šunteeritud ebalineaarsete takistustega.

Alajaama ventiillahendajad PBП on elektrijaama lahendajatega PBC võrreldes lihtsama konstruktsiooniga ja neil ei ole šunteerivaid takistusi. Lahendajad PBП kinnitatakse mastide külge klambritega või riputatakse alajaama liinijuhtmete külge.

Joonisel 392 on toodud alajaama ventiillahendaja (PBП-10) pingele 10 kV. Lahendajad PBП valmistatakse pingele 3, 6 ja 10 kV.

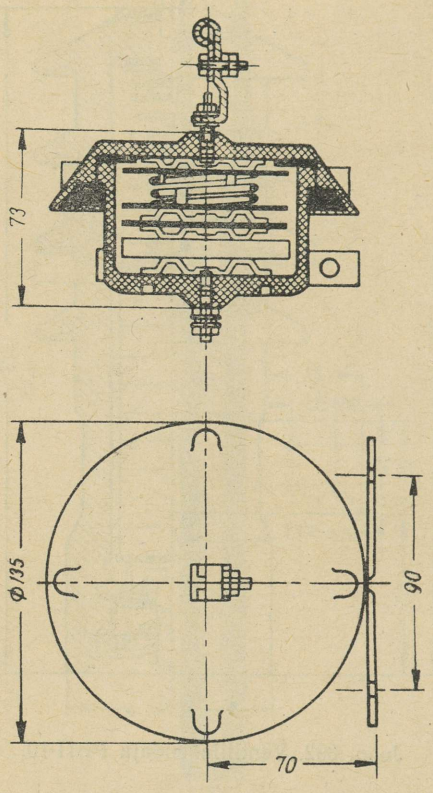


Joon. 392. Ventiillahendaja PBП-10.

Ventiillahendajad pöörlevate masinate kaitseks PBBM on ette nähtud pingele 3, 6 ja 10 kV. Erinevalt teistest ventiillahendajatest on lahendajad PBBM ette nähtud peamiselt elektrijaama generaatorite kaitseks, mis töötavad õhuliinidele ja nad on madaldatud impulss- ja jääkpingega. Impulssteguri vähendamine saavutatakse kondensaatorite kasutamisega, millega šunteeritakse osa sädevahesid ja viliitkettaid. Lahendajad PBBM on oma väliskuju poolest sarnased lahendajatele PBC, kuid kondensaatorite olemasolu tõttu on nende kõrgus suurem. Viliitlahendajate PBBM kõrgused on toodud järgnevas tabelis.

Lahendaja	Kõrgus mm
PBBM-3	475
PBBM-6	545
PBBM-10	670

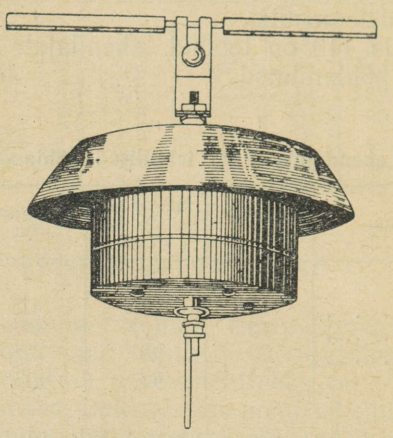
Madalpingegeneraatorite, elektrimootorite ja madalpingevõrgu aparatuuri kaitseks atmosfääriliste liigpingete vastu on Üleliidulise Elektrotehnika Instituudi (ВЭИ) poolt välja töötatud spetsiaalne madalpinge-ventiillahendaja (joon. 393).



Joon. 393. Madalpinge-ventiillahendaja konstruktsioon.

Madalpinge-ventiillahendaja koosneb ühest sädevahest ja ühest viliitkettast. Sädevahena kasutatakse harilikku tüüpi üksikut sädevahet, mõõdetega 13,5×65 mm. Elektroodid on valgevasest ja elektroodide vahel asetseb mikaniitseib. Viliitketta mõõted on 10 × 75 mm.

Sädevahe ja viliitketas on ümbritsetud hermeetiliselt suletava plastmassist kestaga. Kest koosneb kerest ja kaanest, mis on omavahel kokku kruvitud. Elektroodide välisühendused on pressitud plastmassisse. Hermeetilisus, mis on vajalik sädevahe ja viliitketta omaduste säilitamiseks konstantsena, saadakse kahekordse tihendamisega: kummist vahetükiga ja spetsiaalse kompaundikihiga. Lahendaja on varustatud klambriga ühte külge pidi kinnitamiseks, kuid teda võib ka riputada liinijuhtme külge ülemise klemmiga.



Joon. 394. Madalpinge-viliitlahendaja.

Kokkumonteeritud madalpinge-viliitlahendaja välisvaade on näidatud joonisel 394. See lahendaja on ette nähtud ülesseadmiseks võrkudesse, mis töötavad nii maandatud kui ka maandamata nullpunktiga ja pingega 220—380—500 V. Lahendajat kasutatakse sise- ja välisseadmetes. Lahendajate maandusklemmid ühendatakse madalpinge-töömaanduse kontuuri külge.

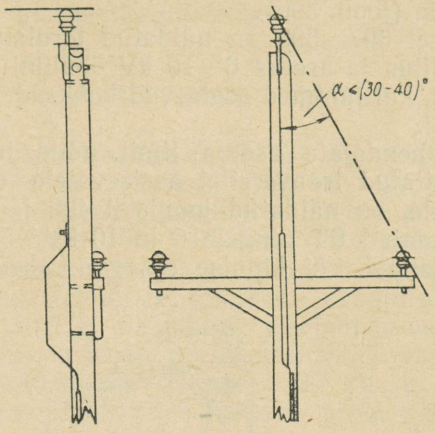
ÕHULIINIDE KAITSE

Vastavalt «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjadele» ei ole 6—35 kV liinides puitmastide ja -traaversite korral eriabinõud piksekaitseks nõutavad. Isolaatoritevaheline kaugus peab olema puitu mööda mitte alla 1 m 6—10 kV liinidel ja 1,5 m 20 kV liinidel; 35 kV liinidel tuleb seda kaugust suurendada kuni 3 m.

Ülalnimetatud isolaatoritevahelistest kaugustest kinnipidamisel ei esine pikse ülelöömisel liinijuhtmete vahel faasidevahelise lühise tekkimisel töövoolu kaarleegi kujunemist. Pikse ülelöögi kaarleek kustub peaaegu hetkeliselt ja liinis taastub normaalne pinge ilma tarbijate toitmist katkestamata. Ka puitu võib kasutada liini piksekaitse isolatsiooniks, kui liinis on kasutusel süsteem «kaks juhet — maa».

6—10 kV õhuliinide efektiivseks kaitsevahendiks pikse liigpinge vastu on ühe liinijuhtme kasutamine kaitsejuhtmena. See juhe paigutatakse teiste juhtmete kohale ja ta loob kaitsetsooni

otsese pikselöögi vastu. Ülemine juhe on peale oma otsese ülesande ka kaitsetrossiks, sest selle juhtme isolaatorite vardad maandatakse kõik hoolikalt. Joonisel 395 on näidatud juhtmete paigutus, kus ülemine on kaitsejuhtmeks. Ripp-isolaatorite kasutamisel on soovitav ülemine juhe monteerida tugiisolaatoritele.



Joon. 395. Juhtmete asetus mastil, kus ülemine juhe on kaitsejuhtmeks.

Seal, kus maandusjuhe möödub puit-traaversist, tuleb see juhe postist eemale painutada. Sellega välditakse alumiste juhtmete isolatsiooni nõrgenemist maa suhtes.

Alumiste juhtmete ja masti telje vaheline kaugus tuleb võtta 6—10 kV liinides mitte alla 1 m, 20—35 kV liinides mitte alla 1,5 m. Maandajate voolu valgumistakistuse võib võtta 10 kuni 20Ω. Kaitsejuhe pole rakendatav võrkudes, kus kasutatakse ühe juhtme asemel maad.

Seda liiki piksekaitse puuduseks on pikemate mastide vajadus, mis võimaldaksid mastide tippu paigutada juhet nii, et seejuures säiluks vajalik kaitsenurk. Peale selle suureneb metallikulu kaitsejuhtme konksude maanduse valmistamiseks.

Maaelektriliinide piksekaitse efektiivseks abinõuks on automaatse korduvlülitamise (AKL) juurutamine. Automaatset korduvlülitamist tuleb kasutada kõigis õhuliinides, mis on varustatud automaatse ajamiga võimsuslülititega, näiteks ajamitega ПРА.

Atmosfääriliste liigpingete tõttu tekib isolatsiooni läbilöögil kaarleek ja ühe- või kahefaasiline lühis, mille tagajärjel toimub liini väljalülitamine. Automaatsed korduvlülitusseadised, mis toimivad vedru või raskuse mõjul, lülitavad liini umbes 0,5 sekundi pärast uuesti sisse. Selle aja jooksul sädevahe deioniseerub täielikult, isolatsiooni vastupidavus taastub ja lühiajaline katkestus möödub tarbijatele peaaegu märkamatult.

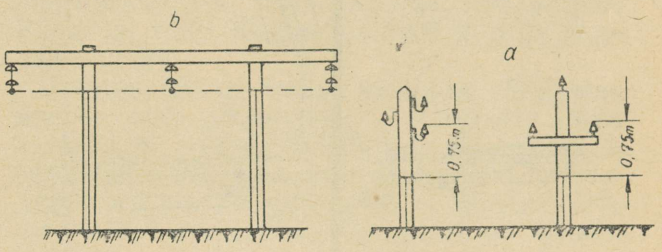
Häid tulemusi annab ka mitmekordse toimega kõrgepingekaitsmete laialdane juurutamine.

Automaatse korduvlülitamise kasutamine on väga efektiivne ka nõrga isolatsiooniga liinide korral, millede hulka kuuluvad maarajoonides levinud liinid, kus kasutatakse konksudega isolaatoreid.

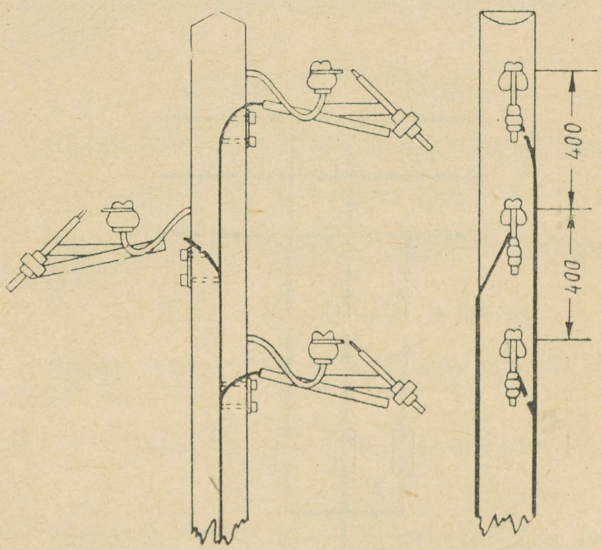
Need liinid, mis on küll kõige lihtsamad ja odavamad, ei võimalda aga piksekaitseks kasutada puidu isolatsiooni oga kaitsejuhet. Ka raskendab juhtmete vertikaalne asetus äärmiselt pikse ülelöögist tekkinud kaarleegi ärapuhumist ja katkestamist.

Erilist tähelepanu tuleb pöörata kõrge- ja madalpinge-õhuliinide omavaheliste ja sideliinidega ristumise kohtade kaitsmisele.

Ristumiskohtade kaitseks pikse liigpingete vastu peab ristuvate liinide juhtmetevaheline vertikaalne kaugus olema vähemalt 2 m, kui ristuvad kuni 10 kV pingega liinid omavahel või sideliinidega. 20—110 kV pingega liinide ristu-

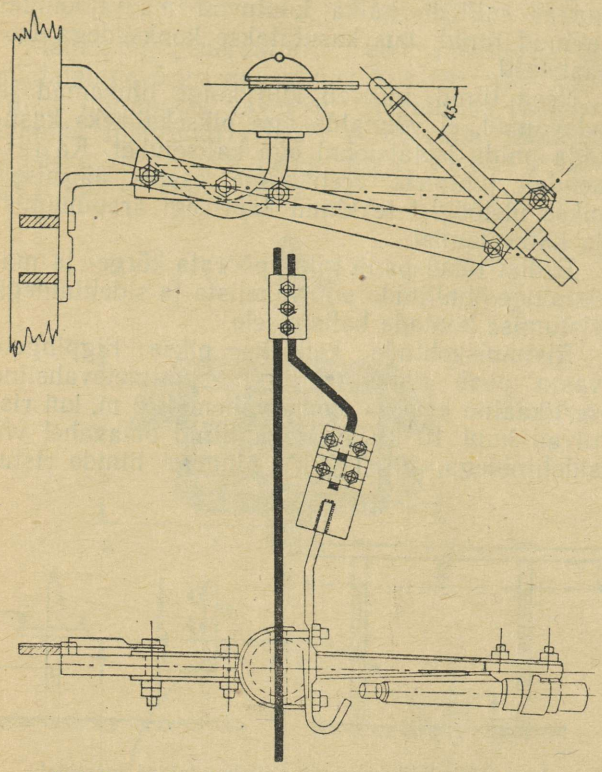


Joon. 396. Sädevahekaitse ülekandeliini mastidel: *a* — ühe postiga mastidel; *b* — П-mastidel.



Joon. 397. Torulahendajate paigutus õhuliini mastidel, kui juhtmed asetsevad konksudega isolaatoritel.

misel omavahel, madalama pingega liinidega või sideliinidega tuleb ristuvate liinide juhtmetevahelist vertikaalset kaugust suurendada kuni 3 meetrini. Puitmastidele, mis piiravad ristumisvisangut, tuleb üles seada torulahendajad, kui liini pinge on 20 kV ja kõrgem. Juhul kui liini pinge on alla 20 kV, kasutatakse torulahendajate asemel sädevahekaitseid.



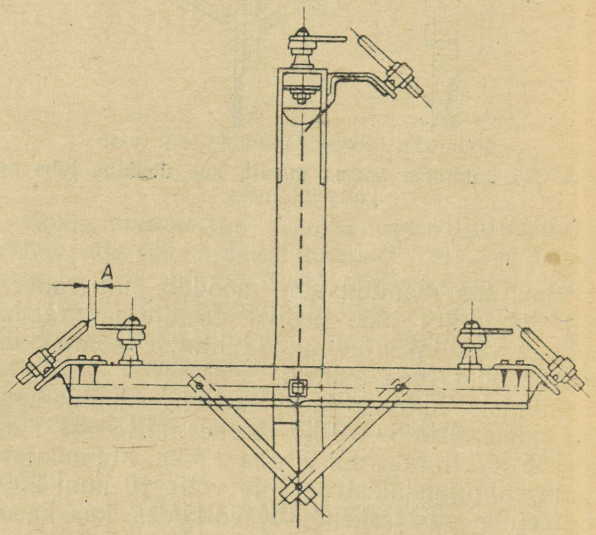
Joon. 398. Torulahendaja paigutus konksudega kinnitatud isolaatoritega liinil.

Torulahendajate maandustakistus võetakse 15Ω ja sädevahekaitsetel 25Ω. Need sädevahekaitsed saadakse maandusjuhtmete abil, mis seatakse üles 0,75 m kaugusele alumise juhtme nivoost (ühe postiga mastide korral). П-mastide korral seatakse maandusjuhtmed faasijuhtmete kõrgusele (joon. 396).

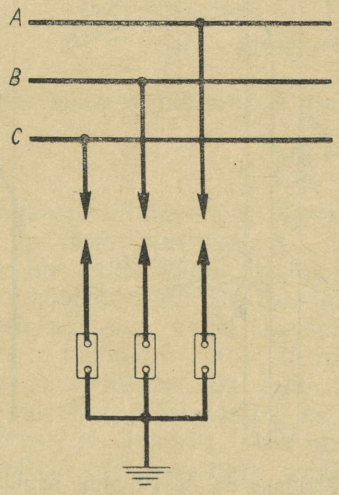
Joonisel 397—399 on näidatud torulahendaja PTO lülitus ja asetus 6—10 kV õhuliini kandemastidel, kui juhtmed asetsevad konksudega isolaatoritel.

Torulahendajate asetus liinil, mille juhtmed on kinnitatud traaversitel asetsevatele tugiisolaatoritele, on näidatud joonistel 400 ja 401.

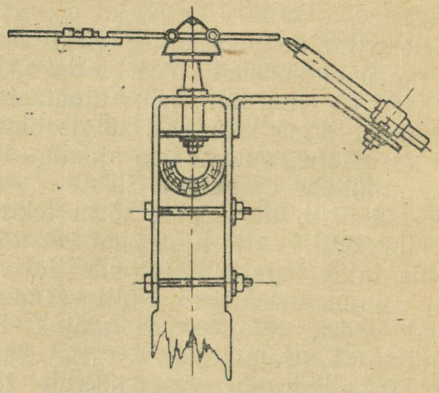
Lahendajad PT pingele 6 ja 10 kV võib kinnitada lahtise või kinnise otsaga. Lahendajaid



Joon. 400. Torulahendajate monteerimine traaversitega ja varrasisolaatoritega mastidele. Mõõde *A* on 6 kV korral 10 mm, 10 kV korral — 15 mm.



Joon. 399. Torulahendajate PT lülitusskeem.



Joon. 401. Ülemise torulahendaja paigutus mastil.

PTO (samale pingele) võib kinnitada ainult lahtise otsaga.

Torulahendajad tuleb paigutada selliselt, et ioniseeritud gaaside lahendustsoonid ei lõikuks omavahel ega konstruktsiooni muude voolujuhtivate või maandatud elementidega.

Lahendajad tuleb monteerida väikese kallakuga avatud otsa suunas selleks, et vältida neisse niiskuse kogunemist.

ALAJAAMADE KAITSE

Välisjaotusseadmeid 20—35 kV pingega alajaamades tuleb kaitsta eraldiseisvate piksevarrastega, millede maandusvoolu valgumistakistus on mitte üle 25Ω. Piksevarraste maandusi ei tule ühendada alajaama üldise maandusega.

«Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjade» järgi ei ole nõutav sisejaotusseadmete ja jaamahoone kaitse pikse otselöökide vastu.

Alajaamadesse sisenevad 20 kV ja kõrgema pingega liinid tuleb kaitsta pikse otselöökide vastu 1—2 km pikkuselt kas kaitsetrosside (piksekaitsetross) ülesseadmisega või piksevarraste ülesseadmisega. Piksekaitsetrosside maksimaalne lubatav kaitsenurk mastil ei tohi väliste juhtmete suhtes ületada 35°. Piksevardad (kaitsetrossi puudumisel) paigutatakse siseneva liini ümber siksakjooneliselt. Nende omavaheline kaugus ei tohi olla suurem seitsmekordsest piksevarda selle osa pikkusest, mis ulatub visangu keskel üle liini ülemise juhtme. Piksevardad paigutatakse vähemalt 5 m kaugusele liini voolujuhtivatest osadest. Analoogiliselt välisalajaama maa-alale ülesseatud piksevarraste maandamise nõuetele ei tohi ka 20 kV ja kõrgema pingega sisenevate liinide kaitseks ülesseatud piksevarraste maandustakistus ületada 25Ω.

Välisalajaama seadmete või sisenevate liinide kaitsmisel piksevarrastega tuleb arvestada vastavalt kaitsetsoone [45].

Teatavasti peab piksevarraste kõrgus h olema suurem kui kaitstava objekti kõrgus h_x, kusjuures piksevarda kõrgust üle kaitstava objekti nimetatakse selle aktiivseks kõrguseks — h_a. Seega,

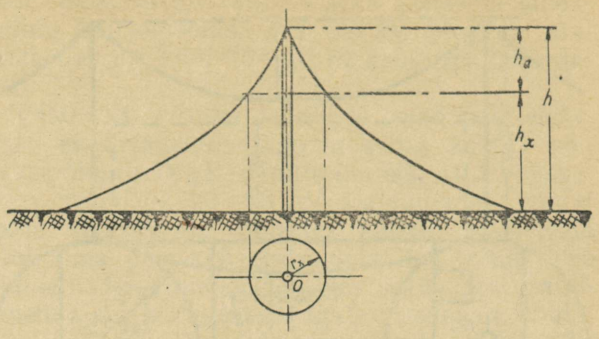
$$h_a = h - h_x.$$

Kaitsetsooniks nimetatakse piksevardaga pikse otselöökide vastu kaitstavat ala.

Piksevarda kaitseteguriks k_x nimetatakse kaitsetsooni raadiuse r_x ja aktiivse kõrguse h_a suhet, s. t.

$$k_x = \frac{r_x}{h_a}.$$

Joonisel 402 on näidatud ühe üksiku piksevarda kaitsetsoon, kus k_x on võetud võrdseks ühega, s. t.



Joon. 402. Üksiku piksevarda kaitsetsoon.

$$r_x = h_a.$$

Peatume siinkohal pikemalt nelja piksevardaga välisalajaama kaitsetsooni arvutuse juures. Näitena kasutame Giproselelektro Tüüpprojekteerimise Osakonna poolt väljatöötatud kahe pingetmadaldava maa-alajaama tüüpprojekti. Kummagi trafo võimsus on 1000 kVA ja pinge 35/6—10 kV.

Joonisel 403 on toodud alajaama välisjaotusseadme nelja piksevardaga kaitseskeem. Piksevardad on paigutatud välisalajaama maa-ala välistesse nurkadesse nii, et nad asetsevad voolujuhtivatest osadest vähemalt 5 m kaugusel. Piksevarraste omavahelised kaugused on esitatud joonisel.

Kaitstava objekti suurim kõrgus (kõrgeim mast) $h_x = 7{,}6$ m. Piksevarda aktiivne kõrgus, s. t. selle ulatumine üle kaitstava objekti on võetud:

$$h_a = \frac{D}{7} = \frac{39{,}4}{7} = 5{,}6 \text{ m}.$$

Piksevarda minimaalseks kõrguseks on seega:

$$h = h_x + h_a = 7{,}6 + 5{,}6 = 13{,}2 \cong 14 \text{ m}.$$

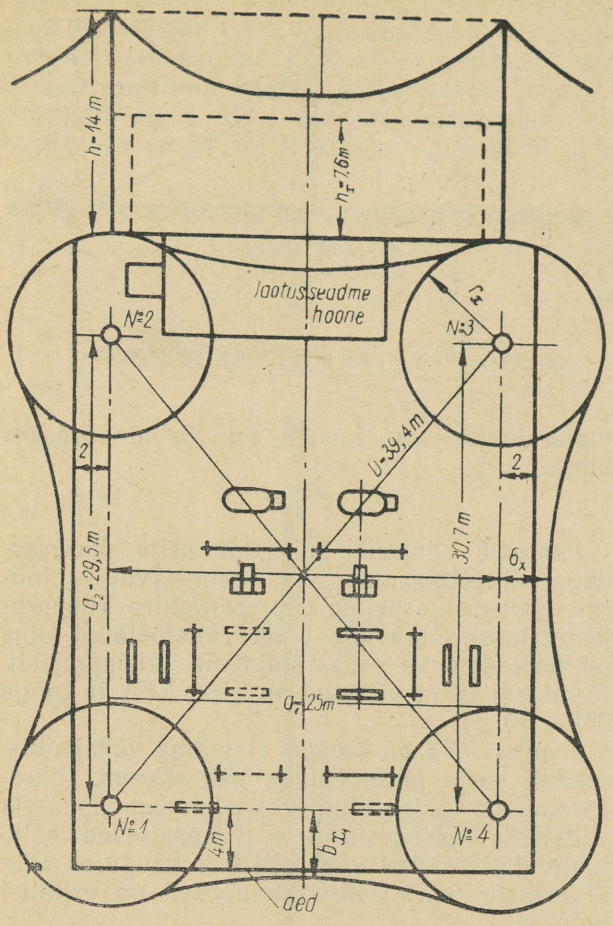
Täpsustades piksevarda aktiivset kõrgust, saame:

$$h_a = h - h_x = 14 - 7{,}6 = 6{,}4 \text{ m}.$$

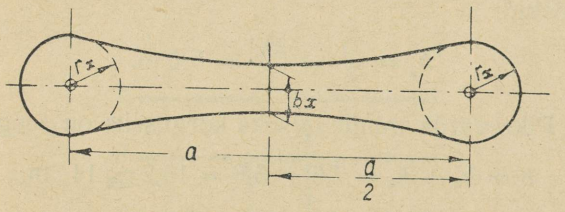
Piksevarrastega kaitstava tsooni raadius kõrgusel h_x:

$$r_x = \frac{1{,}5\, h_a}{1 + \frac{h_x}{h}} = \frac{1{,}5 \cdot 6{,}4}{1 + \frac{7{,}6}{14}} = 6{,}23 \text{ m}.$$

Kaitstava tsooni laiuse leidmiseks tuleb moodustada kahe piksevarda vaheliste kauguste a_1 ja a_2 ning piksevarda aktiivse pikkuse h_a suhted, s. t.:



Joon. 403. 35/10 kV välisalajaama seadmestiku ehitiste kaitsetsoon.

