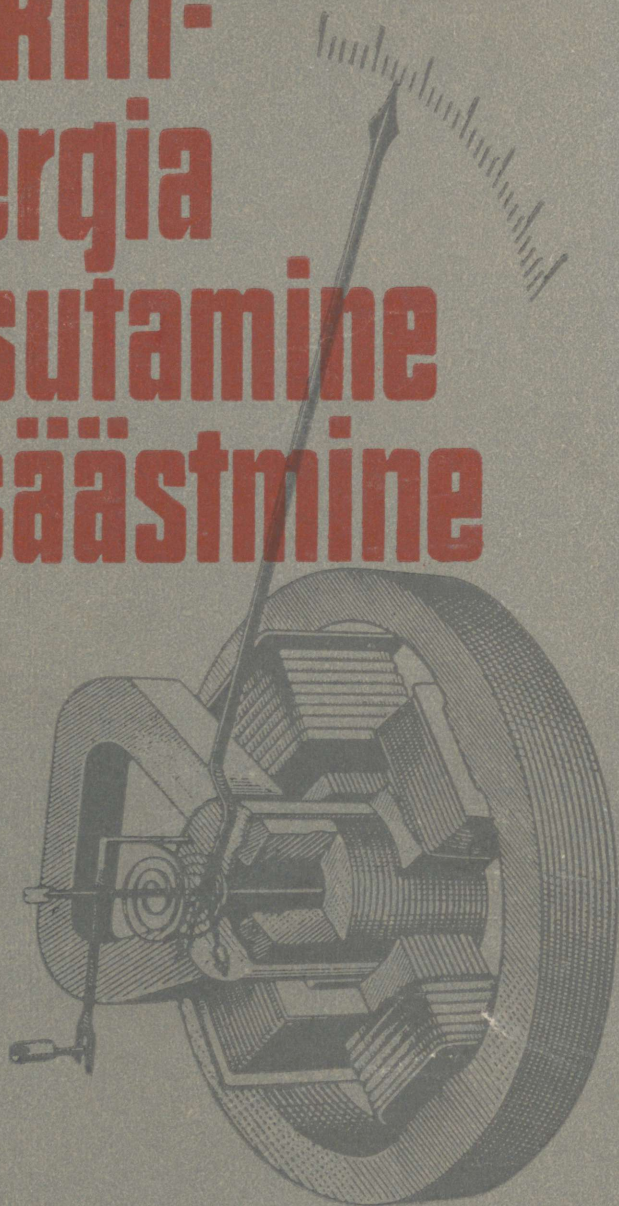


Elektri- energia kasutamine ja säästmine

K. KASK



A-22500

K. KASK

ELEKTRIENERGIA
KASUTAMINE
JA
SÄÄSTMINE

Teine täiendatud trükk



EESTI RIIKLIK KIRJASTUS
TALLINN 1959

Teose ülesandeks on abistada käitiste elektrimajanduse alal
töötajaid elektrienergia ratsionaalsel kasutamisel.

Raamatus käsitletakse vajalikus ulatuses elektrotehnika põhi-
mõisteid ja elektrienergia kasutusalasid, selgitatakse elektri-
energia ülekulu põhjusi ja säästu võimalusi ning kirjeldatakse
üksikasjaliselt võimsusteguri parandamise abinõusid.



TARTU ÜLIKOOLI

RAAMATUKOGU

Каск, Карл Иоханнович

«ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И СБЕРЕЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ»

На эстонском языке

Эстонское Государственное Издательство

Таллин, Пярнуское шоссе, 10

*

Toimetaja L. Abo

Tehniline toimetaja E. Lumet

Korrektorid V. Tui ja V. Kuresson

Ladumisele antud 30. VI 1958. Trükkimisele antud 11. II 1959.
Paber 54×84, 1/16. Trükipoognaid 13,75. Formaadile 60×92 kohal-
datud trükipoognaid 11,27. Arvutuspoognaid 10,99. Trükiarv 3000.
MB-00373. Tellimise nr. 2635. Trükikoda «Tartu Kommunist»,
Tartu, Ülikooli 17/19.

Hind rbl. 6.50

Eessõna teisele trükile

Tootmise pideva tõusu igas rahvamajanduse harus tagab tehnika oskuslik ja säästlik kasutamine. Ent tootmine on tihedalt seotud energiamajandusega. Tootmistegevuse pidev laiendamine nõuab ka kõigi kasutamata energiareservide rakendamist produktiivsele tööle, kusjuures erilist tähelepanu pälvib elektrienergia säästu küsimus.

Käesolev teos püüab anda lühikese ülevaate elektrienergia kasutamisest, seejuures esinevatest vigadest ja võimalustest efektiivse säästu saavutamiseks.

Kuigi teos ei suuda valgustada kõiki vajalikke küsimusi peensusteni, püüab ta anda kasulikke mõtteid ja juhiseid käitiste energeetikutele, noorematele inseneridele, meistritele ja tehnikutele, samuti kolhooside ning sovhooside elektrikutele ja kõigile elektrienergia tarbijate energiamajanduse alal töötajaile.

Esimeses trükis avaldatud materjal on täiendatud ning põhjalikult ümber töötatud. Üldosa on uuendatud ning täiendatud peamiselt põhisuuruste käsitlemise ja valgustustehnika osas.

Täiesti ümber on töötatud raamatu põhiline osa — peatükk elektrivoolu säästu võimalustest elektriseadmeis. Elektri jaotusvõrke käsitlevat lõiku on täiendatud juhtmete ristlõigete valiku ning elektrilise arvutuse küsimustega. Elektrimootorite osa on täiendatud töömasinale vajaliku mootori võimsuse valikuga. Valgustusseadmeid käsitlev alapeatükk on täiesti uuendatud. Elektriseadme võimsusteguri ja selle parandamise küsimused on eraldatud iseseisvasse peatükki ja leiavad üksikasjalisemat valgusta-

mist. Vaatlemisele on võetud siin sellised küsimused, nagu reaktiivvõimsuse osa elektriseadme koormuses, võimsusteguri parandamise tehnilised vahendid ja meetodid.

Enamik raamatus käsitletavaid küsimusi on selgitatud arvutusnäidetega.

Lisana on toodud tabeleid ja graafikuid valgustuse arvutamise kohta.

Autor

I. ÜLDOSA

1. ELEKTRILISED PÕHISUURUSED

Elektrivool

Kõik ained koosnevad molekulidest ja aatomitest. Aatomid aga koosnevad negatiivse ja positiivse elektri elementaarlaenguist — elektronidest ja prootonitest — ning laenguta neutronitest. Aatomi ehitus on kujutletav lihtsustatud kujul järgmisena (analoogia päikesesüsteemi ehitusega). Ruumilise süsteemi keskel on positiivse laenguga tuum, mille ümber tiirlevad elektronid. Elektronide ja prootonite arv aatomis ja elektronide tiirlemistekonnad määravad aatomi füüsikalised ja keemilised omadused.

Normaalselt on kõikide elektronide negatiivne laeng tasakaalustatud tuuma niisama suure positiivse laenguga ja seetõttu osutub aatom elektriliselt neutraalseks. Aatomite elektronide arvu võib suurendada või vähendada. Aatom, mille koosseisus on normaalsest rohkem elektrone, omab negatiivset, aatom aga, mille koosseisus on normaalsest vähem elektrone — positiivset elektrilaengut. Vastanimelistel laengutel on püüe ühtlustuda. Kui ühendada positiivselt (+) laetud keha negatiivselt (—) laetud kehaga elektrivoolu juhtiva traadi abil, siis kaob mõlema keha vastastikune laeng — isenimelised laengud neutraliseerivad teineteist. Selle juures tekkis elektronide vool kehalt, kus neid oli rohkem, kehale, kus elektrone oli vähem. Tekkinud elektronide liikumist tunneme elektrivooluna.

Kui asetada kaks isenimelist metallplaati (näiteks vask ja tsink) elektrivoolu juhtivasse vedelikku (niisugust vedelikku nimetatakse elektrolüüdiks), näiteks lahjendatud väävelhappesse, siis tekib metallplaatide ja happe vaheliste keemiliste protsesside tagajärjel tsinkplaadil elektronide kuhjumine ja vaskplaadil elektronide hõrenemine.

Ühendades mõlemad metallplaadid happest väljaulatuvas osas traadiga, tekib viimases elektrivool — vabade elektronide voolamine negatiivselt plaadilt positiivsele plaadile. Säärast pidevat ühesuunalist laenguga osakeste — elektronide voolamist nimetatakse alalisvooluks.

Iga voolukandvat juhet ümbritseb magnetiväli. Kui vool läbib paralleelselt asetatud juhtmeid, siis nende vahel avaldub külgetõmbe- või eemaletõukejõud (kui voolud on ühesuunalised, siis külgetõmbejõud, kui vastassuunalised, siis eemaletõukejõud), mis on seda suurem, mida suurem vool läbib juhtmeid. Selline voolu dünaamiline toime võimaldab praktiliselt määrata kindlaks voolu ühiku — ampri suuruse.

Selle kohaselt on amper (A) selline muutumatu suurusega elektrivool, mis, läbides kahte paralleelselt lõpmata pikka ning lõpmata väikese ristlõikega sirget juhet, nende asetsemisel õhutühjas ruumis 2 m kaugusel teineteisest, kutsub esile juhtmetevahelise jõu, mille suuruseks juhtme pikkuse iga meetri kohta on $\frac{1}{10^7}$ osa jõust, mis annab massile 1 kg kiirenduse 1 m/sec².

Teades ampri suurust, on võimalik määrata elektri hulga ühikut — kulonit. Kulon (C) on elektri hulk, mis läbib juhtme ristlõiget 1 sekundi jooksul, kui vool on 1 amper.

Seega elektri hulk $Q = It$.

Elektromotoorne jõud ja pinge

Kahe metallplaadi vahel valitsevat jõudu ehk potentsiaalide vahet, mis sunnib elektrone liikuma, nimetatakse elektromotoorseks jõuks.

Potentsiaalide vahet vooluahela ükskõik millise kahe punkti vahel nimetatakse pingeks. Tavaliselt mõõdetakse pinget voolutarbija klemmidel, samuti vooluallika klemmidel. Viimasel juhul nimetatakse pinget vooluallika klemmpingeks. Pinge ja elektromotoorse jõu ühikuks on volt (V). Suuremaks pinge ühikuks on kilovolt (kV).

$$1 \text{ kV} = 1000 \text{ V.}$$

Takistus ja juhtivus

Elektrilaengute liikumisele avaldavad kõik ained teatavat takistust (tähistatakse tähega r). Takistuse pöördväärtust $\frac{1}{r}$ nimetatakse juhtivuseks ja tähistatakse tähega g .

Takistuse ühikuks on oom. (Ω). See vastab juhtme kahe punkti vahelisele takistusele, kui nende punktide potentsiaalide vahe on püsivalt 1 volt ja vool juhtmes on 1 amper.

Suuremaid takistusi mõõdetakse kilo-oomides ($k\Omega$) ja megaoomides ($M\Omega$):

$$1 k\Omega = 1000 \Omega,$$

$$1 M\Omega = 1000000 \Omega.$$

Suurust, mis iseloomustab teatava aine elektrilist takistust, nimetatakse eritakistuseks ja tähistatakse tähega ρ . Eritakistuse pöördväärtust $\frac{1}{\rho}$ nimetatakse erijuhtivuseks ja tähistatakse tähega γ .

Eritakistus näitab 1 m pikkuse ja 1 mm² ristlõikega traadi takistust oomides. Eritakistuse ühikuks on $\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$, erijuhtivuse ühikuks — $\frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2}$.

Temperatuuri tõustes peaaegu kõikide metallide eritakistus suureneb, kuna aga mõnede ainete eritakistus väheneb (süsi, elektrolüüdid).

Tabelis 1 on toodud mõnede ainete eritakistus temperatuuril 20°C ja nende kasutamisetarve.

Juhtme takistus. Mida pikem on juhe ja mida väiksem ristlõige, seda suurem on juhtme takistus. Mida väiksem on aine erijuhtivus, seda suurem on juhtme takistus. Järelikult on juhtme takistus võrdeline juhtme pikkusega ning pöördvõrdeline selle erijuhtivusega ja ristlõikega:

$$r = \frac{l}{\gamma s},$$

kus r — juhtme takistus Ω ;

l — juhtme pikkus m;

γ — juhtme aine erijuhtivus $\frac{m}{\Omega \text{mm}^2}$;

s — juhtme ristlõige mm^2 .

Vool, pingeline ja takistus on seotud valemiga $U = Ir$.

See seos — Ohmi seadus — ütleb, et vooluahela ükskõik millise kahe punkti vaheline pingeline on võrdeline voolu ja nende punktide vahelise takistuse korrutisega.

Tabel 1

Tähtsamate elektrijuhtide ja takistustraate eritakistusi

Aine nimetus	Eritakistus $\rho_{20} \left[\frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$	Kasutamisosstarve
Vask Alumiinium Teras	0,0173—0,0178 0,028 —0,03 0,13	Juhtmed
Manganiin Konstantaan Kroomnikkel Fekral Kromal	0,4 —0,48 0,46—0,52 1,0 —1,1 1,15—1,20 1,35—1,40	Täppistakistid Reostaadid ja soojendusriistad (keeduplaadid, ahjud jne.)
Süsi, kõva	40—75	Elektrimasinate harjad

Juhid, pooljuhid ja mittejuhid

Voolu juhtivuse seisukohalt tuleb vahet teha juhtide, pooljuhtide ja mittejuhtide ehk isoleerainete vahel. Juhtideks on metallid, grafiit ja ka hapete, leeliste ning soolade vesilahused. Pooljuhtideks on räni, väävel, seleen, keedu-sool jne. Isolaatoriteks on õhk, klaas, portselan, kummi, vilgukivi, paber, siid, puuvill, parafiin, õlid, destilleeritud vesi jne. Omades vahepealse asendi juhtide ja isolaatorite vahel, on pooljuhtidel mõnes suhtes nii juhtide kui ka isolaatorite omadusi. Iseloomulikuks omaduseks on nende ebapüsivad elektrilised omadused, mis on sõltuvad välismõjutustest. Selliste ebapüsivate omaduste hulka kuulub ka pooljuhtide elektriline juhtivus. Peamisteks teguriteks, millest sõltub pooljuhtide elektriline juhtivus, on: lisandid, temperatuur, elektriväli ja valgustus. Nende peamiste tegu-

rite mõjul muutub pooljuhtide elektriline juhtivus väga suurtes piirides.

Tehnikas leiavad pooljuhid üha laialdasemat kasutamist. Pooljuhtidele on rajatud mitmesugused võimendajad, releed, fotoelemendid, luminofoorid, piesoelemendid jne.

Elektriline töö ja võimsus

Kui lülitada juhtme kahe punkti vahele pinge U , siis tekib juhtmes elektriväli. Elektrilaengu liikumist juhtmes põhjustab laengule elektriväljas mõjuv jõud F . See jõud on võrdeline laengu Q ja elektrivälja tugevuse E korrutisega. Laengu liikumisel sooritatakse töö, sest on tegemist jõu ja selle rakenduspunkti ümberpaiknemisega. Toimugu laengu liikumine elektrivälja suunas teekonnal pikkusega l . Teekonna alg- ja lõpp-punktide potentsiaalide vahe ehk pinge U muutumine nende punktide vahel homogeense välja puhul, nagu see juhtmes esinebki, on elektrivälja tugevus E . Sel puhul on pinge U väljendatav väljatugevuse E ja punktidevahelise kauguse l korrutisena: $U = El$. Laengu liikumisel sooritatav mehaaniline töö

$$A = Fl.$$

Elektriväljas laengule mõjuv jõud

$$F = kQE;$$

seega töö

$$A = Fl = kQEl = kQU.$$

Kui valida mõõdusüsteem nii, et tegur $k = 1$, siis töö

$$A = QU.$$

Kuna $Q = It$, siis

$$A = UI t.$$

Sellest selgub, et töö on võrdne pinge, voolu ja aja korrutisega.

Ajaühiku vältel sooritatavat tööd nimetatakse võimsuseks ja tähistatakse tähega P .

$$P = \frac{A}{t} = UI.$$

Seega on võimsus võrdne pinge ja voolu korrutisega.

Kui mõõta pinget U voltides ja voolu I amprites, siis võimsus P väljendub vattides (W). Seega seade, mille pinge on üks volt ja vool üks amper, arendab võimsust üks vatt.

Vatist suuremateks võimsuse ühikuteks on kilovatt ja megavatt: $1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$, $1 \text{ MW} = 1\,000\,000 \text{ W}$.

Praktiliseks mehaanilise võimsuse ühikuks on hobujõud (hj).

$$1 \text{ kW} = 1,36 \text{ hj}; \quad 1 \text{ hj} = 0,736 \text{ kW}.$$

Töö on identne energiaga. Elektrienergiat mõõdetakse kilovatt-tundides (kWh). Kõik arvestid, millede näitude alusel elektrienergiat müüakse, näitavad kilovatt-tunde. Elektrilise ja mehaanilise töö ühikute vahel on järgmised seosed:

$$1 \text{ Wsec} = 1 \text{ J (džaul)} = 0,102 \text{ kGm},$$

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J} = 0,367 \cdot 10^6 \text{ kGm}.$$

Elektromagnetiline induksioon

Faraday-Maxwelli elektromagnetilise induksiooni seaduse kohaselt tekitab (indutseerib) ajaliselt muutuv magnetiväli samas ruumis elektrivälja. Kui ühendada indutseeritud elektriväljas kaks erineva potentsiaaliga punkti mõõteriistaga, siis viimane näitab elektromotoorse jõu olemasolu. Elektromagnetilise induksiooni nähtus ilmneb sõltumatult sellest, kas magnetiväli tekitatakse elektrivoolu või püsivmagneti poolt.

Joonisel 1 on piltlikult kujutatud elektrivoolu toimel tekitatav magnetiväli. Magnetivälja tekitavat vooluahelat 1 nimetatakse primaarseks, ahelat 2 aga sekundaarseks. Aheldugu sekundaarahelaga 2 magnetivoog Φ . Voolu katkestamisel primaarahelas kaob voog Φ ja samas ruumis tekib elektriväli. Sekundaarahel ühendab elektrivälja mitmesuguste potentsiaalidega punkte ja ahela otsi ühendav voltmeeter näitab nende punktide vahelist elektromotoorset jõudu. Elektromotoorse jõu tekkimiseks ei ole vajalik magnetivoog Φ kadumine, vaid selle muutumine — kas suurenemine või vähenemine.

Muutuva magnetivoog puhul

$$ed\mathcal{E} = k d\Phi, \text{ millest } e = k \frac{d\Phi}{dt}.$$

Kui mõõta magnetivoogu voltsekundeis, elektromotoorset jõudu voltides ja aega sekundeis, siis ühest keerust koosneva sekundaarahela puhul $k = -1$ ja seega indutseeritud elektromotoorne jõud

$$e = - \frac{d\Phi}{dt}.$$

Seega indutseeritud elektromotoorne jõud on võrdeline magnetivoo muutumise kiirusega.

Kui sekundaarahel koosneb ω keerust, siis indutseeritakse igas keerus elektromotoorne jõud ja kogu ahela elektromotoorne jõud on üksikkeerdude elektromotoorsete jõudude summa:

$$e = - \omega \frac{d\Phi}{dt}.$$

Pooli keerdude arvu ω ja temaga aheldatud voo Φ korrust Ψ nimetatakse aheldusvooks ($\Psi = \omega\Phi$).

Seega

$$e = - \frac{d\Psi}{dt}.$$

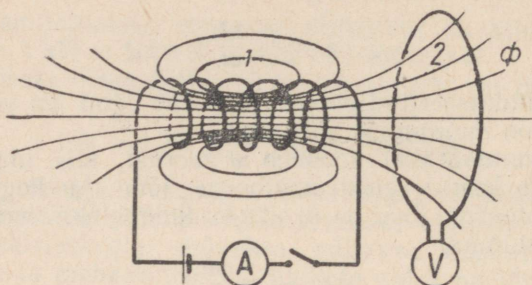
Elektromagnetiliseks induksiooniks vajalikku aheldusvoo ajalast muutumist võidakse saavutada sekundaarahela liigutamise või magnetivälja suhtes või magnetivälja liigutamise või sekundaarahela suhtes või siis hoopis voolu muutmisega primaarahelas.

Endainduktsioon

Elektromotoorse jõu indutseerimine magnetivälja muutumist põhjustavas vooluahelas kujutab induksiooni erijuhtumit. Seda nähtust nimetatakse endainduktsiooniks. Voolu ajalisel muutumisel joonisel 1 toodud primaarahelas I muutub vastavalt ka magnetiväli. Viimase ajaline muutumine tekitab samas ruumis elektrivälja. Et primaarahel I ühendab samuti elektrivälja erineva potentsiaaliga punkte, siis järelikult peab ka tema otstel tekkima indutseeritud elektromotoorne jõud. Tõepoolest tekibki primaarahelas indutseeritud elektromotoorne jõud.

Elektromagnetilise induksiooni puhul on tegemist elektriväljade, voolude ja mehaaniliste jõududega. Nende suuna määramiseks kasutatakse Lenzi juhust, mis on järgmine:

induktsiooni tagajärjel tekkivad elektriväljad, voolud ja mehaanilised jõud on säärase suunaga, et takistavad (mõjuvad vastu) induktsiooni esilekutsuvat toimingut.



Joon. 1. Elektromagnetiline induktsioon:

1 — primaarahel, 2 — sekundaarahel.

Joonise 1 kohaselt võidakse induktsiooni tekitada voolu sisselülitamisega. Seejuures nii vool kui ka magnetiväli tugevnevad. Seega peab indutseeritud elektromotoorse jõu poolt põhjustatav vool omama säärase suuna, mis takistab magnetivälja kasvamist, s. o. peab omama primaarahela voolu suunale vastupidist suunda. Indutseeritud elektromotoorse jõu valemis ($e = -\frac{d\Phi}{dt}$) olev aheldusvoog Φ tekitatakse ajaliselt muutuva voolu i poolt. Rauata pooli puhul on Φ võrdeline vooluga, s. o.

$$\Phi = Li,$$

kusjuures võrdetegurit L nimetatakse endainduktsiooni teguriks ehk lihtsalt induktiivsuseks. Tegur L on konstantne iga pooli puhul, mille naabruses puudub raud, ja oleneb ainult pooli geomeetrisest kujust, keerdude arvust ning keskkonnast.

Asetades Φ väärtuse indutseeritud elektromotoorse jõu valemisse, saame:

$$e = -L \frac{di}{dt}.$$

Kui väljendada e — voltides, i — amprites ja t — sekundites, saame induktiivsuse L ühikuks

$$1 \frac{\text{volt} \cdot \text{sekund}}{\text{amper}} = 1 \text{ henri (H)}.$$

Väiksema ühikuna kasutatakse millihenrit ja mikrohenrit:

$$1 \text{ H} = 1000 \text{ mH},$$

$$1 \text{ H} = 1\,000\,000 \mu\text{H}.$$

Vahelduvvool

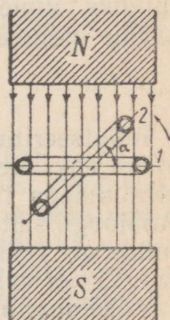
Tänapäeval kasutatakse elektroenergeetikas peamiselt vahelduvvoolu, sest tal on rida eeliseid võrreldes alalisvooluga. Vahelduvvoolu on hõlpus muundada teise pingeliseks, sest juba oma olemuselt tekitab ta ajaliselt muutuvat magnetivälja, mis on uue pinge indutseerimise põhjuseks. Ka on vahelduvvoolumasinaid lihtsamad alalisvoolumasinaist.

Vahelduvvooluks (-pingeks) nimetatakse igasugust perioodiliselt oma suurust ja suunda muutvat voolu (pinget), toimugu see muutus mistahes perioodilise funktsiooni kohaselt.

Elektroenergeetikas rakendatakse ajaliselt siinusfunktsiooni kohaselt muutuvat voolu ja pinget. Mittesiinuselisi pingeid esineb näiteks sidetehnikas.

Vahelduvvooluseaduste rakendamiseks mittesiinuselise pinge puhul lahutatakse viimane reaks siinuselisteks pingeteks ja opereeritakse nendega.

Joonisel 2 on kujutatud juhtmesilmuse pöörlemine otsvaates. Kulugu silmuse üheks pöördeks aega T sekundit ja pöörlemiseks asendist 1 asendisse 2 t sekundit. Siis vastab T sekundile, s. o. ühe perioodi vältusele radiaanmõõdus nurk 2π ja t sekundile — α . Seega silmus pöörduv aja t vältel nurga $\alpha = \frac{2\pi}{T} t$ võrra. Ühe sekundiga teeb silmus $\frac{1}{T} = f$ pööret ehk täisperioodi. Perioodide arvu sekundis f nimetatakse sageduseks. Kui asetada sagedus f pöördumisnurga avaldisse, siis saame, et $\alpha = 2\pi ft$. Suurust $2\pi f$ nimetatakse nurksageduseks ja tähistatakse ω -ga.



Joon. 2. Vahelduvvoolu tekkimine magnetiväljas pöörlevas juhtmekeeruses.

Seega $\alpha = \omega t$.

Hetkele t vastavas asendis 2 aheldub silmusega pöördumisnurga koosinuse kordselt väiksem magnetivoog, s. o.

$$\Phi = \Phi_m \cos \omega t.$$

Asetades selle magnetivoo ajalise sõltuvuse indutseerivat elektromotoorset jõudu määravasse valemisse $e = -\frac{d\Phi}{dt}$, saame lõpptulemusena:

$$e = \omega \Phi_m \sin \omega t.$$

Kui $\sin \omega t = 1$, s. o. $\omega t = \frac{\pi}{2}$, on indutseeritud elektromotoorne jõud maksimaalne. Tähistame selle E_m -ga, s. o.

$$E_m = \omega \Phi_m.$$

Kui väljendada elektromotoorse jõu hetkväärtus e amplituudiks nimetatava maksimaalväärtuse E_m kaudu, siis saame indutseeritud elektromotoorse jõu valemiks:

$$e = E_m \sin \omega t.$$

Indutseeritud elektromotoorne jõud avaldub juhtme otstel ehk klemmidel. Välise elektri juhtme ühendamisel klemmidega tekib kujunenud kinnises vooluahelas vool. Analoogiliselt alalisvooluga kujuneb tarbija klemmidel pinge u . Tekkivat pinget ja voolu nimetatakse vahelduvpingeks ja vahelduvvooluks.

Vahelduvpinge hetkväärtus

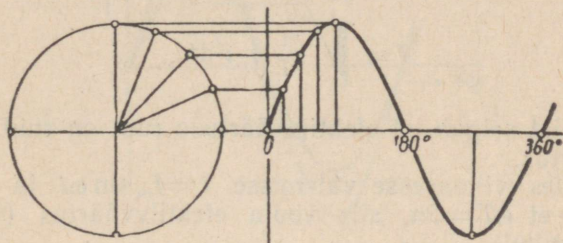
$$u = U_m \sin \omega t$$

sõltub ajast siinusfunktsiooni kohaselt. Seda sõltuvust kujutatakse graafiliselt siinuskõveraga (joon. 3).

Märgime abstsissiteljele aja t või joon. 2 toodud silmuse pöördenurga $\alpha = \omega t$ ja ordinaatteljele pinge u . Teljestikus saamegi pinge valemi graafilise kujutisena siinuskõvera. Hetkel $t = 0$ ehk $\alpha = 0$ on pinge võrdne nulliga. Pinge kasvab koos α -ga kuni α väärtuseni $\frac{\pi}{2}$, s. o. 90° . Nurga edasisel kasvamisel pinge kahaneb ja nurga väärtusel π on pinge jälle võrdne nulliga. Siis kasvab u negatiivsele

poolele, omandab negatiivse tippväärtuse punktis $\alpha = \frac{3}{2}\pi$

ja kahaneb sealt uuesti nullile pöördenurga olles 2π . Pöördenurk 2π vastab silmuse ühele täispöördele ehk perioodile, sellele vastavat pinge kulgu nimetatakse vahelduvpinge (-voolu) perioodiks, sest nurga edasisel kasvamisel pinge kulg samaselt kordub.



Joon. 3. Siinuskõver.

Sageduse ühikuks on herts (Hz) ehk perioodide arv sekundis, kusjuures

$$1 \text{ Hz} = \frac{1}{\text{sec}}.$$

Vahelduvpinge kõvera aja alghetk on vabalt valitav. Kui alustada vaatlust nurga α olles 90° , siis saadakse koosinuskõver. Sisuliselt on tegemist aga sama vahelduvpingega. Seega võib vahelduvpinget väljendada ka valemiga $u = U_m \cos \omega t$. Vahelduvvool, läbides takistust r , eraldab selles aja dt vältel soojushulga $ri^2 dt$. Perioodi

kestel eraldatud soojushulk on $r \int_0^T i^2 dt$ ja ajaühikus eraldatav soojushulk ehk võimsus

$$P = \frac{r}{T} \int_0^T i^2 dt.$$

Niisama suures takistuses r võidakse tekitada sama suur võimsus alalisvooluga I :

$$P = rI^2.$$

Võrrotades need valemid, leiame vahelduvvoolule nn. efektiivväärtuse, mis annab alalisvooluga samaväärse võimsuse, s. o.

$$I^2 = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt,$$

millest

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt}.$$

Valemist selgub, et efektiivväärtuse ruut on ruutkövera keskväertus.

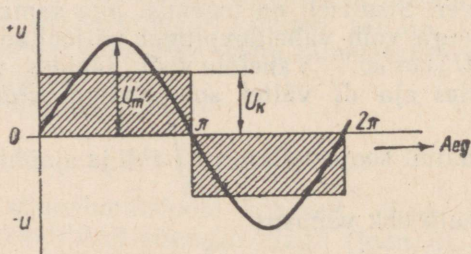
Asetades viimasesse valemisse $i = I_m \sin \omega t$ ja võttes arvesse, et $\omega T = 2\pi$, siis voolu efektiivväärtus (siinuskövera puhul)

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m = 1,11 I_k.$$

Analoogiliselt on ka pinge efektiivväärtus

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,707 U_m = 1,11 U_k.$$

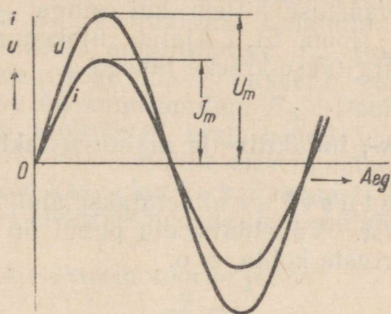
I_k ja U_k on voolu ja pinge keskväertused.



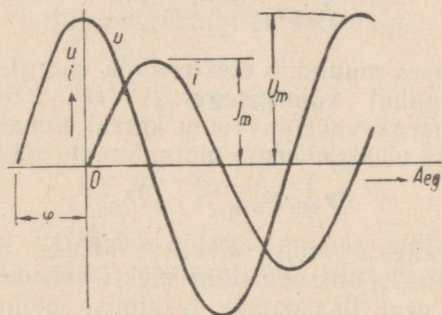
Joon. 4. Pinge keskväertuse selgitamiseks.

Keskväertus saadakse hetkväärtuste aritmeetilise keskmisena. Selle määramiseks võrrotatakse siinuskövera pindala poole perioodi ulatuses sama alusega ristküliku pindalaga, nagu see on näidatud joonisel 4. Joonisel toodud ristküliku kõrgus osutub siis pinge keskväertuseks.

Et efektiivväärtused annavad energia suhtes sama tule-
muse kui alalisvoolu suurused, siis kasutatakse neid erand-
idult elektroenergeetikas. Kõik tavalised vahelduvvoolu-
mõõteriistad näitavad efektiivväärtust.



Joon. 5. Koormuseks on aktiivtakistus; vool ja pinge on faasis.



Joon. 6. Koormus on induktiivne; vool on pingest taga nurga φ võrra.

Vahelduvvooluahelas olevail voolutarbijail, millel ei esine endainduktsiooni või see on tähtsusetult väike, nagu küttekehad, elektrilambid jne., muutuvad vool ja pinge üheaegselt (joon. 5), on faasis, s. o. saavutavad ühel ajal oma maksimaal- ja nullväärtused. Sel puhul ühtib vahelduvvoolu võimsuse valem alalisvoolu võimsuse valemiga

$$P = UI.$$

On aga voolutarbijal masinaid ja aparate induktiiv-takistusega, nagu mootorid, transformaatorid jne., siis ei muutu pinge ja vool enam üheaegselt — nad ei ole faasis. Endainduktsioon püüab takistada voolu tugevnemist ja nõrgenemist, mille tagajärjeks on see, et vool saavutab oma suurima väärtuse hiljem kui pinge — me saame nn. faasinihke (joon. 6). Ajalist nihkenurka voolu ja pinge vahel märgitakse kreeka tähega φ .

Aktiiv-, induktiiv- ja mahtuvustakistus

O o m t a k i s t u s e k s r nimetatakse alalisvooluga mõõdetavat takistust. Vahelduvvoolu puhul on Ohmi seadus kehtiv hetkväärtuste kohta, s. o.

$$i = \frac{u}{r}.$$

Sama seos kehtib ka maksimaal- ja efektiivväärtuste puhul:

$$I_m = \frac{U_m}{r}; I = \frac{U}{r}.$$

Oomtakistuses muundub elektrivoolu energia soojuseks, alalisvoolu puhul võimsusega $P = rI^2$. Sama suure efektiivväärtusega vahelduvvoolu korral samas takistuses ilmneb suurem elektrienergia muundumine soojuseks, s. o.

$$r_{\text{vah}} I_{\text{vah}}^2 > r_{\text{al}} I_{\text{al}}^2.$$

Et aga vahelduvvoolu efektiivväärtuse definitsiooni kohaselt I_{vah} ja I_{al} on soojusliku efekti seisukohalt samaväärsed, siis peab lisasoojuse tekkimise põhjus peituma juhtme takistuses. Tegelikult ongi vahelduvvoolutakistus, nn. a k t i i v t a k i s t u s (nimetatakse ka tegevtakistuseks) suurem juhtme oomtakistusest. Seda põhjustab järgmine asjaolu: vahelduvvoolu puhul muutuvad perioodiliselt voolu suurus ja suund, seega muutub samaaegselt ka juhtme sisemuses olev magnetiväli. See ajaliselt muutuv magnetiväli indutseerib samas juhtmes elektromotoorse jõu, mis põhjustab pöörisvoolusid. Üldine vool juhtmes surutakse juhtme keskelt välispinna poole (nn. skinefekt). Juhtme ristlõige ei ole voolust ühtlaselt läbitud ja on näiliselt väiksem, seega juhtme takistus vahelduvvoolule osutub suuremaks.

Õhus asuva vask- või alumiiniumjuhtme puhul (sagedusel 50 Hz) on takistuse suurenemine pöörivoolude tõttu siiski nii väike, et ei tule arvesse. Raudjuhtmete puhul aga on aktiivtakistus märksa suurem oomtakistusest.

I n d u k t i i v t a k i s t u s. Ühendame vooluallikaga pooli induktiivsusega L . Vooluallika klemmipinge põhjustab poolis vahelduvvoolu amplituudiga I_m . Pooliga aheldub vahelduv magnetivoog, mis indutseerib pooli keerduks elektromotoorse jõu amplituudiga E_m . Poolis tekib seega muutuva voolu tagajärjel igal hetkel voolu tekitavale klemmipingele vastassuunaline elektromotoorne jõud, mis takistab nii voolu kasvu kui ka kahanemist. Klemmipingele vastassuunaline elektromotoorne jõud mõjub seega iseliiki takistusena.

Indutseeritud elektromotoorne jõud

$$e = -\frac{\psi}{dt} = -L \frac{di}{dt}.$$

Vooluahelas mõjuvate elektromotoorsete jõudude summa peab sellekohase seaduse kohaselt (Kirchoffi teine seadus) olema võrdne pingelangude summaga.

Seega

$$u + e = ir$$

ja

$$u = ir - e = ir + L \frac{di}{dt}.$$

Olgu $r=0$ (on mõeldav absoluutsele nullile lähedase temperatuuri juures esineva nn. ülijuhtivuse korral), siis

$$u = L \frac{di}{dt}.$$

Muutugu vool siinuseliselt, s. o. $i = I_m \sin \omega t$, siis pinge

$$u = L \frac{d}{dt} (I_m \sin \omega t) = \omega L I_m \cos \omega t.$$

Et vool i muutub siinusfunktsiooni ja pinge u — koosinusfunktsiooni järgi, siis on faasinihe $\varphi = \frac{\pi}{2}$, sest $\cos \omega t = \sin (\omega t + \frac{\pi}{2})$. Vool jääb pingest 90° võrra maha.

Kui $\cos \omega t = 1$, siis pinge amplituud $U_m = \omega L I_m$.

Valem on analoogiline Ohmi seaduse alusel kirjutatavaga, milles takistust kujutab korrutis ωL . See on nn. induktiivtakistus, mida tähistatakse x_L -ga:

$$x_L = \omega L = \frac{U}{I}.$$

Induktiivtakistuse ühikuks on oom (Ω).

Mahtuvustakistus. Kondensaatoriks nimetatakse seadist, mis on võimeline endasse salvestama teatavat elektrilaengut Q . Praktikas levinud pöördkondensaatorid on tasapinnaliste plaatidega. Rida elektriseadmeid, nagu kaablid, läbiviigud jne., kujutab endast silindrilisi kondensaatoreid.

Lihtsaim tasapinnaline kondensaator koosneb kahest plaadist ja nende vahel asetsevast dielektrikust.

Kondensaatorit iseloomustatakse laengute salvestamise võime ehk nn. mahtuvuse kaudu. Kondensaatori mahtuvus sõltub seadme geometrilistest mõõdetest ja plaatidevahelise dielektriku ainest.

Kondensaatoris salvestatavat elektrilaengut Q (kulonites), pinget U (voltides) ja mahtuvust C (faradites — F) seob valem:

$$Q = CU,$$

kust kondensaatori mahtuvus

$$C = \frac{Q}{U}.$$

Ühendame kondensaatori alalisvooluallikaga. Ühendamise hetkel tekib voolutõuge, kondensaator mahtuvusega C omandab laengu Q . Alalisvooluallika kõrvaldamisel ja kondensaatori klemmide lühistamisel elektrijuhtmega tekib jällegi voolutõuge, nn. tühjenemisvool. Kondensaatori takistus alalisvooluahelas on ülisuur, s. o. kondensaator kujutab alalisvooluahelas katkestust.

Vahelduvvoolu puhul tekib igal poolperioodil laadimis- ja tühjenemisvool. Kondensaator nagu juhiks pidevalt vahelduvvoolu. Kondensaatori laengu muutus (laadimisel ja tühjenemisel) dQ on võrdeline kondensaatori klemmi- pinge muutusega, s. o.

$$dQ = C du.$$

Avaldades laengu muutuse laadimisvoolu ja laadimisaja kaudu, saame:

$$dQ = idt = C du,$$

millest voolu hetkväärtus

$$i = C \frac{du}{dt}.$$

Muutugu kondensaatori klemmpinge siinuseliselt, s. o. $u = U_m \sin \omega t$; siis vool

$$i = C \frac{du}{dt} (U_m \sin \omega t) = \omega C U_m \cos \omega t.$$

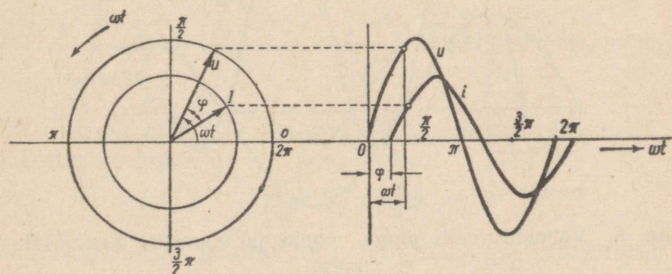
Et pinge muutub siinuseliselt, vool aga koosinuseliselt, siis on faasinihe $\varphi = \frac{\pi}{2}$ ja pinge jääb voolust faasis 90° võrra maha. Kui $\omega t = 1$, siis voolu amplituud

$$I_m = \omega C U_m, \text{ millest } \frac{1}{\omega C} = \frac{U_m}{I_m}.$$

Saadud valem on analoogiline Ohmi seaduse alusel kirjutatavaga, kusjuures takistust kujutab jagatis $\frac{1}{\omega C}$. See jagatis omab takistuse dimensiooni ja teda nimetatakse mahtuvustakistuseks ning tähistatakse x_C -ga:

$$x_C = \frac{1}{\omega C}.$$

Mahtuvustakistuse ühikuks on samuti oom (Ω).



Joon. 7. Voolu ja pinge kujutamine diagrammvektoritena.

Vahelduvvoolu suurusi kujutatakse tihti suunaliste lõikudena, nn. diagrammvektoreina. Joon. 7 on toodud pinge ja voolu amplituudile vastavad vektorid. Kui kujutleda, et

vektorid pöörlevad vastu kellaosuti liikumise suunda konstantse nurkkiirusega ω , siis vektorite vertikaalprojektioonid väljendavad pinget ja voolu hetkväärtuste kulgu. Vektoritevaheline nurk tähistab faasinihet φ .

Induktiiv- ja mahtuvustakistusi nimetatakse reaktiivtakistusteks.

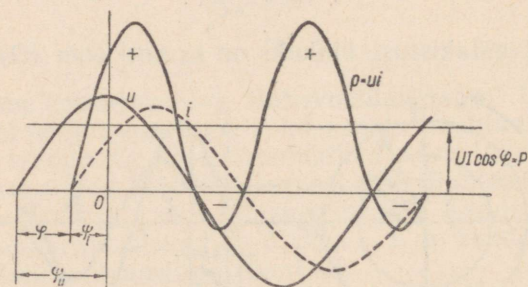
Näivtakistus. Aktiiv- ja reaktiivtakistuste olemasolul nimetatakse vooluahela üldist takistust näivtakistuseks, mida tähistatakse z -ga.

$$z = \sqrt{r^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2} \Omega,$$

Juhul kui $\omega L = \frac{1}{\omega C}$, on $z = r$. Sel juhul esineb nn. voolu- resonants. Voolu ja pinget vahel puudub faasinihe. Voolu- resonantsinähtust kasutatakse tugevvoolutehnikas seadme induktiivsuse kompenseerimiseks. Ühendades induktiivsust omava seadmega rööbiti kondensaatori, väheneb pinget ja voolu vaheline faasinihe.

Vahelduvvoolu võimsus ja võimsustegur

Joonisel 8 on toodud pinget, voolu ja võimsuse hetkväärtuste ajaline kulg induktiivsust sisaldavas voolu-



Joon. 8. Vahelduvvoolu pinget, voolu ja võimsuse hetkväärtuste kulg.

ahelas. Igal hetkel omavad nii pinget kui ka voolu erisugust väärtust. Ükskõik millisel hetkel võetud pinget ja voolu väärtuste korrutis ui väljendab sellele hetkele vastavat võimsust.

Nagu joonisest 8 selgub, esineb ühe perioodi ulatuses nii positiivseid kui ka negatiivseid võimsuse hetkväärtusi. Kogu poolperioodi ulatuses on võimsuse hetkväärtus erinev, kuid kordub samaselt ka järgmistel poolperioodidel. Kogu perioodi ulatuses arvutatav võimsuse hetkväärtuste keskmine väljendab perioodi keskmist võimsust P . Võimsuse hetkväärtus $p = ui$. Kui siinuselise pinge ja voolu hetkväärtused on $u = U_m \cos(\omega t + \psi_u)$ ja $i = I_m \cos(\omega t + \psi_i)$, siis võimsuse hetkväärtus

$$p = ui = U_m I_m \cos(\omega t + \psi_u) \cos(\omega t + \psi_i) = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cos(\psi_u - \psi_i) + \frac{U_m}{\sqrt{2}} \frac{I_m}{\sqrt{2}} \cos(2\omega t + \psi_u + \psi_i).$$

Et jagatiseid $\frac{U_m}{\sqrt{2}}$ ja $\frac{I_m}{\sqrt{2}}$ väljendavad efektiivväärtusi U ja I ja nurkade vahe $\psi_u - \psi_i$ väljendab pinge ja voolu vahelist faasinihet φ , siis

$$p = UI \cos \varphi + UI \cos(2\omega t + \psi_u + \psi_i).$$

Toodud avaldise esimene osa $UI \cos \varphi$ on ajast sõltumata, teine osa — $UI \cos(2\omega t + \psi_u + \psi_i)$ muutub kahekordse nurksagedusega.

Seega hetkvõimsuste kõver on samuti koosinuskõver, ainult kahekordse sagedusega ja $UI \cos \varphi$ võrra positiivsele poolele nihutatud telgjoonega.

Kogu perioodi keskmine võimsus

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = UI \cos \varphi + \frac{1}{T} \int_0^T UI \cos(2\omega t + \psi_u + \psi_i) dt.$$

Et viimase avaldise integraali lahend annab nulli, siis keskmine võimsus

$$P = UI \cos \varphi.$$

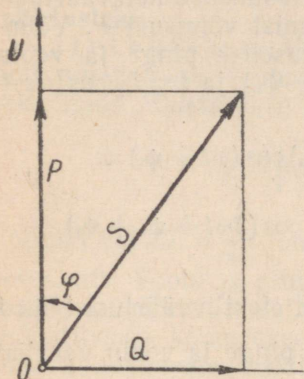
Analoogiliselt alalisvoolu võimsusega väljendab ka keskmise võimsuse avaldis ajaühikus soojuseks või tööks muunduvat elektrienergiat. Seda nimetatakse aktiivvõimsuseks, tegurit $\cos \varphi$ aga võimsusteguriks:

$$\cos \varphi = \frac{P}{UI}.$$

Pinge ja voolu efektiivväärtuste korrutist, mis on kujult analoogiline alalisvoolu võimsuse avaldisega, nimetatakse näivvõimsuseks ja tähistatakse tähega S :

$$S = UI.$$

$$\text{Järelikult } \cos \varphi = \frac{P}{S}.$$



Joonisel 9 on toodud näivvõimsuse S lahutamine komponentideks. Pingega U faasis olev komponent $P = S \cos \varphi$ väljendab aktiivvõimsust (nimetatakse ka tegev- võimsuseks), kuna teine komponent väljendab reaktiivvõimsust (ebavõimsust), mida tähistatakse tähega Q :

$$Q = S \sin \varphi = UI \sin \varphi.$$

Joon. 9. Võimsuste kujutamine diagrammvektoritena. Näivvõimsus S on lahutatud aktiiv- ja reaktiivkomponentideks P ja Q .

See võimsus ei arenda mehaanilist tööd, sest pinge ja voolu vaheline faasinihe on 90° , mis ilmneb siis, kui analoogiliselt näivvõimsusega lahutada komponentideks vool I .

Aktiivvõimsuse P ühikuks on vatt (W), näivvõimsuse S ühikuks on voltamper (VA), kuna reaktiivvõimsuse Q ühikuks on voltamper-reaktiivne ehk var (VAr).

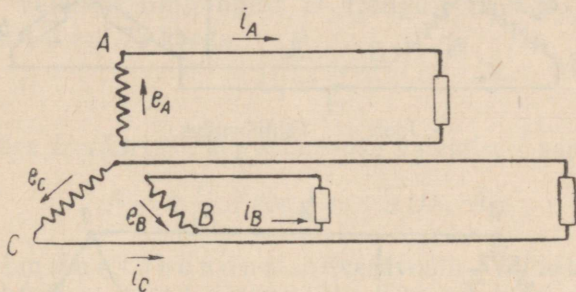
Suuremad ühikud on:

kilovatt	$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W},$
megavatt	$1 \text{ MW} = 10^3 \text{ kW},$
kilovoltamper	$1 \text{ kVA} = 10^3 \text{ VA},$
megavoltamper	$1 \text{ MVA} = 10^3 \text{ kVA},$
kilovar	$1 \text{ kVAr} = 10^3 \text{ VAr},$
megavar	$1 \text{ MVAr} = 10^3 \text{ kVAr}.$

Mitmefaasilised vahelduvvoolusüsteemid

Homogeenses magnetiväljas pöörlevas poolis (joon. 2) saadi siinuseliselt muutuv nn. ühefaasiline vahelduvpinge ja -vool. Ühefaasilise voolu juhtimiseks vooluallikast tarbi-

jani vajatakse kahte juhet. Kui panna magnetiväljas pöörlema kolm ühesugust üksteisest 120° pööratud pooli (mähist), siis saame igas poolis omaette ühefaasilise vahelduvpinge ja -voolu. Ajaliselt on need voolud üksteisest nihutatud 120° võrra. Neid ühefaasilisi voole on võimalik kasutada eraldi. Seejuures vajatakse elektrienergia ülekandmiseks kolme kahejuhtmelist liini, seega kokku kuut juhet. Sääraseid vahelduvvoolusüsteeme nimetatakse mitmefaasilisteks sidestamata süsteemideks. Joonisel 10 on toodud kolmefaasiline sidestamata süsteem.



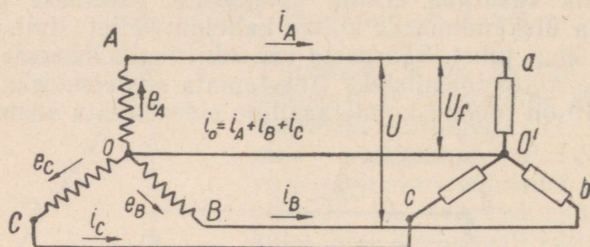
Joon. 10. Kolmefaasiline sidestamata süsteem.

Igas mitmefaasilises süsteemis omavad kõik pinged sama sageduse, kuid on üksteisest faasis nihutatud. Praktikas omistatakse nimetus faas ka vooluahela osale, millele on rakendatud teatavas faasis olev pinge. Vastavalt sellele kõneldakse faasipingest, faasivoolust, faasitakistusest, faasivõimsusest. Kui faaside arv on 3 või suurem, võidakse energiat kanda üle väiksema arvu juhtmetega kui kaks iga faasi kohta, milleks tuleb erinevate faaside teatavad punktid ühendada kokku, millega saadakse nn. sidestatud süsteem, mida tänapäeval üldiselt kasutatakse.

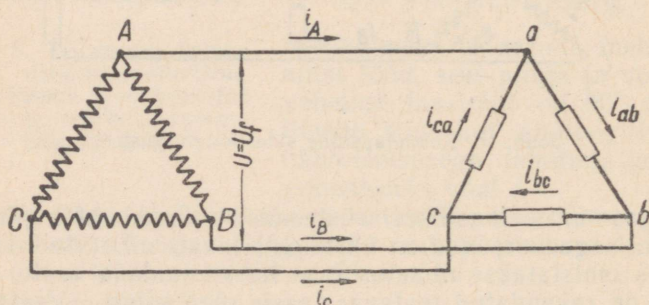
Kasutatava kolmefaasilise sidestatud süsteemi leiutajaks on vene teadlane M. O. Dolivo-Dobrovolski.

Mitmefaasilist süsteemi nimetatakse sümmeetriliseks, kui kõik selle süsteemi elektromotoorsed jõud, pinged või voolud on suuruselt võrdsed ja kui iga elektromotoorne jõud, pinge või vool omab sama faasinihke eelmise elektromotoorse jõu, pinge või voolu suhtes ja mille suuruseks on $\frac{2\pi}{m}$, kus m on süsteemi faaside arv.

Kasutatava kolmefaasilise süsteemi sidestamisel on kaks mähiste ühendamise viisi: täht- ja kolmnurküendus. Seejuures generaatori või transformaatore mähiste ühendamisviis ei tarvitse iga kord tingida samasugust mähiste ühendamist tarbijate juures. Ühendades kolm ühe-



Joon. 11. Tähtühendus.



Joon. 12. Kolmnurküendus.

faasilist vahelduvvoolumähist kas täht- või kolmnurküendus, saame kolmefaasilise vahelduvvoolu. Iga üksiku faasimähise poolt tekitatakse ajaliselt muutuv magnetiväli. Üksikute magnetiväljade maksimaalväärtused on võrdsed, nende summa moodustab ringjoonel edasi liikuva — keerleva magnetivälja, mis kisub endaga kaasa pöörlema ka liikuvalt asetatud mootori rootori. Keerleva magnetivälja tõttu nimetataksegi kolmefaasilist vahelduvvoolu mõnikord keerdvooluks.

Et keerdvoolu süsteem moodustub kolmest ühefaasilisest vahelduvvoolu süsteemist, siis peab keerdvoolu võimsus olema kolm korda suurem üksiku faasi võimsusest.

T ä h t ü h e n d u s. Keerdvoolu võimsus tähtühenduse korral (joon. 11). Üksiku faasi võimsus $P_f = U_f I_f \cos \varphi$, kus U_f — faasipinge, s. o. pinge faasi klemmidel, I_f — faasivool, s. o. vool üksikus faasimähises.

Koguvõimsus

$$P = 3P_f = 3U_f I_f \cos \varphi.$$

Ühtlaselt koormatud faasidel, nagu see esineb mootorite puhul, on faasivool I_f kõikides tähte ühendatud faasides ühesugune ja niisama suur kui liinivool I ühendusjuhtmeteski. Kuid faasipinge U_f on igas faasis tähtühenduse puhul väiksem liinipingest U (pingest ühendusjuhtmete vahel) $\sqrt{3} = 1,73$ korda:

$$U_f = \frac{U}{\sqrt{3}}.$$

Asetades U väärtuse koguvõimsuse valemisse, saame:

$$P = 3 \frac{U}{\sqrt{3}} I \cos \varphi = \sqrt{3} UI \cos \varphi.$$

K o l m n u r k ü h e n d u s. Keerdvoolu võimsus kolmnurkühenduse korral (joon. 12). Üksiku faasi võimsus $P_f = U_f I_f \cos \varphi$,

kus I_f — faasivool, U_f — faasipinge.

Koguvõimsus

$$P = 3P_f = 3U_f I_f \cos \varphi.$$

Kolmnurkühenduse korral on faasipinge U_f faasimähise klemmidel võrdne liinipingega U ühendusjuhtmete vahel, kuid faasivool I_f on väiksem liinivoolust I $\sqrt{3}$ korda:

$$I_f = \frac{I}{\sqrt{3}}.$$

Seega koguvõimsus

$$P = 3U \frac{I}{\sqrt{3}} \cos \varphi = \sqrt{3} UI \cos \varphi.$$

K a s u t e g u r. Nagu teistegi masinate puhul, nii on ka elektrimasinate kasutegur võrdne masina poolt äraantava võimsuse P_2 ja masina poolt võrgust tarbitava võimsuse P_1 suhtega. Kasuteguri tähiseks on η . Kasutegur

$$\eta = \frac{P_2}{P_1}.$$

a) Ühefaasilise tarbija korral võrgust võetav võimsus

$$P_1 = UI \cos \varphi,$$

tarbija poolt kasulikuks tööks muundatav võimsus on P_2 .
Seega kasutegur

$$\eta = \frac{P_2}{UI \cos \varphi}.$$

b) Keerdvoolu korral

$$P_1 = \sqrt{3} UI \cos \varphi,$$

$$\eta = \frac{P_2}{\sqrt{3} UI \cos \varphi}.$$

2. ELEKTRIENERGIA KASUTAMINE TÖÖSTUSES JA MAJAPIDAMISES

Elektrivoolul on soojuslik, dünaamiline ja keemiline toime. Nendele elektrivoolu toimetele rajanebki elektri kasutamine tehnikas ja igapäevases elus.

Elektrivalgustus

Elektrilampides toimub elektrienergia muundumine nähtavaks valgusenergiaks. Valguse tekitamiseks kasutatakse siin järgmisi füüsikalisi nähtusi: termilist kiirgust, gaaside kiirgust elektrivoolu toimel ja luminescentskiirgust.

Hõõglampid. Igapäevases elus kasutatav elektrivalgustus põhineb peamiselt termilisel kiirgusel. Elektrivooluga kuumutatakse hõõgniit kõrge temperatuurini, mille juures see hakkab valgust kiirgama. Valguseks muundunud elektrienergia osa on aga seejuures väga väike (kuni 12%), kuna enamik elektrienergiast muundub soojuseks. Valguse värvus on seda valgem, mida kõrgem on hõõgniidi temperatuur.

Vanemates hõõglampides oli hõõgniidiks peenike süsiniit, mis asetati spiraali keeratuna klaaspirni. Et hõõgniit kuumenemisel ära ei põleks, pumbati õhk klaaspirnist välja. Hõõgniidi madala temperatuuri tõttu (ca 1700°C) on süsiniit-hõõglambi valguse värvus punakaskollane ja energiakulu võrdlemisi suur.