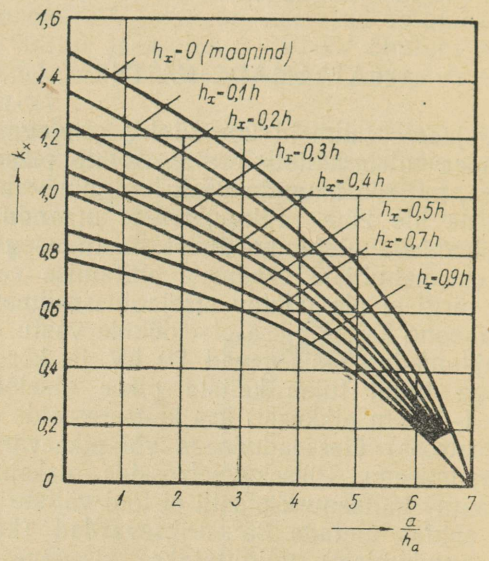


Joon. 404. Kahe piksevarda kaitsetsoon.

$$\frac{a_1}{h_a} = \frac{25}{6{,}4} = 3{,}9 \text{ ja } \frac{a_2}{h_a} = \frac{29{,}5}{6{,}4} = 4{,}6.$$

Joonisel 404 on toodud kahe piksevarda kaitsetsoon. Tsooni pool laiust $\frac{b_x}{2}$ jagatud piksevarda aktiivse kõrgusega h_a, s. o. kaitsetegur $k_x = \frac{b_x}{2h_a}$, leitakse sõltuvalt suhtest $\frac{a}{h_a}$ kõverate järgi, mis on toodud joonisel 405 mitmesuguste suhete $n = \frac{h_x}{h}$ kohta. Meie poolt valitud näites

$$n = \frac{h_x}{h} = \frac{7{,}6}{14} = 0{,}54.$$



Joon. 405. Kahe piksevarda kaitsetsooni laiuse leidmise kõverad.

Piksevarraste nr. 1 ja nr. 4 ning nr. 2 ja nr. 3 vahelisel kaugusel: $a_1 = 25$ m, $\frac{a_1}{h_a} = 3{,}9$ ja kõvera järgi $n \cong 0{,}54$, leiame $k_{x1} = \frac{b_{x1}}{2h_a} = 0{,}62$, millest

$$\frac{b_{x1}}{2} = k_{x1} h_a = 0{,}62 \cdot 6{,}4 = 4 \text{ m}.$$

Piksevarraste nr. 1 ja nr. 2 ning nr. 3 ja nr. 4 vahelisel kaugusel: $a_2 = 29{,}5$ (30,7) m, $\frac{a_2}{h_a} = 4{,}6$ ja kõverast $n \cong 0{,}54$ leiame:

$$k_{x2} = \frac{b_{x2}}{2h_a} = 0{,}52,$$

millest

$$\frac{b_{x2}}{2} = k_{x2} h_a = 0{,}52 \cdot 6{,}4 = 3{,}3.$$

Leitud suuruste

$$\frac{b_{x1}}{2} = 4 \text{ m ja } \frac{b_{x2}}{2} = 3{,}3 \text{ m}$$

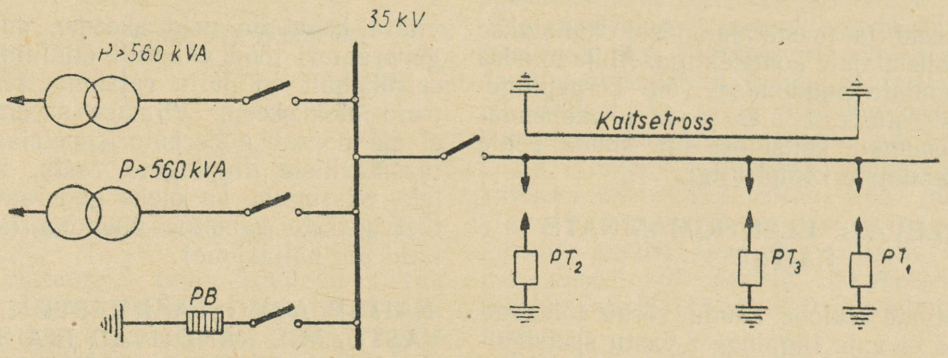
järgi on joonisel 403 välja joonestatud kõverad, mis piiravad nelja piksevarda kaitsetsooni

35/10 kV alajaama välisjaotusseadme maa-alal, kui kõrgeima masti kõrgus

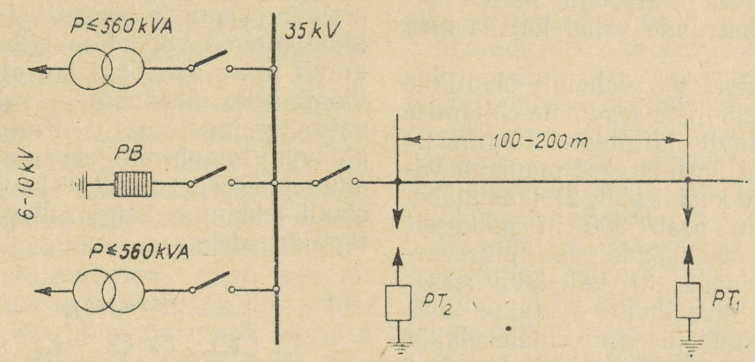
$$h_x = 7{,}6 \text{ m}.$$

Alajaama sisenevate 20 kV ja kõrgema pingega liinide kaitseks ülesseatud piksekaitsetrossid peavad olema kooskõlastatud nende liinide erinevatesse punktidesse ülesseatud torulahendajatega. Puitmastidega ja trossidega kaitstava liini algusesse, s. t. liini poolt lugedes esimesele trossidega mastile, tuleb üles seada torulahendajate komplekt PT_1 (joon. 406). Lahendaja PT_1 maandustakistus ei tohi peaelement — jõutrafo — peab asetsema lahendajate kaitsetsoonis, mis 35 kV pingega alajaamades on kuni 40—50 m kaugusel lahendajast.

Vastavalt «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjadele» (liigpingekaitse kohta) võidakse õhuliinidega ja mitte üle 560 kVA võimsusega trafodega 20—35 kV alajaamades, mis ei toida vastutavaid objekte, kaitsta sisenevaid liine ilma piksekaitsetrossideta. Sel juhul tuleb alajaama kogumislattidele üles seada üks ventiillahendajate komplekt ja igale sisenevale õhuliinile kaks torulahendajate komplekti (joon. 407).



Joon. 406. 35/10 kV alajaama siseneva liini normaalne kaitseskeem.



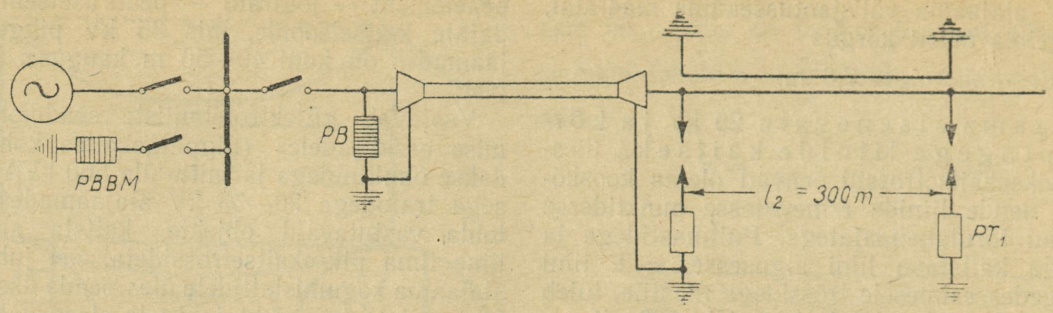
Joon. 407. 560 kVA ja väiksema võimsusega trafodega 35/10 kV alajaama ja siseneva liini kaitseskeem.

ületada 10Ω. Juhul kui lahendajale PT_1 ei saada vajalikku maandustakistust, tuleb liini poolt kolmandale mastile üles seada lahendajate lisakomplekt PT_3. Alajaamale lähimale mastile, s. t. viimasele trossiga mastile, tuleb üles seada teine torulahendajate komplekt PT_2, mille maandustakistus ei tohi olla üle 10Ω.

Kõigi õhuliinidega ühendatud alajaamade seadmestiku otsene kaitse saadakse ventiillahendajate ülesseadmisega. Alajaama seadmestiku

Üks torulahendajate komplekt PT_2 seatakse üles vahetult õhuliini sisestusele alajaama, teine torulahendajate komplekt PT_1 — õhuliinile 100—200 m kaugusele esimesest. Lahendaja PT_2 maandus ühendatakse alajaama jaotusseadme üldise maanduskontuuriga. Lahendaja PT_1 maandustakistus ei tohi ületada 10Ω.

Lahendajat PT_1 ei tarvitse üles seada neil juhtudel, kui õhuliinidel on kaabelsisestused vähemalt 100 m pikkuse kaabliga.



Joon. 408. Kõrgepinge-õhuliiniga vahetult ühendatud generaatoritega elektrijaama sisestuse kaitseskeem.

Trafokioskeid ja mastalajaamasid kaitstakse ühe ventiillahendajate komplektiga. Alajaamades ventiillahendajate puudumisel võib kõrgepinge-õhuliinide sisestustesse üles seada torulahendajad. Lülituspunkte kaitstakse iga suuna peale ühe torulahendajate komplektiga.

PÖÖRLEVATE ELEKTRIMASINATE KAITSE

Pingettõstvate trafode kaudu võrku töötavad generaatorid ei vaja liigpingete vastu spetsiaalseid kaitsevahendeid. Vahetult kõrgepinge-õhuliinile töötava kõrgepingegeneraatori kaitse on väga vastutusrikas ülesanne, kuna pöörlevatel masinatel on võrreldes trafodega palju nõrgem isolatsioon nii keerdude vahel kui ka maa suhtes.

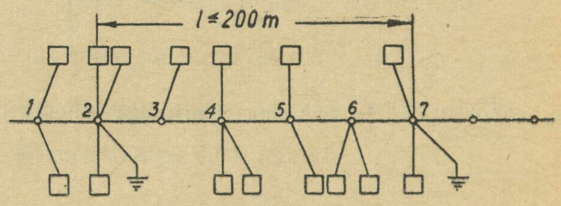
Kõrgepingegeneraatori töö vahetult õhuliinile on lubatud «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjade» järgi ainult järgmiste tingimuste täitmisel: 1) õhuliinid ühendatakse jaamaga vähemalt 100 m pikkuse kaabli abil, 2) jaamalähedane ülekande-õhuliin peab 300 m pikkuselt olema kaitstud pikse otselöökide vastu piksevarraste või kaitsetrossidega, 3) kaitstava sisseviigu otsa ja kaabli otsmuhvile seatakse üles mitte üle 5Ω maandustakistusega torulahendajad ja 4) kaitstava masina lähedusse seatakse üles generaatori ventiillahendajad (PBBM). Peale selle kasutatakse masinate keerdudevahelise isolatsiooni kaitseks ja ka isoleeritud nullpunkti pinge ohtlike muutumiste vältimiseks vähemalt 0,5 μF mahtuvusega kondensaatoreid («Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjad» § 34 — «Liigpingekaitse»).

Joonisel 408 on toodud pöörlevate masinate normaalne kaitseskeem vastavalt ülalesitatud nõuetele. Tuleb arvestada seda, et juhul, kui generaator ühendatakse vahetult õhuliiniga, soovitavad «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjad» ka reaktorite kasutamist liinidel.

Loetletud nõuete praktiline täitmine on maaelektrijaamades küllaltki raske ja seetõttu ei soovitata kasutada neid skeeme, mis näevad ette generaatori tööd vahetult õhuliinile. Piksekaitse seisukohalt on palju ratsionaalsem generaator-trafo blokkskeem. Viimase skeemi kasutamisel ei ole nõutav generaatori spetsiaalne kaitse atmosfääriliste liigpingete vastu, vaatamata sellele, missugune ka oleks generaatori ja pingettõstva trafo vaheline ühendus (kaabel, paljaslatid või paljasjuhe).

KAITSE ATMOSFÄÄRILISTE LIIGPINGETE VASTU, MIS KANDUVAD ELUHOONETESSE MADALPINGE-ÕHULIINIDE KAUDU

Pikse otselöögi korral tekib madalpingevõrkudes kõrge potentsiaal, mis võib kanduda elumajade ja muude hoonete sisejuhtmestikku. Ohtlikud pinged võivad tekkida siseruumides mitte ainult pikse otselöögi korral liini, vaid ka sisselöögil selle lähedusse — sel juhul indutseeritavate liigpingete tõttu. Puitmastide suur vastupidavus impulsspingele maa suhtes põhjustab elumajades ja muudes hoonetes kõrge potentsiaali tekkimise kõigi sellega kaasuvate raskete tagajärgedega.

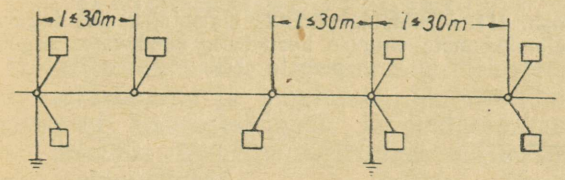


Joon. 409. Maandatud sisestusmastidega õhuliini osa.

Elanikkonna põhiliseks kaitseabinõuks õhuliinides tekkivate ohtlike atmosfääriliste liigpingete vastu on maandused nendel mastidel, milledelt lähevad sisestused tarbijatele. Töömahu vähendamiseks lubatakse mõnel juhul üles seada üks ühine maandus mitme sisestusmasti kohta. Joonisel 409 on näidatud madalpingeliin, kus igalt mastilt on teostatud sisestused elumajadesse ja

muudesse hoonetesse. Maandused on siin ehitatud ainult mastidele nr. 2 ja nr. 7. Sisseviikudega mastid, mis ei oma maandusi (nr. 3, 4, 5 ja 6), asuvad maandusega mastide vahel. «Ajutised juhendid» lubavad mastid jätta maandamata neil juhtudel, kui need maandamata mastid asuvad kahe maandusega masti vahel ja kui nende kahe maandusega mastide vaheline kaugus liini mööda ei ole üle 200 m (5—6 visangut).

Lubatud on ehitada maandus ainult ühele sisestusmastile, kui sisestustega naabermastid ei ole esimesest maandatud mastist üle 30 m kaugusel (joon. 410).



Joon. 410. Maandatud sisestusmastidega õhuliini osa.

Maanduste ehitamisel tuleb kindlasti valida need mastid, milledelt väljuvad sisestused suurima inimestehulgaga hoonetesse (koolid, lastesõimed, haiglad, klubid, külanõukogud jne.) ja samuti ka liini lõppmastid, milledelt on tehtud sisestused. Peale selle tuleb kindlasti maandused üles seada ka neile mastidele, milledelt väljuvad sisestused loomakasvatusfarmi hoonetesse.

Sisestusmastidel tuleb maandusega ühendada: nulljuhe, kõigi faasijuhtmete isolaatorite konksud ja vardad ning samuti samadel mastidel asetseva teise liini (näiteks traathäälingu võrgu) konksud ja vardad, kui sellest liinist on samuti tehtud sisestused hoonesse. Kui liinil on lahendajad, tuleb ka need ühendada nende maandustega. Piksekaitsemaandus on ühtlasi ka nulljuhtme korduvmaanduseks, mis, nagu see on teada maandus- ja nullimisseadme kohta kehtivatest nõuetest, on vajalikud personali ohutuse tagamiseks ohtlike tööstusliku sagedusega pingete tekkimisel nullitud seadistes, mis omakorda on põhjustatud faasijuhtmete isolatsiooni riknemisest või nulljuhtme katkemisest.

Sisestustega mastide maandustakistus ei tohi olla üle 30Ω. Väga suure eritakistustega pinnaste korral on lubatav suurem maandustakistus (kuni 50—60Ω). Mastide juures asetsevate maanduste asemel võib kasutada maandusi otseselt iga tarbija sisestuse juures. Maandaja ja maandusjuhe peavad asetsema hoonesse sisestuse poolel, kuid hoonele mitte lähemal kui 5 m, selleks et vältida maandajast impulssvoolude läbimisel tekkivate kõrgete sammupingete ohtu elanikkonnale. Maandusjuhtme pikkus kõigil juhtudel ei tohi ületada 10 m.

Kui madalpingeliini ekraneerivad küllalt kõrged hooned ja puud, ei tarvitse sellistes liiniosades kasutada erilisi abinõusid piksekaitseks. Samuti ei kasutata kaitseabinõusid neil juhtudel, kui võrgud asuvad niisugustes rajoonides, kus ei esine üldse piksetabamusi.

Seda, kas üks või teine rajoon kuulub üldse pikse liigpingete poolt ohustatud rajoonide hulka, hinnatakse elektrivõrkude ekspluatatsioonipersonali aruannete ja statistiliste andmete alusel. Kui näiteks 100—200 km kogupikkusega kõrge- ja madalpingevõrkude ekspluatatsioonandmed näitavad 5 või rohkem aasta jooksul piksetabamuste täielikku puudumist neil liinidel, võib vaadeldavat rajooni lugeda piksetabamusteta rajooniks. Vastupidiselt võivad aga mõnede õhuliiniosade kohta saadud andmetel sagedaste piksetabamuste tõttu madalpingevõrgu kaudu hoonetesse kanduvate atmosfääriliste liigpingete vastu ettenähtud abinõud osutuda elanikkonna kaitseks mitteküllaldasteks. Neil juhtudel soovitavad «Ajutised juhendid» lühendada sisestusmastidevahelist kaugust, milledele on ehitatud maandused, 200 meetrilt 100 meetrini ja mitte mingil juhul lubada 30Ω suuremat maandustakistust.

Sagedaste piksetabamustega rajoonide hulka kuuluvad need rajoonid, kus ekspluatatsioonipersonali andmetel on 100—200 km pikkusega õhuliinides viie aasta kestel vähemalt kolm piksetabamuse juhtu.

Maandustakistus peab vastama nõutud suurusele suvisel ajal, kui maa on kõige kuivem. Kaitseseadiste maandused, mis on ette nähtud elanikkonna kaitseks õhuliinist ohtlike pingete kandumise vastu hoonetesse, on palju lihtsamad kui elektriseadmete harilikud ekspluatatsioonija kaitsemaandused.

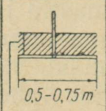
Maandajate ehitamiseks võib kasutada peale teraslintide, mille paksus on vähemalt 4 mm ja ristlõige mitte alla 48 mm^2 ning vähemalt 6 mm läbimõõduga terastraatide ning terastorude, mis taotakse maasse vertikaalselt, ka veel vastava ristlõikega mitmesuguseid metallitükke.

Joonisel 411 on toodud madalpingevõrkude jaoks elanikkonna ohutuse tagamiseks ettenähtud tüüpsete maandajate konstruktsiooni skeeme. Skeemid on koostatud vastavalt «Ajutistele juhenditele».

Näiteks tuleb valida madalpingeliini sisestuse mastile maandaja liivakas-savise või savikas-liivase pinnase korral, mille eritakistus on 100 Ωm. Vastavalt joonisele 411 võib maandajat ehitada järgmiste variantide järgi: 1) kaks teraslatti või kaks 6 mm läbimõõduga terastraadi lõiku pikkusega 4,5 m, mis on kaevatud maasse ristikujuliselt 0,5—0,7 m sügavusse või 2) kaks maasse kaevatud 2 m pikkust terastoru.

Maandajate ehitamisel nii torudest kui ka varrastest tuleb viimased asetada maasse teineteisest vähemalt toru või varda pikkuse kaugusele. Teraslatist või -traadist pindmaandajad, nagu näidatud näites, paigutatakse vähemalt 50—70 cm sügavusse.

Maandustraadiks ja konksude, varraste ning nulljuhtme ühendamiseks maandajaga kasutatakse vähemalt 4 mm läbimõõduga terastraati. Maandustraadi ühendus maandajaga ja samuti ka kõik ühendused maandajate vahel maa sees keevitatakse, nagu mistahes muugi maandusseadme ehitamisel. Maandustraadi haruühendused ja samuti traadi ühendused varraste ja konksudega tehakse sidumistraadi abil, kuna aga ühendus nulljuhtmega tehakse tinutatud klemmpoldi abil.

Pinnas	Pinnase keskmine eritakistus Ωm	Pindmaandajad (latt, tross, juhe)		Torud või vardad	
		Esklis	Pikkus l	Arv n	Pikkus l
Turvas	20	 0,5–0,75 m	l = 2 m	n = 1	l = 1,0 m
Savi, mustmuld	50		l = 3,5 m	n = 1	l = 1,5 m
Liivakas-savine muld	100	Plaanil  l	l = 4,5 m	n = 2	l = 2,0 m
Liiv	300	Plaanil  l	l = 5 m	n = 2 n = 3	l = 2,5 m l = 2,0 m

Joon. 411. Madalpingevõrkude maandajad, mis tagavad elanikkonnale ohutuse hoonetesse kanduvate kõrgete pingete eest.

SEITSMETEISTKÜMNES PEATÜKK

JAOTUSSEADMED JA ALAJAAMAD

JAOTUSSEADME ELEMENDID

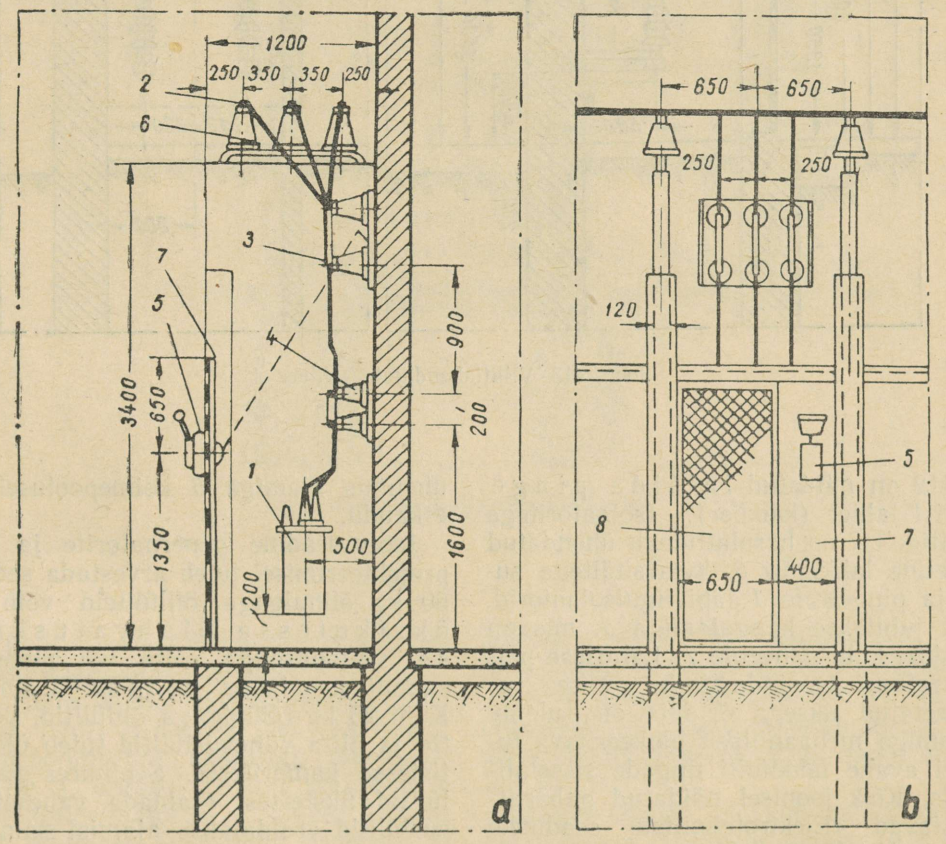
Elektrijaotusseadmete ülesanne on elektrienergia vastuvõtmine ja jaotamine. Jaotusseadmed koosnevad kommutatsiooni- ja kaitseaparaatidest, ühendus- ja kogumislattidest, mõõteriistadest ja abiseadistest.