Praktika näitab, et hõõglampide valgusvoog suureneb tunduvalt hõõgniidi temperatuuri tõusuga. Kõrgemat hõõgniidi temperatuuri võimaldavad metallist hõõgniidid. Tänapäeval valmistatakse hõõgniidid peamiselt volframist. Volfram on sitke metall, mis sulab ca 3370° C juures. Hõõgniidi temperatuur on volframi puhul väiksematel lampidel ca 2100° C, suurematel — 2500° C. Kõrgemat temperatuuri ei võimalda niidi aurumine ja sellega seotud kiire lagunemine. Et metall kõrgel temperatuuril hapnikuga kokku puutudes ära põleb, siis pumbatakse metallhõõgniidiga lampide klaaspirnidest õhk välja. Selliseid lampe nimetatakse õhutühjadeks lampideks. Neid ehitatakse harilikult kuni 40 vatini.

Et hõõgniidi aurumist vähendada ja seejuures tõsta temperatuuri ja ühtlasi valguseks muunduvat võimsust, täidetakse kolb gaasiga — tavaliselt 86% Ar, 14% N; uuemad aga Kr ja Xe. Hõõgniidi temperatuur on 2500—2900° C. Klaaspirnis olev gaas vähendab surve tõttu hõõgniidi aurumist. Et vähendada gaasi soojusjuhtivuse tõttu esinevat jahtumist, keeratakse hõõgniit väga tihedasse spiraali. Gaasiga täidetud lampe ehitatakse peamiselt võimsusele üle 40 vati. Hõõglampide keskmiseks põlemiseaks on 1000 tundi.

Normaalselt kasutatakse elektrilampe pingetel 110, 127 ja 220 volti. Eriotstarbel on tarvitusel lampe ka teistele pingetele (1—230 V).

Lampide võimsus on harilikult antud vattides. Iga valgusallikas kiirgab igas suunas ruumis valgusvoogu. Valgusvoo ühikuks on lumen (lm). Ühe luumeni suurust valgusvoogu kiirgab välja $0,5305 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$ pindalaga absoluutselt must keha plaatina hangumise temperatuuril (2042° K, s. o. arvatuna absoluutsest nullist [−273° C]). Suurema ühikuna kasutatakse kiloluumenit:

$$1 \text{ klm} = 10^3 \text{ lm.}$$

Valgustugevus on valgusallika poolt väljakiiratud valgusvoo ruumiline tihedus. Seda mõistet kasutatakse praktiliselt punktikujuliste valgusallikate valgustusomaduste iseloomustamiseks. Valgustugevus I on määratud valgusvoo F ja ruuminurga ω jagatisega

$$I = \frac{F}{\omega}.$$

Ruuminurgaks nimetatakse koonilise pinnaga piiratud ruumiosa, kusjuures koonuse tipp asetseb kera keskpunktis. Ruuminurga määrab tema poolt eraldatud kerapinna osa ja raadiuse ruudu suhe. Ruuminurga ühiku — 1 steradiani puhul on eraldatud kerapinna osa võrdne raadiuse ruuduga.

Valgustugevuse ühikuks on küünal (K). Sellise valgustugevuse omab säärane punktikujuline valgusallikas, mis kiirgab välja ühtlaselt ruuminurka 1 steradian valgusvoo 1 luumen:

$$1 \text{ K} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ steradian}}.$$

Valgustustiheduseks nimetatakse valgustatava pinna ühikule langevat valgusvoogu

$$E = \frac{F}{S}.$$

Valgustustiheduse ühikuks on luks (lx). Pinna valgustustihedus on 1 lx, kui pinnal 1 m² jaotub ühtlaselt valgusvoog 1 lm:

$$1 \text{ lx} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2}.$$

Luksi kõrval tuntakse valgustustiheduse ühikuna ka fotti:

$$1 \text{ fot} = 10\,000 \text{ lx}.$$

Suurepinnaliste valgusallikate ja tugevalt reflekteerivate pindade iseloomustamiseks kasutatakse neilt väljuva valgusvoo tihedust. Keskmise valgustihedus

$$R = \frac{F}{S_v},$$

kus F — valgusvoog lm,

S_v — valgust kiirgav pind m².

Valgustiheduse ühikuks on radluks (rlx), mida defineeritakse järgmiselt: valgustiheduse 1 rlx omab igast punkti ühele poole ühtlaselt kiirgav tasapind, kui selle pinna 1 ruutmeetrilt kiirgab valgusvoog 1 lm.

$$1 \text{ rlx} = \frac{1 \text{ lm}}{1 \text{ m}^2}.$$

Valgustihedus ja valgustustihedus on analoogilised suurused. Valgustihedus väljendab pinnast väljuva valgusvoo tihedust, valgustustihedus aga pinnale langeva valgusvoo tihedust. Et iga pind reflekteerib osa valgusest, siis ainult osa pinnale langevast valgusvoost muutub pinnast väljuvaks valgusvooks ja valgustihedus

$$R = \rho E, \text{ kus } \rho \text{ — peegeldustegur.}$$

Valgust läbilaskvate kehade puhul on ühelt poolt pinnale langeva ja teiselt poolt pinnast väljuva valgusvoo suhe määratud läbilasketeguriga τ , seega valgustihedus

$$R = \tau E.$$

Valgust kiirgavat või reflekteerivat pinda iseloomustab ka kiirgava pinna heledus.

Heleduse ühikuks on stilb (sb), mida defineeritakse järgmiselt: kui tasapind kiirgab valgustugevusega 1 küünal ühe ruutsentimeetri kohta, siis on selle pinna heledus 1 stilb, s. o.

$$1 \text{ sb} = \frac{1 \text{ K}}{1 \text{ cm}^2}.$$

Kui kiirgava pinna ühikuks võtta mitte 1 cm^2 , vaid 1 m^2 , siis saame heleduse ühikuks detsimillistilbi (dmsb):

$$1 \text{ dmsb} = 10^{-4} \text{ sb.}$$

Heleduse mõistet kasutatakse nii valgust kiirgavate kui ka valgust reflekteerivate pindade kohta.

Allpool on toodud üksikute valgusallikate keskmisi heledusi:

päikese pind	$1,65 \cdot 10^5$	sb
100 W volframniit	$6 \cdot 10^2$	„
luminescentslamp	$4-5 \cdot 10^{-1}$	„
lumi kuuvalgel ööl	$5 \cdot 10^{-6}$	„

Pimestamise vältimiseks on normidega ette nähtud maksimaalne lubatav valgusti heledus.

Peale tabelis 2 toodud lampide toodetakse eriotstarbeks terve rida lampide tüüpe, nagu auto-, raudtee-, signalisatsioon- jne. lambid.

Hõõglampe iseloomustavaid suurusi

(ГОСТ 2239—54 järgi)

Hõõglambi tüüp			Võimsus W	Valgusvoog		Sokli tüüp
Pingele 110 V	Pingele 127 V	Pingele 220 V		Pingel 110—127 V	Pingel 220 V	
HB 1	HB 40	—	10	70	—	P—27
HB 2	HB 10	HB 23	15	125	101	P—27
HB 3	HB 11	HB 24	25	228	198	P—27
HB 4	HB 12	HB 25	40	380	340	P—27
HГ 1	HГ 21	HГ 27	60	660	540	P—27
HГ 2	HГ 22	HГ 47	75	915	698	P—27
HГ 3	HГ 23	HГ 48	100	1320	1050	P—27
HГ 4	HГ 24	HГ 49	150	2280	1845	P—27
HГ 5	HГ 25	HГ 50	200	3200	2660	P—27
HГ 6	HГ 26	HГ 51	300	5160	4350	P—27
HГ 7	HГ 27	HГ 52	400	7000	6000	P—40
HГ 8	HГ 28	HГ 53	500	9100	8000	P—40
HГ 9	HГ 29	HГ 54	750	14250	12980	P—40
HГ 10	HГ 30	HГ 55	1000	19500	18000	P—40
—	HB 7	—	55	650	—	P—27
—	HB 8	—	71	900	—	P—27
—	HB 9	—	96	1300	—	P—27
—	—	HB 6	82	—	900	P—27
—	—	HB 5	109	—	1300	P—27

Märkusi: 1. HB — õhutühi, HГ — gaasitäitega, HB — bispiraallamp.

2. Valgusvoog on toodud läbipaistva klaaspirniga lambi kohta; lampe võimsusega kuni 150 W valmistatakse ka mateeritud (valgusvoog on 3% võrra väiksem) ja piimklaasist pirniga (valgusvoog on 25% võrra väiksem).

3. Lampide tööiga on 1000 tundi.

Kasutuselevõetud uutest tüüpidest võiks nimetada peegellampe, millede tehnilised näitajad on järgmised.

Võimsus W	Valgusvoog lm pingel		Valgusviljakus lm/W pingel		Lambi läbi- mõõt mm	Lambi pikkus mm	Sokli tüüp
	110 ja 127 V	220 V	110 ja 127 V	220 V			
300	4300	3600	14,3	12,0	177	260 + 7	P—40
500	7500	6400	15,0	12,8	177	260 + 7	P—40

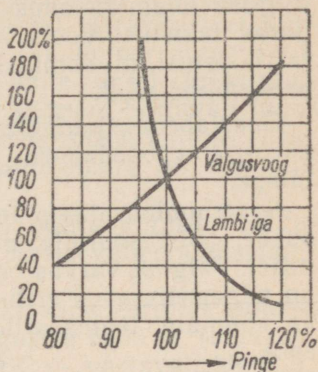
Elektrilambid on väga tundlikud pingemuutuste suhtes. Pinge tõusul langeb lambi iga märgatavalt, pinge alane misel lambi iga küll tõuseb, valgusvoog aga langeb tugevasti. Joonis 13 iseloomustab seda vahekorda.

Lampide valgusviljakus, s. o. valgusvoo ja võimsuse suhe, sõltub pingest. Madalamale pingele valmistatud lampide valgusviljakus on suurem. Nii näiteks on 110-V lampide valgusviljakus 12–15% võrra suurem kui 220-V lampidel.

Gaaslahenduslambid. Gaaslahenduslampides kulgeb vool mitte läbi metalltraadi, nagu hõõglampides, vaid läbi gaasi või metalliauru. Elektrilise pinge mõjul omandavad gaasis leiduvad vabad elektronid suure kiiruse. Kokkupõrkel gaasi või metalliauru aatomitega vabastavad vabad elektronid neist uusi elektrone, mille

tulemusel gaas või metalliaur muutub voolujuhiks. Sellist elektronide eraldamist aatomist nimetatakse aatomi ioniseerimiseks. Ioniseerimise tulemusena muutub elektriliselt tasakaalus olev aatom elektriliselt laetud ioniks. Iga aine aatomi ioniseerimiseks on nõutav teatud suurusega pinge.

Teatavasti koosneb aatom positiivselt laetud tuumast ja selle ümber mitmes kihis tiirlevatest elektronidest. Gaasi või metalliauru ioniseerimisel osa aatomeis tiirlevaid elektrone küll ei vabane, kuid tõugatakse ajutiselt uutele, aatomi tuumast kaugemal asuvatele tiirlemisteedondadele. Uutel teekondadel on elektronidel endisega võrreldes suurem energiakogus, mida nad pidevalt ei säilita. Sellise elektroniga aatom on nn. ergastatud olekus. Ergastatud olek ei ole aga püsiv ja aatom saavutab uuesti tasakaalu umbes 10^{-8} sekundi jooksul. Tasakaalu saavutamiseks läheb elektron endisele tiirlemisteedonnale, mille juures vabaneb ergastusenergia, mille elektron sai aatomi kokkupõrkel vaba elektroniga. See vabanev energia avaldub teatud lainepikkusega valguskiirgusena. Ioniseerimata gaas on täielik isolator, tugevasti ioniseeritult sarnaneb



Joon. 13. Elektrilambi valgusvoo ja tööea sõltuvus pingest.

ta aga elektrijuhiga. Elektronide voolu gaasis nimetatakse gaaslahenduseks. Gaaslahendusel on kaks järku: esimene järk, mis algab süütega, seejärel vool ionisatsiooni kiire kasvu tõttu pidevalt suureneb ning toimub nn. huumlahendus; teine järk — leek- ehk kaarlahendus, mis vahetult järgneb huumlahendusele, kui vooluahelas puudub voolu piirav takistus. Voolu stabiliseerimiseks kasutatakse ballasttakistusi, nii oomilisi kui ka induktiivseid, viimaseid — paispoolide näol.

Gaaslahenduslampidest tuntakse tänapäeval: naatriumi-auru-, elavhõbedauru-, luminescents-, huum- ja kaarlampe.

Naatriumiaurulamp leiab peamist kasutamist tööstuste õuede, tööstushallide, autoteede, tänavate jne. valgustamisel. Valguse värvus on kollane. Et kollase valguse puhul on nägemisteravus eriti suur, siis kasutatakse neid lampe ka võimlate, tennishallide, lennuväljade jne. valgustamiseks.

Elavhõbedaurulampide valguse peamised värvused on lilla ja roheline, mistõttu nad ei ole sobivad eluruumide valgustamiseks. Hõõg- ja elavhõbedaurulambi valguse segamisel vahekorras 1:2 või 1:1 saadakse ka kaitiste ja eluruumide valgustamiseks sobiv valgus. Naatriumi- ja elavhõbedaurulampide puuduseks on seega ebasobiv valguse värvus, kuigi valgusviljakuse suhtes on nad hõõglambist 2—4 korda ökonoomsemad.

Luminescentslambid leiavad tänapäeval üha laiemat kasutamist. Nendes muundub elavhõbedauru madalrõhugaaslahenduse nähtamatu ultravioletne kiirgus nähtavaks valguseks. Valgusviljakust suurendatakse luminesceerivate (taaskiirgavate) kristalliliste ainetega — luminofooridega, mis muundavadki kiirguse nähtavaks valguseks. Luminescentslamp koosneb pikast, seest luminofooriga kaetud klaastorust, mis sisaldab tilga elavhõbedat ja väikesel hulgal argooni. Toru kummaski otsas asetsev hõõgniit on ühtlasi lambi elektroodideks. Lambiga järjestikku ühendatud paispool on vajalik nii lambi süütamiseks kui ka voolu stabiliseerimiseks lambi töötamisel.

Iga lamp peab omama individuaalse paispooli ja käiviti. Võrku ühendamisel on mõlemad hõõgniidid ühendatud käiviti kaudu järjestikku. Läbi vool kuumutab hõõgniite ja nende pinnalt hakkavad eralduma elektronid, mis ioniseerivad klaastorus oleva gaasi ja elavhõbedauru. Mõne

sekundi järel avaneb käiviti automaatselt ja katkestab vooluahela. Seejuures indutseeritakse paispoolis, seega ka elektroodide vahel kõrge pinge, mille tulemuseks on kaarlahendus. Et algul on elavhõbedaauru rõhk väike, siis argoon hõlbustab kaarlahenduse tekkimist. Kaarlahendus elavhõbedaaurus tekitab suurel hulgal ultravioletset kiirgust. Klaastoru sisepinnal asetsev luminofoor absorbeerib (neelab) ultravioletse kiirguse, mille arvel ta kiirgab temale omase värvusega nähtavat valgust. Sõltuvalt luminofoorist on kiiratava valguse värvus roosa, kuldne, roheline või sinine. Kombineerides luminofoore on võimalik saavutada ka valget valgust.

Valgustehniliselt on olulisemad päevavalguse-, valgevalguse-, külma valgevalguse- ja sooja valgevalguselamid.

Päevavalguselamp DC omab spektraalse kiirguse jaotuse, mis on lähedane temperatuurikiirgusele 6500°K (sinakasvalge valgus), valgevalguselamp BC — vastavalt 3500°K , külma valgevalguselamp XBC — 4850°K ja sooja valgevalguselamp TBC — 2700°K , olles valguse spektraalselt koostiselt lähedane harilikule hõõglambile.

Tabel 3

Luminescentslampe iseloomustavaid suurusid
(ГОСТ 6825-54 järgi)

Nimivõimsus W	Pinge lambi klemmidel V	Vool lambis A	Lambi mõõted mm			Valgusvoog lm			
			Toru läbimõõt	Toru pikkus	Üldpikkus (kontaktiga)	DC	XBC	BC	TBC
15	58	0,30	25	436	451	490	490	560	500
20	60	0,33	38	589	604	700	700	800	700
30	108	0,32	25	894	909	1160	1160	1400	1250
40	108	0,41	38	1198	1213	1700	1700	1920	1780

Märkusi: 1. Kuni viimase ajani valmistati lampide abiseadmeid sellistena, et 15 ja 20 W lampe võis kasutada ainult pingel 127 V, 30 ja 40 W aga ainult pingel 220 V. On oodata abiseadmete valmistamist ka 15 ja 20 W lampide kasutamiseks pingel 220 V.

2. Lampide põlemisiga — mitte alla 3000 tunni, mille järel valgusvoog ei tohi olla väiksem kui 70% tabelis toodud väärtustest.

Võrreldes hõõglambiga omab luminestantslamp rea olulisi paremusi: luminestantslampil on tunduvalt suurem valgusviljakus, soojuskaod on väiksemad, moodustades umbes 30% hõõglampide soojuskadudest, ta valguse värvus on väga lähedane päevavalgusele. Luminestantslampi puudusena võiks nimetada: paispooli kasutamise tõttu võrdlemisi madal võimsustegur ($\cos \varphi = 0,5-0,6$), valguse mõningane virvendus ja koos sellega stroboskoopsuse nähe, valgustusseadme võrdlemisi kõrge maksumus ja võimalus lampi uuesti süüdata vaid pärast kustutatud lampi küllaldast jahtumist, raskus lampi kasutamisel välisvalgustuseks (keskkonna optimaalseks temperatuuriks on $10-35^{\circ}\text{C}$).

Stroboskoopsuse nähe seisab selles, et luminestantslampi valgusel näeme liikuvaid esemeid mitmekordselt. Näiteks pliiaatit edasi-tagasi liigutades näeme terve rea pliiaatseid.

Stroboskoopsuse nähe on tingitud sellest, et luminestantslampi kiirgus on inertsivaba.

Voolu siinuselisel puutumisel muutub ka valgusvoog. Kuigi lambis kasutatavad luminofoorid võimaldavad mõningat järelkiirgust (0,1—0,01 sek. jooksul) esineb lampi juures siiski valguse virvendus, mis põhjustabki stroboskoopsuse nähtust.

Viimane on kõrvaldatav kahe kuni kolme lampi paigutamisega ühte valgustisse ja nende toitmiseega eri faasidest.

Luminestantslampis jaguneb kiirgusenergia gaaslahendusel ligikaudu järgmiselt: 2% — nähtav valgus, 60% — ultraviolettkiirgus ja 38% soojuskiirgus. Luminestantslampi klaastoru sisepinnale kantud luminofoori vahendusel muundub ultraviolettkiirgus valguseks ja soojuseks. Ultraviolettkiirgusele langev 60% jaotub järgmiselt: nähtavaks valguseks umbes 18,5% ja soojuseks umbes 41,5%. Seega nähtava valguskiirgusena annab luminestantslamp kokku umbes 20,5% lampi võimsusest, ülejäänud osa saame soojusena (kiirgussoojusena umbes 26,5% ja konvektsioonisojusena umbes 53%). Valgevalgusega luminestantslamp BC võimsusega 40 W annab ГОСТ-6825-54 kohaselt valgusvoo 1920 lm. Hõõglampidest ligikaudu sama suure valgusvoo annab lamp võimsusega 150 W (1845 lm). Energia jaotus hõõglambis on sootuks teine: kõigest 10% nähtavat valguskiirgust ja 90% soojus-

energiat (72% kiirgussoojusena ja 18% konvektsioonsoojusena).

Luminestsentslampi töötamiseks on vajalikud abiseadmed: voolu piirav paispool, automaatne käiviti, eeltakisti alalisvoolu puhul ja kondensaatorid võimsusteguri parandamiseks vahelduvvoolu puhul.

Seoses aatomienergia rahulikuks otstarbeks kasutusele võtmisega on ette näha ka luminestsentslampide edasist arengut. Radioaktiivse kiirguse toimel kiirgab vastavalt valitud luminofoor nähtavat valgust, ilma et lamp vajaks elektrienergiat. Ajakirjanduse teatel¹ selline lamp, milles on kasutatud radioaktiivne gaas — krüpton 85 — ongi võetud kasutusele Ameerika raudteel. Kuivõrd lambi radioaktiivne kiirgus on ohtlik inimorganismile, selle kohta puuduvad teated.

Huumlambid (tavaliselt hõõglambi-kujulised) töötavad gaaslahenduse huumpiirkonnas. Lampide klaaspirni täiteks on tavaliselt väärisgaas neon või neoni ja heeliumi segu.

Lambid on väikese võimsusetarvitusega ja madala valgusviljakusega. Võimsusetarvitus toitepingel 110—220 V on 1—3 W ja valgusviljakus 0,5—1,0 lm/W. Seetõttu huumlampe ei kasutata valgustamiseks, vaid eriotstarbeks, nagu signaallampidena (eriti väikesed, võimsusega 0,05—0,5 W), orienteerumis- ja öölampidena. Huumlampide keskmine põlemisiga on 2000—3000 tundi.

Kaarlambi all mõistetakse lampi, milles valgust tekitab süsielektroodide vahel toimuv kaarlahendus. Lambi töötamise stabiliseerimiseks tuleb vooluahelasse, järjestikku elektroodidega, ühendada takisti. Kaarlampe rühmitatakse toitevoolu järgi alalis- ja vahelduvvoolulampideks. Vastavalt lampide liigile on nende valguse spektraalne koostis, põlemise rahulikkus ja ka valgusviljakus erinevad. Alalisvoolu-kaarlambis kiirgab peamise osa valgusest positiivse sõe kraater, mille temperatuur on ligikaudu 4200° K. Veel kõrgem temperatuur, umbes 5500° K, esineb kraatri ees olevas positiivsete ionide kihis.

Puhassütega lambi valguse spektraalne koostis on võrdlemisi lähedane päevavalgusele, kuna intensiivsõed (kaltsiumi, magneesiumi ja teiste metallide soolade lisanditega

¹ «Техническое Дело», София, 5 II 1957.

sööd) annavad päris päevavalgusetaolise kiirgusenergia jaotuse.

Vahelduvvoolu-kaarlambis kasutatakse valgust kiirgava söena valgelt põlevat intensiivsütt.

Vahelduvvoolu-kaarlambi kasutegur on väiksem (ligi pool) alalisvoolulambi kasutegurist. Nõutav pinge on alalisvoolu korral 40—50 V, vahelduvvoolul 30—35 V. On võrgupinge kõrgem, tuleb see takistuse, trafo või paispooliga alandada. Et vältida leegi süütamisel suuri lühisvoolusid ja tagada leegi stabiilsust, peab lambiga järjestikku asetsema eeltakisti, millel tekib pingelang 10—30% ulatuses toitepingest.

Kaarlampe kasutatakse peamiselt eriotstarbeks: helgiheitjais, kopeerimisseadmes, filmiateljeede valgustites, suurte väljakute valgustusseadmes jne. Kaarlambi olulisemaks puuduseks on asjaolu, et kaare süütamine süte kokku- ja eemalenihutamise, samuti ärapõlenud süte järelenihutamine vajab keerulist mehhanismi. On nõutav ka süte perioodiline uuendamine (iga 10—150 tunni järel). Madala pinge tõttu (30—60 V) pole otsene ühendamine võrguga võimalik. Ehitada saab kaarlampe ainult suurtele võimsustele, alates 100 vatist.

Reklaamvalgustustorud moodustavad levinuima liigi gaaslahenduslampidest. Reklaamvalgustustoru kujutab endast pikka madalarõhu-gaaslahendustoru, mille otstes on elektroodid. Analoogiliselt teiste gaaslahenduslampidega nõuab ka reklaamvalgustustoru süütamiseks kõrgeimat pinget kui normaalsel töötamisel. Seetõttu tuleb lülitada toruga järjestikku piirav takisti ja valida trafo abil süütamiseks vajalik pinge. Reklaamvalgustustoru keeratakse vajaliku tähe kujuliseks ja kinnitatakse vastavale alusele. Reklaamvalgustusseadme toitmiseks kasutatakse kõrgepinget, tavaliselt 6000 V, mis saadakse vastavast toitetrafost. Reklaamvalgustustoru värvus sõltub toru gaasisaldusest ja klaastoru värvusest. Neon annab oranž-punase, elavhõbedaauru ja neoni segu — helesinise valguse, sama kollases torus näib rohelisena; lämmastik annab kuld kollase ja süsihappegaas — valge valguse.

Analoogiliselt luminesentslampidega võib elavhõbedaauru- ja neonitäitega torudes, kus tekib tugev ultravioletne kiirgus, muuta valguse värvust luminesentseerivate ainetega. Sellega on suudetud tunduvalt parandada reklaamvalgustustorude valgusviljakust (kuni 55 lm/W).

Reklaamvalgustustoru toitepinge ja võimsusetarvitus sõltuvad toru pikkusest, läbimõõdust, voolu tugevusest ja ka gaasi rõhust ning liigist. Võimsusetarvitus on keskmiselt 30—50 W jooksva meetri kohta. Tööpinge toru jooksva meetri kohta on keskmiselt 400 voldist (jämedamad torud) kuni 1000 voldini (peenemad torud). Süütepinge vastavalt 600—1700 V. Levinumad torujämedused — 8—30 mm.

Elektrikeevitus

Elektrikeevituse all mõistame materjalide lahutamatuks tervikuks ühendamist nende kuumutamise teel vedela või plastilise olekuni elektrivoolu abil.

Elektrikeevitus toimub põhiliselt kahel viisil: kaar- ja kontaktkeevitusena.

Kaarkeevitamisel toimub metalli sulatamine volta kaarega. Meetod on olemuselt analoogiline autogeenkeevitusega. Takistuskeevitusel soojendatakse vooluahelasse ühendatud keevitav materjal sulamistemperatuurini materjali kokkupuutepindadel või materjalis endas voolu toimel tekkiva soojuste abil.

Kaarkeevitamine toimub kahel menetsel, mis kannavad nende leiutajate ja esimestena praktikas kasutajate nimesid: 1) Benardose meetod (vene leidur N. N. Benardos 1842—1905) ja 2) Slavjanovi meetod (vene metallurgileidur N. G. Slavjanov 1854—1897). Benardose meetodi puhul tekib elektrikaar süsielektroodi ja keevitatava eseme vahel. Lisametalli antakse seejuures kõrvalt.

Slavjanovi meetodil tekib elektrikaar metallektroodi ja keevitatava eseme vahel. Lisametalli annab järjest sulav metallektrood.

Tänapäeval kasutatakse peamiselt Slavjanovi keevitusmeetodit.

Kaarkeevitamisel puudutatakse keevitatavat eset elektroodiga ja eemaldatakse viimane kohe 3—10 mm kaugusele (süsielektroodi puhul kuni 40 mm). Keevitada võib nii alalis- kui ka vahelduvvooluga. Alalisvooluga keevitamise eeliseks on kõrge temperatuur positiivsel poolusel ja väga rahulik kaar, mis ei katke kergesti ka vahekauguse muutmisel. Seetõttu saavutatakse hästi tihe ja paks keevisõmblus. Neil põhjusil toimub värviliste ja kergemetallide (näiteks pronksi, vase ja alumiiniumi) keevitamine alalisvooluga.

Keevitamine alalisvooluga on aga umbes 15% kallim keevitamisest vahelduvvooluga. Seejuures alalisvoolukeevitusmasin on umbes kaks ja pool korda kallim keevitustrafost. Metallelektroode on koosseisult mitmesuguseid, olenevalt keevitatavast metallist. Üldiselt jaotatakse elektrodid kahte liiki: kaitsmata ja kaitstud elektrodid. Kaitstud elektrodide tarvituselevõtmine on elektri keevitamisel tähtsaks edusammuks. Teatavasti oksüdeeruvad metallid kõrgetel temperatuuridel kergesti ja tekkinud ühendid põhjustavad halva keevisliite. Selle vältimiseks kaetaksegi elektrod eriliste ainete seguga, mis sulab koos elektroodi metalliga. Kate kaitseb sulametalli ja katab kinni liitekohale pandud metalli, nii et praktiliselt on täiesti välditud oksüüdide ja nitraadide tekkimine. Ka annab kaitsekate vahelduvvoolu puhul rahulikuma kaarleegi, mis soodustab õmbluse ühtlust. Kaitstud elektrodid jagunevad kastetud, kaetud ja mähitud elektrodideks.

Kastetud elektroodil on ainult õhuke kattekiht, mis talle on kantud vastavasse segusse kastmise teel.

Kaetud elektroodil (nimetatakse ka mantelelektroodiks) on ühtlane paksem kattekiht, mis sisaldab mõningaid šlakke tekitavaid aineid, sooli, kemikaale ja ka metallilisi lisandeid, millega mõjutatakse õmblusmetalli soovitavas suunas.

Mähitud elektroodidel on kattekihiks asbestnõör, millesse on pandud oksüdeerumise kaitseabinõuna alumiumtraate.

Kaitsmata ja kastetud elektrodid on kohased sügavate mitmes kihis keevitatavate õmbluste tegemiseks, sest nende tarvitamisel ei ole vajalik õmblust iga kord keevitamise järel rübust puhastada.

Kaarkeevitamisega võib keevitada peaaegu kõiki metalle: kõiki terase- ja malmisorte, pronksi, alumiiniumi, punast vaske, kollast vaske, niklit, tina, hõbedat, kulda ja plaatinat. Keevitada võib esemeid paksusega üle 1 mm.

Elektrodide temperatuur on ca 2500—3000° C, kusjuures alalisvoolu korral on positiivse elektroodi temperatuur kõrgem. Seetõttu ühendatakse sulavate metallide puhul (raud, terasvalu, nikkel), vooluallika positiivne poolus keevitatava esemega, negatiivne poolus aga vastava keevituselektroodiga. Kui keevitav ese on kergesti sulav (malm, punane vask), siis ühendatakse ta negatiivse poolusega. Malmi nn. kuumkeevitamisel, mille puhul keevita-

tav ese kuumutatakse ette, ühendatakse positiivne poolus keevitatava esemega. Raua, terase, terasvalu ja temperalmi keevitamisel alt üles ja küljelt ühendatakse vooluallika positiivne poolus keevituselektroodiga, sest positiivne poolus lükkab paremini raua tilku ja soodustab nende külgekleepumist.

Elektrikaare pinge on vastavalt töödeldavale materjalile 15—65 V ja vool tavaliselt kuni 250 A. Erijuhtumel, näiteks suurte valuterasest konstruktsioonide keevitamisel, esinevad voolud 500—1000 A. Kaarkeevitamisel kasutatakse vooluallikana vastavaid keevitusagregaate ja keevitustrafosid.

Kontaktkeevitusel tekitab elektrivool teatava takistuse ületamisel kohaliku kuumenemise. Selle liigi alla kuuluvad põkk-, punkt- ja joonkeevitus.

Põkk-keevitamine sooritatakse sel teel, et surutakse keevitatavate esemete otsad tugevasti kokku ja lastakse neist läbi elektrivoolu kuni jätkuotste vajaliku kuumenemiseni.

Põkk-keevitamisel on kolm erimenetlust: surve-, löök- ja sulatusmenetlus. Survemenetluse korral surutakse keevitatavad esemed kõigepealt mõõduka survega kokku ja seejärel lülitatakse sisse vool, mis kuumendab ja sulatab keevitatavat kohta — toimub keevitamine. Pärast seda surutakse keevitatavad esemed tugevamini kokku, samal ajal esmalt nõrgendatakse vool lühikeseks ajaks ja siis lülitatakse välja. Viimane toiming soodustab keevitatavate esemete liitumist. See menetlus on vanim ja praegu kasutatav ainult terastraatide, -torude ja värviliste metallide keevitamisel. Kokkukeevitatavad pinnad tuleb eelnevalt tasaseks töödelda.

Löökmenetlusel lülitatakse vool sisse, keevitatavad esemed surutakse nõrgalt kokku ja eemaldatakse jälle. Seda kokkusurumist ja eemaldamist tehakse korduvalt. Seejuures tekib kokkupuutepunktides kõrge temperatuur, mis sulatab eseme ebatasasused ja soojendab keevitatava koha peaaegu sulamistemperatuurini. Siis lülitatakse vool välja ja samal ajal surutakse keevitatavad pooled löögiga kokku. Löökkeevitamisega saadakse kõrgekvaliteedilised keevisliited, millede tugevus tõmbele ja survele võrdub terve materjali omaga. Keevitamist lihtsustab asjaolu, et keevitatavaid pindu pole tarvis eelnevalt töödelda.

Seda menetlust kasutatakse rööbaste, terasraamide ja -torude ühendamisel.

Sulatusmenetluse korral viiakse keevitatavad esemed kokkupuutesse nii, et tekib elektrikaar. Kaare toimel sulanud pinnad surutakse kokku. Seda menetlust kasutatakse väiksema ristlõikega esemete keevitamisel.

Pökk-keevitus toimub vastavatel keevitusmasinatel. Esemed kinnitatakse masina elektroodide vahele, mis on ühtlasi ka kinnitusklotsideks. Keevitatavate esemete erineva materjali või ristlõike korral paigutatakse esemed kinnitusklotside vahele nii, et klotside vahelt väljaulatuvad keevitatavad osad omaksid enam-vähem ühesuguse soojusjuhtivuse ja seega kuumeneksid ühesuguselt.

Keevitatavad esemed surutakse kokku käsitsi, elektriliselt, hüdrauliliselt või pneumaatiliselt. Vajalik rõhk on umbes 200 kg/cm^2 .

Punktkeevitus seisab selles, et kaks metall-lehte surutakse kokku kahe metallelektroodi vahel ja lastakse neist läbi madalapingelist, kuid tugevat elektrivoolu. Lühikese aja järel sulavad metall-lehtede pinnad elektroodide vahel kokku.

Ühtlase asetuse ja mehaanilise tugevusega keevituspunktide saamiseks kasutatakse automaatseadist, mis muudab keevitusprotsessi sõltumatuks masina teenindajast. Punktkeevitusmasinaid ehitatakse võimsusega 5—600 kVA, võimsusteguriga 0,6—0,85; keevitatavate esemete maksimaalne kogupaksus on kuni 25 mm, millele vastavalt elektroodide surve on 20—500 kg, sõltuvalt materjali juhtivusest ja omadustest.

Joonkeevitus kujutab endast keevitamiskiisi, mis puhul keevisõmbluse moodustab rida keevispunkte. Pike-mate keevisõmbluste tegemiseks kasutatakse joonkeevitusmasinat, millega keevitatakse peamiselt rauda, terast, uushõbedat, messingit, niklit ja ka alumiiniumi. Joonkeevitusmasin sarnaneb oma ehituselt ja toimelt punktkeevitusmasinaga ja erineb sellest vaid pöörlevate ketas-elektroodide poolest, mille vahel nende pöörlemisel liiguvad kokkusurutuna keevitatavate plekkide servad.

Elektroodide pöörlemine saavutatakse reguleeritava kiirusega elektrimootori abil. Sobivaim punktidevaheline kaugus on 1—3 mm, tavaliselt on see 1,5—2 mm.

Laitmatu keevisõmbluse saamiseks peavad keevitatavad pinnad olema täiesti puhtad.

Joonkeevitusmasinaid valmistatakse võimsusega 25—100 kVA, vastavalt keevitatava pleki paksusele. Masina võimsustegur on keskmiselt 0,6—0,8.

Nõukogude Liidu keevitustehnika tähtsaks saavutuseks on elektrihaarkeevituse täielik automatiseerimine. On loodud masinad automaatseks kaarkeevitamiseks sulanud räbustaja kihi alla. See meetod võimaldab tõsta elektri-kaare võimsust 40—80 kVA-ni ja sellega tunduvalt suurendada keevitamise tootlikkust.

Tööstuslikud elektriähjud

Elektriähje kasutatakse tööstuses mitmesuguste metallide ja nende sulamite kui ka paljude mittemetalsete ainete (näiteks karbiidid) tootmiseks, terase karastamiseks, lõõmutamiseks, glasuurimiseks ja emailimiseks.

Soojendusviisi järgi liigitatakse elektriähjud elektritakistusähjudeks ja elektrihaarähjudeks.

Elektritakistusähjudest tekitatakse soojus kas ahju täidist läbiva voolu toimel (otsese küttega ahjud), vastavates küttekehades (kaudse küttega ahjud), või elektrienergia kantakse üle vahelduva elektromagnetilise välja vahendusel, kusjuures ahju täidist soojeneb temas tekkivate pöörivoolude või dielektriliste kadude tõttu (induktsioonähjud).

Elektrihaarähjudest muundub elektrienergia soojuseks elektrihaares, kusjuures elektrihaar tekib kas elektrodide ja sulatatava ahjutäidise vahel (otsese küttega elektrihaarähjud) või elektrodide vahel, seejuures mitte puutudes kokku soojendatava ahjutäidisega (kaudse küttega elektrihaarähjud).

Elektritakistusähjud ehitatakse kas ühefaasilistena (kuni ca 100 kVA) või kolmefaasilistena. Viimasel ajal kasutatakse peamiselt kolmefaasilisi elektritakistusähje. Kasutatavate ahjude võimsustegur on üldiselt kõrge — $\cos \varphi = 0,95$.

Takistusähjudest moodustavad tähtsaima liigi lõõmutus-ähjud, mida kasutatakse terase lõõmutamiseks, värviliste metallide ja nende sulamite töötlemiseks, emailimiseks ja glasuurimiseks.

Suuremates ahjudest kasutatakse lamedast traadist küttekehasid, väikestes aga ümartraadist spiraalikujuulisi küttekehasid.

Küttetraadi materjalina kasutatakse peamiselt kroomnikkelsulamit (temperatuuridel kuni umbes 1050°). Kõrgemate temperatuuride puhul kasutatakse kantaali (kuni 1300°) või siis kasutatakse karborundist või keraamilisest aimest pulgakujulisi küttekehi, mille põhiaineks on siliit-siumkarbiid (temperatuuridele kuni 1450°).

Induktsioonahjus tekitatakse soojus kuumutatavas kehas. Tehakse vahet madalsagedus- ja kõrgsagedusahjude vahel. Madalsagedus-induktsioonahi on ehitatud trafona, mille lühistatud sekundaarmähise moodustab ringikujulises rennis asetsev sulatatav metall. Primaarmähisest elektromagnetilise induktsiooni teel sellesse lühiskeerdu ülekantav elektrienergia muundub soojuseks.

Madalsagedus-induktsioonahjudes sulatatakse ja toodetakse vaske, vasesulamaid, tsinki, kergemetalle ja ka eriteraseid.

Kõrgsagedusahjude konstruktsioonid on väga erinevad. Üldiselt koosneb kõrgsagedusahi tulekindlast tiiglist ja seda ümbritsevast poolist, mida läbib kõrgsageduslik vahelduvvool ($500-1\,000\,000$ Hz). Poolis kõrgsagedusvooluga tekitatav magnetivoog indutseerib tiiglis asetsevas täites pöörivoolud ja viimased kuumutavad metalli sulamistemperatuurini.

Vooluallikana kasutatakse mootor-generaatorit või kõrgete sageduste puhul elektronlampgeneraatorit. Sageduste tõustes suurenevad ühtlasi ka pooli induktiivtakistus ja tarbitav reaktiivvõimsus, mis põhjustab seadme võimsusteguri halvenemist. Induktsioonahjude võimsustegur on üldiselt madal (madalsagedusahjudel $\cos \varphi \approx 0,35$, kõrgsagedusahjudel $\cos \varphi \approx 0,1$). Induktsioonahjude madalat võimsustegurit parandatakse tavaliselt kondensaatoritega.

Elektrikaarahjudes kasutatakse elektrikaare temperatuuri abil tekitatavat soojust kas kaudselt (kiirgusahjudes) või otseselt (kaarahjudes). Kiirgusahjus ulatuvad elektrootad läbi ahju seina ning nende vahel tekkiv kaar kuumendab täidist soojuskiirguse toimet. Täidise paremaks segunemiseks liigutatakse sulatamise ajal ahju horisontaaltelje ümber, mistõttu seda ahju nimetatakse ka rull-ehk kiikahjuks.

Kiirgusahjus sulatatakse vanarauda, rauda või värvilisi metalle, kuid peamiselt kasutatakse seda kõrgevärtusliku malmvalu ja mitmesuguste sulamite tootmiseks.

Otsese küttega kaarahjus tekib kaar elektrootide ja sulandi vahel, kusjuures vooluahel sulgub ahju täidise kaudu. Energia saadakse vahelduvvooluvõrgust trafo kaudu, kusjuures pinget reguleeritakse trafo primaarpoolel astmelülitiga. Kolmefaasilise toite korral reguleeritakse pinget primaarmähise lülitamisega tähte või kolmnurka. Tänapäeval kasutatakse nende ahjude toitmiseks peamiselt kolmefaasilist voolu, mispuhul elektrootid asetsevad ringjoonel või sirgel, kuna suland moodustab süsteemi nullpunkti. Väiksema võimsusega kaarahjudel on $\cos \varphi$ 0,85—0,9, suurema võimsusega ahjudel aga 0,8—0,85.

Elektrimootorid

Elektrijaamades muundatakse soojus- või vee-energia elektrienergiaks. Elektrienergia muundamine mehaaniliseks tööks toimub elektrimootorites.

Vastavalt vooluliigile ja mootori põhilisele ehitusviisile jaotuvad mootorid järgmistesse rühmadesse:

a) alalisvoolumootorid: peavoolumootorid, haruvoolumootorid, kompaundmootorid;

b) ühefaasilised vahelduvvoolumootorid: asünkroonmootorid, sünkroonmootorid, kommutaatormootorid (peavoolu-, haruvoolu-, repulsioonmootorid);

c) keerdvoolumootorid: asünkroonmootorid, sünkroonmootorid, kommutaatormootorid;

d) universaalmootorid: väikesed kommutaatormootorid, mis töötavad nii alalis- kui ka vahelduvvooluga.

Vastavalt ehitusviisile on mootorid lahtised, kaitstud ja kinnised.

Lahtised mootorid on kerge konstruktsiooniga, kusjuures väliste võõrkehade sissepääs ja pöörlevatele ning voolujuhtivatele osadele ligipääs praktiliselt ei ole takistatud. Kaitstud ehitusviisiga mootorite puhul on aga suuremate võõrkehade ja veepiiskade tungimine masinasse ning pöörlevate ja voolujuhtivate osade juhuslik puudutamine raskestatud.

Nii lahtised kui ka kaitstud ehitusviisiga mootorid ehitatakse endajahutusega, kusjuures jahutusõhu liikumine tekitatakse masina pöörlevate osade või viimaste külge kinnitatud ventilaatori abil.

Kinnise ehk kapseldatud ehitusviisiga mootorid omavad täiesti kinnise väliskere.

Need masinad jagunevad mitmesse alaliiki, nagu: tolmu-, vee-, gaasi- ja plahvatuskindlad mootorid.

Kinniste mootorite jahutamine toimub kere välispinna juhtivuse abil või temale intensiivse puhumisega. Sääraste masinate kere välispind varustatakse jahutuse intensiivistamiseks ribidega. Kasutatakse ka keskkonnast eraldatud jahutussüsteemi jahutusõhu juurde- ja äravoolutorudega. Kinnistest mootoritest raskema ehitusega on plahvatuskindel mootor, mille kere peab olema eriti tihe ja taluma teatavat sisemist rõhku.

Võlli asendist tingitult jaotatakse mootorid horisontaal- ja vertikaalvõllilisteks. Väiksemad ja keskmise võimsusega mootorid ehitatakse peaaegu eranditult laagrikilpidega, suuremad aga tavaliselt pukklaagritega. Laagritena kasutatakse valdavas enamuses kuul- ja rull-laagreid ning ainult õige suurtes masinates, samuti eritingimuste puhul kasutatakse liugelaagreid.

Alalisvoolumootorid. Ergutusmähise ühendusviisi järgi saame erinevate omadustega mootorid (peavoolu-, haruvoolu-, kompaundmootor).

Peavoolumootori (joon. 14, *a*) ergutusmähis on ühendatud järjestikku ankrumähisega. Selle tagajärjel suureneb koormuse suurenemisel ka magnetivoog, mille tulemusena mootor arendab suurt pöördemomenti. Sõltuvalt koormusest muutub ka mootori pöörlemiskiirus; koormuse suurenemisel pöörlemiskiirus väheneb, koormuse vähenemisel suureneb. Kõveraid, mis iseloomustavad masina põhisuuruste (pöörlemiskiirus, pöördemoment, vool, võimsus jne.) muutumist, nimetatakse masina karakteristikuiks. Peavoolumootori karakteristikud on toodud joonisel 15.

Peavoolumootor on kohane tõstekraanadele, trammi mootorvaguneile jne., kus on nõutav suur algpöördemoment.

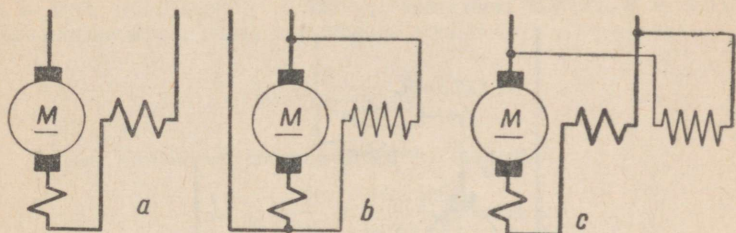
Haruvoolumootori ergutusmähis on ühendatud ankrumähisega rööbiti (joon. 14, *b* ja 16). Ergutusvool konstantsel klemmipingel on praktiliselt muutumatu, mistõttu ka magnetivoog on peaaegu muutumatu.

Mootori pöörlemiskiirus muutub piirkonnas tühi-jooks — täiskoormus vähe (2—10%). Mootor töötab igal koormusel praktiliselt ühesuguse kiirusega.

Haruvoolumootor on kohane pumpadele, tööpinkidele, ventilaatoritele, kompressoritele, põllumajandusmasinatele

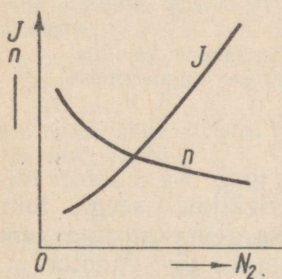
jne. Peamiselt aga seal, kus vajatakse kiiruse reguleerimist.

Kompaundmootori ergutusmähis koosneb kahest osast: üks on ühendatud ankrumähisega järjestikku ja teine rööbiti (joon. 14, c). Vastavalt sellele on ka masina

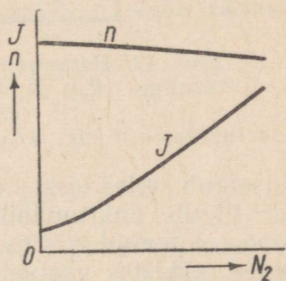


Joon. 14. Alalisvoolumootorite liigid:

a — peavoolu-, b — haruvoolu-, c — kompaundmootor.



Joon. 15. Peavoolumootori karakteristikud.



Joon. 16. Haruvoolumootori karakteristikud.

omadused toodud tüüpide vahepealsed. Pöörlemiskiiruse karakteristik sõltub sellest, milline ergutusmähise osa on ülekaalus ja kas peavooluergutus tugevdab või nõrgendab haruvooluergutust (päri- ja vastukompaundmootorid).

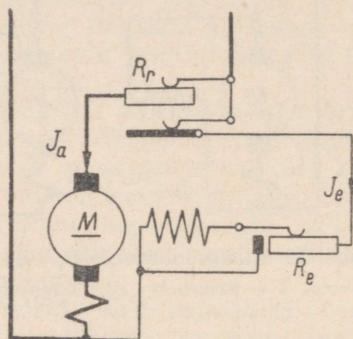
Kompaundmootorit kasutatakse erijuhtudel, kus suure tõmbejõu kõrval on nõutav ka pöörlemiskiiruse ühtlus, näiteks tõstukitel.

Alalisvoolumootori käivitamine otse võrku lülitamise teel on suure voolutõuke tõttu võimalik ainult väikese võimsusega mootorite puhul. Kõik suuremad mootorid omavad vastavaid käivitusreostaate (joon. 17). Käivitusreostaat (R_r) ühendatakse ankrumähise

ahelasse selles käivitamisel esineva suure voolutõuke vähendamiseks. Mootori pöörlemiskiiruse tõustes lülitatakse käivitusreostaadi takistused järk-järgult välja.

Mis toimub mootoris käivitamisel?

Voolu läbilaskmisel magnetiväljas olevast juhtmest hakkab see liikuma; juhtme liikumisel magnetiväljas



Joon. 17. Haruvoolumootori ühendamine käivitus-takistiga (R_r) ja pöörlemiskiiruse reguleerimise takistiga (R_e).

indutseerub selles elektromotoorne jõud. Ka mootori töötamisel liigub ankrumähis magnetiväljas, seega toimib iga mootor teatud mõttes ühtlasi ka generaatorina, indutseerides mähistes vastuelektromotoorse jõu. Mootori normaalsel pöörlemiskiirusel on vastuelektromotoorne jõud peaaegu võrdne võrgupingega (vahe võrdub pingelanguga ankrumähises). Masina koormamisel sõltub ankruvool võrgupinge U ja vastuelektromotoorse jõu E vahest:

$$I_a = \frac{U - E}{R_a}.$$

Käivitamise hetkel on vastuelektromotoorne jõud võrdne nulliga. Seega on käivitusmomendil ankruvool võrdeline võrgupingega:

$$I_a = \frac{U}{R_a},$$

kus R_a on mootori ankruahela takistus (ankrumähis, harjad, pea- ja lisapooluste mähised).

Et võrgupinge U on väga suur, võrreldes ($U-E$)-ga, siis on ka ankruvool I_a mootori käivitamisel väga suur, võrreldes ankruvooluga mootori töötamisel. Käivitusvoolu piiratakse ankrumähise ahelasse lülitatava lisatakistuse — käivitusreostaadi abil.

Näide. Alalisvoolumootori võimsus on $P_2 = 10$ kW, kasutegur $\eta = 0,84$, nimipinge $U = 220$ V; ankruahela takistus $R = 0,3$ Ω . Käivitamise hetkel läbiks ankrumähist vool

$$I_{ak} = \frac{U}{R_a} = \frac{220}{0,3} = 733 \text{ A.}$$

Mootori töötamisel täiskoormusega on ankruvool:

$$I_a = \frac{P_2}{\eta U} = \frac{10 \cdot 1000}{0,84 \cdot 220} = 54 \text{ A.}$$

Suure voolutõuke vältimiseks ühendatakse mootori ankrumähise vooluahelasse käivitusreostaat, mille takistus on määratav järgmiselt.

Ankru nimivool $I_a = 54$ A. Lubades käivitamisel 50% voolu tõusu, võtame arvutuse aluseks 81 amprit. Ankruahela takistus käivitamisel peab olema:

$$R_{ak} = \frac{U}{I_{ak}} = \frac{220}{81} = 2,72 \text{ } \Omega.$$

Et ankrumähise takistus oli ainult 0,3 Ω , siis käivitusreostaadi takistus peab olema

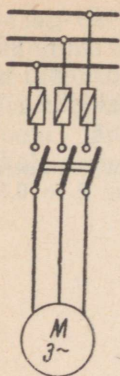
$$R_r = 2,72 - 0,3 = 2,42 \text{ } \Omega.$$

Vahelduv- ja keerdvoolumootorid jagunevad asünkroon-, sünkroon- ja kommutaatormootoriteks. Keerdvoolumootoritest on levinumad asünkroonmootorid. Võrguga on ühenduses ainult staatorimähised; rootorimähised on lühistatud kas otse rootoris (lühis-, pöörivoolu-, kaksikuurderootorid) või vastavate käivitusreostaatide kaudu (kontaktrõngastega rootor ehk faasirootor).

Asünkroonmootori pöörlemiskiirus on keerdvälja pöörlemiskiirusest (sünkroonpöörlemiskiirusest) väiksem libistuse võrra, mis on 3—5% sünkroonpöörlemiskiirusest.

Ühefaasiliste asünkroonmootorite algpöördemoment ja kasutegur on väike, mistõttu nende kasutamine on piiratud (väikesed ventilaatorid, majapidamismootorid jne.).

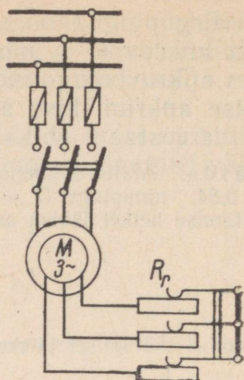
Kolmeefaasilistel asünkroonmootoritel on algpöördemoment suur, mistõttu neid saab käivitada koormuse all. Võimsustegur on väiksem kui 1, kõikudes, olenevalt mootori suurusest ja ehitusest, 0,7 ja 0,9 vahel. Oma lihtsuse



Joon. 18.
Mootori lülitamine võrku lüliti abil.



Joon. 19.
Mootori lülitamine võrku tähtkolmnurkkäiviti abil.



Joon. 20. Kontakt-
rõngastega mootori
ühendamine võrku:
 R_r — käivitamis- ja
pöörlemiskiiruse regu-
leerimise takisti.

ja suure töökindluse tõttu leiab kolmefaasiline asünkroonmootor rohket kasutamist nii tööstuses kui ka põllumajanduses.

Kolmefaasilise asünkroonmootori käivitamisel tekib samuti suur voolutõuge (lühisrootoriga mootoril kuni 7-kordne nimivool). Mootori võrku lülitamise hetkel indutseerib keerdväli suure suhtelise kiiruse tõttu seisva rootori mähistes kõrge pinge ja tekib suur vool. Rootori pöörlema hakates langeb keerdvälja suhteline kiirus rootori mähiste suhtes, mistõttu rootori vool omandab normaalse suuruse. Voolutõugete vähendamiseks võib käivitamist teostada nn. tähtkolmnurklüliti abil (joon. 19). Sel juhul ühendatakse staatorimähised algul tähte, hiljem, normaalse pöörlemiskiiruse saavutamisel, kolmnurka. Voolutõuge on siis 3 korda väiksem kui otsesel sisselülitamisel. Mootori pinge tuleb valida selline, et staator normaalsel töötamisel oleks ühendatud kolmnurka (näiteks 220 V võrgus saab olla mootor kolmnurkühenduses sildiandmetega 220/380 V).

Pöördemoment tähtkolmnurklülitiga käivitamisel on 3 korda väiksem kui otse võrku lülitamisel, mistõttu käivitamisel tuleb mootori koormust vähendada.

Suuremate asünkroonmootorite käivitamisel suurte voo-

lutõugete ärahoidmiseks kasutatakse takistuste lülitamist rootori vooluahelasse. Sel juhul peavad rootorimähise otsad olema välja toodud kontaktrõngastele. Kontaktrõngastega mootori käivitamisel juhitakse vool kontaktrõngaste ja harjade kaudu käivitisse (joon. 20).

Käivitamise käik:

- 1) ühendada mootor lüliti abil võrguga;
- 2) keerata käiviti käepidet pikkamööda 0-seisust lõpuni;
- 3) tõsta harjad üles (suuremail mootoreil), lühistades kontaktrõngad samal ajal automaatseadise abil.

Mootori seismajätmisel katkestatakse vooluahel lüliti abil ja harjad ning käiviti viiakse algseisu.

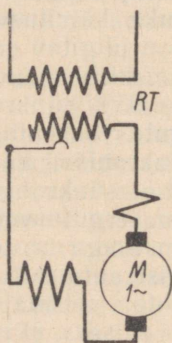
Tänapäeval kasutatavad sünkroonmootorid on peaaegu eranditult varustatud vastava käivitusmähisega, mis asetseb rootori poolusekingades ja sarnaneb põhiliselt asünkroonmootori rootori lühismähisega. Käivitusmähise abil saavutatakse sünkroonmootori asünkroonne käivitamine. Mootori käivitamisel lülitatakse tema staatorimähise otse võrku (rootori ergutusmähis on sel hetkel lühises). Rotori lühismähise toimel käivitub sünkroonmootor asünkroonselt ja arendab lühismähise sobiva takistuse puhul küllaldase käivitusmomendi mõõduka käivitusvoolu juures. Pöörlemiskiiruse suurenemine on jälgitav ergutusahelas oleva ampermeetri abil. Pöörlemiskiiruse suurenemisel suurima võimaliku määrani (umbes 95% sünkroonpöörlemiskiirusest) lülitatakse sisse ergutusvool ning seejärel rootor tõmbub ise sünkronismi. Sünkronismi saavutamine on jälgitav ergutusampermeetri abil — sünkronismi saabumisel ampermeetri osuti jääb seisma ergutusvoolu suurusele vastavas asendis. Suurema võimsusega mootorite puhul kasutatakse asünkroonset käivitamist autotrafo abil alandatud võrgupingega. Sünkroonmootori seismajätmisel on soovitatav reguleerida ergutusvool selliseks, et mootor töotaks võimsusteguriga $\cos \varphi = 1$, s. o. minimaalse ankruvooluga. Seejärel lahutatakse mootor võrgust ning lõpuks lülitatakse ergutusvool välja, lühistades samaaegselt ergutusmähise, et vältida kontaktide põlemist.