Madalpinge-jaotusseadmetena kasutatakse madalpinge-jaotuskilpe.

Kõrgepinge-jaotusseadmed on kas välis- (vabaõhu-) või sisejaotusseadmed. Esimesed paigutatakse välja ja teised kinnistesse ruumidesse.

6 ja 10 kV pingega kõrgepingeaparatuur, kuhu kuuluvad võimsuslülitid, võimsus-lahklülitid (koormuslülitid), voolu- ja pingetrafod, on harilikult ette nähtud töötamiseks ainult kinnises ruumis. Seetõttu varustatakse ja kasutatakse 6 ja 10 kV pingega maa-alajaamades peamiselt ainult sisejaotusseadmeid.

Neil juhtudel, kui väikese võimsuse tõttu tullakse toime ilma sellise aparatuurita, mis on ette nähtud töötamiseks ainult kinnistes ruumides, kasutatakse 6—10 kV välisjaotusseadet. See kehtib näiteks mastalajaamade või väikese võimsusega (kuni 100—150 kW) elektrijaamade

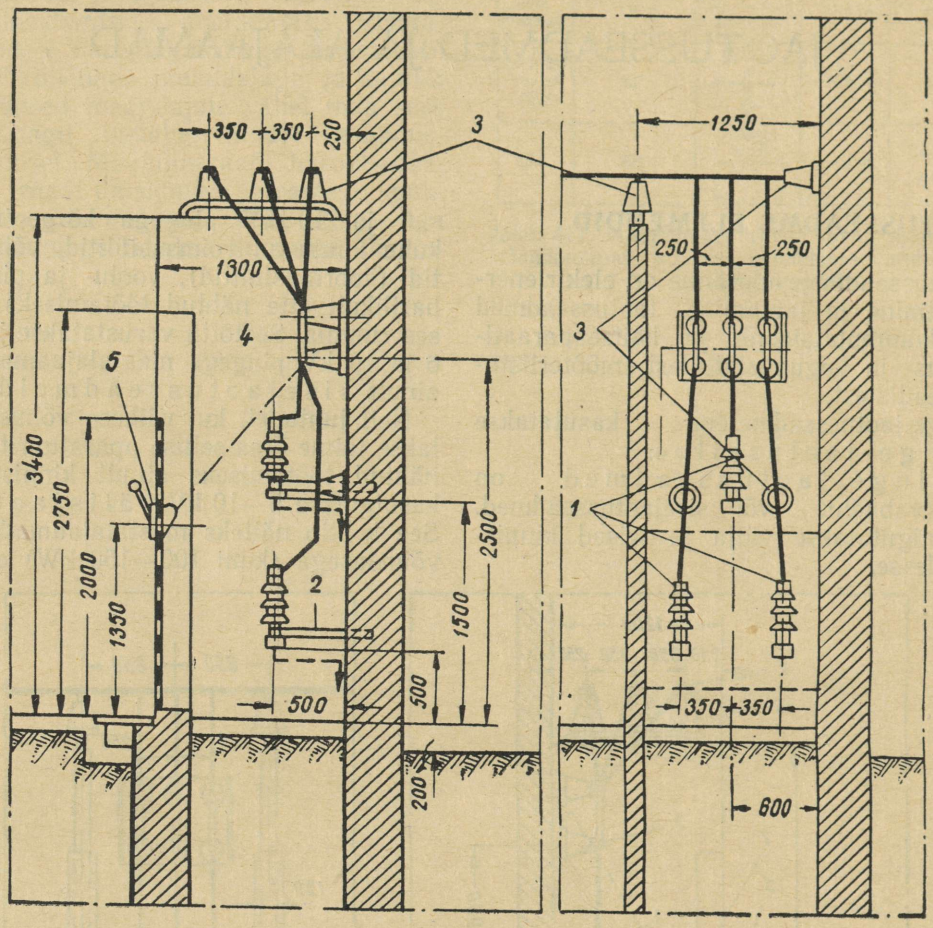


Joon. 412. Pingetrafo lahter: *a* — lõige; *b* — eestvaade.

kõrgepinge-jaotusseadme kohta. 35 kV ja kõrgema pingega jaotusseadmed ehitatakse harilikult välisseadmetena.

Vaatleme siinkohal mõnda jaotusseadme elementi, mida kasutatakse Glavselelektro süsteemi projekteerimisorganisatsioonide praktikas.

Joonisel 413 on toodud kahes projektsioonis 10 kV ventiillahendajate РВП-10 lahter. Lahendajad *1* monteeritakse terasklambritele *2*, mis on müüritud jaotusseadme tagumisse seina. Portselanist tugiisolaatoritele *3* kinnitatud kogumislattidelt on toodud harulattidega



Joon. 413. Viiitlahendajate lahter.

Joonisel 412 on näidatud lattide pingetrafo НТМИ lahter (kamber). Isolaatoritega *6* kogumislattidelt *2* on harulattidega ühendatud kolmepooluseline lahklüliti *3*, kvartsitäitega sulavkaitse *4* ja pingetrafo *1* läbiviiguisolaatorid.

Lahklülitit juhitakse kangajamiga *5*, mis on kinnitatud lahtri kilbi paneelile *7*. Lahtrisse paigutatud aparatuuri teenindamiseks on see varustatud võretatud uksega *8*, mis on suletav lahklüliti ajamiga mehaaniliselt blokeeritava lukuga: uks ei avane lahklüliti nugade sisselülitatud asendis. Kõik joonisel näidatud gabariitmõõted vastavad «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjade» nõuetele.

ühendus ajamiga *5* kolmepooluselise lahklüliti *4* kaudu.

Jaotusseadme generaatorite ja liini lahtrite projekteerimisel tuleb arvestada seda, et 25 kuni 60 kg õlihulgaga õlilüliteid võib üles seada üksikutesse plahvatuskambritesse, väljapääsuga välja või plahvatuskoridori, samuti ka lahtistesse kambritesse. Kuni 25 kg õlihulgaga õlilülitid, pott-tüüpi lülitid ja õlita võimsuslülitid tuleb üles seada lahtistesse kambritesse. Seejuures tuleb võimsuslülitid üksteisest eraldada vaheseinaga. Võimsuslülitid eraldatakse ajamist samuti vaheseintega või metallkilpidega, kusjuures nende vahe-

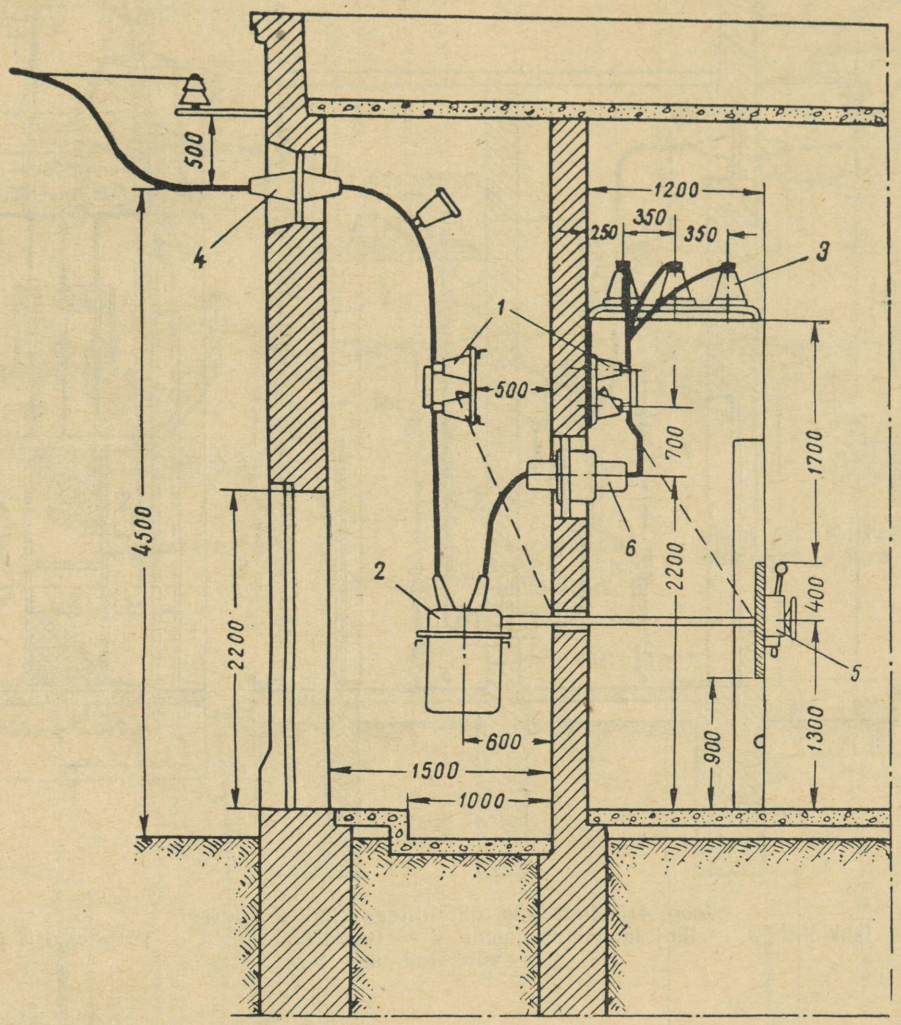
seinte või kilpide kõrgus põrandalt peab olema vähemalt 1,7 m.

Üle 60 kg õlihulgaga õlilülitid seatakse üles ainult eraldatud plahvatuskambritesse.

Joonisel 414 on toodud 10 kV pingega jaama jaotusseadme väljuva liini lahter läbiviiguisolaatoritega *4* ja liini lahklülitiga *1*, mis asetseb õlilüliti *2* ja läbiviiguisolaatori vahel.

Tugiisolaatoritele *3* monteeritud kogumislattidelt kulgevad lahtri harulatid läbi käsi-kangajamiga kolmepooluselise lahklüliti, läbiviiguvoolutrafo ТПФ *6*, õlilüliti *2*, liini lahklüliti *1* ja edasi läbiviiguisolaatorite *4* kaudu liinile. Võimsuslülitit juhitakse РБА-tüüpi ajamiga *5*, mis on paigutatud koos mõlemate lahklülitite ajamitega 10 kV kogumislattide poolsele jaotusseadme vaheseinte vahel olevale ribakujulisele kilbile.

Jaotusseadme nimetatud pool eraldatakse elektrijaama masinasaalist kerge vaheseinaga (või kulgeb mööda seda poolt alajaama üldine



Joon. 414. Õlilülitiga õhuliini lahter.

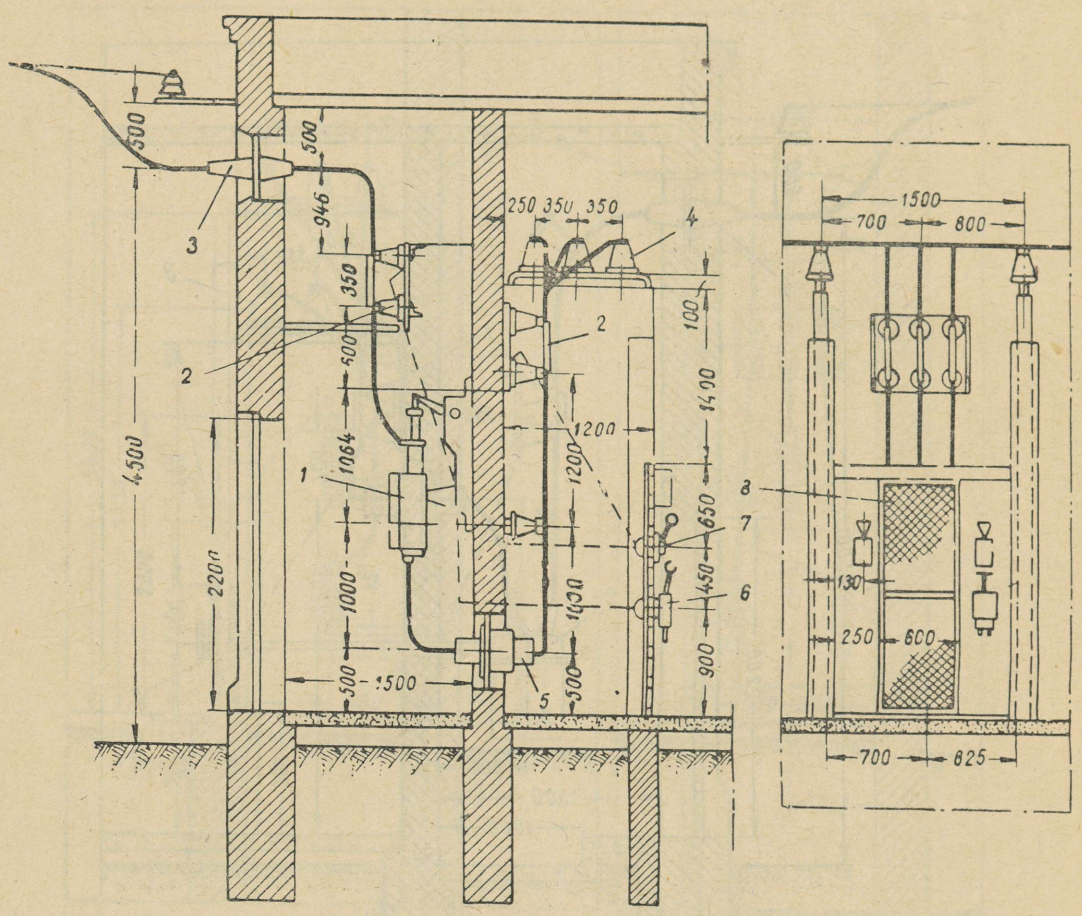
koridor). Õlilülitid paigutatakse kambritesse piki väljuvate liinide poolset välisseina.

Juhul kui kasutatakse 10 kV jaotusseadmes pott-tüüpi õlilüliteid, muutub teatud määral üksikute elementide paigutus, nagu see on näidatud joonisel 415.

Seoses sellega, et voolutrafo *5* asetseb sel juhul väikesel kõrgusel maast (0,5 m), kasutatakse ajamite kinnitamiseks ribakujulise kilbi

asemel metallkilpi võretatud ustega *8*. Paljudel juhtudel varustatakse maa-alajaamade jaotusseadmed kaabelväljaviikudega, järgneva üleminekuga kaablist õhuliinile. See üleminek toimub ühel lähimal liinimastil.

tuur paigutatakse ühte vertikaalsesse ritta ülevalt alla, nagu see on näidatud joonisel 417 õlilüliti ВМБ-10 lahtri korral. Alates kogumislattidest on järjekorras ülevalt alla paigutatud: lattide lahklüliti *1*, voolutrafo *2*, õlilüliti *3*, kaa-



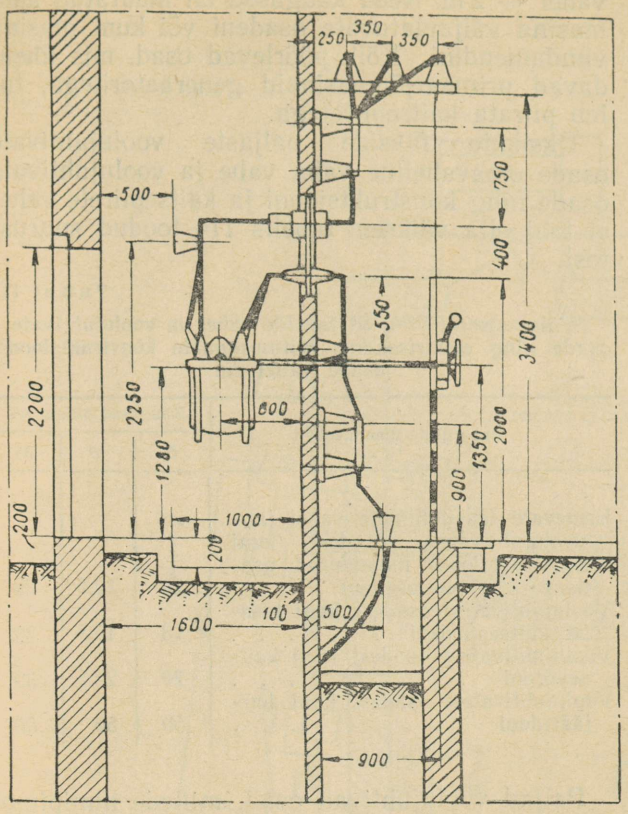
Joon. 415. Pott-tüüpi õlilülititega õhuliini lahter:
1 — õlilüliti; *2* — lahklüliti; *3* — liini läbiviiguisolaator; *4* — tugiisolaatorid; *5* — voolutrafo; *6* ja *7* — ajamid; *8* — võretatud uks.

Joonisel 416 on toodud 10 kV jaotusseadme kaablilahtri lõige. Lahter on varustatud õlilülitiga ВМБ-10 ja ajamiga ning ta on ette nähtud peale lattide lahklüliti ka veel liini lahklüliti ülesseadmiseks. Ühepoolse toitega liinidel, s. t. sellistel liinidel, mis ei ole sidestusliinideks teiste elektrijaamadega või energiasüsteemiga, pole liini lahklüliti ülesseadmine nõutav. Seepärast võib isoleeritult töötavate maaelektrijaamade jaotusseadmeid tunduvalt lihtsustada.

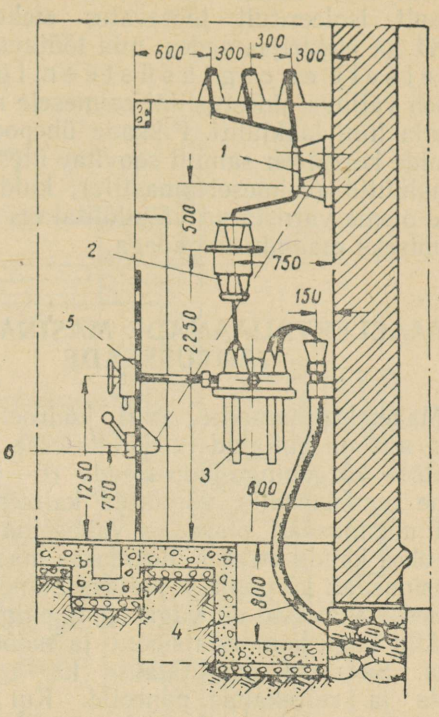
Jaotusseadme ehituslike mõõdete vähenemine saavutatakse kaabelväljaviikude ja liini lahklülitite ärajäämise korral sellega, et kogu aparabel *4*. Lahtri kilbi paneelil (võretatud uksega) asetseb õlilüliti käsi-automaatajam *5* ja lahklüliti kangajam *6*.

Vähese õlihulgaga pott-tüüpi lülitite lahtrite konstruktsioon lihtsustub veelgi, võrreldes joonisel 417 toodud lahtri konstruktsiooniga, sest sel juhul jääb ära silmus õlilülitilt kaablimuhvile.

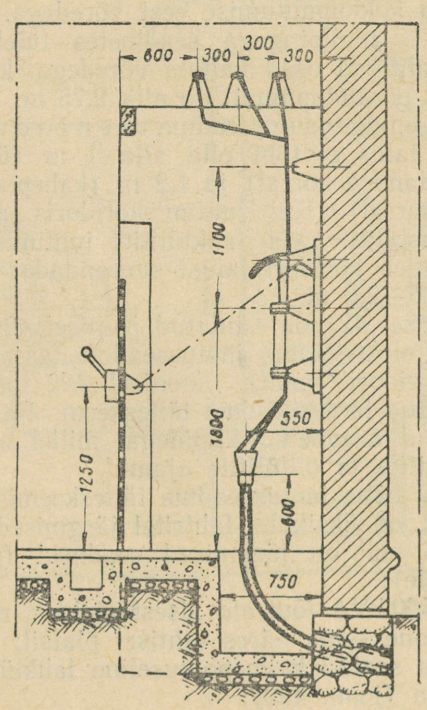
Veel lihtsamad ja ülevaatlikumad on need väljuvate liinide lahtrid, mis on varustatud võimsus-lahklülititega (joon. 418) või lahklülititega ja sulavkaitsmetega (joon. 419).



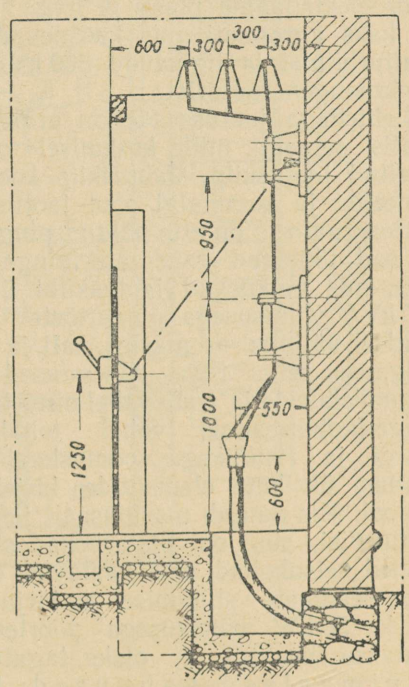
Joon. 416. Kaabelliini lahter lahklülititega ja paak-õlilülitiga.



Joon. 417. Kaabelliini lahter paak-õlilülitiga ja ilma liini lahklülitita.



Joon. 418. Kaabelliini lahter võimsus-lahklülitiga.



Joon. 419. Kaabelliini lahter lahklülitiga ja sulavkaitsmetega.

Väljuvate liinide lahtreid võib kasutada mitte ainult isoleeritult töötavates elektrijaamades, vaid ka elektrijaamades, mis töötavad paralleelselt energiasüsteemiga. Selleks tuleb väljuva sidestusliini esimesele mastile üles seada liini lahklüliti. Pikkade ühepoolse toitega liinide korral on samuti soovitav üles seada liini lahklülitid (esimesele mastile), kuid need peavad olema varustatud väljalülitatava liini maandamiseks maandusnugadega.

MAAELEKTRIJAAMADE MASINASAAL JA JAOTUSSEADE

Maaelektrijaamades, eriti hüdroelektrijaamades, mis on ehitatud tulekindlatesse hoonetesse, asetseb kõrgepinge-jaotusseade (6—10 kV) kas kohe masinasaalis, võretatud kaitsepiirde taga, või masinasaali otsas — vaheseina taga, mis on ukse kaudu otseses ühenduses masinasaaliga. Masinasaali kõrgepinge-jaotusseadmest eraldava vaheseina avasse on väga hästi paigutatav jaotuskilp kogu kommutatsiooni- ja mõõteaparatuuriga. Samasse paigutatakse ka automaatseadiste ja releekaitse paneelid. Kui plahvatuskambritesse tuleb paigutada suure õlihulgaga (üle 60 kg) õlilüliteid, siis ehitatakse need kambrid hoone otsmisse välisseina (väljapääsuga õue).

Joonisel 420 ja 420 a on toodud tüüpse maahüdroelektrijaama plaan ja lõige. Elektrijaamas on kaks agregaati, mis koosnevad kumbki spiraalturbiinist ja ligikaudu 300 kVA võimsusega sünkroongeneraatorist.

Lahtritega jaotusseade on eraldatud masinasaalist seinaga, mille keskmisele osale on monteeritud jaotuskilp. Jaotuskilp koosneb kolmest paneelist ja kummalgi pool jaotuskilpi on uks.

Generaatorid on ette nähtud pingele 400/230 V ja nad töötavad generaatoripinge-kogumislattidele, mis paiknevad jaotuskilbi ülemises osas. 560 kVA võimsusega pingettõstev trafo asetseb lahtisel väljakul — masinasaali ja jaotusseadme külgmise seina taga. Ühendused madalpinge-kogumislattide ja trafo vahel ning trafo ja kõrgepinge-jaotusseadme vahel tehakse vastava margi ja ristlõikega soomuskaabliga. Jaotusseadme üksikute elementide kirjeldus tuuakse allpool. Mis puutub masinasaali ja jaotusseadme ehitusviisi, siis on otstarbekas siinkohal tuua mõned seisukohad, mis vastavad «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjade» nõuetele.

Üle 50 kW võimsusega pöörlevad masinad seatakse üles nii, et oleks tagatud järgmised minimaalsed kaugused: kõrvutiasetsevate masinate vahel — 1 m, masina ja hoone seina vahel — 0,7 m, masina ja juhtimiskilbi vahel — 2 m. Need kaugused on määratud kuni masina väljaulatuvate osadeni või kuni masina vundamendini. Kõik pöörlevad osad, mis ühendavad primaarjõumasinaid generaatoritega, tuleb piirata kaitsepiiretega.