Sõltuvalt ergutusvoolu suurusest võib sünkroonmootor töötada igasugusel aktiivkoormusel pinge suhtes mahajääva või ettetõttava vooluga, s. o. ta võib olla kas reaktiivvõimsuse tarbija või tootja.

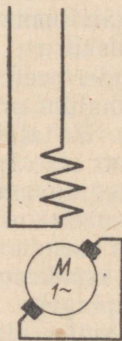
Sünkroonmootori enda seisukohast on kasulik töötada ergutusvooluga, mille juures võimsustegur $\cos \varphi = 1$, sest

siis on üldine kaovõimsus minimaalne ja mootori kasutegur maksimaalne. Enamasti osutub aga otstarbekaks lasta sünkroonmootorit töötada üleergutatud olukorras, mispuhul mootor üheaegselt aktiivvõimsuse tarbimisega toodab ka reaktiivvõimsust. Sünkroonmootori paremus seisabki peamiselt selles, et ta võimaldab genereerida reaktiivenergiat, millega parandatakse seadme üldist võimsustegurit. Ka on sünkroonmootori kasutegur suurem niisama suure asünkroonmootori omast. Kasutades ergutuse forsseerimist võib tunduvalt tõsta mootori poolt antavat reaktiivvõimsust ja seega parandada pingerežiimi süsteemi kriitilistel momentidel.

Ühe- ja kolmefaasilised kommutaatormootorid omavad alalisvoolumasinatega sarnaseid kommutaatoreid, mis võimaldavad sujuvalt reguleerida mootori pöörlemiskiirust. Mootoreid on võimalik käivitada koormuse all. Ka on nende võimsustegur kõrge. Kuid et nad on palju kallimad ja raskemad kui asünkroonmootorid, kasutatakse neid vähe. Ühefaasilistest kommutaatormootoritest leiab kasutamist kaks tüüpi.



Joon. 21. Peavoolu-kommutaatormootor.



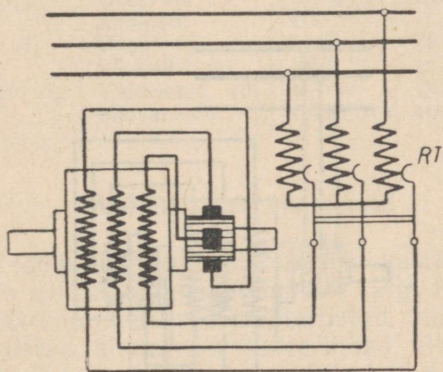
Joon. 22. Repulsioonmootor.

1. Võrguga on ühendatud nii staatori- kui ka rootori-mähis, kusjuures mõlemad on ühendatud järjestikku. Selliseid mootoreid nimetatakse ühefaasilisteks peavoolu-kommutaatormootoreiks (joon. 21). Käivitamine ja pöörlemiskiiruse reguleerimine toimuvad pinge muutmisega reguleerimistrafo (RT) abil.

2. Võrguga on ühendatud ainult staatorimähis, kuna rootorimähis on lühistatud harjade kaudu. Selliseid mootoreid nimetatakse repulsioonmootoreiks (joon. 22). Mootorite käivitamine toimub harjade nihutamisega. Pöörlemiskiirust võib reguleerida sujuvalt suurtes piirides (kuni 1:20).

Kolmefaasilise kommutaatormootori staator sarnaneb ehituselt asünkroonmootori omaga, rootor aga alalisvoolumasina ankruga, mille kommutaatoril on kolm harjade komplekti. Ka siin esineb kaks tüüpi.

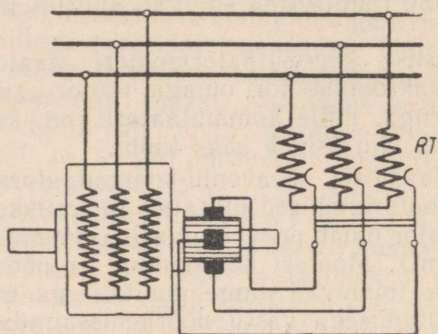
1. Kolmefaasilisel peavoolu-kommutaatormootoril on staatori ja rootorimähised lülitatud järjestikku (joon. 23), mistõttu mootor omab peavoolumasina omadusi (suur algpöördemoment). Mootori käivitamine ja pöörlemiskiiruse reguleerimine toimuvad pinge muutmisega trafo abil või harjade nihutamisega vastu pöörlemissuunda. Võimsustegur võrdub 1-ga. Kasutegur on veidi väiksem kui asünkroonmootoreil. See mootor on kasutusel tõstekraanadel, paberi-, trüki-, tekstiil-, valts- jne. masinail.



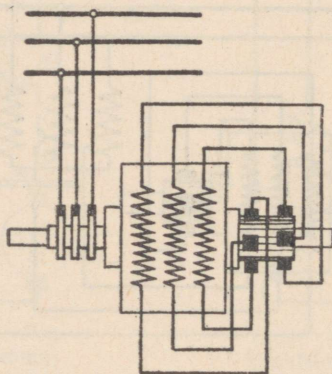
Joon. 23. Kolmefaasiline peavoolu-kommutaatormootor.

2. Kolmefaasilisel haruvoolumootoril on staatori- ja rootorimähised ühendatud rööbiti (joon. 24). Levinum tüüp on rootoritoitega haruvoolu-kommutaatormootor. Siin on võrguga kontaktrõngaste abil ühenduses rootor. Staatorimähised saavad voolu rootori kommutaatorilt. Kolm harja on kommutaatoril kohtkindlad, kolm aga on liikuvad.

Algasendiks on harjade kohastikune asetus. Harjade algasendist nihutamiseks antakse staatorimähistele pinge, mille suurus sõltub harjade nihutamise suurusest. Vasta-



Joon. 24. Kolmefaasiline haruvoolu-kommutaatormootor.



Joon. 25. Kolmefaasiline haruvoolu-kommutaatormootor rootoritoitega.

valt saadud pingele muutub ka rootori pöörlemiskiirus. See mootor on kasutusel peamiselt mitmesugustel tööpinkidel. Rooritoitega haruvoolu-kommutaatormootori skeem on kujutatud joonisel 25.

3. ELEKTRILISTE SUURUSTE MÕOTMINE

Elektrilised suurused, mida kõige sagedamini tuleb mõõta, on toodud alljärgnevas tabelis 4.

Tabel 4

Elektrilisi suurusi

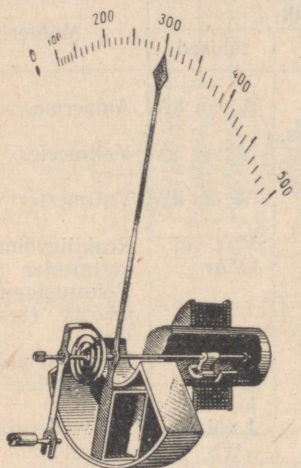
Suurus	Ühik		Mõõteriist
	nimetus	tähised	
Vool I	Amper või kiloamper	A või kA	Ampermeeter
Pinge U	Volt või kilovolt	V või kV	Voltmeeter
Aktiivvõimsus P	Vatt või kilovatt	W või kW	Vattmeeter
Reaktiivvõimsus Q	Var või kilovar	VAr või kVAr	Reaktiivvõimsuse vattmeeter
Võimsustegur $\cos \varphi$			Võimsusteguri mõõtja (fasomeeter)
Sagedus f	Herts	Hz	Sagedusemõõtja
Takistus R	Oom või kilo-oom	Ω või k Ω	Oommeeter
Aktiivenergia A_a	Džaul või kilovatt-tund	J või kWh	Aktiivenergia-arvesti
Reaktiivenergia A_r	Varsekund või kilovartund	VArsec või kVArh	Reaktiivenergia-arvesti

Mõõteriistade süsteemid

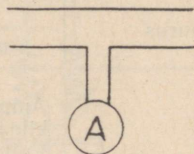
Tabelis 4 toodud suuruste mõõtmiseks kasutatavaid mõõteriistu võib nende töötamis põhimõtte järgi liigitada järgmiselt: elektromagnetilised mõõteriistad, magnelelektrilised mõõteriistad, kuumtraat-mõõteriistad, elektrodünaamilised mõõteriistad, induksioonmõõteriistad, vibratsioonmõõteriistad, elektrostaatilised mõõteriistad ja termoelektrilised mõõteriistad.

Elektromagnetilised mõõteriistad. Nende ehitus on järgmine (joon. 26). Pooli keskele on paigutatud kaks raudpladikest, millest üks on kohtkindel, teine aga võib pöörduda koos teljega, mille küljes on ka osuti. Mähisest voolu läbilaskmisel magneetuvad raudpladikesed samanimeliselt ning tõukuvad teineteisest eemale seda enam, mida suurem vool läbib mähist.

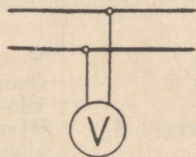
Elektromagnetilisi mõõteriistu ehitatakse ampermeetritena ja voltmeetritena. Kasutatakse nii alalis- kui ka vahelduvvoolu ahelais. Ehituselt on mõõteriist tugev, lihtne, ülekoormatav ja ühtlasi ka odav. Kasutamisel on ta peamiselt talitlusriistana elektrijaamades, alajaamades, töökodades ja mootorite juures.



Joon. 26. Elektromagnetiline mõõteriist.



Joon. 27. Ampermeetri ühendamine võrku.



Joon. 28. Voltmeetri ühendamine võrku.

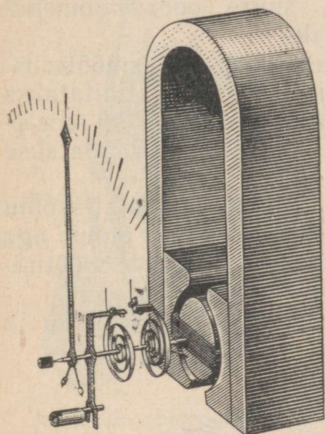
Ampermeeter mõõdab voolutarbija voolu ja ta on ühendatud tarbijaga järjestikku (joon. 27). Ampermeetri mähis omab väikese keerdude arvu ja on jämedast traadist.

Voltmeetri abil mõõdetakse pinget nii voolutarbija kui ka vooluallika klemmidel. Voltmeeter tuleb ühendada voolutarbijatega rööbiti (joon. 28). Voltmeetri mähis on valmistatud peenest traadist ja omab suure keerdude arvu. Üldiselt on voltmeetrid ja ampermeetrid ehituselt väga sarnased. Erinevus on ainult mähise keerdude arvus ja traadi jämeduses.

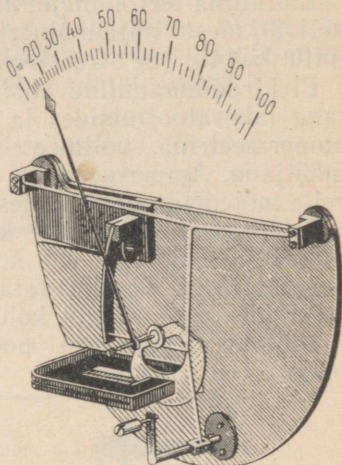
Magnetelektrilised mõõteriistad (joon. 29). Mõõteriista magnetpooluste vahele on liikuvalt paigutatud alumiiniumraam, millel on peenest traadist mähis. Homogeense magnetivälja saavutamiseks on mähise keskele kohtkindlalt asetatud terassilinder. Vool pääseb mähi-

sesse kahe vedru kaudu, mis hoiavad ühtlasi osutit nullasendis. Magnetvälja mõjul pöörduv pool seda enam, mida suurem on vool. Et osuti hälbe suund oleneb voolu suunast, siis on mõõteriist kõlblik ainult alalisvoolule.

Magnetelektriline mõõteriist on väga täpne ja tundlik, seda kasutatakse peamiselt täppismõõteriistana laboratooriumides alalispinge ja alalisvoolu mõõtmiseks. Amper-



Joon. 29. Magnetelektriline mõõteriist.



Joon. 30. Kuumtraat-mõõteriist.

meetrina ta on alati kasutamisel koos šundiga, sest peen mähisetraat ei võimalda tavaliselt mõõta voolu üle 10 mA.

Magnetelektrilise mõõteriistu ehitatakse ampermeetrina ja voltmeetrina. Ühenduses vaskoksüüdalaldajaga kasutatakse neid universaalriistadena voolu ja pinge mõõtmiseks ka vahelduvvooluvõrkudes.

Kuumtraat-mõõteriistad (joon. 30). Neis läbib vool plaatina ja iriidiumi sulamist peene traadi, mis on pingutatud kahe klemmi vahele. Voolu mõjul traat soojeneb ja venib ning sellest tingitud suurenev lõdve kantakse üle osutile. Mõõteriist on kõlblik nii alalis- kui ka vahelduvvoolule, olles sõltumatu sagedusest. Ta on tundlik, kuid keskpärase täpsusega. Käesoleval ajal kasutatakse väga harva. Ta on välja tõrjutud termoelektriliste mõõteriistade poolt.

Elektrodünaamilised mõõteriistad. Mõõ-

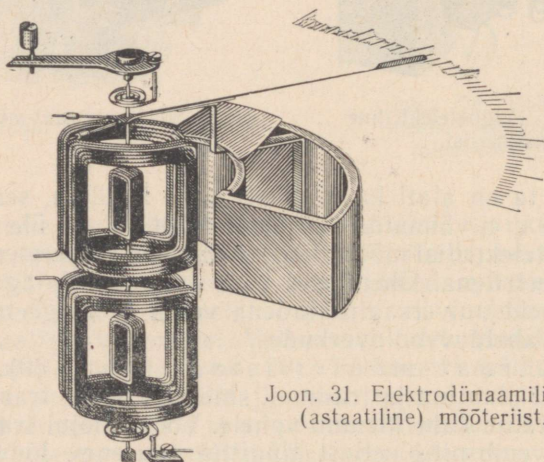
teriist koosneb kahest poolist, millest üks on asetatud kohtkindlalt, teine aga on liikuv. Voolu läbimisel tekib pöördemoment. Liikuvalt asetatud pool pöörduv koos osutiga. Pöörde suurus sõltub läbiva voolu tugevusest. Mõõteriist on kõlblik sama skaalaga nii alalis- kui ka madal-sageduslikule vahelduvvoolule. Mõõteriista täpsust võivad mõjutada välismagnetiväljad.

Ehitatuna ferrodünaamilise riistana on ta välistest magnetiväljadest mittemõjutatav ja suure pöördemomendi tõttu kõlblik registreerivaks riistaks.

Elektrodünaamiline riist on kasutusel täppismõõteriistana laboratooriumides ja ka talitusriistana. Ehitatakse ampermeetrina, voltmeetrina, vattmeetrina ja ka $\cos \varphi$ mõõtjana. Ampermeetrina vooludel kuni 5 A ühendatakse selle mõlemad poolid järjestikku.

Tugevamate voolude korral kasutatakse alalisvoolu puhul harutakistusi ehk šunte, vahelduvvoolu puhul aga voolutrafosid. Ka ühendatakse suuremate voolude mõõtmisel liikuv pool rööbiti kohtkindla pooliga.

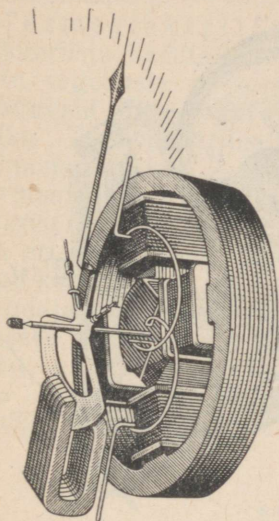
Voltmeetri puhul on poolid ühendatud järjestikku ja omavad eeltakistust.



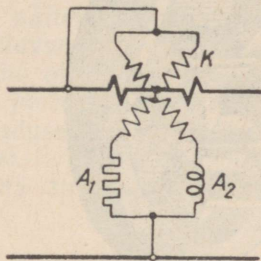
Joon. 31. Elektrodünaamiline (astatiline) mõõteriist.

Elektrodünaamiline mõõteriist on eriti kohane võimsuse mõõtmiseks vattmeetrina. Vattmeetri kohtkindel pool on voolupooliks ja on ühendatud tarbijaga järjestikku. Liikuv pool on aga pingepoolina ühendatud tarbijaga rööbiti. Joonisel 31 on näidatud kahesüsteemiline (astatiline) mõõteriist.

Ferrodünaamilise mõõteriistana on ehitatud ka $\cos \varphi$ -mõõtja. Mõõtja koosneb terassüdamikust (kokku laetud üksikutest lehtedest), millel on liikumatud mähised ja millesse on liikuvana asetatud pool, mille teljele on kinnitatud ka osuti (joon. 32). Liikumatud mähised on asetatud südamikule neljale poolusele. Mähised on kahekaupa ühendatud järjestikku. Mõõteriista sisemist ühendust näitab joonis 33.



Joon. 32. Ferrodünaamiline mõõteriist.

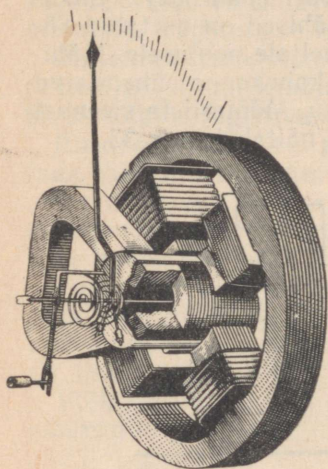


Joon. 33. $\cos \varphi$ -mõõtja.

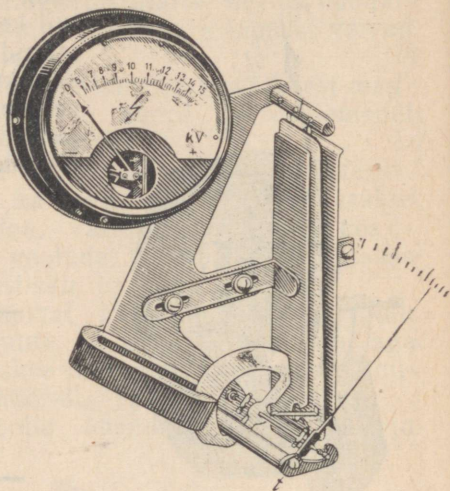
Vool harus A_1 on voolust harus A_2 nihutatud praktiliselt 90° võrra. See nihe saavutatakse paispooli ja aktiivtakistuse abil. Poolid seavad end voolu läbimisel asendisse, mis sõltub ainult voolu ja pinge vahelisest nihkenurgast. Mõõteriista skaala ei ole lineaarne. Et puudub tagasiviiv jõud, siis ei asu osuti pingeta olekus nullpunktis.

Induktsioonmõõteriistad. Induktsioonmõõteriist (joon. 34) koosneb nelja poolusega südamikust, mis on koostatud üksikutest terasplekkidest (pöörivoolukao vähendamiseks). Rootori sees olev terassilinder (samuti üksikutest plekkidest) on kinnitatud kohtkindlalt. Ohupilusse, pooluste ja liikumatu silindri vahele on liikuvalt asetatud alumiiniumist silinder — rootor, mille telje külge on kinnitatud ka osuti. Igal poolusel on mähis. Mähised on ühendatud kahekaupa järjestikku, mis annab kaks eraldi mähiste rühma. Et voolud mõlemas mähiste rühmas on üksteise suhtes ajaliselt nihutatud, siis tekib keerdväli,

mis indutseerib alumiiniumsilindris pöörisvoolu. Keerdvälja ja pöörisvoolu mõjul püüab alumiiniumsilinder, analoogiliselt lühisrootoriga asünkroonmootoris, pöörduda keerdvälja suunas.



Joon. 34. Induktsioonmõõteriist.



Joon. 35. Elektrostaatiline voltmeeter.

Induktsioonmõõteriistad on kasutatavad ainult vahelduvvoolu puhul. Nad ehitatakse registreerivate lülituskilbi mõõteriistadena.

Vibratsioonmõõteriistad. See mõõteriist on kasutusel elektrivoolu sageduse mõõtjana. Ta koosneb reast mitmesuguse pikkusega teraskeeltest, mis on seatud elektromagneti ette. Vahelduvvoolu läbimisel tekkinud magnetivälja pulseerib vahelduvvoolu sagedusega. Magnetivälja pulseerimine kandub ka teraskeelte reale, milles resonantsi tõttu hakkab võnkuma see keel, mille oma sagedus võrdub elektrivoolu sagedusega.

Elektrostaatiliselt mõõteriistad. Seda mõõteriista kasutatakse voltmeetrina pinge mõõtmiseks (tavaliselt pingetel üle 1000 V). On olemas mitu erinevat konstruktsiooni. Joonisel 35 toodud konstruktsiooniga mõõteriist koosneb mitmest metallplaadist, millest osa on kohtkindlad, vahepealsed aga on asetatud liikuvalt. Elektrivälja mõjul liiguvad viimased elektrivälja tõmbe- või

tõukejõu mõjul kohtkindlate plaatide suhtes. Plaatide liikumine kandub üle ka osutile.

Mõõteriist on kasutatav nii alalis- kui ka vahelduvvooluahelais.

Termoelektrilised mõõteriistad. Neid mõõteriistu kasutatakse kõrgsagedusvoolu mõõtmisel selliste sageduste piirkonnas (0,3—75 MHz), kus voolust läbitavaid poole omavad mõõteriistad osutuvad kõlbmatuiks. Termoelektrilist süsteemi ampermeeter koosneb termomuundajast ja magnetelektrilisest millivoltmeetrist. Termomuundaja koostatakse ühest või mitmest termopaarist (ühest otsast kokkukeevitatud või kokkujootatud eri metallidest traadipaar, näiteks kromeel-alumeel, raud-konstantaan jne.) ja vahelduvvoolust läbitavast kuumendajast. Kuumendav traat võib olla või ka mitte olla otseses kokkupuutes termopaari jootekohaga. Termoelektrilist süsteemi mõõteriistade puuduseks on näitade sõltuvus keskkonna temperatuurist, mitteülekoormatavus, lühike iga ja vajadus kasutada tundlikke mõõteriistu.

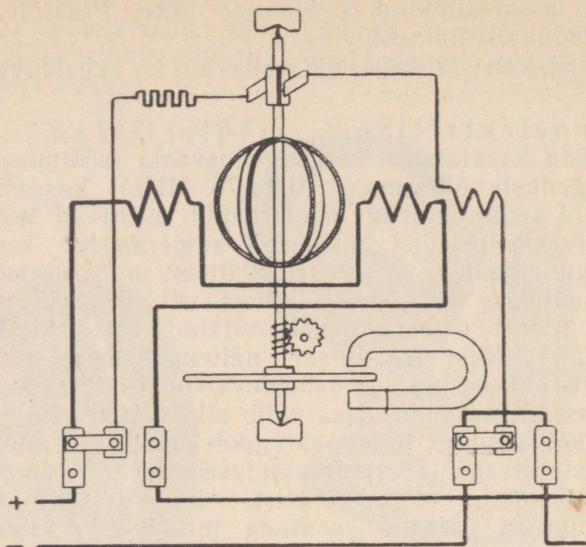
Elektriarvesti

Elektriline töö on võimsuse korrutis ajaga. Tarbitud elektrienergia on identne tehtud tööga. Oleks elektriline võimsus igal hetkel sama, siis võiks töö määramisel piirduda ainult aja kindlaksmääramisega, mille vältel antud võimsust kasutati. Elektriline võimsus aga ei ole igal hetkel ühesuurune. Niisiis tuleb elektrilise töö määramiseks liita võimsuse hetkväärtuse ja aja korrutised, seega arvesse võttes nii aega kui ka võimsuse ajalist muutumist. Selle tegevuse järgi nimetataksegi vastavat mõõteriista elektriarvestiks (vanemad nimetused: voolulugeja, voolumõõtja).

Ehitusviisi järgi jagunevad arvestid järgmiselt: mootorarvestid alalis-, vahelduv- ja keerdvoolule, pendelarvestid alalis-, vahelduv- ja keerdvoolule, elektrokeemilised arvestid alalisvoolule.

Mootorarvestid. Tänapäeval kasutatakse peamiselt mootorarvesteid. Mootorarvestid jagunevad järgmiselt: magnetomotoorsed arvestid, elektrodünaamilised arvestid, induktsioonarvestid.

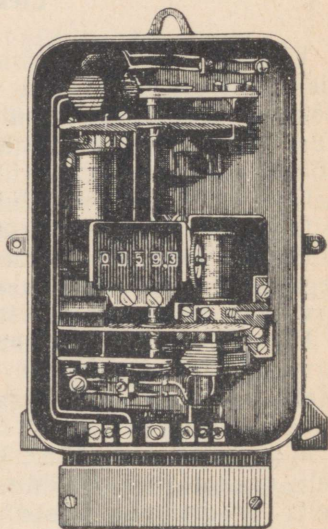
Magnetomotoorsed arvestid ehitatakse alalisvoolu ampertund-arvestitena. Tööviis on sarnane alalisvoolu-



Joon. 36. Elektrodünaamiline alalisvooluarvesti.



Joon. 37. Arvesti.



Joon. 38. Kahesüsteemiline arvesti energia mõõtmiseks kolmefaasilises nulljuhtmeta süsteemis.

mootori omaga, kusjuures magnetivälja tekitamiseks kasutatakse permanent- ehk püsivmagneteid. Arvesti ankrut läbib harilikult ainult väike osa voolust, sest ankur on ühendatud paralleelselt reguleeritava šundiga. Kahe püsivmagneti vahel asetseb püstteljel pöörlev kettakujuline, mõnikord ka trumlikujuline alumiiniumist ankur, millele on paigutatud kolm mähiseseksiooni. Neist lastakse läbi osa mõõdetavast voolust teljel oleva kolme lamelliga kommutaatori kaudu. Terasmagnetite välja ja mähiste voolu poolt tekitatud magnetivälja vastastikusel mõjutusel hakkab ankur pöörlema, kusjuures ankrupöörlemiskiirus on võrdeline vooluga. Pöörlemine kantakse tiguratta abil üle numeraatorile.

Püsivmagnetite tõttu on magnetivälja püsiva suunaga, mistõttu ankrupöörlemissuund sõltub ainult ankruvoolu suunast. Seega on magnetomotoorsed arvestid kohased ainult alalisvoolule.

Elektrodünaamilised arvestid ehitatakse ainult kilovatt-tund-arvestitena (joon. 36). Tööviisilt on nad analoogilised elektromotoorsete arvestitega, ainult et püsivmagnetite asemel on kaks pooli.

Elektrodünaamiline arvesti on kasutusel ainult alalisvoolu puhul.

Induktsioonarvestid sarnanevad tööviisilt induktsioonmootoriga. Kasutusel on nad ainult vahelduv- ja keerdvoolu ahelais (joon. 37 ja 38).

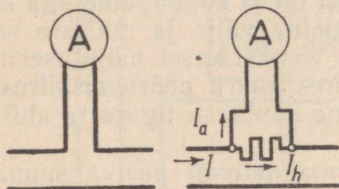
Nende tööviis on järgmine: alumiiniumkettale mõjuvad voolumähisega (2—20 keerdu) elektromagnet ja pingemähisega (5000—10000 keerdu) elektromagnet. Pingemähise poolt tekitatav vahelduv magnetivälja omab ajalast nihkenurka voolumähise poolt tekitatava vahelduva magnetivälja suhtes, nimelt pingemähise suure endainduktsiooni tõttu. Seega saame pöörleva magnetivälja, mis veab ketast kaasa. Ketta pöörlemiskiirus on võrdeline võimsusega $\sqrt{3} UI \cos \varphi$. Ketta pöörlemine kantakse üle numeraatorile. Ketta pöörlemiskiirus on võrdeline arvestit läbinud energiaga.

Elektriliste suuruste mõõtmine

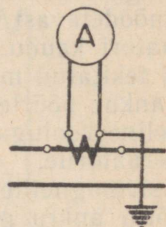
Voolu mõõtmine. Vastavaks mõõteriistaks on ampermeeter, mis lülitatakse vooluahelasse järjestikku voolutarbijaga.

Suurte voolude mõõtmisel kasutatakse alalisvoolu puhul harutakistit — nn. šunti (joon. 39) — ja vahelduvvoolu puhul voolutrafo (joon. 40).

Šunt ühendatakse ampermeetriga rööbiti. Sellest tingituna hargneb mõõdetav vool I kaheks: ampermeetri vooluks I_A ja haruvooluks I_h .



Joon. 39. Ampermeetri ühendamine võrku otseselt ja šundi abil.



Joon. 40. Ampermeetri ühendamine võrku voolutrafo kaudu.

Šunti on võimalik valida nii, et mõõteriista läbiv vool moodustaks teatava täpse osa mõõdetavast voolust, näiteks 0,1; 0,01; 0,001 jne., mille järgi saab hinnata mõõdetavat voolu.

Šundi suurust on võimalik arvutada valemiga:

$$R_h = \frac{I_A}{I_h} \cdot R_A \Omega.$$

Näide. Magnetelektrilise mõõteriista pooli takistus $R_A = 5 \Omega$. Mõõteriista mõõtepiirkond on 15 mA.

Kui suur peab olema selle mõõteriista šunt, et oleks võimalik mõõta voolusid kuni 1,5 A?

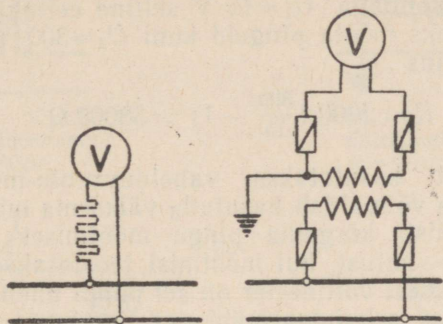
Arvutus:

$$R_h = \frac{I_A}{I_h} R_A = \frac{I_A}{I - I_A} R_A = \frac{0,015}{1,5 - 0,015} \cdot 5 = 0,0505 \Omega.$$

Vahelduvvoolu-ampermeetri mõõtepiirkonna laiendamiseks voolutrafo abil ühendatakse ampermeeter voolutrafo sekundaarmähisega, kuna primaarmähis ühendatakse vooluahelasse järjestikku (joon. 40).

Trafo kere ja sekundaarmähis maandatakse. Voolude suhe trafos on pöördvõrdeline keerdude suhtega.

Kõik volutrafod ehitatakse normaalselt sekundaarvoolule kuni 5 A, primaarvool võib ulatuda tuhandetesse ampritesse. Seetõttu on sekundaarmähise keerdude arv tavaliselt palju suurem primaarmähise keerdude arvust, mis mõnikord väheneb üheainsa keeruni.



Joon. 41. Voltmeetri ühendamise võrku otseselt (punktiiriga on näidatud piirkonna laiendamise eeltakisti) ja pingetrafo kaudu.

Voolu läbimisel primaarmähisest peab sekundaarmähis olema ühendatud vastava mõõteriistaga või lühistatud. Vastasel korral võib sekundaarmähise klemmidel esineda mähiste isolatsioonile ja teenindavale personalile ohtlik pinge.

Pinge mõõtmine. Mõõteriistaks on voltmeeter, mis ühendatakse vooluahelasse rööbiti tarbijaga. Mõõtepiirkonna laiendamiseks (kõrgema pinge mõõtmiseks) alalisvoolu puhul kasutatakse eeltakistit, vahelduvvoolu puhul aga eeltakistit või pingetrafort (joon. 41).

Eeltakisteid kasutatakse tavaliselt voltmeetrite mõõtepiirkonna laiendamiseks kuni 750 V. Neid valmistatakse suure eritakistusega ja väikese temperatuuriteguriga materjalidest (manganiin, konstantaan jne.), tavaliselt peenest isoleeritud traadist või lindist, mähituna isoleerainest alusele. Nende takistus ulatub sadadesse tuhandetesse oomidesse.

Voltmeetri eeltakisti arvutatakse järgmiselt. Olgu voltmeeter määratud pingele U_1 . Voltmeetri sisetakistus olgu R_V , vool — I_V . Et voltmeetriga saaks mõõta pinget U_2 , mis

on kõrgem kui U_1 , tuleb ühendada järjestikku voltmeetriga eeltakisti, mille takistus

$$R = R_v \left(\frac{U_2}{U_1} - 1 \right) \Omega.$$

N ä i d e. Leida voltmeetri sisetakistusega $R_v = 2000 \Omega$ ja mõõtepiirkonnaga $U_1 = 15 \text{ V}$ selline eeltakisti, et voltmeetriga saaks mõõta pingeid kuni $U_2 = 300 \text{ V}$. Eeltakisti vajalik takistus

$$R = 2000 \left(\frac{300}{15} - 1 \right) = 38000 \Omega.$$

Pingetrafo kasutatakse vahelduvvoolu-mõõteriistade juures, kus ta võimaldab kasutada väiksema mõõtepiirkonnaga mõõteriista kõrgema pinge mõõtmiseks ja tõstab teenindamise ohutust, kui mõõtmisi teostatakse kõrgepingeseadmetes, sest voltmeeter on sel puhul ühendatud trafo madalpingelise sekundaarmähisega, kusjuures voltmeetri ja trafo kered on maandatud. Tavaliselt on pingetrafo sekundaarpingeks 100 V , erijuhtudel $\frac{100}{\sqrt{3}}$ ja $\frac{100}{3} \text{ V}$.

V õ i m s u s e m õ õ t m i n e. Mõõteriistaks on vattmeeter. Vattmeetri voolupool on ühendatud tarbijaga järjestikku, pingepool aga rööbiti. Joonisel 42 on näidatud alalisvoolu ja ühefaasilise vahelduvvoolu võimsuse mõõtmine, joonisel 43 — ühefaasilise vahelduvvoolu võimsuse mõõtmine voolutrafo kasutamisel, joonisel 44 — keerdvoolu aktiivvõimsuse ja joonisel 45 — reaktiivvõimsuse mõõtmine ühtlaselt koormatud faaside korral.

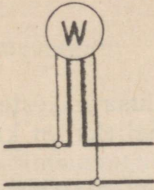
Aktiivvõimsuse mõõtmiseks on loodud kunstlik nullpunkt; kui vattmeetri näit on P_1 , siis tegelik üldvõimsus

$$P = 3P_1.$$

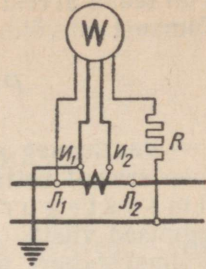
Joonisel 46 on näidatud keerdvoolu võimsuse mõõtmine kahe vattmeetri abil ebaühtlaselt koormatud faaside korral. Tegelik üldvõimsus

$$P = P_1 + P_2.$$

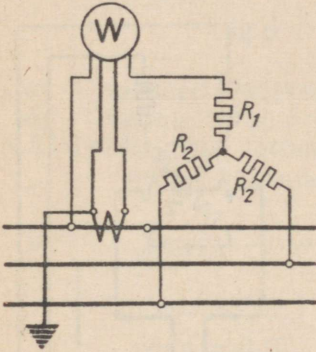
On $\cos \varphi$ väiksem kui $0,5$, siis annab üks vattmeetrist negatiivse hälbe. Niisugusel juhul tuleb pinge- või voolumähise otsad ümber vahetada ning selle vattmeetri näidud lahutada teise omadest.



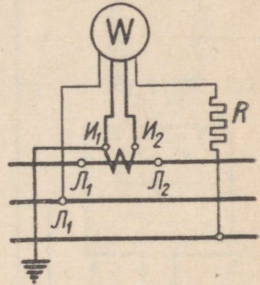
Joon. 42. Vattmeetri otsene ühendamine võrku.



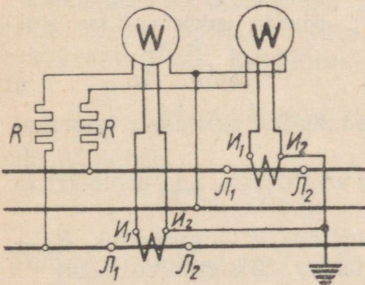
Joon. 43. Vattmeetri ühendamine võrku voolutrafo kaudu.



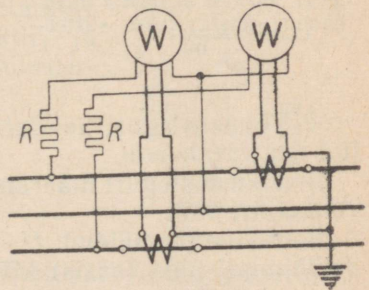
Joon. 44. Aktiivvõimsuse mõõtmine ühtlaselt koormatud faaside puhul. Vattmeetri pingepool on ühendatud kunstliku nullpunktiga.



Joon. 45. Reaktiivvõimsuse mõõtmine ühe vattmeetri abil sümmeetriliselt koormatud faaside puhul.



Joon. 46. Võimsuse mõõtmine kahe vattmeetri abil kolmefaasilises nulljuhtmata süsteemis.



Joon. 47. Reaktiivvõimsuse mõõtmine kahe vattmeetri abil.

Kui on teada arvestite konstandid ja ketta pöörete arvud, siis võimsust on võimalik määrata valemi abil:

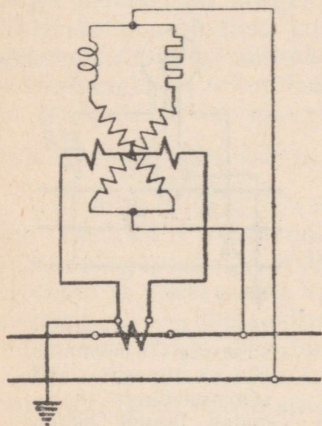
$$P = \frac{n \cdot 3600 \cdot 1000}{c \cdot t} \text{ W,}$$

kus t — vaatlusaeg sekundites;

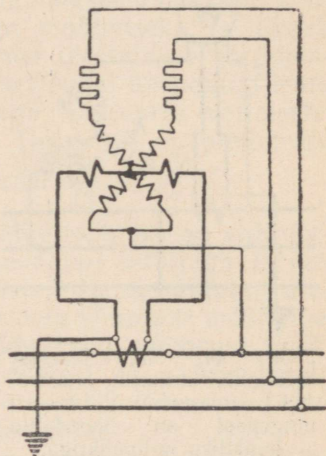
n — arvesti ketta pöörete arv vaatlusaja kestel.

Võimsusteguri mõõtmine. Selleks on kasutusel järgmised viisid.

1. Võimsusteguri mõõtmine võimsusteguri-mõõtja abil ühefaasilise vahelduvvoolu korral (joon. 48) ja keerdvoolu korral (joon. 49).



Joon. 48. $\cos \varphi$ -mõõtja ühendamine ühefaasilisse süsteemi.



Joon. 49. $\cos \varphi$ -mõõtja ühendamine kolmefaasilisse süsteemi.

2. Võimsusteguri kaudne määramine ühtlaselt koormatud faaside korral.

a) Võimsusteguri määramine voltmeetri, ampermeetri ja vattmeetri abil.

Mõõteriistade näidud: U — voltides, I — amprites, P_1 — (mõõtmisel ühes faasis) kilovattides. Siis näivvõimsus

$$S = \frac{\sqrt{3} UI}{1000} \text{ kVA,}$$

aktiivvõimsus

$$P = 3P_1,$$

ja võimsustegur

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{3P_1 1000}{\sqrt{3} UI}.$$

b) Võimsusteguri määramine kahe wattmeetri (või ühe ümberlülitatava wattmeetri) abil.

Sümmeetrilisel koormusel vastab igale võimsusteguri väärtusele kindel wattmeetrite näitude vahekord.

$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{3} \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2},$$

kus α_1 — wattmeetri väiksem hälve;

α_2 — wattmeetri suurem hälve.

N ä i d e. Esimese wattmeetri hälve $\alpha_1 = +25$, teise wattmeetri hälve $\alpha_2 = +96$.

$$\operatorname{tg} \varphi = \sqrt{3} \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\alpha_1 + \alpha_2} = 1,73 \frac{96 - 25}{25 + 96} = 1,73 \frac{71}{121} = 1,017,$$

$$\varphi = 45^\circ 30',$$

$$\cos \varphi = 0,70.$$

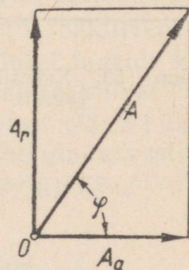
c) Võimsusteguri määramine aktiivenergia ja reaktiivenergia arvesti abil (tavaliselt piirduakse tarbimisega kuu kohta).

Vastavalt joonisele 50 lahutatakse tarbija üldine elektrienergia aktiiv- ja reaktiivenergiaks, kusjuures aktiivenergia

$$A_a = A \cos \varphi,$$

reaktiivenergia

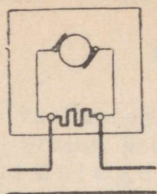
$$A_r = A \sin \varphi.$$



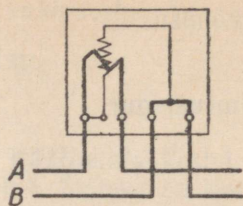
Joon. 50. Energia A lahutamise aktiiv- (A_a) ja reaktiivenergiaks (A_r).

Teatud ajavahemiku T kohta näitab aktiivenergia arvesti $A_a = T\sqrt{3} UI \cos \varphi$ ja reaktiivarvesti $A_r = T\sqrt{3} UI \sin \varphi$.

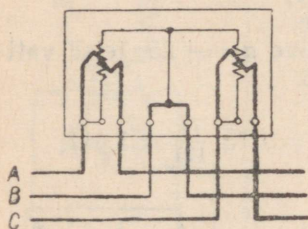
$$\frac{A_r}{A_a} = \frac{T\sqrt{3} UI \sin \varphi}{T\sqrt{3} UI \cos \varphi} = \operatorname{tg} \varphi.$$



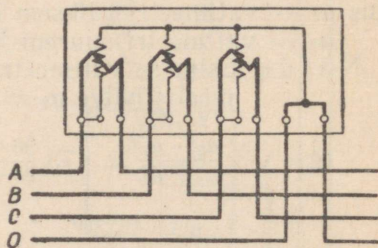
Joon. 51. Ampertundarvesti.



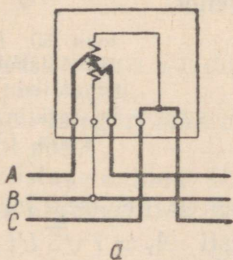
Joon. 52. Ühefaasiline kWh-arvesti.



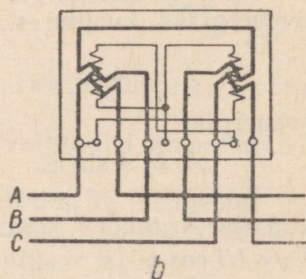
Joon. 53. Kahesüsteemiline arvesti.



Joon. 54. Kolmesüsteemiline arvesti.



a



b

Joon. 55. Reaktiivenergia arvestamine;

a — ühtlaselt ja *b* — ebahühtlaselt koormatud faaside puhul.

tg φ järgi leitakse trigonomeetristest tabelitest nurga φ suurus ja selle järgi cos φ väärtus — nn. keskmiselt kaalutletud cos φ kuu kohta.

Aktiiv- ja reaktiivenergia mõõtmine. Mõõteriistaks on arvesti. Vahe aktiivenergia ja reaktiivenergia arvestite vahel seisab põhiliselt pingepoolide ühendamisest. Joonisel 51 on näidatud elektrienergia mõõtmine alalisvoolu puhul ampertund-arvestiga ja joonisel 52 — aktiivenergia mõõtmine ühefaasilise vahelduvvoolu korral.

Energiatarviduse määramisel kolmefaasilise voolu puhul võib kasutada kaht ühefaasilist arvestit (analoogiliselt vattmeetrite lülitusega). Praktikas aga eelistatakse kasutada üht kahesüsteemilist kolmefaasilist arvestit, mis kujutab endast kahe arvesti kokkuehitust (joon. 38 ja 53). Neljajuhtmelses süsteemis kasutatakse võimsuse mõõtmiseks kolmesüsteemilist arvestit (joon. 54).

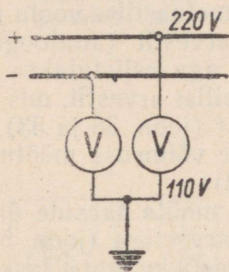
Keerdvoolu reaktiivenergiat võib mõõta faaside ühtlase koormuse korral ühe ühefaasilise arvestiga (joon. 55, a). Selle voolupool on ühendatud järjestikku ühte faasijuhtmesse, pingepool aga rööbiti ülejäänud juhtmete vahele. Sellisel ühendamisel on arvesti näit võrdeline reaktiivenergiaga $TUI \sin \varphi$. Et saada kolmefaasilise süsteemi reaktiivenergiat, tuleb ühefaasilise reaktiivarvesti näidud korrutada $\sqrt{3}$ -ga, sest kolmefaasilise süsteemi reaktiivenergia suurus on võrdne $T\sqrt{3} UI \sin \varphi$. Ebaühtlasel faaside koormamisel võib kasutada kahte ühefaasilist reaktiivarvestit, mille näidud summeeritakse ja korrutatakse $\sqrt{3} = 1,73$ -ga.

Analoogiliselt kolmefaasiliste aktiivenergia arvestitega on olemas ka kolmefaasilisi reaktiivenergiaga arvesteid (joon. 55, b).

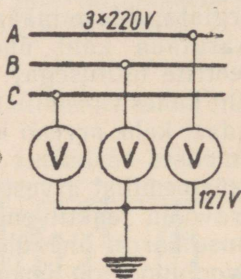
Isolatsioonirikete leidmine

Ka parima isolatsioonimaterjali kasutamisel ei ole isolatsioonitakistus lõpmata suur. See võimaldab elektrivoolu esinemist isolatsioonis. Normide kohaselt ei tohi tähendatud vool olla suurem kui 1 milliamper elektriseadme iga osa kohta, kusjuures seadme osaks loetakse osa kahe teineteisele järgneva kaitsme vahel või lõpposa peale viimast kaitset. Sellele vastavalt peab isolatsioonitakistus olema mitte alla 1 k Ω võrgupinge 1 voldi kohta; näit. 220-voldise võrgupinge korral on isolatsioonitakistuse alammääraks 220 k Ω .

Suurema, mitmest haruliinist koosneva võrgu takistus võib olla vastavalt väiksem. Isolatsioonitakistus on muutu-
 tuv, olenedes temperatuurist ja niiskusest. Isolatsiooni
 seisundi määramisel on tarvis mõõta isolatsioonitakistust
 nii juhtmete vahel kui ka iga juhtme ja maa vahel. Seejuu-
 res tuleb lahutada juhtmeist kõik volutarbijad (hõõglam-
 bid, mootorid jne.), kaitsmed ja lülitid aga olgu sisse
 lülitatud.



Joon. 56. Maanduse
 kontrollimine alalis-
 vooluvõrgus.



Joon. 57. Maanduse
 kontrollimine kolme-
 faasilises nulljuhtmeta
 süsteemis.

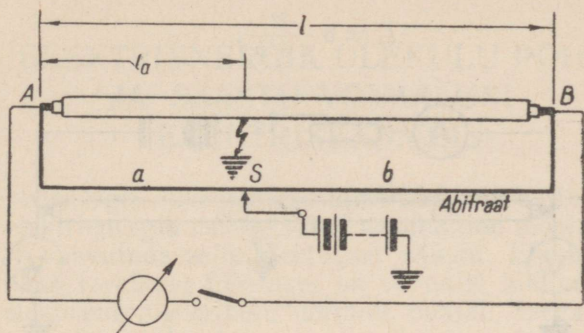
Isolatsioonitakistuse mõõtmiseks kasutatakse tavaliselt vältinduktoriga oommeetrit — megerit. Isolatsiooni kont-
 rollitakse harilikult voltmeetriga, mis ühendatakse juhtme
 ja maa vahele. Normaalselt näitab voltmeeter alalisvoolu
 korral $\frac{1}{2}$ ja keerdvoolu korral $\frac{1}{\sqrt{3}} = 0,58$ võrgupingest; vea
 olemasolul annab vastava juhtme ja maa vahele ühenda-
 tud voltmeeter väiksema hälbe (joon. 56 ja 57).

Hoone sisejuhtmestikus määratakse viga juhtmestiku
 läbiproovimise teel megeriga, eraldades üksikhaaval haru-
 liinid (harutoosides ühendusi lahti võttes) vea kadumiseni.
 Seejärel määratakse samal viisil vigases haruliinis vea
 lõplik asukoht.

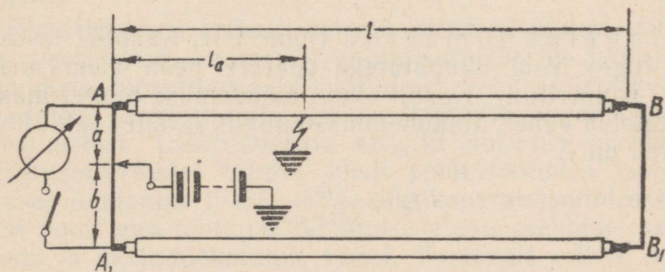
Lühise korral võib megeri asemel kasutada proovilampi.
 Lamp, mis on ühendatud kaitsme asemele, põleb seni, kuni
 lühis on olemas. Isolatsioonirikked tekivad enamasti lambi-
 pesades, valgustites, harutoosides ja pistikupesades.

Ohuliinides leitakse isolatsioonirike samuti kui sisejuht-
 mestikus.

Kaabelliinides on sagedamaks rikkeks maaühendus, harvem lühis kahe kaablisooni vahel. Vigase koha määramiseks kasutatakse erimõõteriistu; nende puudumisel võib vea asukoha määrata ka alltoodud viisil.



Joon. 58. Kaablivea asukoha määramine abijuhime abil.



Joon. 59. Kaablivea asukoha määramine rööbiti oleva kaabli või sama kaabli vigastamata soone abil.

Silla meetod. Lühikeste kaabelliinide puhul ühendatakse kaabli algus ja lõpp ühtlase läbimõõduga traadi abil, mis asetatakse kaabli kohale kaabli asetusplaani järgi (joon. 58).

Kui galvanomeetri vool $I_g = 0$, siis $a : (a + b) = l_a : l$ ning kontakt s asub maaühenduse kohal.

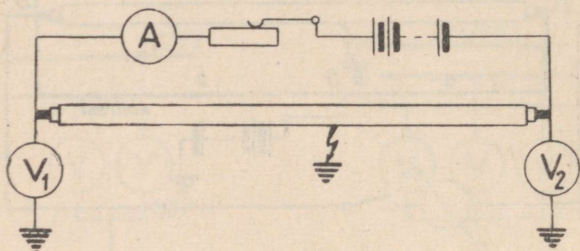
Otsitav kaugus

$$l_a = a \frac{l}{a + b}.$$

Pikemate kaablite korral kasutatakse vea asukoha määramiseks ülalnimetatud traadi asemel kas rööbiti jooksvat teist kaablit või sama kaabli tervet soont (joon. 59).

Kui galvanomeetri vool $I_g = 0$, siis vigastatud koha kaugus kaabli algusest

$$l_a = a \frac{2l}{a+b}.$$



Joon. 60. Kaablivea määramine kahe voltmeetri abil (pingelangu-meetod).

Pingelangumeetod (joon. 60). Kaablist lastakse läbi tugev vool akupatareist (patarei peab olema maast hästi isoleeritud). Kaabli otstel mõõdetakse pinget maa ja kaabliotsa vahel. Maaühenduse kaugus l_a , kui kaabli kogupikkus on l :

$$l_a = \frac{lu_1}{u_1 + u_2}$$

II. ELEKTRIENERGIA ÜLEKULU PÕHJUSI JA SÄÄSTU VÕIMALUSI ELEKTRISEADMEIS

Elektrienergia suuremateks tarbijateks on käitised. See tõttu elektrienergia ratsionaalne kasutamine tööstuses võimaldab säävutada selle efektiivset säästu. Elektrienergia säästlikku tarbimist tööstuses on võimalik hinnata vastavate elektrienergia erikulu normide põhjal. Seega elektrienergia ratsionaalse kasutamise aluseks on ühelt poolt elektrienergia normeerimine ja teiselt poolt elektriseadmete ja nende ekspluateerimise vastavus kehtivatele eeskirjadele.

Elektrienergia erikulu normid sõltuvad tootmisettevõtte energeetilistest seadmetest, tootmisprotsesside näitajatest, seadmete töörežiimist ja paljudest muudest energeetika-seadmete ärakasutamise kui ka tootmise organiseerimise küsimustest. Elektrienergia erikulu normide koostamine tööstusettevõtetes toimub ühelt poolt tootmise jaotamise alusel toodangu liikidesse ja üksikoperatsioonidesse, teiselt poolt aga tootmise jaotamise alusel tsehhide, osakondade ja üksik-töökohtade vahel. Vastavalt sellele on olemas erikulu normid üksikagregaadi või agregaaadi üksikoperatsiooni kohta (tehnoloogilised normid), üksiktoote või ka tehase ja tsehhi üksikoperatsiooni kohta ja tehase või tsehhi üldnormid.

Alljärgnevalt on toodud väljavõtted juhenditest elektrienergia tarbimise normeerimise kohta tööstuses, mis on heaks kiidetud NSVL Elektri jaamaade Ministeeriumi Tööstusenergeetika ja Energiajärelevalve Riikliku Inspeksiooni juures asuva Ametkondadevahelise Ekspert-Tehnilise Nõukogu poolt.

Tähendatud normid kehtivad käitiste kohta trafode installeeritud võimsusega 100 kVA ja enam, ja on kohustuslikud kõikidele ministeeriumidele ja ametkondadele, kes normeerivad elektrienergia tarbimist nendes käitistes. Nor-

meerimisele kuulub kogu tootmisel kulutatav elektrienergia, sõltumata sellest, kas see saadakse energiasüsteemist või kaitise oma elektriyaamast. Tootmisprotsessis kulutatav elektrienergia hõlmab põhitootmisprotsessi tarbimise kõrval ka elektrienergia tarbimise abi- ja kõrvalprotsessideks, valgustuseks ja ka kaod elektrivõrkudes ning trafodes. Kaitise elektriyaama omatarbe normeerimine toimub lahus elektrienergia normeerimisest tootmisprotsessidele.

Tehastes, kus trafode installeeritud võimsus on 100 kVA ja enam, peab olema kehtestatud elektrienergia erikulu üldnorm toodangu, tooraine või töömahu ühiku kohta.

Tehased trafode installeeritud võimsusega 1000 kVA ja enam peavad omama lisaks sellele ka erikulu tehnoloogilised ja tsehhi üldnormid, et oleks võimalik kontrollida elektrienergia ratsionaalset kasutamist ja organiseerida tehasesisest planeerimist, milleks tehased on kohustatud korraldama elektrienergia tarbimise diferentseeritud arvestamist elektriarvestite abil.

Elektrienergia tarbimise tehnoloogilised normid kehtestatakse üksikute energiamahukate tehnoloogiliste protsesside kohta, nagu metallide sulatamine, termiline töötlemine, gaasi tootmine, elektrolüüs jne.

Elektrienergia erikulu tsehhi üldnormid tooteühikule kehtestatakse tootmis-, abi- ja energeetikatsehhide kohta.

Elektrienergia erikulu tehase üldnorm tooteühikule on kohustuslik tehastele trafode installeeritud võimsusega 100 kVA ja enam. Tehase üldnorm sisaldab kogu tootmisprotsessi elektrienergia tarvituse, välja arvatud tehase elektriyaama omatarve ja mitte põhitoodangut tootvate tsehhide elektrienergia tarvitust. Need energiatarvitused normeeritakse eraldi.

Töötajate premeerimine elektrienergia säästmise eest toimub vastavate eeskirjade kohaselt, kusjuures aluseks on elektrienergia erinormide, s. o. tsehhi ja tehase üldnormide ning tehnoloogiliste normide täitmine.