Üksikute faaside paljaste voolujuhtivate osade omavaheline vaba vahe ja voolujuhtivate osade ning konstruktsiooni ja kaitsepiirete vahel ei tohi olla väiksem tabelis 114 toodud suurustest.

Tabel 114

Minimaalsed kaugused faaside vahel ja voolujuhtivate osade ning elektriseadme mitmesuguste konstruktsioonide vahel cm

Gabariitide nimetused	Kaugused pingel kV		
	6	10	35
Erinevate faasijuhtmete vahel ja voolujuhtivatest osadest kuni konstruktsiooni määratud osadeni ja hoone osadeni	10	12,5	29
Voolujuhtivatest osadest kuni tasase kaitsepiirdeni	13	15,5	32
Voolujuhtivatest osadest kuni kaitsevõreni	20	22,5	39
Voolujuhtivatest osadest kuni barjäärideni	50	50	80

Paljad voolujuhtivad osad, millede nimipinge ei ületa 10 kV ja mis on vähem kui 2,5 m kõrgusel põrandapinnalt, peavad olema kaitstud juhusliku kokkupuutumise eest võredega.

35 kV nimipingega seadmetes tuleb paljad voolujuhtivad osad kaitsta võredega, kui nende kõrgus põrandapinnalt on alla 2,75 m.

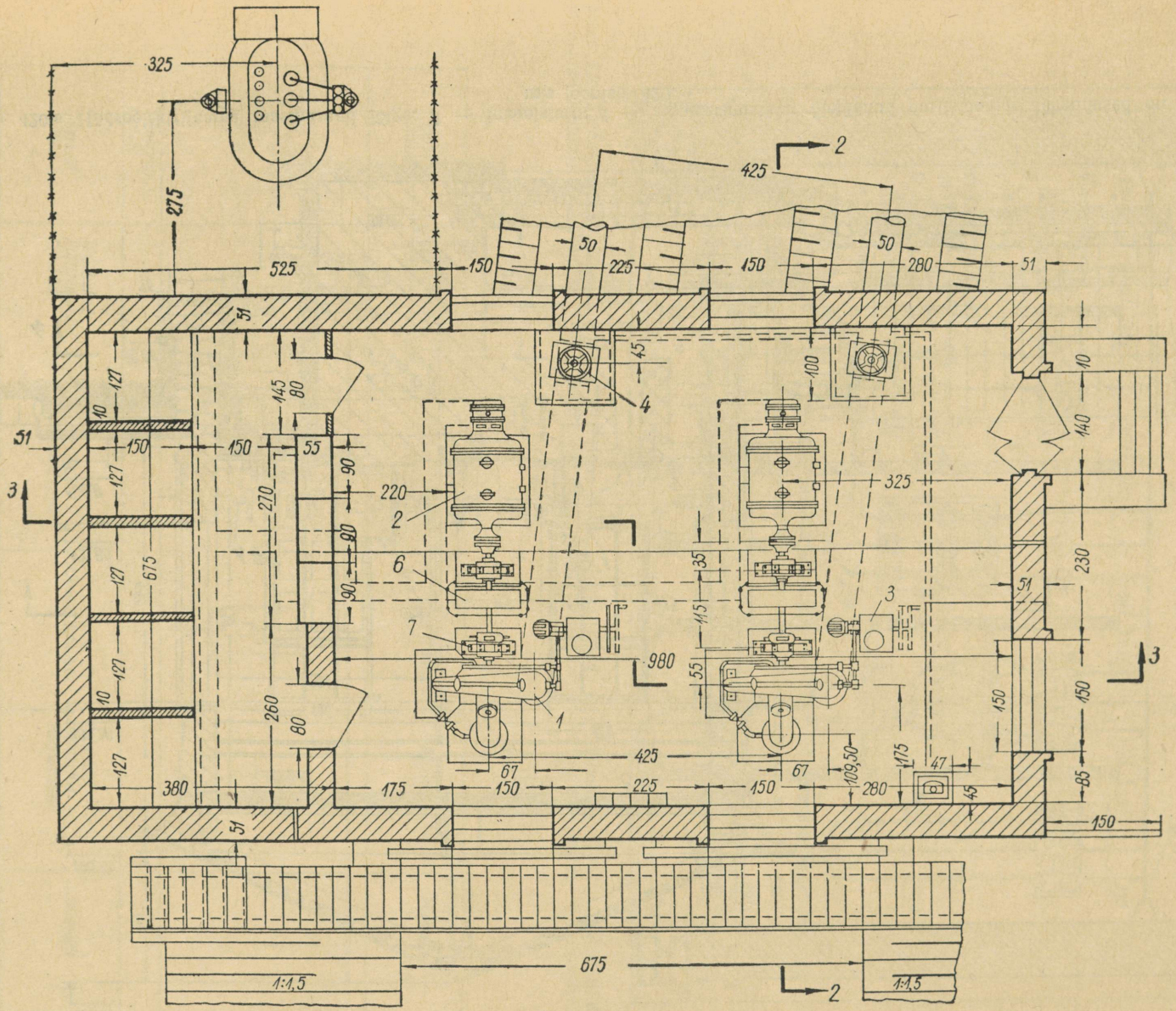
Kõrgepinge-jaotusseadme teeninduskoridori laius ei tohi olla alla 1 m (ühepoolse teenindamise korral) ja 1,2 m (kahepoolse asetuse korral). Kui juhtimiskoridoris asetsevad võimsuslülitite või lahklülitite juhtimiseks ajamid, tuleb koridori laiust suurendada vastavalt kuni 1,5—2,0 m.

Joonisel 421 on näidatud joonisel 420 toodud tüüpse elektrijaama jaotusseadme fassaad (juhtimiskoridori poolt). Joonisel 422 on antud nimetatud jaotusseadme täiteskeem. Fassaad on näidatud äravõetud kilpidega, millel asetsevad lahklülitite ja õlilülitite ajamid.

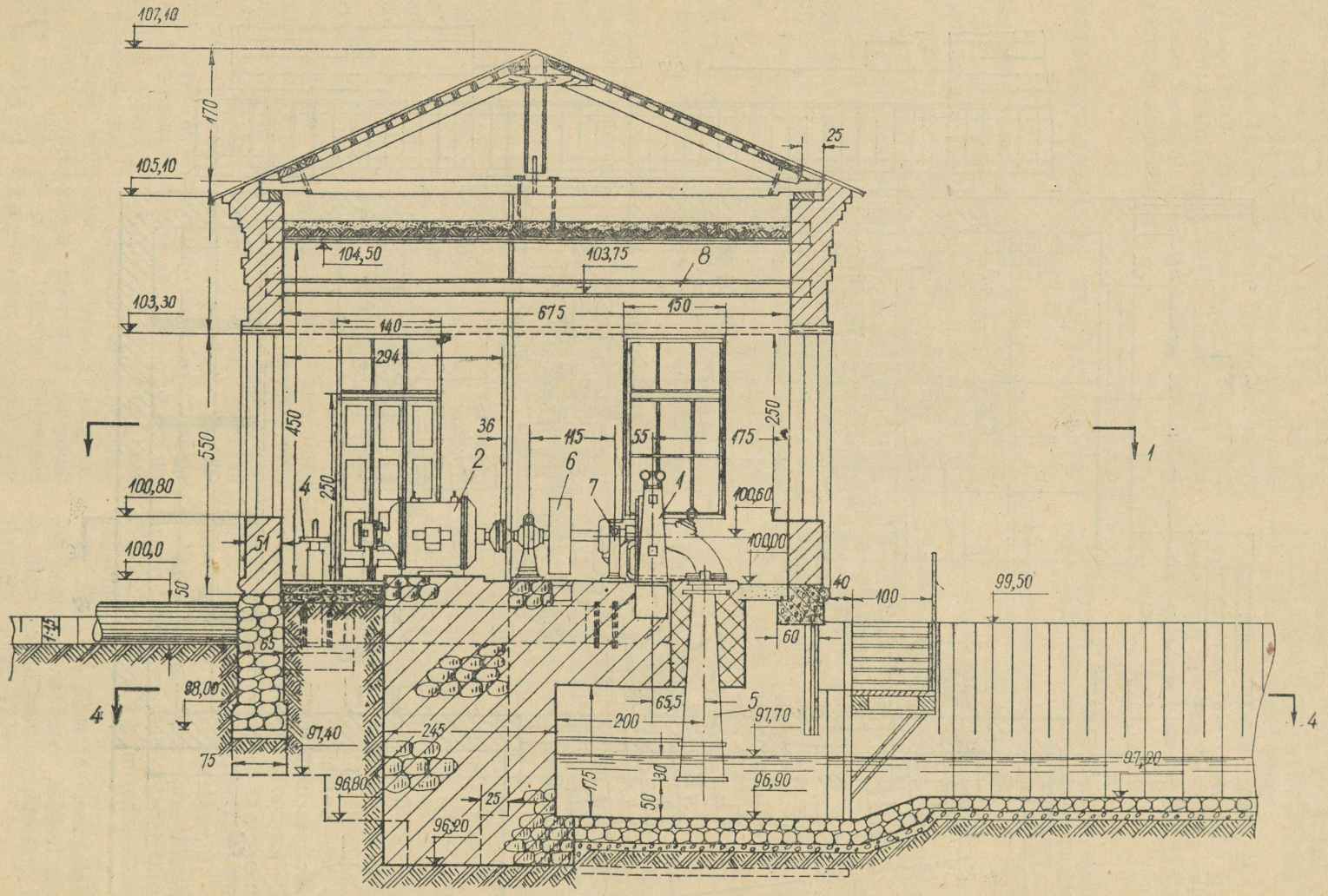
Nagu näha jaotusseadme täiteskeemist ja fassaadist, on üksikutel lahtritel järgmised ülesanded ja neil on järgmised seadmed (paremalt vasakule):

1) 560 kVA jõutrafo sisestuslahter, mis asetseb hoone seina ääres lahtisel platsil; lahtrisse on üles seatud kolmepooluseline lahklüliti koos ajamiga (joon. 423);

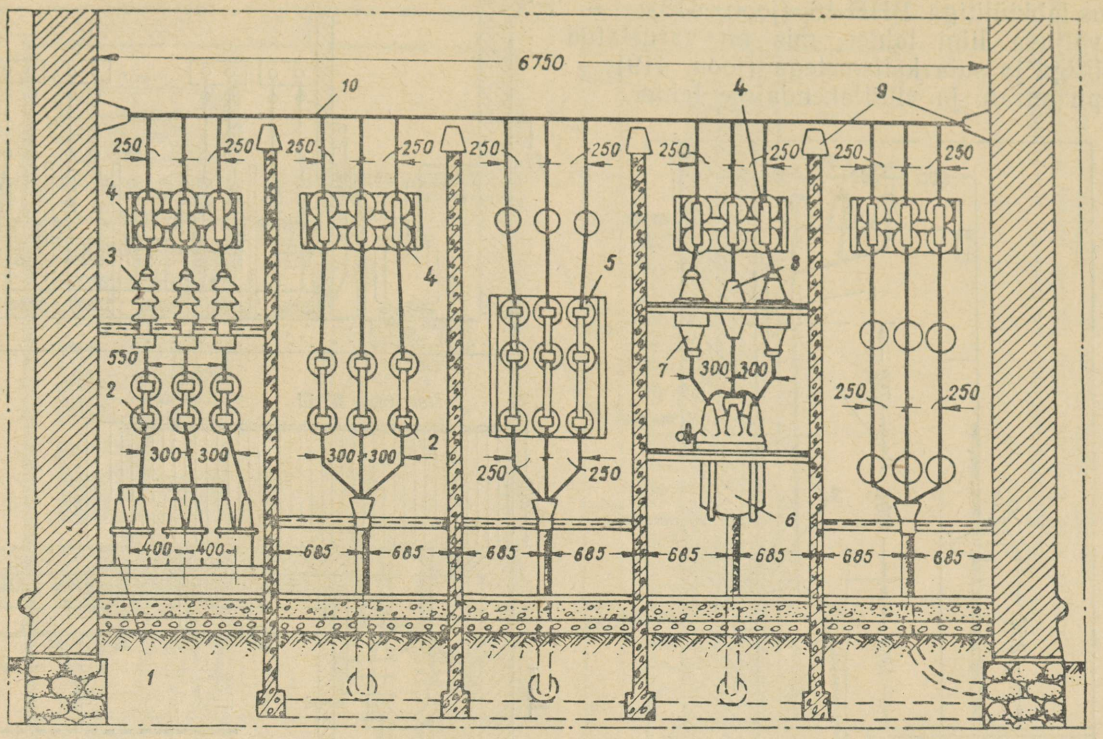
2) väljuva liini lahter, mis on varustatud õlilülitiga ВМБ-10 (joon. 417);



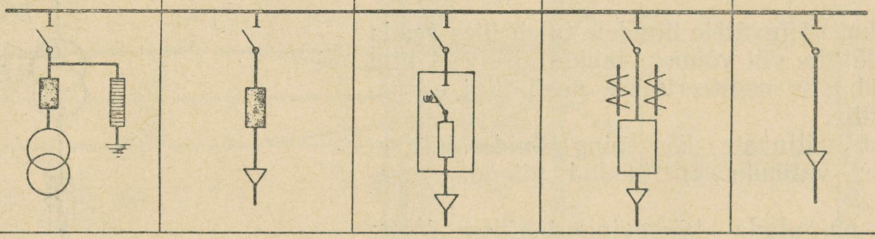
Joon. 420. Kahe 300 kVA agregaadiga hüdroelektrijaama masinasaali ja jaotusseadme plaan: *1* — hüdroturbiin; *2* — generaator; *3* — automaatne kiirusregulaator; *4* — drosselklapp; *6* — hooratas; *7* — tugilaager.



Joon. 420 a. Hüdroelektrijaama masinasaali lõige: *5* — imemistoru; *8* — monteerimistala; ülejäänud positsioonide tähendused on samad mis joonisel 420.

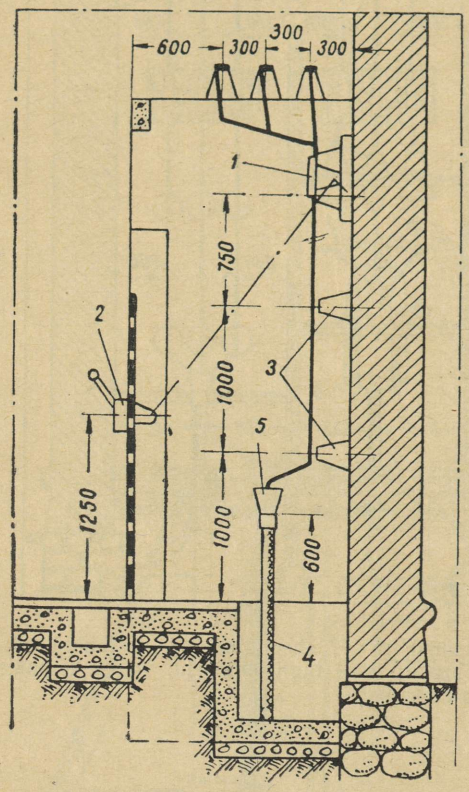


Joon. 421. Jaotusseadme fassaad: *1* — pingetrafod; *2* — sulavkaitsmed; *3* — lahendajad; *4* — lahklülitid; *5* — võimsus-lahklüliti; *6* — õlilüliti; *7* — voolutrafod; *8* — läbiviiguisolaator; *9* — tugiisolaatorid; *10* — kogumislatid.

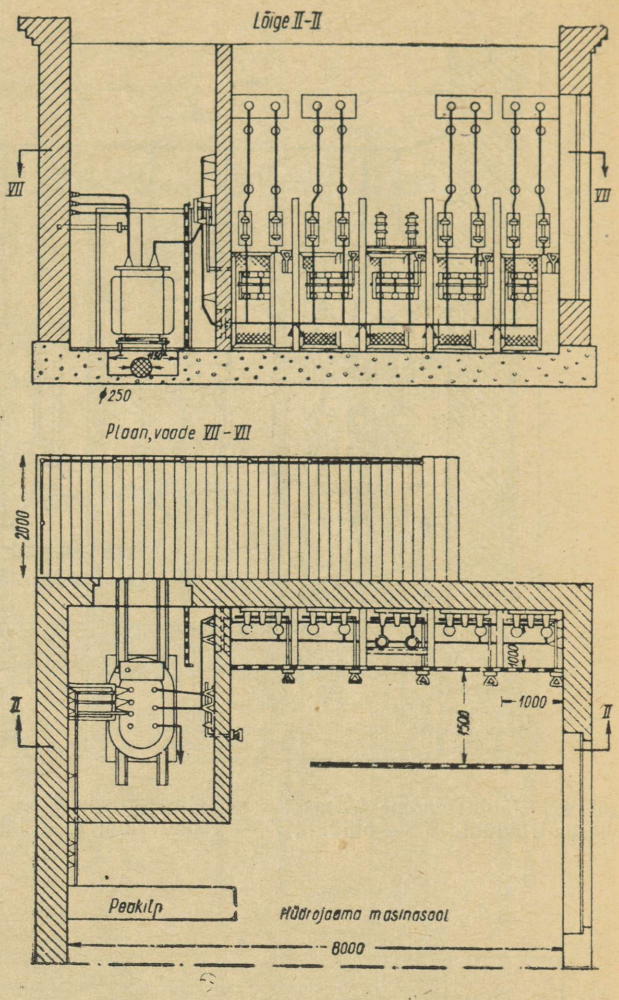
Lahtri nimetus	Pingetrafode ja vilttlahendajate lahter	Väljuva liini lahter	Väljuva liini lahter	Väljuva liini lahter	Jõutrafo lahter
Pingetrafode, vilttlahendajate, võimsus-lahklülitite, õlilülitite, lahklülitite lahtrid					
Teeninduskoridor					
Aparaadi nimetus	Pingetrafod Vilttlahendajad Lahklüliti	Lahklüliti Sulavkaitsmed	Võimsus-lahklüliti	Lahklüliti Voolutrafod Võimsuslüliti	Lahklüliti

Joon. 422. Jaotusseadme täiteskeem.

3) väljuva liini lahter, mis on varustatud võimsus-lahklülitiga ВНП-16 (joon. 418);
4) väljuva liini lahter, mis on varustatud lahklülitiga ja sulavkaitsmetega (joon. 419);
5) pingetrafo ja viliitlahendajate lahter.



Joon. 423. Jõutrafo sisestuslahter: *1* — lahklüliti; *2* — ajam; *3* — tugiisolaatorid; *4* — kaabel; *5* — kaablimuhv.



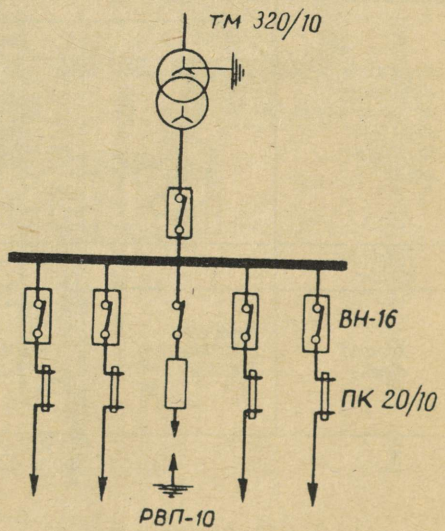
Joon. 424. All asetsevate kogumislattidega jaotusseade.

Juhul kui väljuvatele liinidele tuleb üles seada peale õlilülitite või võimsus-lahklülitite veel liini lahklülitid, siis monteeritakse need liini esimesele mastile.

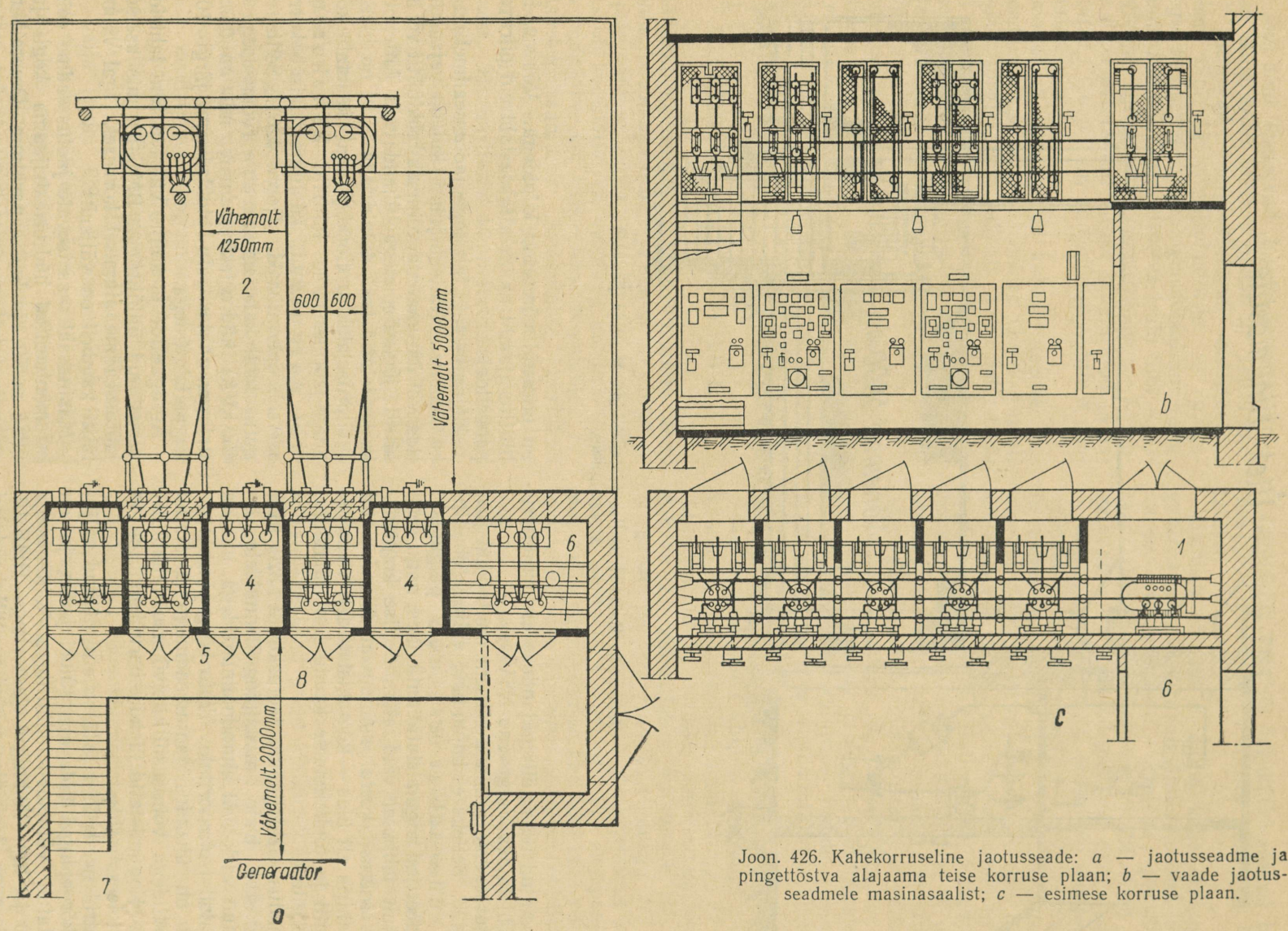
Juhised väljuvate kõrgepingeliinide lülitusaparatuuri valikuks on toodud viiendas peatükis.

Püüd paigutada kõrgepinge-jaotusseadmete väljumislahtreid vahetult hüdroelektrijaama masinasaali ja sellega vähendada jaama ehituslikke mõõteid ja lihtsustada ekspluateerimist, olid aluseks Glavselelektro projekteerimisorganisatsioonide poolt jaotusseadme originaalsete konstruktsioonide loomisel.