Elektrienergia erikulu normid tuleb kehtestada kvaliteetse toodangu ühiku kohta.

Elektrienergia normeerimine tööstuses peab tuginema tehnilis-ökonomilistele arvutustele, tehnoloogiliste protsesside ja seadmete näitajatele, energiabilanssidele ja ka eesrindlike ettevõtete, brigaadide ja üksikute töötajate saavutustele. Kontroll elektrienergia tarvituse üle ette-

võtetes erikulu tehnoloogiliste, tsehhi ja tehase üldnormide alusel toimub elektriarvestite näitude ja väljalastava toodangu hulga järgi.

Tootmistehnoloogilise protsessi pidev täiustamine ja ratsionaliseerimine annab tunduvat elektrienergia säästu.

Elektrienergia ülekulu võivad põhjustada ja põhjustavadki elektriseadmed, kui nende valik ja ekspluateerimine ei vasta kehtivatele eeskirjadele.

On teada, et iga elektrimasina ja aparraadi juures teatav osa elektrienergiast ei tee kasulikku tööd, sest esinevad paratamatud kaod, nagu rauaskaod, vaseskaod, hõõrdumiskaod, mida arvestabki antud masina või aparraadi kasutegur. Kaod on normaalsetes piirides, kui masinad või aparraadid töötavad ettenähtud koormusega ning selliseis tingimuses, mis võimaldavad säilitada nimikasutegurit. Igas teises olukorras on kadude kogusumma suurem ja siis on tegemist energia ülekuluga. Neist liigseist kadudest hoidumises peitub täiendav energia säästu võimalus. Muidugi, iga kord ei ole võimalik vältida kadude mõningat suurenemist, mõnikord tuleb sellega isegi leppida, kuid enamikel juhtudel on see siiski võimalik.

Alljärgnevalt käsitletakse elektri jaotusvõrkudes, elektrimasinates, valgustusseadmetes esinevaid elektrienergia ülekulu põhjusi ja vähendamise võimalusi.

1. ELEKTRIJAOTUSVÖRGUD

Juhtmete ülekoormus

Elektri jaotusvõrkude õige koormamine ja hea seisund võimaldavad vältida suuri kadusid soojuse ja maandusvoolude näol, mida põhjustavad peamiselt ülekoormus ja isolatsiooni halb seisund. Juhtmete ülekoormus ei põhjusta üksnes ülemääraseid kadusid, vaid ka ülemäärast pingemuutust, mis häirib elektrienergia tarbijate töötamist. Pinge suur alanemine kutsub esile nii hõõglampide valgusviljakuse kui ka mootorite kasuteguri vähenemise.

Vastavalt uutele «Elektriseadmete ehitamise eeskirjadele» (1957. a.) on lubatavad järgmised pingemuutused:

a) elektrimootori klemmidel +5%, erijuhtudel kuni +10%;

b) kaugema lambi juures tööstus- ja ühiskondlikes hoonetes kuni +2,5%;

c) kaugema lambi juures elumajades, samuti avariija välisvalgustuse puhul kuni +5%.

Juhtmete ülekoormus on tingitud kas liiga väikese, koormusele mittevastava ristlõikega juhtmete valikust või ka sellest, et juhtmete ristlõiked ei vasta enam aja jooksul kasvanud koormusele. Tegelikuses esineb tihti juhte, kus seadmete laiendamisel ei arvestata sugugi olemasolevate juhtmete ristlõikeid (see puudutab peamiselt magistraaljuhtmeid), vaid uued tarbijad ühendatakse lihtsalt juurde, mistõttu jaotusvõrgu olemasolevad juhtmed osutuvad ülekoormatuiks.

Juhtmete ülekoormust ja liigseid kadusid põhjustab tihti ka seadme madal võimsustegur, mis leiab selgitamist järgmises peatükis.

Juhtmete ülekoormuse korral tuleb need asendada jämedamatega, tehes sobivate juhtmete valikuks kontrollarvutusi. Mõnel juhul tuleb kaaluda võimalust üleminekuks kõrgemale pingele, näiteks 220 V asemel valida 380 V, 3000 V asemel 6000 V.

Juhtmete ristlõike valiku alused

Iga uue tarbija ülesseadmisel tuleb valida selleks sobivad ning vajalikud ühendusjuhtmed. Vastavalt kehtivatele eeskirjadele valitakse kuni 1000-voldise võrgu juhtmete, kaablite ja lattide ristlõige maksimaalselt lubatava kestevvoolu järgi, mida piirab juhtmete maksimaalselt lubatav soojenemine.

Valikul peavad ühelt poolt olema teada arvutuslik koormus, juhtmete paigaldamisviis ja ümbritseva keskkonna temperatuur. Teiselt poolt peavad olema teada ka juhtmeile ja kaablitele maksimaalselt lubatavad kestevkoormused amprites, sõltuvalt paigaldamisviisist ning keskkonna temperatuurist. Need andmed antakse vastava tabelites (tabelid 5—10).

Ristlõige valitakse arvutusliku voolu järgi. Arvutuslik vool on vool, mille järgi valitakse võrgu elemendid, et need ei soojeneks üle lubatava piiri eksploatatsioonis tõeliselt esinevate voolude toimel.

Kummi- või vinülitisolatsiooniga vaskjuhtmete ja kumminöörjuhtmete suurimad kestvalt lubatavad koormused amprites õhu temperatuuril +25 C ja pinnase temperatuuril +15 C

Soone nimirist- löige mm ²	Vool amprites					
	lahtisel paigalda- misel	asetamisel ühte torusse				
		ühesoonelisi			üks kahe- soonealine	üks kolme- soonealine
		2	3	4		
0,5	10	—	—	—	—	—
0,75	13	—	—	—	—	—
1	15	14	13	12	13	12
1,5	20	17	15	14	16	13
2,5	27	24	22	22	22	19
4	36	34	31	27	28	24
6	46	41	37	35	35	30
10	70	60	55	45	50	45
16	90	75	70	65	70	60
25	125	100	90	80	90	75
35	150	120	110	100	110	90
50	190	165	150	135	140	120
70	240	200	185	165	175	155
95	290	245	225	200	215	190
120	340	280	255	230	260	220
150	390	320	290	—	—	—
185	450	—	—	—	—	—
240	535	—	—	—	—	—
300	615	—	—	—	—	—
400	735	—	—	—	—	—

Märkus: Uhes torus asetsevate juhtmete arvu määramisel nulljuhet arvesse ei võeta.

Tabel 6

Kummi- või vinülitisolatsiooniga alumiiniumjuhtmete suurimad kestvalt lubatavad koormused amprites õhu temperatuuril +25°C ja pinnase temperatuuril +15°C

Soone nimirist- löige mm ²	Vool amprites			
	lahtisel paigalda- misel	asetamisel ühte torusse		
		ühesoonelisi		
		2	3	4
2,5	21	18	17	17
4	28	25	25	20
6	35	32	28	27

Soone nimirist- lõige mm ²	Vool amprites			
	lahtisel paigalda- misel	asetamisel ühte torusse		
		ühesoonelisi		
		2	3	4
10	50	45	42	35
16	70	55	55	50
25	95	75	70	60
35	115	90	85	75
50	145	125	115	105
70	185	155	145	125
95	225	190	175	155
120	260	215	195	175
150	300	245	225	—
185	345	—	—	—
240	410	—	—	—
300	475	—	—	—
400	570	—	—	—

Märkus: Uhes torus asetsevate juhtmete arvu määramisel null-juhett arvesse ei võeta.

Tabel 7

Kummiisolatsiooniga kuulo(ТПРФ)-tüüpi vaskjuhtmete ja kummiisolatsiooniga, tina- või vinüülmantliga, soomustatud või soomustamata vaskaablite suurimad kestvalt lubatavad koormused amprites

Soone- ristlõige mm ²	Vool amprites				
	Juhtmed ja kaablid				
	ühesoone- liselised	kahesoone- liselised		kolmesoone- liselised	
		paigaldamisel			
	õhus	õhus	pinnases	õhus	pinnases
1,5	20	17	30	17	25
2,5	27	24	40	22	35
4	36	34	50	31	45
6	46	45	65	37	55
10	70	60	95	50	80
16	90	80	125	65	105
25	125	100	160	85	135
35	150	125	190	105	165
50	190	155	240	130	205
70	240	190	290	160	250
95	290	230	350	195	300
120	340	265	405	230	350

Soone ristlõige mm ²	Vool amprites				
	Juhtmed ja kaablid				
	ühesooneelised	kahesooneelised		kolmesooneelised	
	paigaldamisel				
	õhus	õhus	pinnases	õhus	pinnases
150	390	310	460	270	395
185	450	360	520	310	455
240	535	—	—	—	—

M ä r k u s: Koormused on antud temperatuuride kohta: õhul +25°, pinnasel +15° C.

Tabel 8

Immutatud paberisolatsiooniga, tina- või alumiiniummantliga vaskkaablite suurimad kestvalt lubatavad koormused amprites, kaablite asetamisel pinnasesse

Kaabli- soone rist- lõige mm ²	Vool amprites					Neljasoo- nelised kaablid, pingel kuni 1 kV
	Ühesoo- nelised, pingel kuni 1 kV	Kahesoo- nelised, pingel kuni 1 kV	Kolmesooneelised			
			pingel kuni 3 kV	pingel kuni 6 kV	pingel kuni 10 kV	
	Kaablisoone maksimaalselt lubatav temperatuur °C					
	80	80	65	60	80	
1,5	45	35	30	—	—	—
2,5	60	45	40	—	—	—
4	80	60	55	—	—	50
6	105	80	70	—	—	60
10	140	105	95	80	—	85
16	175	140	120	105	95	115
25	235	185	160	135	120	150
35	285	225	190	160	150	175
50	360	270	235	200	180	215
70	440	325	285	245	215	265
95	520	380	340	295	265	310
120	595	435	390	340	310	350
150	675	500	435	390	355	395
185	755	—	490	440	400	450
240	880	—	570	510	460	—
300	1000	—	—	—	—	—
400	1220	—	—	—	—	—

M ä r k u s: Koormused vastavad üksiku kaabli paigaldamisel 0,7—1,0 m sügavusele, pinnase temperatuuril +15° C.

Tabel 9

Paljasjuhtmete lubatavad koormused amprites (juhtme maksimaalsel temperatuuril +70° C, kui õhu temperatuur on +25° C)

Vask			Alumiinium			Teras-alumiinium	
Juhtme mark	Koormus A		Juhtme mark	Koormus A		Juhtme mark	Välisliini koormus A
	väljas	ruumis		väljas	ruumis		
M-4	50	25	A-10	75	50	AC-16	105
						AC-25	135
						AC-35	170
M-6	70	35	A-16	105	80	AC-50	220
M-10	95	60	A-25	135	110	AC-70	275
M-16	130	100	A-35	170	135	AC-95	335
M-25	180	140	A-50	215	170	AC-120	380
M-35	220	175	A-70	265	215	AC-150	445
M-50	270	220	A-95	325	260	AC-185	515
M-60	315	250	A-120	375	310	AC-240	610
M-70	340	280	A-150	440	370	AC-300	700
M-95	415	340	A-185	500	425	AC-400	800
M-120	485	405	A-240	610	—	ACO-332	745
M-150	570	480	A-300	680	—	ACO-480	925
M-185	645	550	A-400	830	—	ACY-300	710
M-240	770	650	A-500	980	—	ACY-400	865
M-300	890	—	A-625	1140	—	—	—
M-400	1085	—	—	—	—	—	—
МП-240	950	—	—	—	—	—	—
МП-300	1050	—	—	—	—	—	—

Tabel 10

Korrektsoonitegurid sõltuvalt maapinna ja õhu temperatuurist kaablite, isoleeritud ja paljasjuhtmete kohta

Keskonna temp. °C	Soone nor-meeritud temp. °C	Korrektsooni tegurid keskkonna temperatuuril °C											
		-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40	+45	+50
		15	80	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78
25	1,24	1,20		1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85	0,80	0,74
25	70	1,29	1,24	1,20	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81	0,74	0,67
15		1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71	0,63	0,55
25	65	1,36	1,30	1,25	1,20	1,13	1,07	1,00	0,93	0,85	0,76	0,66	0,54
15		1,20	1,15	1,12	1,06	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,67	0,57	0,47
25	60	1,36	1,31	1,25	1,20	1,13	1,07	1,00	0,93	0,85	0,76	0,66	0,54
15		1,22	1,17	1,12	1,07	1,00	0,93	0,86	0,79	0,71	0,61	0,50	0,36
25	55	1,41	1,35	1,29	1,23	1,15	1,08	1,00	0,91	0,82	0,71	0,58	0,41
15		1,25	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,84	0,76	0,66	0,54	0,37	—
25	50	1,48	1,41	1,34	1,26	1,18	1,09	1,00	0,89	0,78	0,63	0,45	—
15		1,25	1,20	1,14	1,07	1,00	0,93	0,84	0,76	0,66	0,54	0,37	—

Arvutusliku koormuse määramiseks on mitu arvutusviisi. Peamist kasutamist leiavad tarbimisteguri ja kahe-liikmelise valemi abil arvutusliku koormuse määramise viisid.

Arvutusliku koormuse määramine tarbimisteguri abil.

a. Aktiivvõimsus

$$P_a = \frac{P_m k_k k_o}{\eta_m \eta_v} = P_m k_c \text{ kW},$$

- kus P_a — arvutuslik aktiivvõimsus kW;
 P_m — mootorite nimivõimsuste summa kW;
 η_m — mootori kasutegur;
 η_v — võrgu kasutegur;
 k_o — üheaegsustegur;
 k_k — koormustegur (mootori arvutusliku võimsuse suhe mootori nimivõimsusega);
 k_c — tarbimistegur (nõudetegur) (tabelid 11 ja 12).

Tabel 11

Tarbimisteguri ja võimsusteguri väärtusi

Tarbijaterühma nimetus	k_c	$\cos \varphi$	
Metallitöötlemispin- kide individuaalajam	a) metallide kuumtöötlemise tsehhides suureserialisel ja vooltootmisel	0,27	0,65
	b) sama, kuid metallide külmütöötlemise tsehhides	0,2	0,65
	c) metallide külmütöötlemise tsehhides väikeseerialisel ja individuaaltöötlemisel	0,18	0,65
Ventilaatorid	tööstuslikud	0,7	0,8
	sanitaar-hügieenilised	0,65	0,8
Pumbad, mootor-gene- raatorid, transmis- sioonid		0,7	0,8
Tarbijad vaheajalise töörežiimiga	tootismehhanismid	0,2—0,4	0,5
Transpordi mehhanis- mid ja mullatöötle- mise mehhanismid valutsehhides	pidevalt töötavad	0,65	0,75

Tarbijaterühma nimetus		k_c	$\cos \varphi$
Elektriahjud	takistusahjud, kuivatuskapid, soojendusriistad	0,8	0,95
	madalsagedus-induktsioonahjud	0,8	0,35
	kõrgsagedus-induktsioonahjud	0,8	0,1
Keevitusmasinad	keevitustrafod	0,35	0,35
	ühe töökohaga mootorgeneraatorid	0,35	0,6
	mitme töökohaga mootorgeneraatorid ja netide kuumutajad	0,5—0,9	0,65
	punkt- ja joonkeevitusmasinad	0,35	0,6
	pökk-keevitusmasinad	—	0,7

T a b e l 12

Tarbimisteguri k_c keskmisi väärtusi antud tööstusharude käitiste kohta tervikuna

Tööstusharu nimetus	k_c keskmine väärtus	k_c väärtuste piirkond
Keemiatööstus	0,26	0,17—0,38
Puidutöötlemistööstus	0,19	0,13—0,30
Leivatööstus	0,34	0,24—0,53
Jalatsitööstus	0,43	0,4 —0,52
Kondiitritööstus	0,33	0,22—0,41
Trükikojad	0,28	0,20—0,34
Külmooned	0,41	0,24—0,66
Tekstiilitööstus	0,5	0,32—0,6

b. Arvutuslik näivvõimsus

$$S_a = \frac{P_a}{\cos \varphi} \text{ kVA.}$$

c. Arvutuslik reaktiivvõimsus

$$Q_a = S_a \sin \varphi \text{ kVAr.}$$

Arvutusliku koormuse määramine kaheleliikmelise valemi abil. Arvutusliku koormuse

väärtuse annab nõukogude inseneri D. S. Livšitsi poolt väljatöötatud nn. kaheliikmeline valem:

$$P_a = cP_{i_1} + bP_i,$$

- kus P_a — tarbijaterühma arvutuslik koormus kW;
 P_{i_1} — tarbijaterühma teatava arvu võimsamate mootorite installeeritud võimsus kW;
 P_i — tarbijaterühma mootorite installeeritud võimsus kW;
 c ja b — töörežiimist sõltuvad tegurid (tabel 13).

Kui on mitu tarbijaterühma erineva koormusgraafikuga, siis üldine arvutuslik võimsus arvutatakse järgmiselt.

Arvutatakse iga rühma arvutuslik võimsus:

I tarbijaterühma arvutuslik aktiivvõimsus $(P_a)_1 = (cP_{i_1})_1 + (bP_i)_1$

II „ „ „ „ $(P_a)_2 = (cP_{i_1})_2 + (bP_i)_2$

n „ „ „ „ $(P_a)_n = (cP_{i_1})_n + (bP_i)_n$

ja liidetakse saadud võimsused

$$P_{\Sigma a} = (cP_{i_1})_{\max} + \sum_1^n (bP_i).$$

$(cP_{i_1})_{\max}$ väärtuseks võetakse suurim väärtus reast $(cP_{i_1})_1, (cP_{i_1})_2 \dots (cP_{i_1})_n$.

Tabel 13

Tegurite c ja b väärtusi

Tarbijaterühma nimetus		c	b
1. Metallitöötlemis- pinkide individuaal- ajam	a) metallide kuumtöötlemise tsehhid suureseerialisel ja voolootmisel	0,5	0,26
	b) sama, kuid metallide külmtöötlemise tsehhides	0,5	0,14
	c) metallide külmtöötlemise tsehhides väikeserialisel ja individuaaltöötlemisel	0,4	0,14

Tarbijaterühma nimetus		c	b
2. Ventilaatorid, pumbad, mootorgeneraatorid, transmissioonid Transpordi mehhanismid ja mullatöötlemismehhanismid valutses		0,25	0,65
	a) blokeerimata	0,4	0,4
	b) blokeeritud	0,2	0,6
3. Elektrikraanad suhtelise lülitusteguriga 25%	a) katla-, remondi-, montaaži-, mehaanika jts. tsehhides . .	0,2	0,06
	b) valutses	0,3	0,09
	c) martäänahjude tsehhides . .	0,3	0,11
	d) valtsimistsehhides, valuvormide tühjendamise tsehhides	0,3	0,18

M ä r k u s: Punktides 1 ja 2 toodud tarbijate kohta võetakse P_{i1} -na viie võimsuselt suurema mootori installeeritud võimsus. Punktis 3 toodud tarbijate kohta võetakse P_{i1} -na kolme võimsuselt suurema mootori installeeritud võimsus.

Aktiivvõimsus kaitise kohta tervikuna:

$$P_{\Sigma a} = P_{a1} + P_{a2} + \dots + P_{an} = \sum_1^n P_a;$$

reaktiivvõimsus kaitise kohta tervikuna:

$$Q_{\Sigma a} = Q_{a1} + Q_{a2} + \dots + Q_{an} = \sum_1^n Q_a.$$

Üldine näivvõimsus

$$S_{\Sigma a} = \sqrt{P_{\Sigma a}^2 + Q_{\Sigma a}^2}.$$

Antud arvutusviis võib anda kaitise arvutusliku koormuse kohta umbes 5—10% võrra suuremad väärtused.

Tuleb märkida, et tööstusettevõtete elektrilise koormuse määramise olemasolevad viisid (tarbimisteguri abil, kaksikliikme abil jt.) ei võimalda koormust määrata küllalt täpselt ja lihtsalt.

Lähtudes sellest võetakse praktikas põhinäitajaks maksimaalse koormusega vahetuse keskmine koormus, mida saab kontrollida energia erikulude järgi. Võrkude ja trans-

formaatorite kõigi elementide valikul soojenemise järgi lähtutakse pooltunnisest koormusmaksimumist.

Et kontrollida juhtmete ristlõike vastavust koormusele ning sellest tingitud pingemuutusele, selleks tuleb läbi viia juhtmete elektriline arvutus.

Alalisvooluvõrkude elektriline arvutus

Elektrivõrkude juhtmete ristlõigete dimensioneerimisel tuleb arvestada seda, et tarbija juures peab pinge olema küllalt stabiilne ja esinev pingemuutus peab jääma piiridesse, mis võimaldavad energia normaalset tarbimist. Energiakaod sõltuvad koormusest ja juhtme takistusest.

Alalisvoolu korral võib energiakadu arvutada valemist $\Delta P = I^2 r$, kus r on takistus oomides ja I vool amprites.

Takistus r omakorda on arvutatav valemist:

$$r = \frac{l}{\gamma s} \Omega,$$

kus γ — juhtme materjali erijuhtivus $\frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2}$;

l — juhtme pikkus m;

s — juhtme ristlõige mm^2 ;

Seega energiakadu alalisvoolu korral

$$\Delta P = I^2 \frac{l}{\gamma s} \text{ W.}$$

Alalisvooluvõrkude elektriline arvutus seisab peamiselt kas juhtmete ristlõike arvutamises antud pingelangu suuruse juures või pingelangu arvutamises valitud ristlõike kohta.

Arvutust teostatakse valemite abil:

$$\Delta U = \frac{2}{\gamma s} \Sigma Il \text{ V,}$$

$$s = \frac{2}{\gamma \Delta U} \Sigma Il \text{ mm}^2,$$

kus ΔU — pingelang V;

l — liini pikkus m;

I — vool A;

s — ristlõige mm^2 ;

γ — juhtme materjali arvutuslik erijuhtivus $\frac{\text{m}}{\Omega \text{mm}^2}$,

mille suurus:

vask-traat juhtmaterjal	$\gamma = 54 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$
vask-kõisjuhtmaterjal	$\gamma = 53 \text{ ,,}$
alumiinium-kõisjuhtmaterjal	$\gamma = 32 \text{ ,,}$

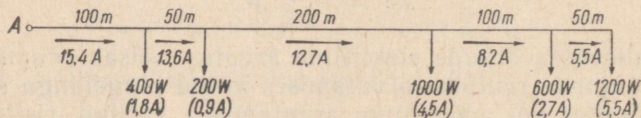
Kui koormused on antud võimsustena vattides, siis asendades $I = \frac{P}{U}$, saame

$$s = \frac{2}{\gamma \Delta U U} \Sigma P l \text{ mm}^2,$$

kus γ — juhtme materjali elektriline erijuhtivus $\frac{\text{m}}{\Omega\text{mm}^2}$;

- ΔU — pingelang V;
 U — võrgupinge V;
 P — koormus W;
 l — liinipikkus m.

Näide 1. Määrata pingelang kahejuhtmehises liinis pikkusega 500 m, kui juhtme ristlõige $q=25 \text{ mm}^2$, juhtme materjaliks on vask ja toitepunkti A pinge on 220 V, koormusvoolud on antud joonisel 61.



Joon. 61. Näites 1 toodud liini skeem.

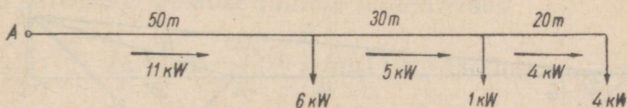
Lahendus.

$$\Delta U = \frac{2}{\gamma s} \Sigma Il = \frac{2}{53 \cdot 25} [5,5 \cdot 50 + 8,2 \cdot 100 + 12,7 \cdot 200 + 13,6 \cdot 50 + 15,4 \cdot 100] = 8,8 \text{ V}.$$

Pingelang toitepunkti pinge suhtes

$$\frac{8,8}{220} \cdot 100 = 4\%.$$

Näide 2. Määrata liini juhtmete ristlõige; liini nimipingeline $U = 110$ V. Liin ehitatakse isoleeritud vaskjuhtmetest ja peab omama ühesuguse juhtmete ristlõike liini kogu pikkuses. Liini skeemil (joon. 62) on antud liini koormused kilovattides. Lubatav pingelang liinis on 5%.



Joon. 62. Näites 2 toodud liini skeem.

Lahendus.

$$s = \frac{2}{\gamma \Delta U U} \Sigma Pl = \frac{2 \cdot 1000}{53 \cdot 5,5 \cdot 110} [4 \cdot 20 + 5 \cdot 30 + 11 \cdot 50] =$$

$$= \frac{2 \cdot 100 \cdot 1000}{53 \cdot 5,5 \cdot 110} \cdot 780 = 49 \text{ mm}^2.$$

Sama tulemuse saame, kui korrutiste summas ΣPl võimsuste liitmise asemel arvestame kaugusi toitepunktist A:

$$\Sigma Pl = (6 \cdot 50 + 1 \cdot 80 + 4 \cdot 100) = 780;$$

seega

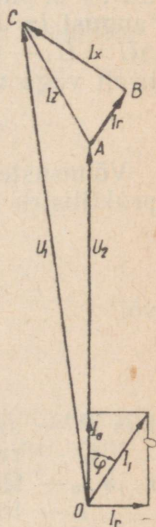
$$s = \frac{2 \cdot 1000}{53 \cdot 5,5 \cdot 110} \cdot 780 = 49 \text{ mm}^2. \text{ Seega saime}$$

sama tulemuse. Valime lähema normitud vaskjuhtme ristlõike — 50 mm².

Vahelduvvooluvõrkude elektriline arvutus

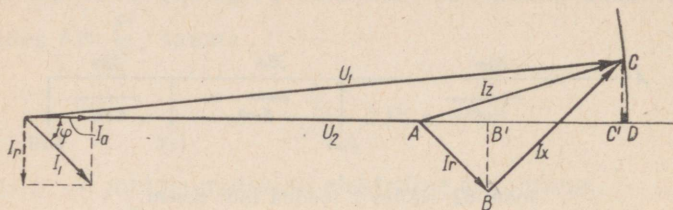
Vahelduvvooluvõrkude arvutamisel tuleb lisaks juhtmete aktiivtakistusele R võtta arvesse ka juhtmete induktiivtakistust x_L ja kõrgemate pingete puhul (õhuliinides üle 35 kV ja kaabelliinides üle 10 kV) ka mahtuvustakistust x_C .

Vahelduvvoolu korral tuleb teha vahet ka pingelangu ja pingemuutuse vahel (joon. 63 ja 64).



Joon. 63. Pingelang vahelduvvooluliinis.

Liini algul oleva pingega U_1 (OC) ja liini lõpul oleva pingega U_2 (AO) geometrilist vahet (AC) nimetatakse pingelanguks; selle suurus on määratud juhtmes oleva voolu I ja juhtme näivtakistuse z korrutisega — Iz .



Joon. 64. Pingemuutus vahelduvvooluliinis.

Pingete U ja U_2 algebralist vahet nimetatakse pingemuutuseks.

Alalisvooluliinides on pingelang identne pingemuutusega, mistõttu alalisvoolu puhul kasutatakse ainult pingelangu nimetust. Vahelduvvooluliinides on pingemuutus ΔU , s. o. pingete U_1 ja U_2 algebraline vahe, väiksem pingelangust Iz . Jooniselt 64 selgub, et

$\Delta U = U_1 - U_2 = AD = AB' + B'C' + C'D$. Et $C'D$ on tavaliselt väga väike, siis seda ei arvestata ja $\Delta U = AD \approx$

$$\approx AB' + B'C' = Ir \cos \varphi + Ix \sin \varphi.$$

Võimsustes väljendatud koormuste puhul kasutatakse praktilistes arvutustes järgmist pingemuutuse valemit:

$$\Delta U = \Sigma \frac{Pr + Qx}{U}$$

või

$$\Delta U = \Sigma \frac{Pr_0 + Qx_0}{U} l \text{ V,}$$

kus P — aktiivvõimsus kW;

Q — reaktiivvõimsus kVAr;

r_0 ja x_0 — Ω/km ning r ja x — Ω ;

l — liiniosade pikkused km;

U — võrgupinge kV.

$$\Delta U = \Delta u_a + \Delta u_r;$$

$$\Delta u_a = \frac{r_0 \Sigma (Pl)}{U} \text{ V;}$$

$$\Delta u_r = \frac{x_0 \Sigma (Ql)}{U} \text{ V.}$$

1 km pikkuse juhtme oomiline takistus $r_0 = \frac{1000}{\gamma s} \Omega/\text{km}$;

Sama pikkusega liini induktiivtakistus $x_0 = \omega L_0 \Omega/\text{km}$;
kus $\omega = 2\pi f$ — nurksagedus (kui $f = 50$ Hz, siis $\omega = 314$),
 L_0 — ühe- või kolmefaasilise õhuliini juhtme induktiivsus henrides kilomeetri kohta.