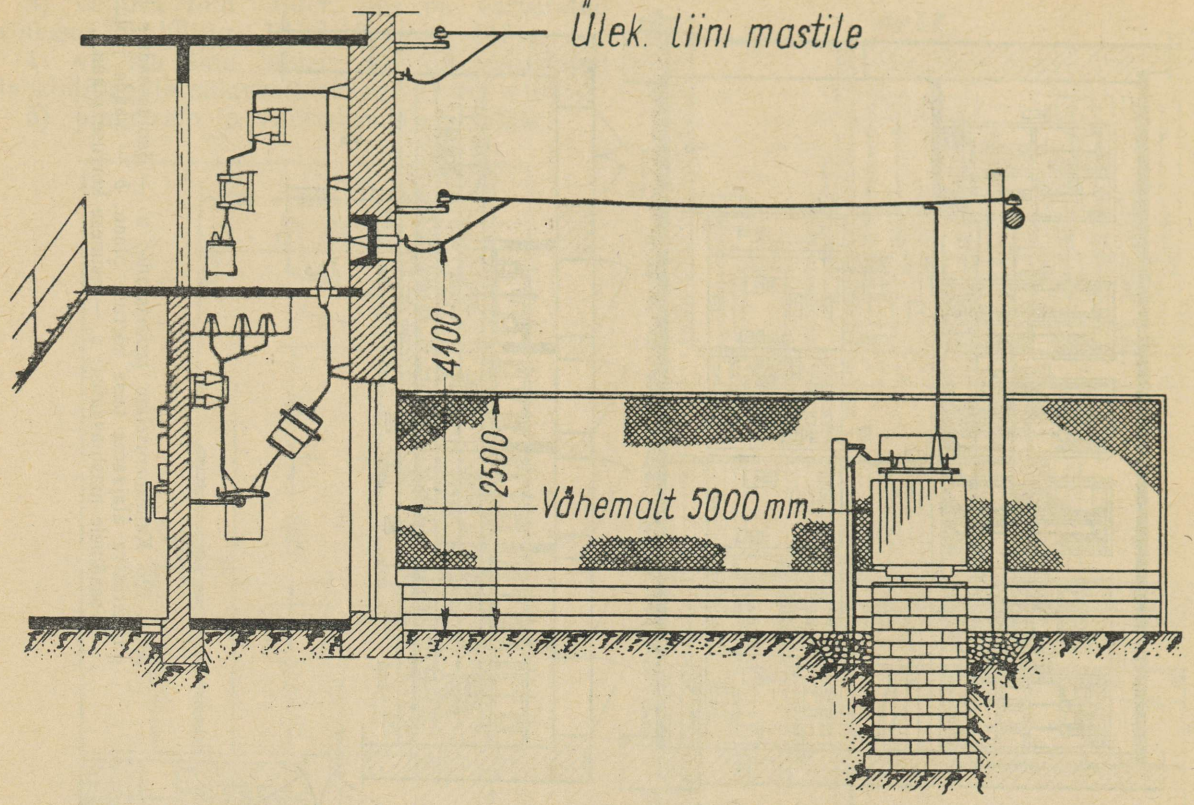
Joonisel 424 on toodud pingettõstva alajaama ja 10 kV jaotusseadme skeem, kus kogu seadmestik on paigutatud 300—400 kVA hüdroelektrijaama hoonesse. Projekt on välja töötatud Giproselelektro Valgevene Filiaali poolt ja



Joon. 425. Jaotusseadme skeem.



Joon. 426. Kahekorruseline jaotusseade: *a* — jaotusseadme ja pingettõstva alajaama teise korruse plaan; *b* — vaade jaotusseadmele masinasaalist; *c* — esimese korruse plaan.



Joon. 427. Kahekorruselise jaotusseadme lõige ja jõutrafo paigutus.

on teostatud reas põllumajanduse elektrifitseerimise objektides Valgevene NSV-s.

Jaotusseadme põhimõtteskeem on toodud joonisel 425. Selleks et kujundada väljuva õhuliini lahtri ühereal ist asetust, paigutasid projekteerijad kogumislatid mitte üles, nagu seda harilikult tehakse, vaid alla. Sellise kogumislattide asetuse korral suunduvad ühenduslatid igas lahtris alt üles — kogumislattidelt võimsuslahklüliti ja jõukaitsmete kaudu liini läbiviiguisolaatoritele.

Ühendus elektrijaama jaotuskilbilt 320 kVA pingettõstva trafo madalpingeklemmidele on teostatud vask- või alumiiniumlattidega, mis on kinnitatud isolaatoritele. Trafo kõrgepingeklemmidelt on ühendus jaotusseadmega teostatud teraslattidega võimsuslüliti (võimsus-lahklüliti) kaudu. Kogumislatid ja kõik haruühendused on samuti teraslattidest.

Lahtrid nr. 1, 2, 4 ja 5 on ette nähtud väljuvate kõrgepingeliinide aparatuuri jaoks ja on varustatud võimsus-lahklülititega, kaitsmetega ПК-10 ja liini läbiviiguisolaatoritega ПНБ-10. Lahtrisse nr. 3 on üles seatud ventiillahendajad РВП-10. Jaotusseadme lahtrid ja kogu seade on piiratud võretatud kilpidega. Võimsus-lahklülitite ajamid monteeritakse lahtreid piiravatele paneelidele.

All asetsevate lattidega jaotusseadmel on aga ka puudusi. Näiteks juhul, kui on vaja remontida või üle vaadata võimsus-lahklülitit või seda lülitit jõukaitsmetega ühendavaid latte, tuleb kogumislatid trafost lahutada.

Giproselelektro Gorki Filiaal kasutab kõrgepinge-jaotusseadme lahtrite kahekorruselist paigutust, kusjuures teisel korrusel asetseb operatiivrõdu (joon. 426). Selline paigutus sobib kahe agregaadiga (võimsusega kuni 450 kVA) hüdroelektrijaamale, mis on ühendatud generaator-trafo blokkskeemi järgi 10 kV kogumislattidega.

Agregaatide ja kolme väljuva liini lahtrid on varustatud õlilülititega ВМБ-10, mis asetsevad jaotusseadme alumisel korrusel. Igal võimsuslüliti kambril on välisuks.

Masinasaalis asetsevale jaotusseadme seinale on monteeritud hüdroelektrijaama kogu juhtimis-, mõõte- ja kaitseaparatuur. Omatarbetrafo on paigutatud seadme alumisele korrusele — kambrisse *1*. Generaator-trafo blokkide mõle-

mad jõutrafod asetsevad hoone jaotusseadmepoolse seina ääres lahtisel platsil *2*. Teisel korrusel asetsevad energiasüsteemi sidestusliini kamber liini läbiviiguisolaatorite ja pingetrafoga, kamber *4* kõrgepinge-radiaalliini väljaviiguga, kamber *5* pingettõstva trafo liini sisestusega ja agregaatide pingetrafodega. Kambrisse *6* on paigutatud lattide pingetrafod ja lahendajad. Trepp *7* on ette nähtud rõdule *8* pääsemiseks.

Joonisel 427 on toodud kahekorruselise jaotusseadme lõige (Giproselelektro Gorki Filiaali projekti järgi), mis näitab generaator-trafo bloki elektriseadmete paigutust alumisse ja ülemisse kambrisse ja pingettõstva alajaama ning sisejaotusseadme omavahelist paigutust, samuti ka väljuvaid liine.

Kahekorruselise jaotusseadme ehitus on väga efektiivne neil juhtudel, kui hüdroelektrijaama ehitusplats on oma mõõdetelt piiratud ja hoone vundamendi ehitamise maksumus on suhteliselt kõrge, võrreldes jaotusseadme teise korruse ehitamisega.

ELEKTRIJAAMA JAOTUSKILBID

Madalpingegeneraatoritega elektrijaama kogu kommutatsiooniaparatuur ja kontroll-mõõteriistad paigutatakse jaotuskilbile. Kilbi põhiosaks on keevitatud või needitud konstruktsiooniga ühekordne või kahekordne raamistik.

Maaelektrijaamades kasutatakse harilikult kahekordse raamistikuga jaotuskilpe (joon. 428), mis valmistatakse nurk- ja lattterasest. Raamistikule kinnitatakse jaotuskilbi paneelid, mis on valmistatud 2—3 mm paksusest terasplekist. Paneelide laius on 800—1000 mm; kahekordse raamistikuga kilbi sügavus on 550—600 mm; kõrgus põrandalt kuni ülaosani on 2100—2400 mm, kusjuures alumine osa (alusraam) on põrandast 600—700 mm kõrgusel.

Jaotuskilbi paneelid liigitatakse nende ülesande järgi generaatori- ja liinipaneelideks. Generaatoripaneelile monteeritakse juhtimis- ja kaitseaparatuur ning kontroll-mõõteriistad, mis kuuluvad generaatorile. Liinipaneelile monteeritakse elektrijaama kogumislattidelt väljuvate liinide juhtimisaparaadid ja mõõteriistad.

Mõõteriistu võib monteerida kilbi paneelile kahel viisil: 1) riistad ulatuvad paneeli tasapinnast välja (joon. 429), 2) paneelidesse lõigatakse riistade mõõdete järgi avad ja riistad paigutatakse avadesse nii, et nende skaalad oleksid paneeliga samas tasapinnas (joon. 430). Viimasel juhul varustatakse mõõteriist esirõngaga. Elektriarvestid paigutatakse harilikult kas kilbi taha või küljele.

Jaotuskilbi esi- või tagaküljel olevad teenindus-läbikäigud peavad olema vähemalt 0,8 m laiused.

Joonisel 431 on näidatud kahe madalpingegeneraatoriga elektrijaama kilbi fassaad ja külgvaade. Generaatorid töötavad paralleelselt madalpinge-kogumislattidele. Kilbi lõige ja tagantvaade on näidatud joonistel 432 ja 433.

Nagu näha joonistelt, on kilbile monteeritud: vahelduvvoolu-ampermeetrid *1*, ergutusahela alalisvoolu-ampermeetrid *2*, vahelduvvoolu-voltmeetrid *3* voltmeetrite ümberlülititega *6*, nullvoltmeeter *4* ja sünkroniseerimislambid *16* generaatori lülitamiseks paralleeltööle, kangajamiga kolmepooluselised vinnaklülitid *7* ja *8* elektrijaama generaatoritele ja liinidele, arvestid *17*, sagedusmõõtjad *5*. Mõõteriistad on varustatud esiküljel rõngastega *19*. Ampermeetreid ja arvestite voolumähiseid toidetakse voolutrafost *9*. Generaatorite ja väljuvate liinide vooluahelatesse on järjestikku vinnaklülititega ühendatud sulavkaitsmed *10*.

Avariivalgustuse ja omatarbe vooluahelate jaoks on jaotuskilbi küljele kinnitatud marmorkilbike *21* ühepooluselise ümberlülitiga *13*, karplülititega *14* ja harilike sulavkaitsmetega *12*. Kilbike *21* kinnitatakse nurkterase *20* külge. Külgedelt on kilp piiratud võredega *11*.

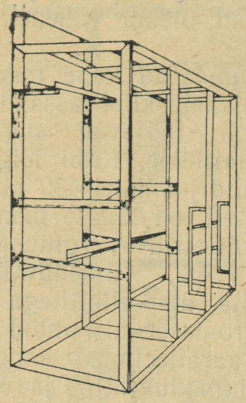
Ergutaja ja ergutuse reguleerimiseks kasutatakse käsirattaga reostaati *15*. Kompaundeerimisseadis monteeritakse kas kilbi taha või generaatori kõrvale. Sünkroniseerimismõõteriistad on koondatud erikilbile *22*, mis on kinnitatud pööratavale paneelile. See paneel seatakse sellisesse asendisse, et generaatorite sünkroniseerimisel oleks hõlpus jälgida mõõteriistu.

Terasest kogumislatid ristlõikega 30 × 4 või 40 × 4 mm on kinnitatud tugiisolaatoritele *18*. Null-latiks on konstruktsiooni alumine pikutiasetsev nurkteras, mis on ette nähtud ka voolutrafode *9* kinnitamiseks.

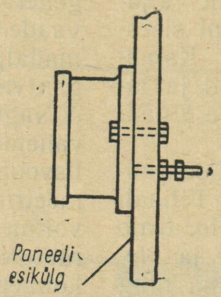
Väikese võimsusega maaelektrijaamades võib kasutamist leida peale ülalkirjeldatud normaalsete eraldiseisvate jaotuskilpide ka seinaäärsed (joon. 434) või seinapealsed (joon. 435) jaotuskilbid. Seinaäärsed jaotuskilbid peavad olema varustatud esipaneelil avaga, mis on suletav kõrvaletõstetavate või hingedel pöörduvate ustega. See on vajalik jaotuskilbi paneeli taha monteeritud seadiste eest hoolitsemisel ja peamiselt juurdepääsu võimaldamiseks jõukaitsmete sulavribade vahetamisel. Selline kõrvaletõstetav uks on seinaäärsel kilbil (joon. 434) ja see asetseb kaitsmete kõrgusel.

Elektrijaama kogumislattidelt väljuva liini paneeli konstruktsioon on näidatud joonisel 436.

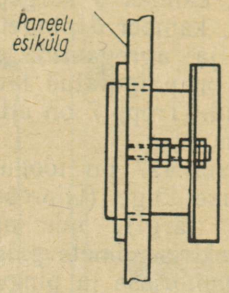
Alates kaablimuhvist *1* läbib kilbi toiteahel voolutrafo *2*, automaatlülitit *3* ja nendega jär-



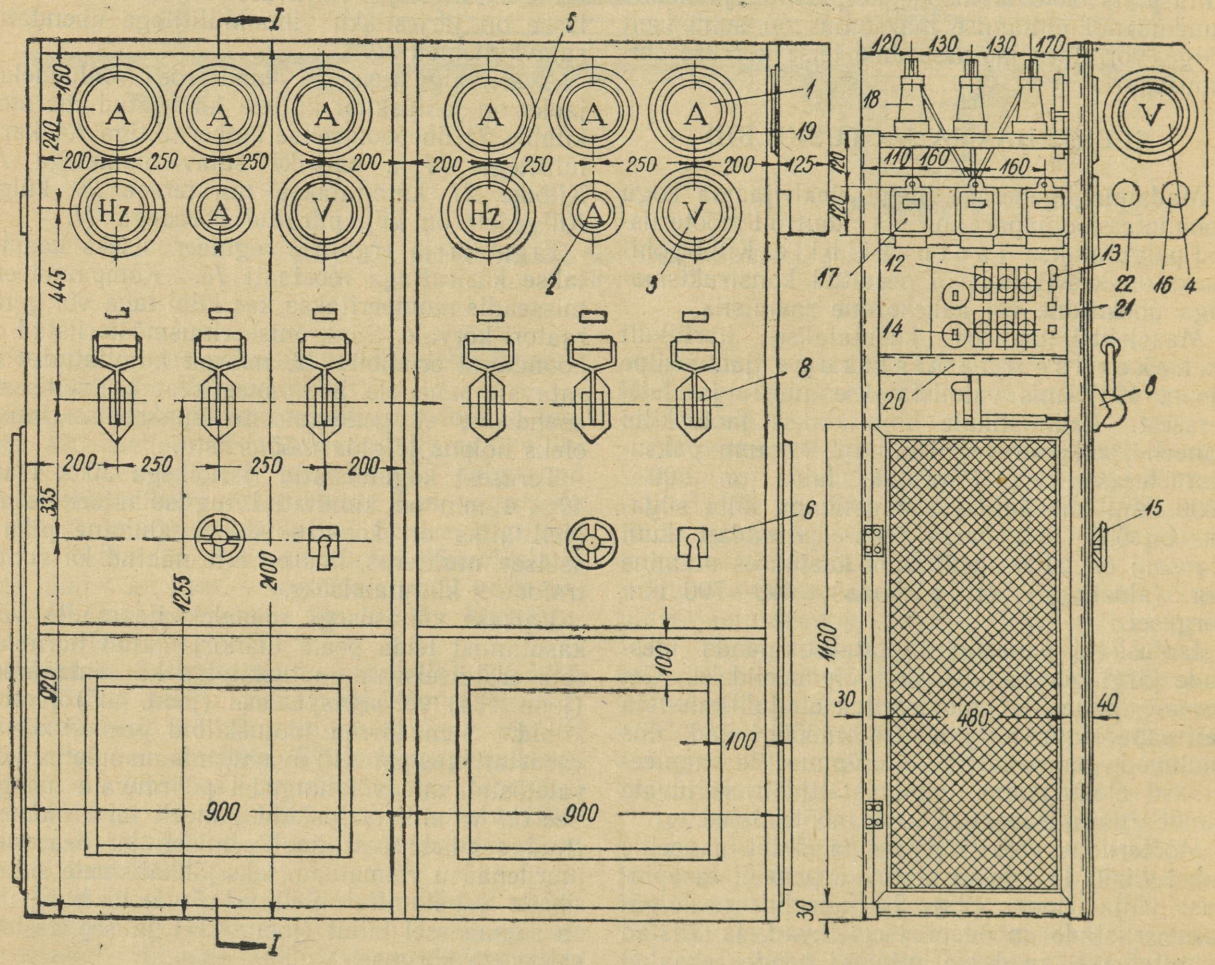
Joon. 428. Kahekordse kilbi sõrestik.



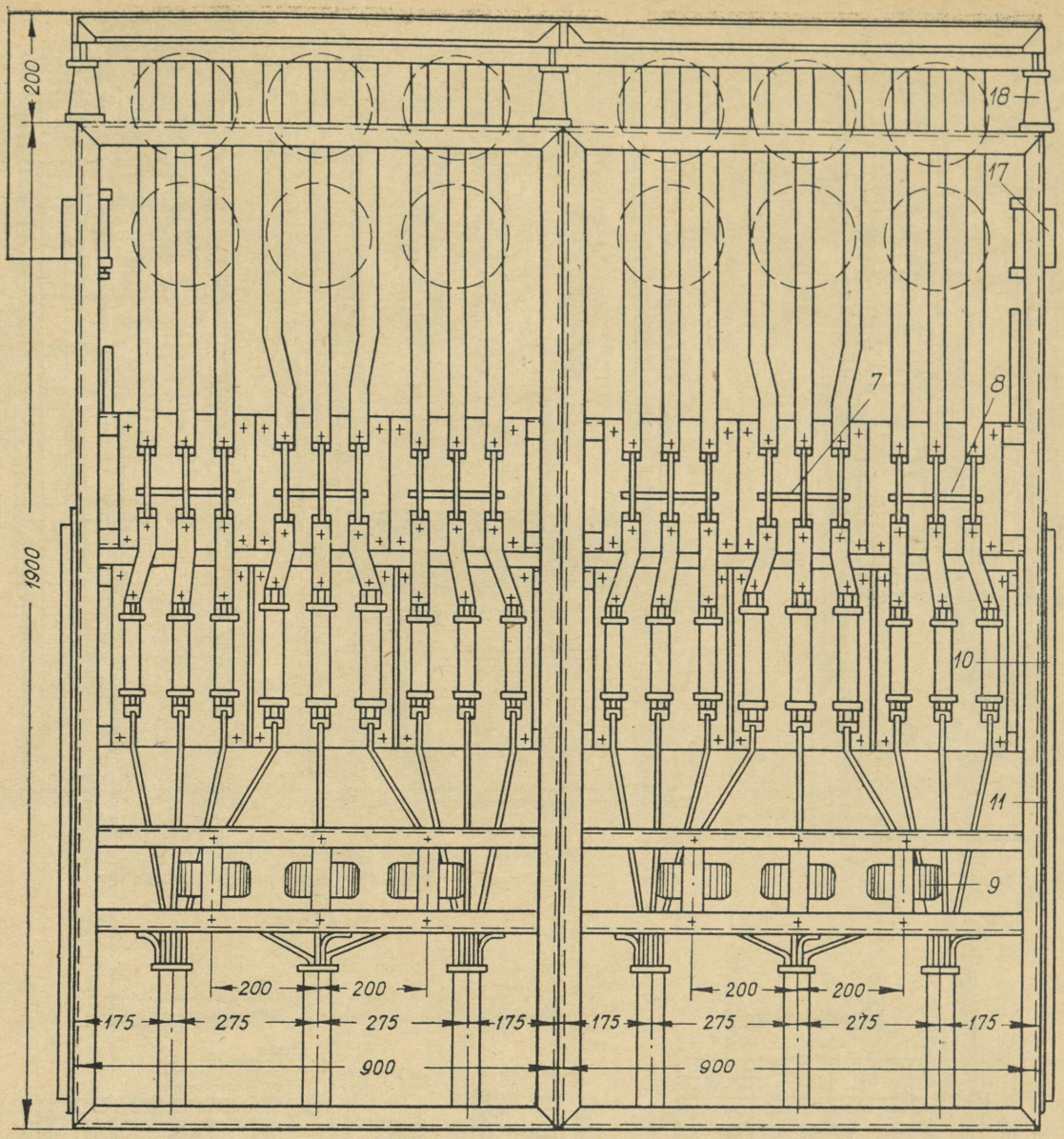
Joon. 429. Mõõteriista paigutus kilbi peal.



Joon. 430. Mõõteriista paigutus kilbi sees.



Joon. 431. Kahe paneeliga kilbi fassaad ja külgvaade.



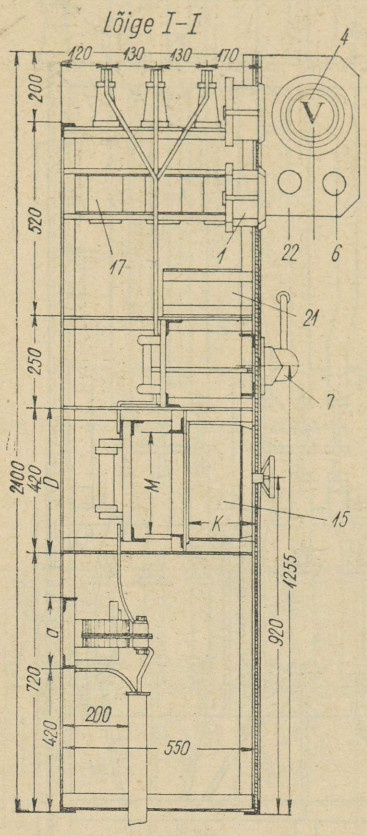
Joon. 432. Kahe paneeliga kilbi tagakülg.

jestikku ühendatud vinnaklülitit *4*. Alumiiniumist kogumislatid, millede ristlõige on 50 × 4 mm, on kinnitatud tugiisolaatoritele *5*. Kilbi esipaneelile on paigutatud: generaatori staatoriahela ampermeetrid *6*, ergutusahela ampermeeter *7*, peavooluahela voltmeeter *8* koos ümberlülitiga *9*, sagedusmõõtja *10*, automaatlüliti ajam *3*, liini vinnaklüliti *11* ja ergutusreostaat *12*.

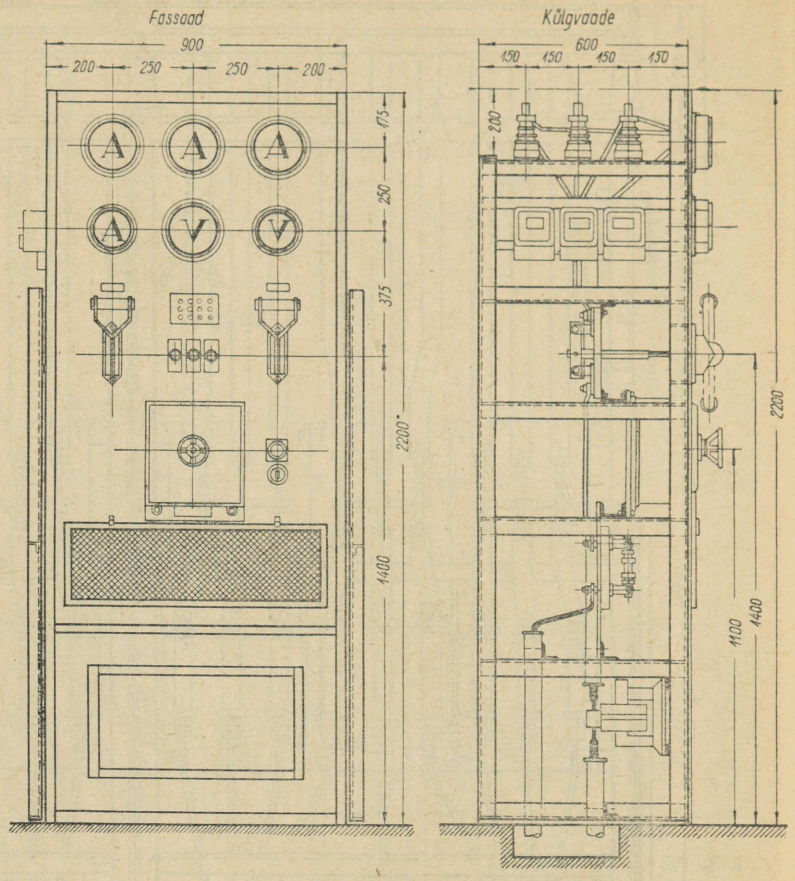
ALAJAAMAD

Trafoalajaamad liigitatakse pingettõstvateks ja pingetmadaldavateks alajaamadeks. Pingettõstvad alajaamad ehitatakse maaelektrijaamade juurde peaaegu kõigil juhtudel, sest generaatoripinge on kas 400 V või 6 kV, kuid elektrienergia ülekanne teenindatavatesse rajoonidesse toimub pingel 10, 20 või 35 kV.

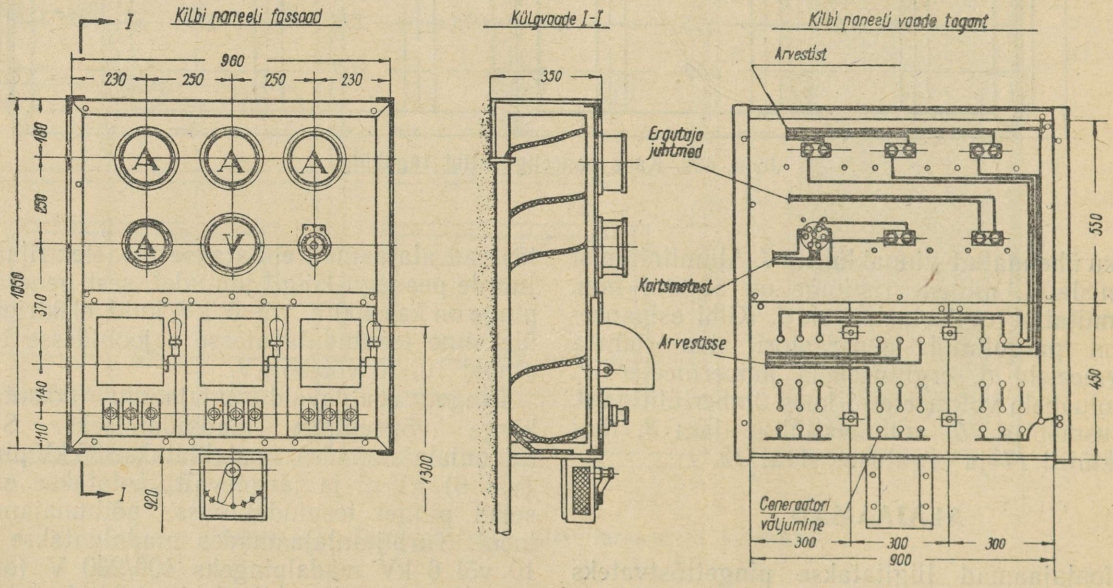
Pingetmadaldavaid alajaamu kasutatakse kõrge võrgupinge madaldamiseks. Suurtes rajoonialajaamades madaldatakse 35 kV pinge 10 (või 6) kV-ni ja järgnevalt jaotatakse energia sellel pingel teenindatavasse põllumajandusrajooni. Tarbija-alajaamades madaldatakse pinge 10 või 6 kV madalpingeks 400/230 V (otseselt maandatud nullpunktiga) ja juhitakse tarbija-



Joon. 433. Kilbi lõige *I—I*.



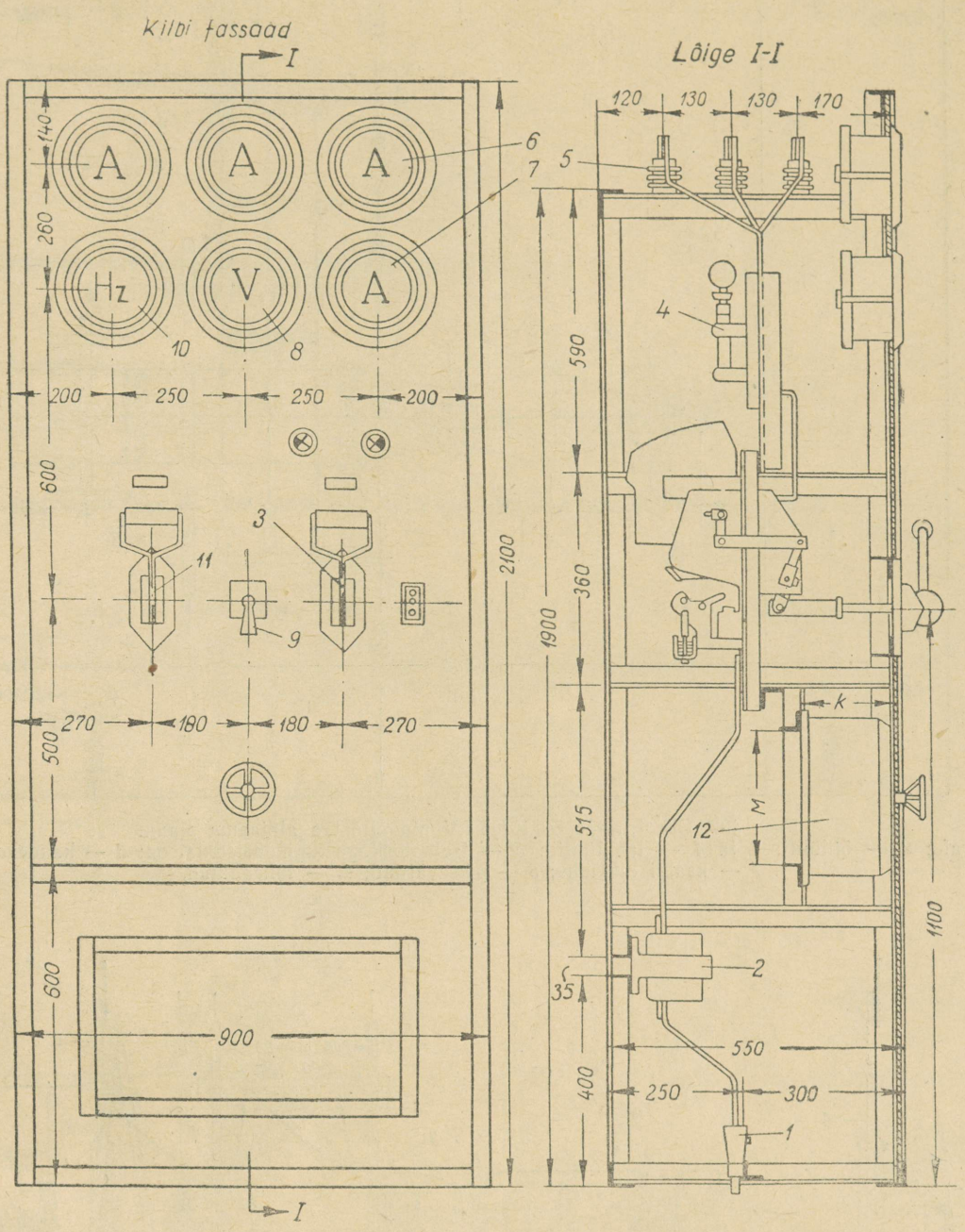
Joon. 434. Seinaäärne jaotuskilp.



Joon. 435. Seinapealne jaotuskilp.

tele. Elektrimootorid lülitatakse liinipingele, kuna aga valgustuslambid ja elutarbelised soojendusriistad lülitatakse faasipingele.

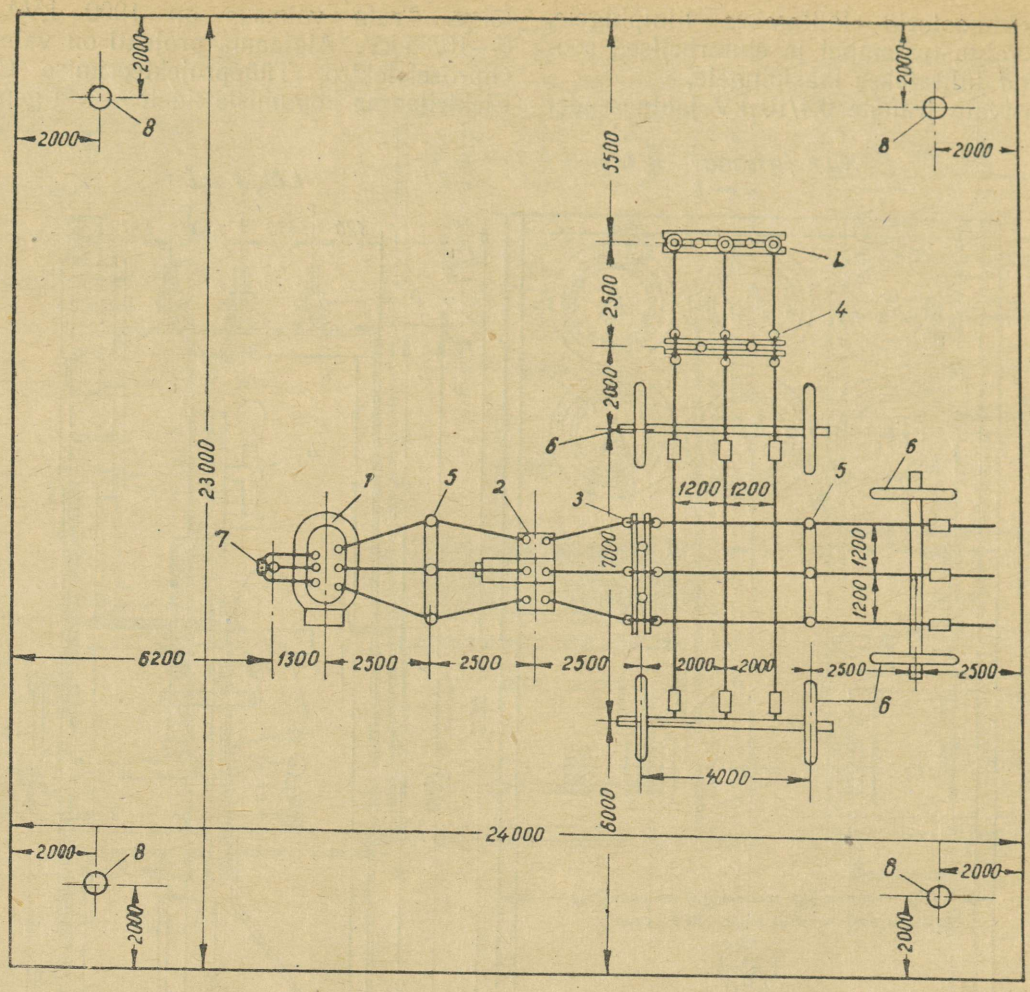
Pingettõstvate trafode 0,4/10 kV jaotusseadet lõige. Trafo võimsus on 1000 kVA, pinge 6—10/35 kV. Alajaama projekti on valmistanud Giproselelektro Tüüpprojekteerimise Osakond. Elektrijaama kogumislattidelt — või generaator-



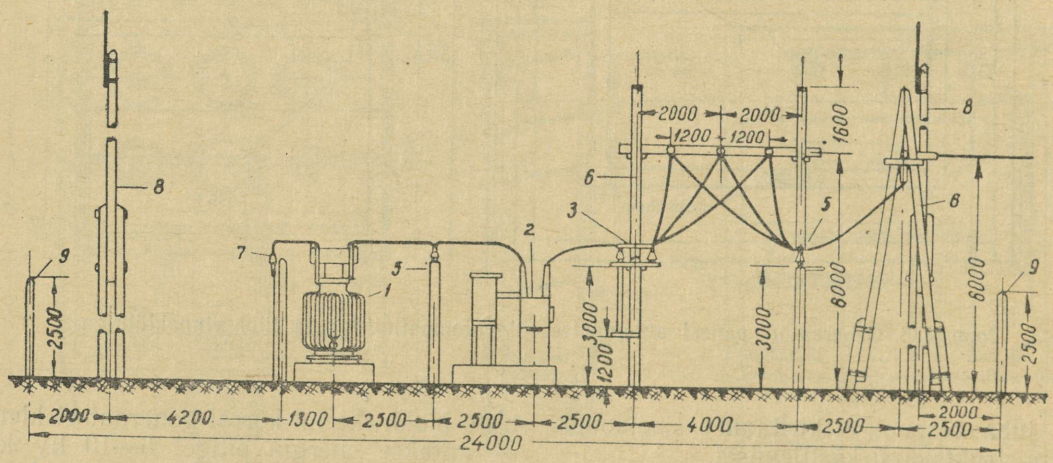
Joon. 436. Generaatori paneel automaatse õhk-automaatlülitiga ja liini vinnaklülitiga.

kirjeldati juba eespool elektrijaama sisejaotusseadme konstruktsiooni käsitlemisel.

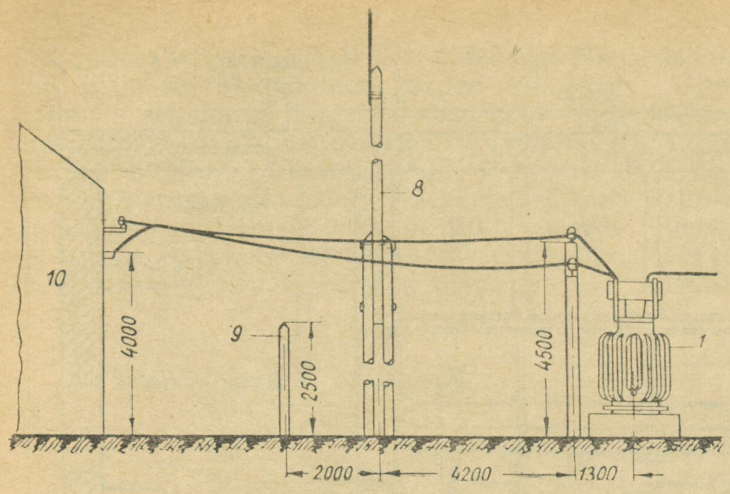
Joonistel 437 ja 438 on toodud ühe trafoga pingettõstva lahtise alajaama asetusplaan ja trafo blokk-skeemi korral generaatori klemmidelt — antakse energia pingel 6—10 kV kaabliga otsmuhvist *7* jõutrafo *1* alampingeklemmidele. Sõltuvalt kohalikest tingimustest võib kaabel-



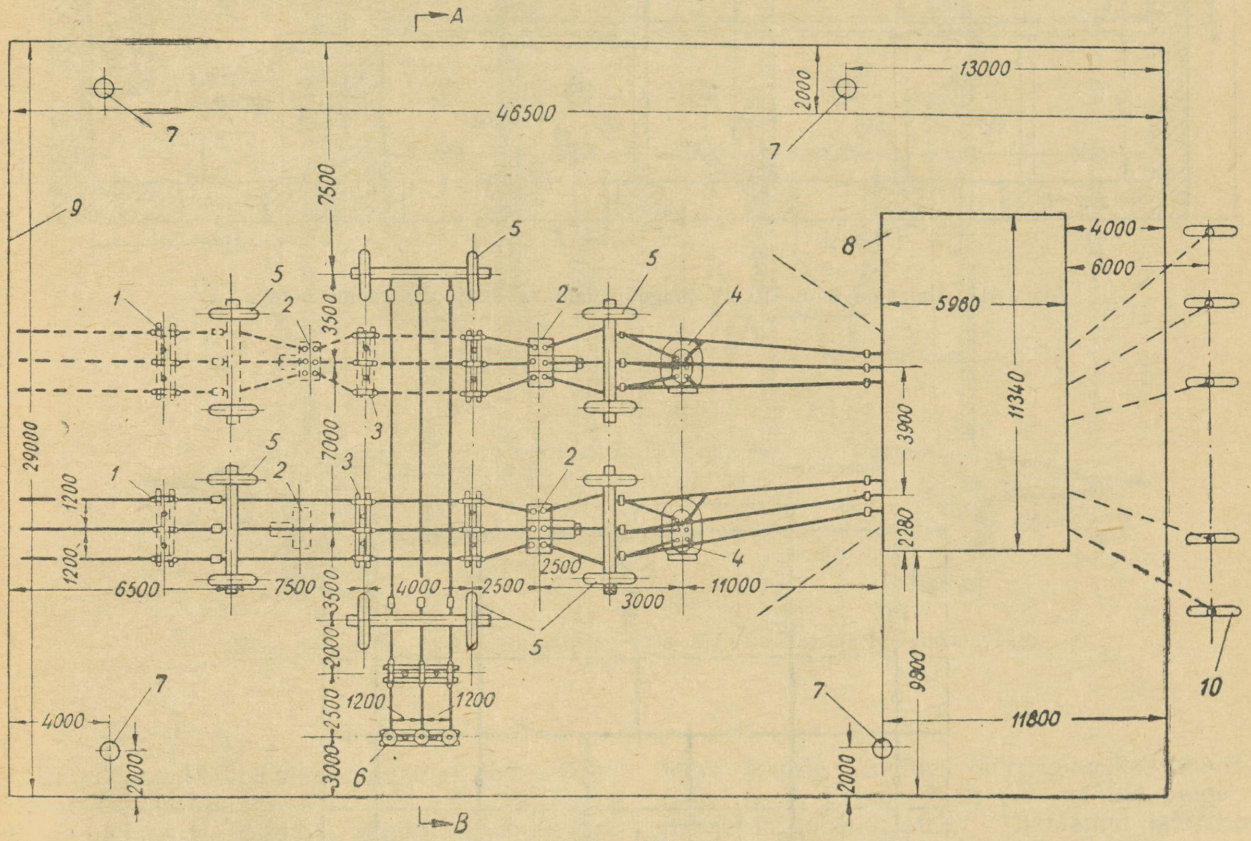
Joon. 437. Ühe trafoga 6—10/35 kV pingettõstva alajaama plaan:
1 — jõutrafo; *2* — õlilüliti; *3* ja *4* — lahklülitid; *5* — isolaatoritega tugikonstruktsioon; *6* — kandekonstruktsioon; *7* — kaabli otsmuhv; *8* — piksevardad; *L* — lahendajad.



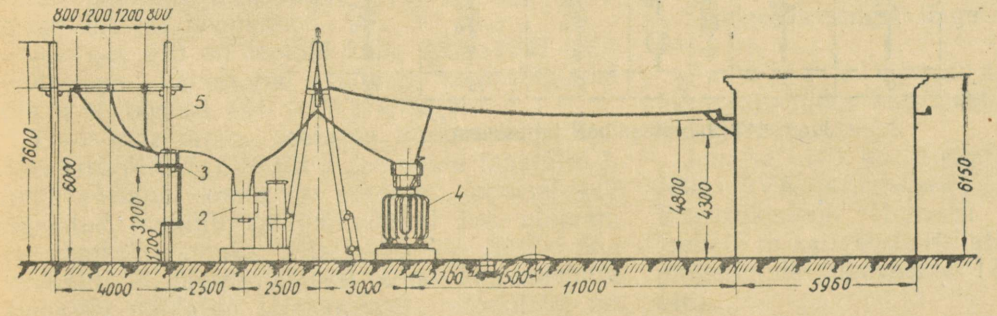
Joon. 438. Ühe trafoga 6—10/35 kV pingettõstva alajaama lõige: *9* — alajaama piirdetara; ülejäänud positsioonide tähendused on samad, mis joonisel 437.



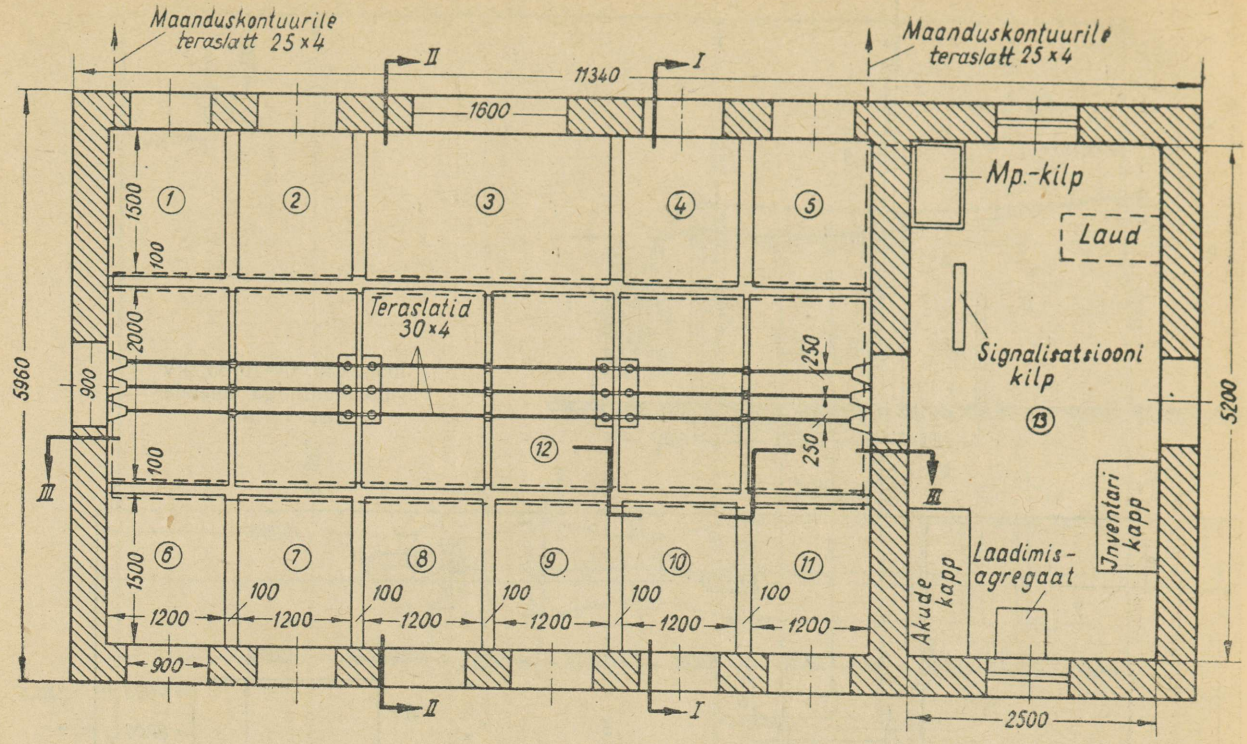
Joon. 439. 6—10/35 kV trafo õhuliiniga ühendamise variant.



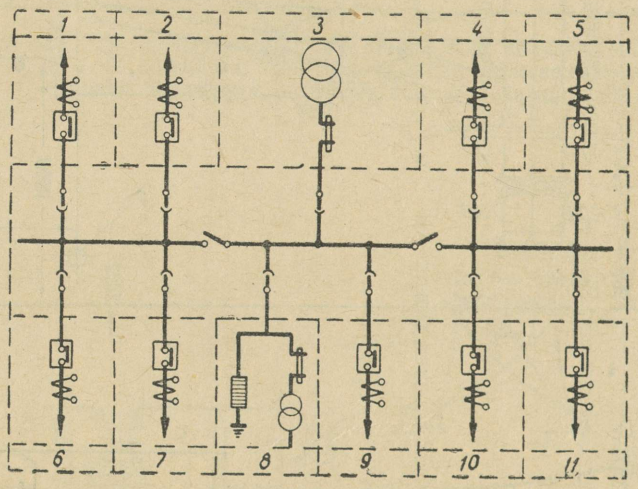
Joon. 440. Pingetmadaldava 35/6—10 kV alajaama plaan.



Joon. 441. Jõutrafo lahtri pikilõige.



Joon. 442. Alajaama 35/6—10 kV pingetmadaldava sisejaotusseadme plaan.

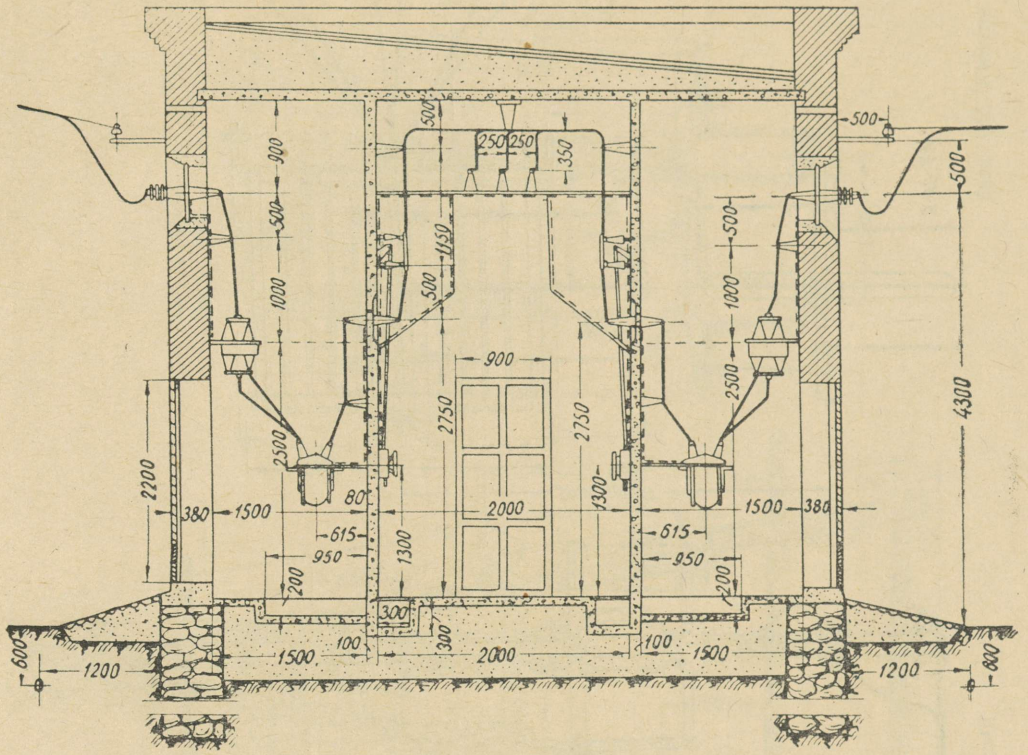


Joon. 443. Jaotusseadme täiteskeem.

liini asemel kasutada ka paljasjuhtmetega õhuliini, nagu see on näidatud joonisel 439. Alajaama on paigutatud järgmised elemendid: tugiisolaatoritega tugikonstruktsioon *5*, kapp-tüüpi ajamiga õlilüliti 35 kV *2*, lahklüliti *3*, АП-kujuline tugikonstruktsioon *6* ja lahendajad *L*, mis lülitatakse välja lahklüliti *4* abil. Pikse otselöökide vastu kaitstakse alajaama piksekaitsevarrastega *8*. Alajaam on piiratud aiaga *9*.

kujutatud: jõutrafod 35/6—10 kV *4*, õlilülitid *2*, АП-puitmastid *5*, viliitlahendajad *6*, piksekaitsed *7*, sisejaotusseade *8*, alajaama piirdetara *9* ja 10 kV liinid koos lõppmastidega *10*.

Joonisel 442 on toodud 35/6—10 kV alajaama sisejaotusseadme plaan ja joonisel 443 selle jaotusseadme täiteskeem. 560—1000 kVA jõutrafode sisestusaparatuuri paigutamiseks on ette nähtud lahtrid *2* ja *4*. Omatarbetrafo paigutatakse kõige



Joon. 444. 35/6—10 kV pingetmadaldava alajaama sisejaotusseadme lõige.

Pingetmadaldavad maa-alajaamad 35/6—10 kV ehitatakse harilikult kahe 560 või 1000 kVA jõutrafoga. Trafod ja ülempinge-poole aparatuur seatakse üles välja, 6—10 kV aparatuur paigaldatakse hoonesse.

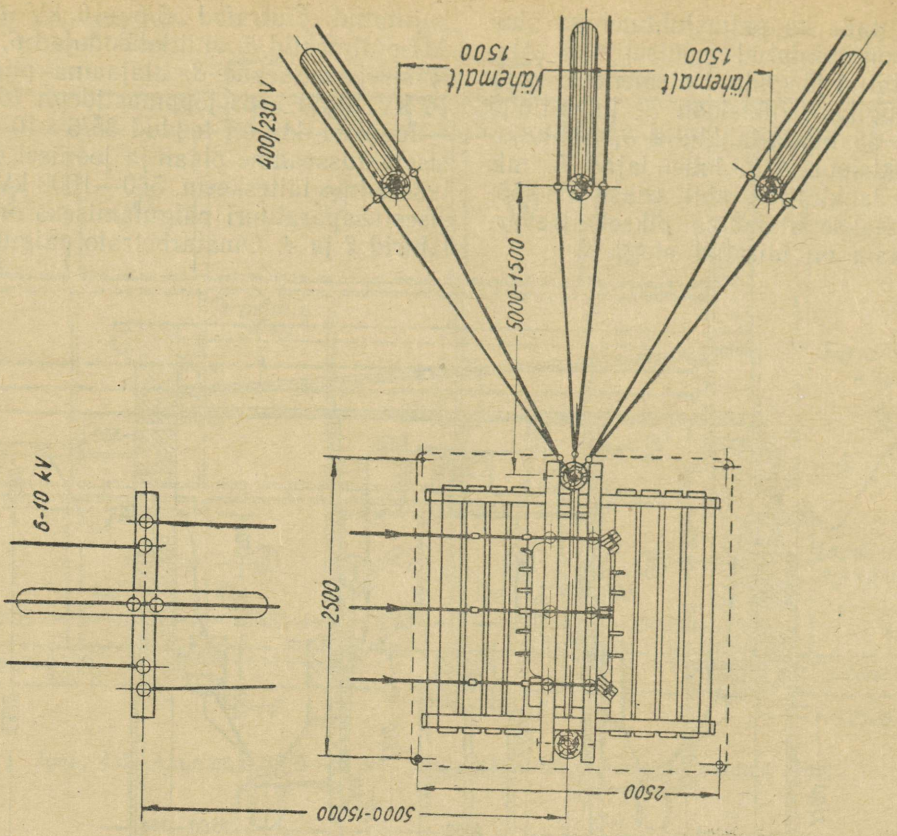
Joonisel 440 on toodud kahe 560—1000 kVA jõutrafoga varustatud tüüpse maa-alajaama plaan ja joonisel 441 selle pikilõige.

Transiitalajaamas seatakse kummassegi liini üles lahklüliti *1*, õlilüliti *2* ja lattide lahklüliti *3*. Selle variandi kohta on seadmed joonisel 440 näidatud punktiirjoonega. Juhul kui alajaam on tupikalajaamaks, piisab 35 kV liinile ühe lahklüliti *3* ülesseadmisest enne kogumislatte (joonisel näidatud täisjoonega). Joonistel on tema juurde kuuluva kõrgepingeaparatuuriga lahtrisse *3*. Lahter *8* on ette nähtud pingetrafodele ja lahendajatele. Ülejäänud lahtritesse paigutatakse väljuvate liinide aparatuur.

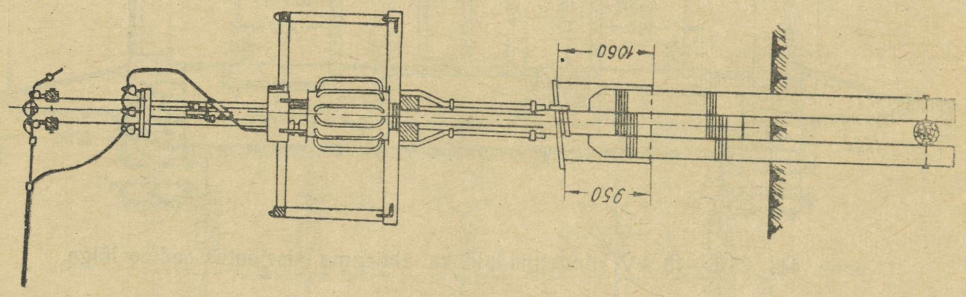
Sisejaotusseadme lõige on näidatud joonisel 444.

Tarbija-alajaamad on põllumajanduslikes rajoonides kas mast-alajaamad või kinnised kioskalajaamad.

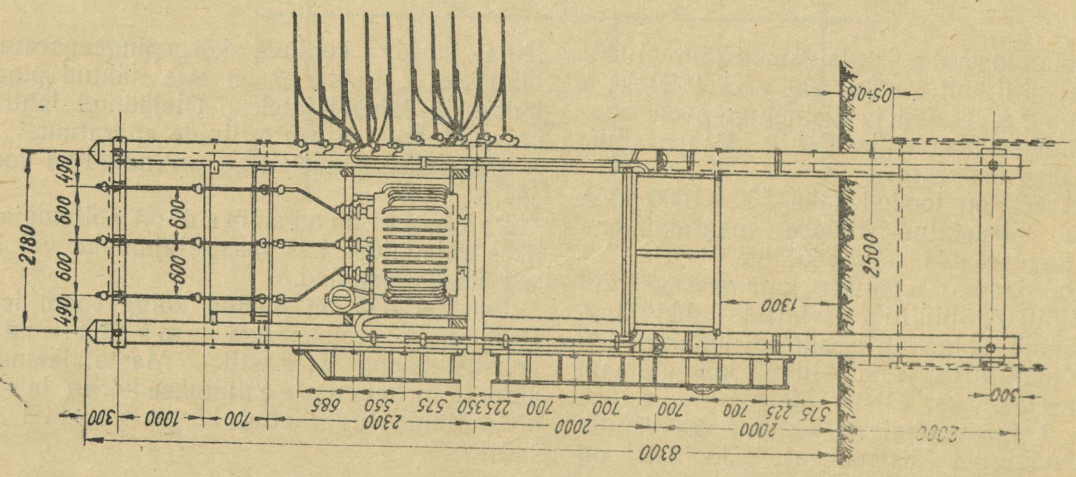
Joonisel 445 on toodud kõige enam levinud 1000 kVA võimsusega mastalajaama konstruktsioon П-mastil. Mastalajaamast 5 kuni 15 m kaugusele ehitatakse kõrge- ja madalpingeliinide tugevdatud lõppmastid (joon. 446).

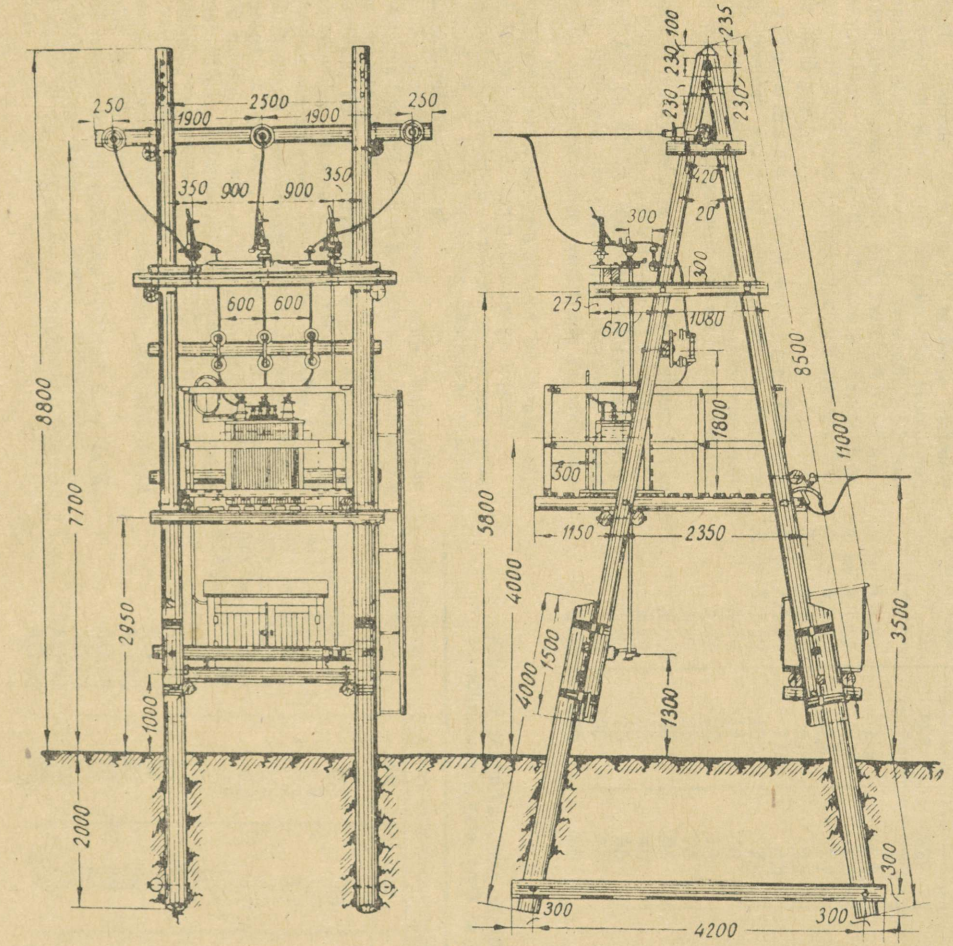


Joon. 446. Alajaama ja kõrge- ning madalpingeliiniide lõppmastide paigutuse plaan.

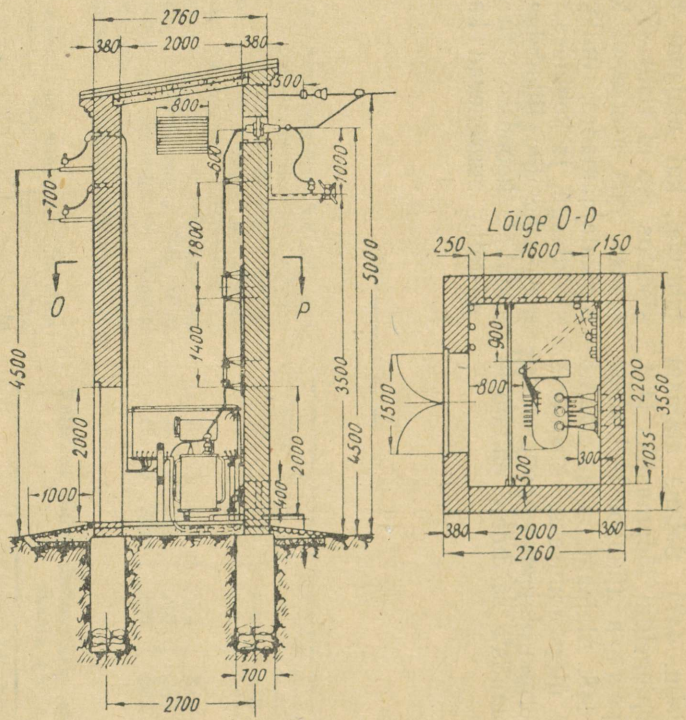


Joon. 445. Mastalajaam П-mastil.





Joon 447. Mastalajaam АП-mastil.



Joon. 448. Kinnine alajaam.

Keerukam mastalajaam on АП-mastile monteeritud alajaam (joon. 447). Selline alajaam on ühtlasi ka kõrgepingeliini lõppmastiks [47].

Kinnise alajaama tüüpkonstruktsioon on toodud joonisel 448. Alajaam on arvestatud 100 kVA jõutrafo ülesseadmiseks, kusjuures juhtmete sisenemiskõrgus alajaama hoonesse on vastavalt «Elektrotehniliste seadmete ehitamise eeskirjadele» 4,5 m.

Selline liini sisestuskõrgus on küllaldane neil juhtudel, kui alajaam on tupikalajaamaks ja sisestus ise ei ristu sõiduteega. Transiitalajaamades, mis asetsevad kõrgepingeliinis, samuti tupikalajaamades, millede sisestused ristuvad sõiduteega, ja kohtades, kus on võimalik transpordivahendite liikumine, tuleb sisestuskõrgust alajaama hoonesse suurendada kuni 6 meetrini, mistõttu suurenevad ka alajaama üldmõõted.

ASÜNKROONMOOTORITE ÜHTLUSSEERIA

NSV Liidu Elektritööstuse Ministeeriumi tehased toodavad ühtlusseeria asünkroonmootoreid võimsusega kuni 100 kW. Võrreldes neid teiste varemtoodetud suurearvuliste seeriate mootoritega, on ühtlusseeria elektrimootoritel rida paremusi. Kõigepealt on ühtlusseerial kindel võimsuste skaala, s. t. erinevate kiirustega mootorid sünkroonpöörlemiskiirusega 750, 1000, 1500 ja 3000 p/min valmistatakse ühesugustele kindlatele võimsustele. See võimaldab palju täpsemalt valida elektrimootoreid mitmesuguste põllumajandusmasinate ajamitena.

Ühtlusseeria mootorid arendavad suuremat käivitusmomenti kui see on ette nähtud ГОСТ-i järgi. Samal ajal aga käivitusvoolu kordsus ei ületa ГОСТ-i poolt ettenähtud väärtust. Sõlmede, detailide ja mähiste juhtmete ühtlustamine, mis on kasutusel ühtlusseeria mootoritel, kergendab nende ekspluatatsiooni ja remonti. Ühtlusseeria elektrimootoreid toodetakse põhiliselt ühisrootoriga mootoritena üldiste kasutatavate võimsustega alates 0.6 kuni 100 kW, sünkroonpöörlemiskiirustega 750, 1000, 1500 ja 3000 p/min.

Oma käivitusomaduste ja energeetiliste näitajate poolest vastavad ühtlusseeria elektrimootorid täielikult statsionaarsete põllumajanduslike masinate, tööpinkide ja muude mehhanismide elektriajamite nõuetele.

Elektrimootorid valmistatakse kaitstud (tüübid A ja АЛ) ja kinniste läbipuhutavate masinatena (tüübid АО ja АОЛ). Kaitstud elektrimootorid on kaitstud voolu juhtivate ja pöörlevate osadega kokkupuutumise vastu ning masinasse veetilkade ja võõrkehakeste langemise vastu.

Kinnised läbipuhutavad elektrimootorid on peale selle veel kaitstud ka masinasse tolmu sattumise vastu.

Kogu masinate ühtlusseeria koosneb seitsmest gabariidist: 3, 4, 5, 6, 7, 8 ja 9, erinedes üksteisest staatori südamiku välisläbimõõdu poolest.

3., 4. ja 5. gabariidi mootoreid võib valmistada malm- või alumiiniumkerega, suuremate gabariitidega mootoreid (6, 7, 8 ja 9) valmistatakse ainult malmkerega. Tüübi nimetuses märgib täht Л mootorit alumiiniumkerega. Masina tüübi nimetuses selle tähe puudumine vastab malmkerega mootorile. Näiteks АЛ51-6 tähendab: ühtlusseeria asünkroonmootor, kaitstud tüüpi, alumiiniumkerega, 5. gabariit, esimene pikkus, kuuepooluseline (1000 p/min); АО 42-4 — ühtlusseeria asünkroonmootor, kinnist tüüpi, läbipuhutav, malmkerega, 4. gabariit, teine pikkus, neljapooluseline (1500 p/min).

Võimsuse valikul tuleb kasutada kaitstud tüüpi elektrimootorite korral tabelit 115 ja kinniste läbipuhutavate elektrimootorite korral tabelit 116.

Joonisel 449 on toodud malmkerega kaitstud 3., 4. ja 5. gabariidi elektrimootori tüüp A joonis. Põhimõõted — pikkus *L*, laius — *B* ja kõrgus — *H* vastavad järgmistele suurustele.

Mõõted mm	Elektrimootori tüüp					
	A-31	A-32	A-41	A-42	A-51	A-52
L	273	309	344	384	441	491
B	210	210	260	260	350	350
H	200	200	282	282	378	378

Tabel 115

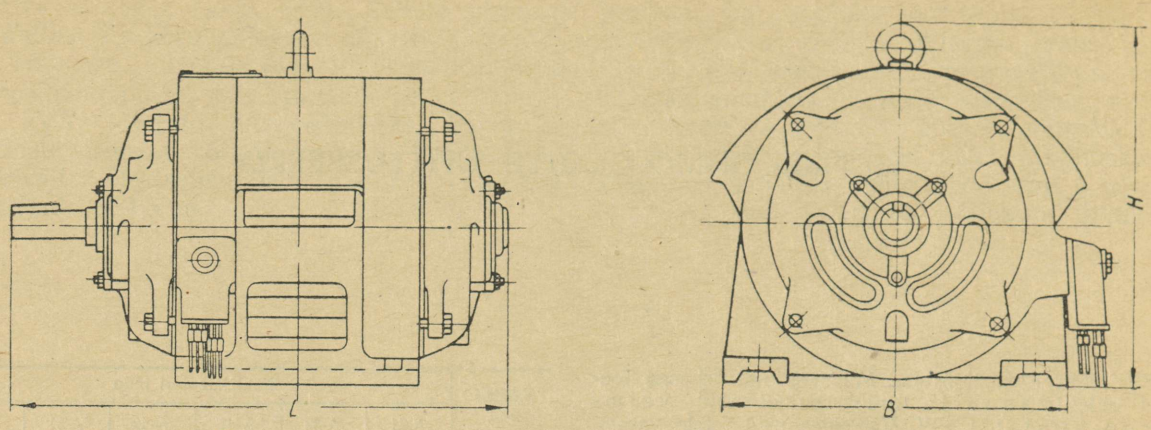
Kaitstud tüüpi ühtlusseeria elektrimootorite võimsuste skaala (A ja АЛ)

Elektrimootori tüüp	Võimsus kW sünkroonpöörlemiskiirusel p/min			
	3000	1500	1000	750
A ja АЛ-31	1,0	0,6	—	—
A ja АЛ-32	1,7	1,0	—	—
A ja АЛ-41	2,8	1,7	1,0	—
A ja АЛ-42	4,5	2,8	1,7	—
A ja АЛ-51	7,0	4,5	2,8	—
A ja АЛ-52	10	7,0	4,5	—
A-61	14	10	7,0	4,5
A-62	20	14	10	7,0
A-71	28	20	14	10
A-72	40	28	20	14
A-81	55	40	28	20
A-82	75	55	40	28
A-91	100	75	55	40
A-92	125	100	75	55

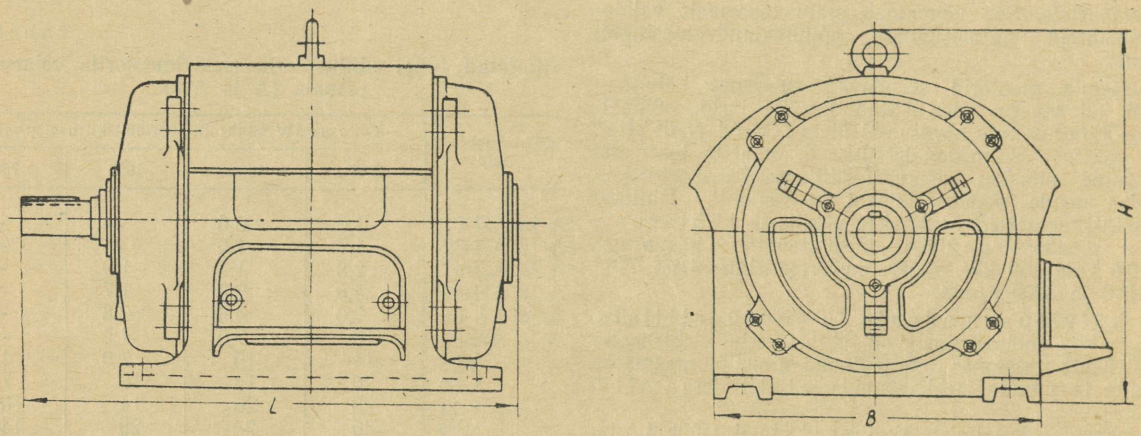
Tabel 116

Kinniste läbipuhutavate elektrimootorite võimsuste skaala (АО ja АОЛ)

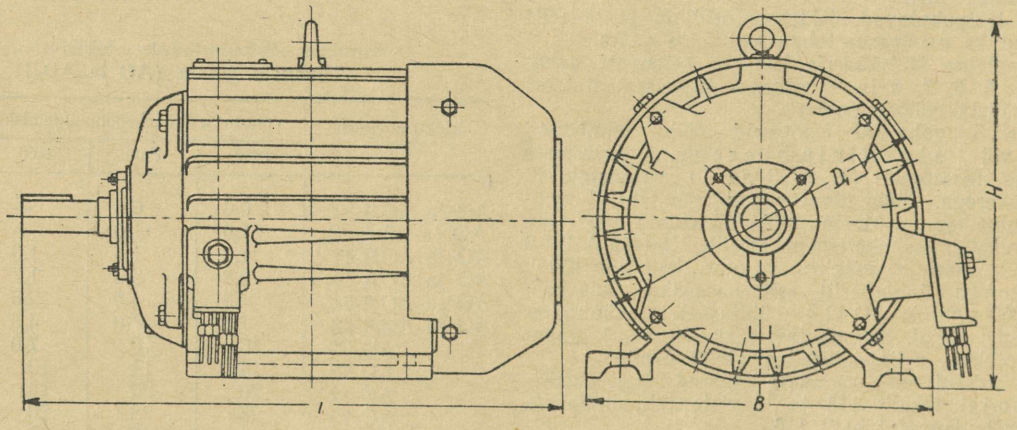
Elektrimootori tüüp	Võimsus kW sünkroonpöörlemiskiirusel p/min			
	3000	1500	1000	750
АО ja АОЛ-31	0,6	0,6	—	—
АО ja АОЛ-32	1,0	1,0	—	—
АО ja АОЛ-41	1,7	1,7	1,0	—
АО ja АОЛ-42	2,8	2,8	1,7	—
АО ja АОЛ-51	4,5	4,5	2,8	—
АО ja АОЛ-52	7,0	7,0	4,5	—
АО-62	10	10	7,0	4,5
АО-63	14	14	10	7,0
АО-72	20	20	14	10
АО-73	28	28	20	14
АО-82	40	40	28	20
АО-83	55	55	40	28
АО-93	75	75	55	40
АО-94	100	100	75	55



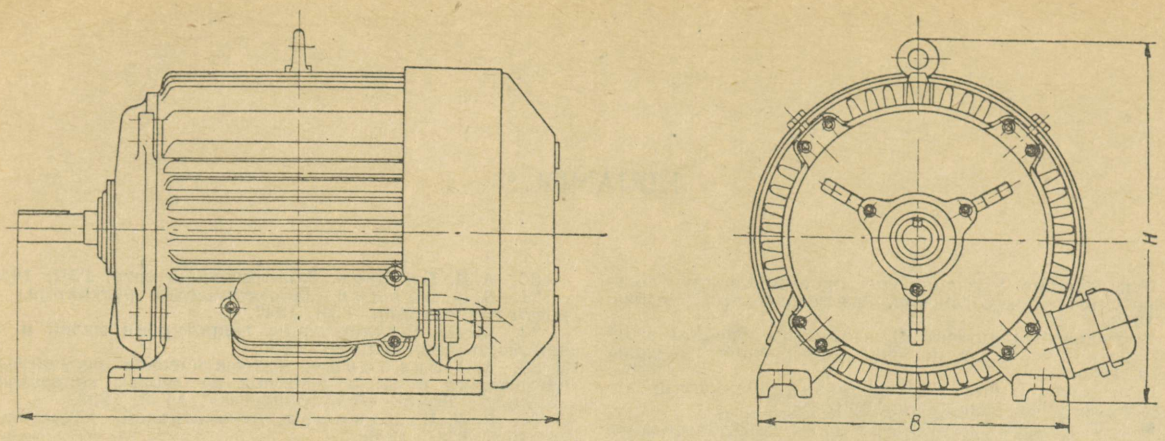
Joon. 449. Ühtlusseeria kaitstud elektrimootor, tüüp A, 3., 4. ja 5. gabariit.



Joon. 450. Ühtlusseeria kaitstud elektrimootor, tüüp A, 6., 7., 8. ja 9. gabariit.



Joon. 451. Ühtlusseeria kinnine läbipuhutav elektrimootor, tüüp AO, 3., 4. ja 5. gabariit.



Joon. 452. Ühtlusseeria kinnine läbipuhutav elektrimootor, tüüp AO, 6., 7. ja 8. gabariit.

Malmist kerega kaitstud elektrimootorid, tüüp A, 6., 7., 8. ja 9. gabariit (joon. 450) on järgmiste põhimõõdetega (tabel 117).

Tabel 117

Mõõted mm	Elektrimootori tüüp			
	A-61 ja 62	A-71 ja 72	A-81 ja 82	A-91 ja 92
L	562	665	860	970
B	390	455	530	625
H	460	530	640	740

Kinnised läbipuhutavad ühtlusseeria malmkerega elektrimootorid, tüüp AO, 3., 4. ja 5. gabariit ja tüüp AO, 6., 7. ja 8. gabariit on näidatud vastavalt joonistel 451 ja 452.

Mõõted joonise 451 juurde on toodud tabelis 118 ja joonise 452 juurde — tabelis 119.

Tabel 118

Mõõted joonise 451 juurde

Mõõted mm	Elektrimootori tüüp					
	AO-31	AO-32	AO-41	AO-42	AO-51	AO-52
L	300	335	375	415	482	532
B	210	210	260	260	350	350
H	200	200	282	282	376	376

Tabel 119

Mõõted joonise 452 juurde

Mõõted mm	Elektrimootori tüüp			
	AO-62 ja 63	AO-72 ja 73	AO-82 ja 83	AO-93 ja 94
L	635	750	955	1090
B	390	455	530	625
H	475	548	650	745

KIRJANDUS

1. Руководящие указания по проектированию сельских электрических установок. Главсельэлектро, Москва, 1952, 1953.
2. Укрсельэлектропроект. Новый метод подсчета электрических нагрузок. Техническая информация Главсельэлектро, 1950.
3. Г. М. Кнорринг. Справочник для проектирования электрического освещения. ГЭИ, 1952.
4. М. Г. Евреинов. Применение электричества в сельском хозяйстве. Сельхозгиз. 1948.
5. P. Listov. Elektrienergia kasutamine põllumajanduses. Eesti Riiklik Kirjastus, 1954. a.
6. Г. И. Назаров. Электропривод в сельском хозяйстве. Сельхозгиз, 1949.
7. Справочник по электрификации сельского хозяйства. Сельхозгиз, 1948.
8. С. В. Юдицкий. Синхронные машины с твердыми выпрямителями. Редакционно-издательский отдел МЭП СССР, 1948.
9. З. Б. Нейман, К. Ф. Костин. Гидрогенераторы для сельской электрификации. Журнал «Электричество». № 7, 1950.
10. Л. М. Пиотровский. Электрические машины, ГЭИ, 1949.
11. И. А. Сыромятников. Вопросы эксплуатации синхронных генераторов, ГЭИ, 1950.
12. ВИЭСХ. О смешанной системе распределения электроэнергии. Техническая информация Главсельэлектро, № 3, 1952.
13. А. Г. Захарин. Указания по проектированию местных электроэнергетических систем. Техническая информация Главсельэлектро, № 4, 1950.
14. Г. И. Шерман. Эксплуатационная диаграмма синхронного генератора. Журн. «Электричество», № 3, 1940.
15. Н. К. Кузнецов, А. П. Златковский. Сельскохозяйственные гидроэлектростанции. Сельхозгиз, 1948.
16. В. Н. Андрианов, Д. Н. Быстрицкий. О параллельной работе ветроэлектрической станции на мощную сеть. Журн. «Электричество», № 6, 1951.
17. А. П. Златковский. Об экономии топлива при параллельной работе тепловых электростанций с ветроэлектростанциями. Журн. «Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства», № 3, 1952.
18. Правила устройства электротехнических установок. ГЭИ, 1950.
19. И. И. Соловьев. Автоматизация энергетических систем. ГЭИ, 1950.
20. Н. А. Сазонов. Переходные явления при пуске короткозамкнутых двигателей. Журн. «Электричество», № 12, 1949.
21. Л. В. Пукерник, В. И. Иносов. Компаундирование синхронных генераторов с электромагнитным корректором напряжения. Журн. «Электричество», № 9, 1948.
22. Н. М. Соколов, Н. В. Чернобровов. Компаундирование возбуждения синхронных генераторов в системе Мосэнерго. Журн. «Электрические станции», № 4—5, 1946.
23. Л. В. Арбекова, И. С. Аронович и др. Аппаратура распределительных устройств. ГОНТИ, 1938.
24. А. П. Златковский, В. А. Шустов. Станционный распределительный щит и измерительные приборы. Сельхозгиз, 1949.
25. Л. Н. Баптиданов и В. И. Тарасов. Электрооборудование электрических станций и подстанций. ГЭИ, 1948.
26. В. К. Плюгачев. Вопросы расчета электрических сетей со стальными проводами. Автореферат диссертации. МИМЭСХ, Москва, 1951.
27. А. Г. Иосифьян. О технических путях развития электрификации сельского хозяйства. Изд. Академии наук Армянской ССР, 1948.
28. Л. П. Лигоцкий. Руководство по релейной защите и защите плавкими предохранителями сельских электроустановок. Всесоюзная контора типового проектирования Главсельэлектро, Москва, 1950.
29. Центральное бюро технической информации МЭП СССР. Информационная карта № 2335 Ленинград, 1950.
30. А. Я. Рябков. Электрические сети. ГЭИ, 1950.
31. Н. К. Барков. Автоматические регуляторы скорости гидротурбин. ГЭИ, 1947.
32. ВИГМ. Регулирование гидротурбин малой и средней мощности. Машгиз. 1950.
33. А. А Глебович. Автоматическое регулирование напряжения и числа оборотов на малых гидроэлектростанциях. Журн. «Электричество». № 8, 1939.
34. В. Ф. Балакирев. Автоматизация гидроэлектростанций. ГЭИ, 1949.
35. В. А. Богомолов. Автоматическое регулирование мощности гидростанций по водотоку. ГЭИ. 1950.
36. С. А. Бургучев. Электрические и механические свойства железных проводов и применение их в малой и сельской электрификации. Журн. «Электричество», № 2, 1930.
37. А. М. Саркисян. Технические пути развития сельской электрификации. ВНИТОЭ. Минск, 1951.
38. Я. С. Теплицкий. Недостатки в проектировании электрической части электростанций, подстанций и сетей и требования по повышению технического уровня проектирования этих установок. Техническая информация Главсельэлектро, № 3, 1952.
39. А. А. Краснов. Комплексная электрификация сельскохозяйственного производства. Журн. «Электричество», № 11, 1949.
40. Л. Е. Эбин, Ш. А. Алукер. Передача электроэнергии по системе «два провода — земля». ГЭИ. 1949.
41. Тбилисский филиал ВИЭСХ. Временные руководящие указания по проектированию сетей «ДПЗ» сельскохозяйственного назначения. Главсельэлектро, Москва, 1952.
42. В. Г. Холмский. Применение регулируемых трансформаторов в электрических сетях. ГЭИ, 1950.
43. А. Г. Захарин, И. А. Будзко. Стабилизация напряжения. Журн. «Механизация и электрификация сельского хозяйства», № 1. 1939.
44. В. И. Королькова. Электробезопасность на промышленных предприятиях. Оборонгиз. 1951.
45. М. А. Бабиков и др. Техника высоких напряжений. ГЭИ, 1947.
46. К. М. Семчинов. Защита населения от атмосферных перенапряжений, вносимых в дома сельскохозяйственными воздушными линиями напряжением до 1 000 вольт. Техническая информация Главсельэлектро, № 5, 1951.
47. А. П. Златковский, В. А. Шустов. Мачтовые трансформаторные подстанции. Сельхозгиз. 1950.
48. А. П. Златковский. Вопросы оборудования сельских электрических станций. Журн. «Электричество», № 6, 1947.
49. И. А. Будзко, Н. Н. Асафьев. Электрический расчет стальных проводов в сельских сетях. Журн. «Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства», № 2, 1952.
50. В. Н. Степанов. Расчет распределительных сетей со стальными проводами по номограммам. Журн. «Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства», № 2, 1952.
51. А. М. Ганелин. Провода стальные многопроволочные для воздушных электрических линий передач Журн. «Электричество», № 3, 1952.
52. М. С. Левин. Расчетные кривые для определения токов короткого замыкания в сельских электрических сетях. Журн. «Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства», № 1, 1953.
53. М. В. Луговской, А. А. Глебович. Эксплуатация гидромеханического оборудования сельских гидроэлектростанций, Сельхозгиз, 1953.
54. Р. Е. Гельман. По заводам-изготовителям. Журн. «Промышленная энергетика», № 1, 1951.
55. Гидроэнергетические установки малой и средней мощности. Машгиз, Киев. 1952.
56. Н. Н. Беляков. Из опыта проектирования электрической части сельских электрических станций. Журн. «Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства», № 3, 1953.

SISUKORD

Kirjastuselt 2
Eessõna 3

Esimene peatükk. **Koormused ja koormusgraafikud** . 5

Põllumajanduslike elektrienergia tarbijate nomenklatuur (5). — Elektrifitseeritavate objektide uurimine ja koormuste väljaselgitamine (5). — Maaelektriseadmete põhilised tegurid ja näitajad (6). — Koormusgraafikud (8). — Valgustuskoormused (11). — Jõuning elektrisoojenduskoormused (16). — Kaod ja omatarbevõimsus (19). — Aasta koormusgraafikud (23). — Koormuste koondnormatiivid (26).

Teine peatükk. **Elektrijaamade põhiseadmete võimsuse valik** 27

Generaatorite näivvõimsus (27). — Võimsustegur tippkoormusel (27). — Aktiiv- ja reaktiivvõimsus (28). — Reaktiivvõimsuskaod (29). — Generaatori näivvõimsuse sõltuvus võimsustegurist (30).

Kolmas peatükk. **Elektrigeneraatorid** 32

Generaatorite tüübid (32). СГ- ja С-seeria horisontaalsed sünkroongeneraatorid (34). — СВ- ja СГВ-seeria vertikaalsed hüdrogeneraatorid (36). — Uraali tehase «Uralelektroapparat» ВГС-seeria vertikaalsed hüdrogeneraatorid (39). — ГС-seeria horisontaalsed hüdrogeneraatorid (44). — Horisontaalsed generaatorid diisel- ja lokomobiilelektrijaamadele (47). — Sünkroongeneraatorid МС-320 (48). — Iseergutuvad sünkroongeneraatorid (51). — Kõrgendatud sagedusega iseergutuvad sünkroongeneraatorid ЧС-7 (56). — Väikese võimsusega kahe mähisega аПНГ-seeria sünkroongeneraatorid (59). — Sünkroongeneraatorid mehaanilise alaldajaga (59). — Asünkroongeneraatorid (60). — Sünkroongeneraatorite põhilised karakteristikud (63).

Neljas peatükk. **Jõutransformaatorid** 67

Transformaatorite tüübid (67). — Kolmefaasilised trafod (67). — Kolmefaasiliste jõutrafode põhilised karakteristikud ja ühendusskeemid (71). — Trafode paralleeltöö (72). — Trafode ülekoormatavus (73). — Ühefaasilised jõutrafod (73).

Viies peatükk. **Maaelektrijaamade ühendusskeemid** . 75

Üldandmed (75). — Masinate, riistade ja aparaatide tingmärgid (75). — Lülitusaparaadid ja jõukaitsmed ühendusskeemides (77). — Elektrijaamade tüüpskeemid (78). — Ühe agregaadiga ja generaatoripinge-kogumislattidega elektrijaamade ühendusskeemid (80). — Kahe agregaadiga ja generaatoripingekogumislattidega elektrijaamade ühendusskeemid (81). — Elektrijaamade skeemid, kus generaatorid töötavad blokis pingettõstvate trafodega (83). — Paralleelselt süsteemiga töötavate elektrijaamade skeemid (85). — Elektrijaamade mitmejoonelised skeemid (90). — Sekundaarahelate ühendusskeemid (93).

Kuues peatükk. **Generaatorite paralleeltöö ja kohalikud energiasüsteemid** 96

Paralleeltöö eelised (96). — Generaatorite paralleeltöö tingimused ja nõuded primaarjõumasinatele (96). — Paralleeltöö stabiilsus (98). — Generaatori töötamine paralleelselt energiasüsteemiga ning generaatori ergutusvoolu ja staatori voolu vaheline sõltuvus (102). — Täpse sünkroniseerimise aparatuur ja skeemid (107). — Generaatorite lülitamine paralleeltööle isesünkroniseerimise meetodil (112). — Kohalikud energiasüsteemid (115). — Tuuleelektrijaamade töötamine kohalikes energiasüsteemides, kus on ülekaalus soojuselektrijaamad (118).

Seitsmes peatükk. **Sünkroongeneraatorite ergutuse automaatne reguleerimine ja ergutuse kompaundeerimine** 123

Automaatsete ergutusregulaatorite tähtsus (123). — Automaatsed pingeregulaatorid (124). — Kiirelt toimiv ergutuse forsseerimise releeseadis (128). — Sünkroongeneraatorite ergutuse kompaundeerimine (129). — Kompaundeerimisseadise arvutamine (133). — Universaalsed kompaundeerimisseadised (137). — Alaldaja kolmefaasilise sildlülituse ebasümmeetriline modifikatsioon (141). — Ergutuse kompaundeerimine pingekorrektoritega (142).

Kaheksas peatükk. **Lülitusaparatuur** 145

Vinnaklülitid ja pakettlülitid (145). — Madalpinge-õhkautomaatlülitid (149). — Viivitusega automaat-lülitid (150). — Elektromagnetilised vahelduvvoolukontaktorid (150). — Vahelduvvoolu-magnetkäivitid (152). — Õlilülitid (153). — Õlita kõrgepingevõimsuslülitid (156). — Kõrgepinge-lahklülitid (160).

Üheksas peatükk. **Mõõtetrafod ja mõõteriistad** . . . 164

Mõõtetrafode tähtsus (164). — Voolutrafod (164). — Poolitüüpi voolutrafod (165). — Voolutrafod ТПФ (166). — Pingetrafod (168). — Pingetrafode tüübid (169). — Mõõteriistade lülitamine mõõtetrafode ahelasse (172). — Elektrimõõteriistad (173). — Võimsuse ja energia mõõtmine (175).

Kümnes peatükk. **Elektriaparaatide ja juhtmete valik lühisvoolude järgi** 178

Nõuded elektriaparatuurile (178). — Lühisvoolude algväärtus (178). — Lühisvoolude arvutamine sumbumistabelite järgi (179). — Lühisahela elementide takistuse leidmine (181). — Lühisvoolude arvutamise näide (182). — Aparatuuri vastupidavus lühisvooludele (185).

Üheteistkümnes peatükk. **Releekaitse ja kaitse sulavkaitsmetega** 188

Kaitsele esitatavad nõuded (188). — Nõuded releekaitse vooluahelate toiteseadistele (189). — Releede klassifikatsioon lülitusviisi ja võimsuslülitile mõjumise viisi järgi (189). — Releesid toitvate voolutrafode ühendusskeemid (191). — Kiiresti küllastuvad voolutrafod (192). — Releede põhiparameetrid (193). — Sõltuva karakteristikuga maksimaalvoolureleed ИТ-81 ja ИТ-82 (195). — Maksimaalvoolurelee ЭТ-520 (196). — Pingerelee ЭН-520 (198). — Elektromagnetilised aegreleed ЭВ-180 ja ЭВ-200 (199). — Vahe- ja signaalreleed (200). — Käsi-automaatajamitesse ПРВА ehita-

tud releed (201). — Üldised nõuded generaatorite kaitsele (202). — Generaatorite väljasummutusseadis (203). — Kaitse lühiste vastu generaatori staatorimähises (206). — Generaatorite diferentsiaalkaitse (210). — Generaatorite kaitse väliste lühiste korral esinevate liigvoolude ja liigkoormuse vastu (210). — Hüdrogeneraatorite kaitse pinge tõusu vastu (212). — Jõutrafode kaitse (212). — Generaator-trafo bloki kaitse (216). — Õhuliinide kaitse (217). — Kaitse sulavkaitsmetega (220). — Sulavkaitsmed ПР-1 (221). — Kõrgepingekaitsmed ПК ja ПКТ (223).

Kaheteistkümnes peatükk. **Maahüdroelektrijaamade automatiseerimine** 227

Automatiseerimise ülesanne (227). — Automatiseerimise maht ja automatiseeritud seadmete põhimääratlus (227). — Kiirusregulaatori tähtsus (229). — Hüdroturbiini automaatsete kiirusregulaatorite töötamise põhimõtted (230). — Kiirusregulaatorite põhikarakteristikud (232). — Hüdroturbiinide otsese toimega kiirusregulaatorid (235). — Läbivoolu-kiirusregulaatorid elektriajamiga ПЭ (239). — Katel-kiirusregulaatorid КЭ-350 elektriajamiga (242). — Mitteelektriliste suuruste kontrollreleed (248). — Hüdroelektrijaamade hüdromehaanilised ja laotatud automaatikaskeemid. Operatiiv-vahelduvvoolu kasutamine (257). — Hüdroelektrijaama automaatikaskeem operatiiv-alalisvoolu kasutamisel (24 V) (262). — Hüdroagregaatide juhtimise diagrammid (265). — Hüdroelektrijaama tehnilise vesivarustuse automatiseerimine (265). — Hüdroelektrijaama drenaažseadmete automatiseerimine (269). — Hüdroelektrijaama pneumaatikaseadmete automatiseerimine (270). — Hüdroelektrijaama võimsuse reguleerimine veevoolu järgi (272). — Signalisatsioon automatiseeritud elektrijaamades (274). — Operatiiv-alalisvoolu jaotusseade (277).

Kolmeteistkümnes peatükk. **Elektrienergia ülekanne ja jaotus** 278

Elektriseadmete nimipinged (278). — Elektriõhuliinid (278). — Elektriõhuliinide juhtmed (280). — Kõrge- ja madalpingeliini juhtmete elektriline arvutus (283). — Õhuliinide konstruktsioon (288). — Kõrge- ja madalpingejuhtmete koosasetus (291). — Elektrienergia jaotuse segasüsteem (293). — Ülekandesüsteem maa kasutamisega ühe juhtme asemel (294).

Neljateistkümnes peatükk. **Arvutuslikud pingekaod, pingemuutus ja pinge reguleerimine maaelektrivõrkudes** 298

Lubatavate pingemuutuste normid (298). — Pingekaod ja pingelisa jõutrafodes (298). — Pingemuutuste arvutamine eelvaliku teel (300). — Pingemuutuste analüütiline arvutus (302). — Pingemuutuste arvutused mitme pingeastmega võrkudes (303). — Pinge reguleerimine maaelektrivõrkudes (306). — Elektrivõrgu busterregulaatorid (307). — Busterregulaatorite arvutus ja analüüs maaelektrivõrkudes kasutatavuse kohta (311).

Viieteistkümnes peatükk. **Maandamine ja nullimine maaelektrijaamades, -alajaamades ja -võrkudes** . 315

Maandamise ja nullimise tähtsus (315). — Maandusseadiste definitsioonid (315). — Generaatorite ja trafode nullpunkti maandustakistus maandatud nulljuhtmega 380/220 V süsteemis (316). — Maanduste konstruktsioon ja arvutus (318). — Kaitsemaanduse ja -nullimise kasutamine mitmesugustes hoonetes (319). — Maandus- ja nullimisjuhtmed (320).— Maandamine õhuliinides ja sisestustes (322). — Tarbijate jaotus- ja rühmakilbid (322). — Installatsioonimaterjalid ja valgustusarmatuur (323). — Maanduse mõõtmine ja kontrollimine (325).

Kuueteistkümnes peatükk. **Maaelektrijaamade, -alajaamade ja -liinide kaitse atmosfääriliste liigpingete vastu** 327

Maaelektrivõrkude iseärasusi (327). — Liigpingekaitseseadiste definitsioonid (327). — Torulahendajad (327). — Ventiillahendajad (330). — Õhuliinide kaitse (332). — Alajaamade kaitse (335). — Pöörlevate elektrimasinate kaitse (338). — Kaitse atmosfääriliste liigpingete vastu, mis kanduvad eluhoonetesse madalpinge-õhuliinide kaudu (338).

Seitsmeteistkümnes peatükk. **Jaotusseadmed ja alajaamad** 341

Jaotusseadmete elemendid (341). — Maaelektrijaamade masinasaal ja jaotusseade (346). — Elektrijaama jaotuskilbid (353). — Alajaamad (355).

Lisa. Asünkroonmootorite ühtlusseeria 365

Kirjandus 368

Златковский, А. П.
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СЕЛЬСКИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

На эстонском языке

Оформление Р. Пангсепп
Эстонское Государственное Издательство
Таллин, Пярну маантеэ 10.

*

Toimetaja L. Abo.
Tehniline toimetaja A. Ruutsoo.
Korrektorid H. Tillemann ja H. Kull.

Ladumisele antud 28. XII 1955. Trükkimisele antud 12. IV 1956. Paber 54×84, 1/8. Trükipoognaid 46,5. Formaadile 60×92 kohaldatud trükipoognaid 38,13. Arvutuspoognaid 39,94. Trükiarv 2000. MB-03920. Tellimise nr. 4483. Trükikoda «Ühiselu», Tallinn, Pikk tn. 40/42.

Hind rbl. 13.—

3—4

RBL. 13.—

B-1746

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00404816 3

B-1746

HBL. 13.—

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00404816 3

MAAELEKTRIJAAMAD, -ALAJAAMAD JA -VÕRGUD

MAAELEKTRIJAAMAD, -ALAJAAMAD JA -VÕRGUD

A. ZLATKOVSKI

MAAELEKTRIJAAMAD, -ALAJAAMAD JA -VÕRGUD

EESTI RIIKLIK KIRJASTUS