Ühe kilomeetri pikkuse juhtme induktiivsus

$$L_0 = (2 \ln \frac{D_k}{r} + 0,5 \mu_r) 10^{-4} \text{ H/km},$$

kus D_k — keskmine geomeetiline juhtmetevaheline kaugus cm;

r — juhtme raadius cm;

μ_r — suhteline magnetiline läbitavus;

Mittemagnetiliste juhtmete (vask, alumiinium) korral suhteline magnetiline läbitavus $\mu_r = 1$ ja juhtme induktiivsuse valem omab kuju:

$$L_0 = (2 \ln \frac{D_k}{r} + 0,5) 10^{-4} \text{ H/km}.$$

Liini 1 km pikkuse mittemagnetilise juhtme induktiivtakistus

$$x_0 = \omega (2 \ln \frac{D_k}{r} + 0,5) 10^{-4} \Omega/\text{km}.$$

ehk

$$x_0 = \omega (4,6 \lg \frac{D_k}{r} + 0,5) 10^{-4} \Omega/\text{km}.$$

Kui $f = 50$, s. o. $\omega = 314$, siis

$$x_0 = 0,1445 \lg \frac{D_k}{r} + 0,0157 \Omega/\text{km}.$$

Kolme juhtme puhul, kui vahekaugused iga juhtmepaari vahel on A , B ja C , on keskmine geomeetiline vahekaugus

$$D_k = \sqrt[3]{ABC}.$$

Kuna induktiivtakistuse olenevus juhtmetest on keerukam kui aktiivtakistusel, siis vahelduvvooluliinide juhtmete ristlõike määramisel kasutatakse lihtsustatud arvu-

tuskäiku, mis seisab selles, et sõltuvalt juhtme ristlõikest valitakse esialgu induktiivtakistuste keskmine suurus (pingetel kuni 6 kV umbes 0,35 Ω /km, pingetel üle 6 kV umbes 0,38 Ω /km) ja arvutatakse nendest takistustest tingitud pingemuutuste osa

$$\Delta U_r = \frac{x_0 \Sigma Ql}{U}.$$

Teades lubatava pingemuutuse üldist suurust ΔU_{lub} võib leida aktiivtakistustest tingitud pingemuutuse ΔU_a , sest

$$\Delta U_a = \Delta U_{\text{lub}} - \Delta U_r.$$

Lähtudes pingemuutusest ΔU_a , arvutatakse juhtmete ristlõiked valemi abil:

$$s = \frac{Pl}{\gamma \Delta U_a U} \text{ mm}^2.$$

Saadud ristlõiget tuleb ümardada normitud ristlõikeni, mille järel määrata pingemuutus, arvesse võttes r_0 ja x_0 tegelikud väärtused, kuna x_0 oli alguses valitud ligikaudselt. Kui arvutatav pingemuutuse väärtus osutub lubatavast suuremaks, siis tuleb arvutust korrata, muutes vastavalt juhtme ristlõiget. Lisaks pingemuutuse kontrollile tuleb juhtmete ristlõikeid kontrollida ka lubatava voolu suhtes.

Kuna induktiivtakistuste arvestamine teeb liini juhtmete ristlõigete arvutamise võrdlemisi keerukaks, siis tavaliselt määratakse kohalike võrkude juhtmete ristlõiked lihtsustatud korras.

Lähtudes umbes 5%-se täpsuse piiridest, võib elektri-võrkusid arvutada induktiivtakistusi arvestamata järgmistel juhtudel: 1) õhujuhtmetega võrgud, kui $\cos \varphi$ võrdub ligikaudu ühega; 2) kaablivõrgud pingega kuni 10 kV, kui $\cos \varphi$ on vähemalt 0,95 ja ristlõige mitte üle 35 mm^2 ; 3) sisevõrgud, mis on ehitatud nõorjuhtmetega või juhtmete paigutamisel torudesse.

Kuigi kaitiste keerdvoolu-jaotusvõrgud ei vasta iga kord neile tingimustele, arvutatakse ka siin ristlõiked enamikul juhtudel induktiivtakistusi arvesse võtmata.

Peamist kasutamist leiavad siin järgmised valemid:

$$a) s = \frac{Pl}{\gamma \Delta U_a U} \text{ mm}^2,$$

kus s — juhtme ristlõige mm^2 ;

γ — erijuhtivus (juhtme vasel $\gamma = 53 \frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2}$);

l — liini pikkus m;

P — ülekantav aktiivvõimsus W;

ΔU_a — pingemuutuse aktiivkomponent V;

U — pinge liini lõpus V.

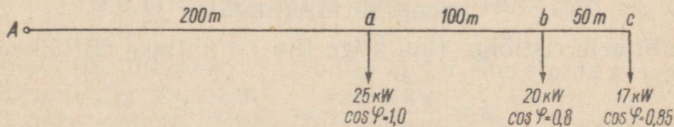
$$b) s = \frac{\sqrt{3} I \cos \varphi}{\gamma \Delta U_a} \text{ mm}^2,$$

kus I — vool juhtmes A , teised tähistused vastavad eespool toodule.

$$c) s = \frac{100Pl}{\gamma \Delta p U^2 \cos^2 \varphi} \text{ mm}^2,$$

kus Δp — võimsuskadu % -des ülekantavast võimsusest.

N ä i d e. Alumiiniumjuhtmetest keerdvoolu-õhuliini nimi-pinge on 380 V; keskmine geomeetriline kaugus juhtmete telgede vahel — 600 mm; $\gamma = 32$.



Joon. 65. Arvutusnäites toodud liini skeem.

Määrata joon. 65 antud aktiivkoormuste ja liiniosade kauguste puhul juhtmete ristlõiked, võttes lubatavaks pingemuutuseks 5%. Määrata ka tegelik pingemuutus, lähtudes valitud ristlõikest.

L a h e n d u s.

Lubatav pingemuutus

$$\Delta U_{\text{lub}} = \frac{5 \cdot 380}{100} = 19 \text{ V}.$$

Väljendame antud koormused aktiiv- ja reaktiivvõimsustena: $P = S \cos \varphi$; $Q = S \sin \varphi$; $S = \frac{P}{\cos \varphi}$ (joon. 66).

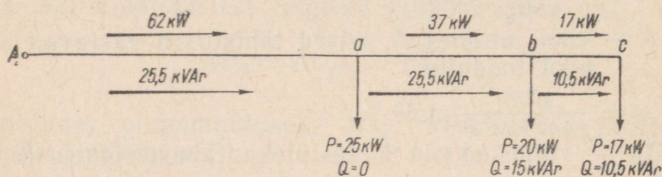
Induktiivtakistuse keskmiseks suuruseks valime

$$x_0 = 0,33 \Omega/\text{km}.$$

Pingemuutuse induktiivkomponent

$$\Delta U_r = x_0 \frac{\Sigma Ql}{U} \text{ V};$$

$$\Delta U_r = \frac{(10,5 \cdot 0,05 + 25,5 \cdot 0,1 + 25,5 \cdot 0,2) \cdot 0,33}{0,38} = 7,1 \text{ V}.$$



Joon. 66. Aktiiv- ja reaktiivkoormuste jaotus arvutusnäites toodud liinis.

Pingemuutuse aktiivkomponent peab olema

$$\Delta U_a = \Delta U_{\text{lub}} - \Delta U_r = 19 - 7,1 = 11,9 \text{ V}.$$

Juhtmete ristlõige (kui kogu liin on ühtlase ristlõikega)

$$s = \frac{\sqrt{3} I l \cos \varphi}{\gamma \Delta U_a} = \frac{Pl}{\gamma \Delta U_a U} =$$

$$= \frac{17000 \cdot 50 + 37000 \cdot 100 + 62000 \cdot 200}{32 \cdot 11,9 \cdot 380} = 117 \text{ mm}^2.$$

Valitud lähem suurem ristlõige A-120, mille $r_0 = 0,27 \Omega/\text{km}$ ja $x_0 = 0,30 \Omega/\text{km}$.

Tegelik pingemuutus

$$\Delta U = \frac{r_0 \Sigma (Pl) + x_0 \Sigma (Ql)}{U} =$$

$$= \frac{0,27(17 \cdot 0,05 + 37 \cdot 0,1 + 62 \cdot 0,2)}{0,38} +$$

$$+ \frac{0,297(10,5 \cdot 0,05 + 25,5 \cdot 0,1 + 25,5 \cdot 0,2)}{0,38} = 12,0 + 6,4 = 18,4 \text{ V}$$

Seega on pingemuutus lubatavais piires.

Kontrollime valitud ristlõiget lubatava voolutiheduse suhtes.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} U} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{3} U} = \frac{\sqrt{62^2 + 25,5^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 102 \text{ A.}$$

Juhe A-120 talub maksimaalselt 375 A, seega koormus on lubatavates piirides ja juhtmete ristlõike valik sõltub antud juhul ainult lubatavast pingemuutusest.

2. ELEKTRIMASINAD

Tööstuses tarbitavast elektrienergiast langeb umbes 75% elektrimootoreile. Seega moodustavad elektrimootorites esinevad elektrienergia kaod kaaluva osa elektrienergia üldkadudest tööstustes.

Suuremaiks kadude põhjustajaks elektrimootorite juures on tühijooks, ala- ja ülekoormus, elektrilise osa tehnilised vead ja laagrite seisund.

Mootorite tühijooks

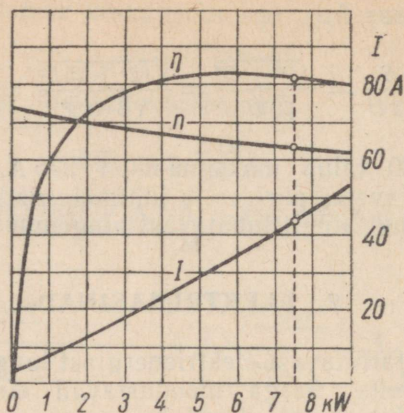
Mootorite tühijooksul tarbitud elektrienergia on otseseks elektrienergia kaoks.

Otseste kadude kõrval (tühijooksukaod) põhjustab tühijooks ka võrgu vajaduseta koormamist reaktiivvõimsusega (tühijooksul on mootori võimsustegur $\cos \varphi = 0,15 - 0,30$).

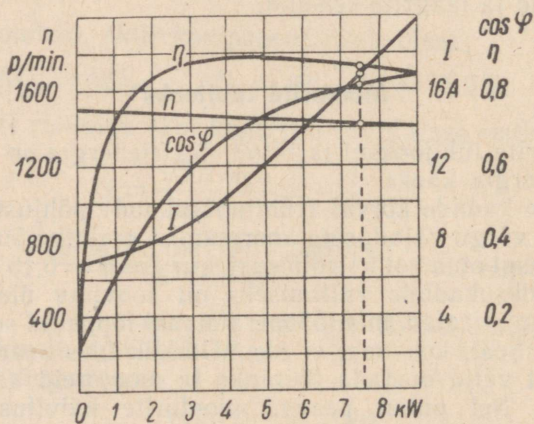
Tühijooksukadude vältimiseks on soovitatav üles seada tühijooksu piirajad, mis tööoperatsiooni lõppedes seiskavad mootori. Seal, kus neid ei ole võimalik üles seada, tuleb vastavalt välja õpetada tööpinke ja mootoreid käsitsevad töötajad. Sel puhul peavad mootorite käivitusseadised olema töökoha juures.

Mootorite ala- ja ülekoormus

Mootorite ülekoormamisel kasutegur kadude suurenemise tagajärjel halveneb. Nagu joonistel 67 ja 68 toodud karakteristikuid nähtub, ei esine kasuteguri maksimaalväärtus mitte iga kord nimikoormuse (nimivõimsuse) juures. Suure pöörlemiskiirusega masinal, millel on võrdle-



Joon. 67. 7,5-kW haruvoolumootori karakteristikud.



Joon. 68. 7,5-kW asünkroonmootori karakteristikud.

misi suured hõõrdumis- ja rauaskaod, on kasuteguri tippväärtus suuremal koormusel, kuna madalama pöörlemiskiirusega masinal esineb kasuteguri tippväärtus juba osalisel koormusel. Et üldiselt suure pöörlemiskiirusega masinad on odavamad, seega ka tarvitavamad, tuleb nende koormust hoida võimalikult nimivõimsuse lähedal. Väiksema pöörlemiskiirusega masinate puhul on võimalik —

kasuteguri seisukohalt — suurem kõrvalkaldumine ala-koormuse suunas, kuid üldiselt tuleb ka siin sellest loobuda võimsusteguri suure halvenemise tõttu, millega kaasuksid lisa-võimsuskaod toitejuhtmeis.

Mootorite elektrilise osa tehnilised vead

Alalisvoolumootorite puhul esinevad kõige sagedamini vigastused ankrumähises, vigastused kommutaatoris, laagrites ja lõpuks vigastused ergutusmähises.

Ankrumähiste vigastusteks on: keerdudevaheline lühis (süü kuulub ka lühis üksikute kommutaatori lamellide vahel); mähise katkestus või mähise ja kommutaatori ühenduskoha halb kontakt (lahtisulamine); mähise või kommutaatori kereühendus.

Keerdudevahelise lühise leidmine ja kõrvaldamine. Keerdudevahelisel lühisel, samuti kommutaatori lamellidevahelisel lühisel, moodustub ankrumähises kinnine vooluahel, milles esinev tugev vool põhjustab lühistatud mähiseosade suurt kuumenemist. Selle kuumenemise tagajärjel söestub lühistatud pooli isolatsioon, mille järgi on võimalik leida mähise vigastatud osa.

Sagedasti on lühised mähises põhjustatud metalli- ja söetolmu sattumisest lamellidevahelisele isolatsioonile. Selline põhjus on kergesti kõrvaldatav lamellidevahelise isolatsiooni puhastamisega. Mõnikord on keerdudevaheline lühis põhjustatud niiskusest, mis mähise isolatsiooni imudes teeb selle juhtivaks. Lühist võib põhjustada ka ülekoormus, sest tugev vool rikub isolatsiooni. Sellisel juhudel tuleb vigane pool välja vahetada. Erijuhtudel, nimelt kui üldine keerdude arv poolis on suur ja vigastatud keerdude arv väike, aitab ka see, kui lühises olevad keerud välja lõigata.

Mähiste katkestuse leidmine ja kõrvaldamine. Katkestuse korral silmusmähistes, samuti halva kontakti korral silmusmähise ühenduse kohtadel kommutaatoriga, «põleb sisse» harilikult see kommutaatori lamell, mis on ühenduses katkestusega või halva ühenduskohaga. Kui hari katab kahte kommutaatori lamelli, mille vahel on mähis katkestatud, siis voolab ankrus normaalse suurusega vool. Ankrupöörlemisel tekib vooluahelas katkestus ja selle tagajärjel säde harja ja lamelli vahel, mis-

tõttu viimase serval tekivad põlemisjäljed. Lainemähise puhul kannatavad lamellid, mis on nihutatud üksteisest eemale kommutaatori sammu võrra; vigastatud lamellide arv võrdub masina pooluspaaride arvuga.

Ankrumähise kereühenduse leidmine ja kõrvaldamine. Kui mähised ei ole uures tugevasti kinni kiilunud, siis ilmneb ankru pöörlemisel nende nihkumine uurdeis, mis on tingitud tsentrifugaal- ja elektrodünaamiliste jõudude mõjust poolidele. Pooli nihkumise tõttu vigastatakse isolatsiooni ja selle tagajärjeks on kereühendus. Mõnikord põhjustab kereühendust ka niiskus, mis on tunginud mähise isolatsiooni.

Maandamata võrkudes masina normaalsel töötamisel mähise või kommutaatori ühekordne kereühendus ei avaldu. Maandatud võrkudes, maast isoleerimata mootori puhul, moodustab kerega ühenduses olev mähise osa kinnise vooluahela, milles esinev tugev vool on võimeline rikkuma tervet mähist.

Kereühenduse olemasolu määramiseks kasutatakse tavaliselt megerit.

Sagedane mähise kereühenduse koht on uurde serv. Vea kõrvaldamiseks tuleb asetada mähise ja raua vahele presspapp või vilgukivi ning kinnitada need šellakiga.

Kui kereühendus on põhjustatud mähise niiskumisest, siis võib vea kõrvaldada masina kuivatamisega.

Ergutusmähise vigastused. Sagedamini esinevad järgmised vigastused: lühis üksikute keerdude vahel, mähise katkestus, kereühendus. Lühise määramiseks tuleb mõõta üksikute poolide takistus. Vigastatud pooli takistus on teiste poolide takistustest väiksem. Mähise katkestuse puhul mootori pöörlemiskiirus tõuseb, generaatori pinge alaneb. Pooli katkestus ja kereühendus määratakse kindlaks oommeetriga. Kereühenduse kõrvaldamiseks asetada pooli alla isolatsioon, näiteks presspapp.

Vahelduvvoolu- ja keerdvoolumasinate vead. Sagedamini esinevad järgmised vead: staatorimähise vigastus, rootorimähise vigastus, laagrite vigastus.

Staatori- ja rootorimähise vigastusteks on: keerdudevaheline lühis mähises, faasidevaheline lühis, mähise katkestus, mähise kereühendus.

Lühise korral staatorimähises moodustub kinnine vooluahel, milles pinge kutsub esile tugeva voolu, mis põhjustab mähise ülemäärast soojenemist.

Lühis rootorimähises põhjustab samuti soojenemist, mille tagajärjeks lattmähise puhul võib olla laupühenduste lahtisulamine. Rootorimähise keerdudevahelise lühise määramisel ühendatakse staator võrku ja mõõdetakse pinge rootori rõngastel. Kui lühist ei ole, näitab voltmeeter võrdset pinget kõigi rõngaste vahel (erandiks on kahefaasiline rootor), lühise puhul aga on pinged erinevad.

Staatoris esineva lühise määramiseks ühendatakse võrguga rootorimähis ja mõõdetakse pinget staatori klemmidel: lühistatud faasis on pinge madalam. Lühise puhul soojeneb lühises olev mähis õige kiiresti, mille järgi võib samuti leida vigastatud koha. Rootori võib lülitada võrku juhul, kui võrgupinge vastab sisselülitatud staatori puhul rootori rõngastel mõõdetud pingele. Kui seda ei ole, tuleb võrgupinget muuta vastava trafoga (näiteks pöördtrafoga).

Sellisel mähiste vigastuste määramisel, olgu see staatori või rootori lülitamisel võrku, tuleb juba ette kindlaks teha mõõtmistel esineda võivate pingete suurus, et mitte sattuda eluohtliku pinge alla.

F a a s i d e v a h e l i n e l ü h i s. Siin ilmneb samuti lühises olevate mähiseosade soojenemine. Vea leidmiseks kasutatakse oommeetrit. Mõõtmise ajaks võetakse faasimähised omavahelistest ühendustest lahti. Lühis esineb tihti laupühendustes ja seda võib kindlaks määrata oommeetriga, mõõtmise ajal laupühendusi liigutades.

Faasidevaheline lühis tekib ka kahekordse kereühenduse korral, kus kerega on ühenduses kahe faasi mähised. Vigastatud koha leidmisel on tarvis see kerest hoolikalt isoleerida ja katta isoleerlakiga.

M ä h i s e k a t k e s t u s e d. Kui katkestus tekib mõnes faasis mootori töötamisel, siis töötab mootor edasi (alakoormuse puhul), kuid ebaloomuliku undamisega. Sellist mootorit ei ole võimalik enam käivitada, sest puudub keerdväli. Katkestuskoha leidmiseks kasutatakse mõõtmist oommeetriga. Katkestus esineb sagedamini staatorimähise otstel, klemmplaadi juures, mõnikord ka üksikute sektioonidevahelistes ühendustes.

Rootori faasimähise katkestused esinevad peamiselt mähise otste ühenduse kohtades kontaktrõngastega. Rootorimähise ühe faasi katkestuse puhul läheb mootor raskesti käima ja töötab umbes poole pöörlemiskiirusega.

K e r e ü h e n d u s. Kui kereühendus on staatori või roo-

tori mähise ühes faasis, siis ei avaldu see maandamata nullpunktiga võrgus üldiselt mootori töös häirivalt. On aga kereühendus kahes faasis, siis moodustub kinnine vooluahel, kus kulgeb tugev vool, mille tagajärjeks võib olla mähise läbipõlemine. Sama nähtus ilmneb juhul, kui üks faasidest on ühenduses maaga, mõni teine faasidest omab aga kereühendust maast isoleerimata mootori puhul.

Ühenduskoha leidmiseks kasutatakse oommeetrit. Mõõtmise juures tuleb mähise otsad klemmplaadilt lahti võtta.

Kereühendused tekivad tihti mähise laupühenduste kokkupuutel kilbiga, samuti mähise uurdest väljatuleku kohal isolatsiooni purunemise tagajärjel. Toodud juhtudel kõrvaldub viga mähise täiendaval isoleerimisel.

Kui kereühendus on tekkinud niiskusest, siis on vea kõrvaldamise parimaks abinõuks masina kuivatamine.

Mootorite laagrite seisund

Suuremate alalisvoolumasinate, sünkroonmasinate, turbogeneraatorite ja ka asünkroonmasinate laagrites tekivad parasiitvoolud, mille mõjul õli laagrites lagundub ja kaotab oma määrdeomadused, kutsudes esile laagrite soojenemise. Parasiitvoolud tekivad laagrites peamiselt järgmistel põhjustel: magnetivoo ebaühtluse tõttu staatori rauas, õhupilu ebaühtluse tõttu staatori ja rootori vahel, rihma hõõrdumisest tingitud staatilistest laengutest, isolatsiooni vigastustest.

Peapõhjuseks on magnetivoo ebaühtlus, mistõttu pulseeriv magnetivoog indutseerib kinnises vooluahelas elektromotoorse jõu, mis kutsub esile võrdlemisi tugeva voolu. Indutseeritud elektromotoorse jõu suurus ulatub mõnest kümnendikust voldist mõne voldini. Rihma hõõrdumisest rihmaratastel võivad tekkida väga suured staatilise elektri laengud. Need laengud, mille potentsiaal võib olla mitu tuhat volti, põhjustavad laagrites samuti voolusid. Kõige ohtlikumad on magnetivoo ebaühtlusest tingitud parasiitvoolud. Voolutihedusel kuni 1 A/cm^2 tekib õli lagunemine, voolutihedusel $1,25\text{--}1,5 \text{ A/cm}^2$ tekivad vigastused laagrite hõõrdumispindadel sööbimistena.

Vool laagrites võib olla tingitud ka vigastatud isolatsioonist, mille tagajärjel tekkisid kereühendus ja ühe faasi maandus. Laagrite hõõrdumispindade ja võlli välis-

pinna sööbimise põhjuste määramisel tuleb silmas pidada, et halb õli, mis sisaldab happeid, põhjustab samu nähtusi.

Oluliseks abinõuks parasiitvoolude eemalehoidmiseks laagritest on viimaste isoleerimine masina alusest. Tavaliselt isoleeritakse ainult üks laagripukkidest. Turbogeneraatoritel isoleeritakse ergutusmasinapoolne laagripukk. Isolatsiooniks kasutatakse õlis keedetud presspappi, kihil paksuseks on 3—5 mm. Tsentraalse määrimise puhul, samuti vesijahutuse korral tuleb isoleerida kõik laagrite juurde tulevad õli- ja veetorud.

Mootorite õige valik

Iga töömasin omab iseärasusi, mida tuleb arvestada veomootori valikul. Et seade tervikuna oleks otstarbekohane, peab veomootor vastama kõigile neile töömasina nõuetele ja omadustele. Seejuures ei tule unustada ka mootori suurust, mis tuleb valida vastavalt töömasina võimsusetarvitusele. Kui veomootori valikul võetakse mootor, mille võimsus on suurem kui töömasina võimsusetarvitus, siis nõuab see suuremaid kulutusi nii seadme soetamisel kui ka ekspluateerimisel. Vahelduv- ja keerdvoolu asünkroonmootoril lisandub sellele veel asjaolu, et osalisel koormusel alaneb tunduvalt $\cos \varphi$.

Madal võimsustegur põhjustab sama võimsuse juures suuremat voolu. Juba seetõttu peab veomootor vastama oma võimsuselt töömasina tegelikule võimsusetarvitusele. Kui mootor valitakse väiksema võimsusega, siis läheb see samuti kallimaks, sest ülekoormusel halveneb kasutegur. Ka langeb ülekoormusel tunduvalt mootori pöörlemiskiirus ja masin soojeneb ülemäära, mis võib põhjustada mähise isolatsiooni vigastumist.

Iga mootori valikul on seega tähtsaks momendiks tööpingi koormuse ja töö iseloomu tundmine. Alles seejärel võib otsustada, milliste omadustega peab olema vastav veomootor.

Mootorite ja töömasinate omadusi. Mootori igale pöörlemiskiirusele vastab kindel pöördemoment. Erandiks on sünkroonmootor, mis pöörleb ainult teatava pöörlemiskiirusega (sünkroonpöörlemiskiirus) ja annab seejuures kõik pöördemomendi väärtused. Töömasin nõuab vastavalt oma pöörlemiskiirusele kindlat pöördemomenti,

mis võimaldab tal sooritada mehaanilist tööd. Ka töömasin omab analoogiliselt mootoriga erisugusel pöörlemiskiirusel erisugust pöördemomenti. Töömasina ja mootori pöördemomentide osas on võimalikud järgmised juhud:

Mootori pöördemoment on suurem töömasina pöördemomendist. Sel puhul mootori pöörlemiskiirus suureneb.

Mootori pöördemoment on väiksem töömasina pöördemomendist. Et töömasin vajab suuremat pöördemomenti kui suudab arendada mootor, siis mootori pöörlemiskiirus langeb.

Mootori ja töömasina pöördemomendid on võrdsed. Pöörlemiskiirus jääb muutumatuks.

Töömasinad konstantse pöörlemiskiirusega. Metallitöötlemismasina, näiteks treipingi töö käigu uurimine näitab, et soodsamad lõikekiirused sõltuvad laastu paksusest, materjalist ja tööpingi iseloomust, mitte aga lõiketera survest, s. o. pöördemomendist.

Treipingi mootor peab töödeldava eseme treimisel teatavale läbimõõdule omama teataval laastu paksusel pöörlemiskiiruse, mis ei muutu, vaatamata lõiketera surve suurusle. Seega peab mootor omama püsival pöörlemiskiirusel mitmesuguseid pöördemomendi väärtusi. Seda omadust nõuavad peaaegu kõik metalli- ja puidutöötlemismasinaid, tekstiilimasinaid, paberimasinaid, piimaseparaatorid jne.

Toodud nõudeid täidavad haruvoolu-karakteristikuga mootorid, millel pöörlemiskiirus langeb ka suurel koormusel ainult mõne protsendi võrra. Haruvoolu-karakteristikuga mootoritest leiavad kasutamist: alalisvoolu-haruvoolumootor, keerdvoolu-asünkroonmootor ja ühefaasiline induktsioonmootor.

Töömasinad suurtes piirides muutuva pöörlemiskiirusega. Tõste- ja sõidukraanade töö iseloom nõuab, et kergemaid raskusi saaks tõsta kiiremini, suuremaid seevastu aga aeglasemalt. Sellele lisandub tihti nõue suurema algpöördemomendi järele. Selliseid omadusi nõuavad ka veovahendid, transportöörid, hoogmassidega veoseadmed jne.

Muutuva pöörlemiskiirusega töömasinatel muutub töötlemise kiirus sõltuvalt koormusest: koormuse vähenemisel kiirus tõuseb, koormuse suurenemisel aga langeb.

Elektrimootorid, mis vastavad neile nõudeile, omavad peavoolu- või kompaund-karakteristikut.

Peavoolu karakteristikuga mootoritest leiavad kasutamist alalisvoolu-peavoolumootor ja harva ka ühefaasiline ja keerdvoolu-kommutaatormootor peavoolu-karakteristikuga.

Alalisvoolu-peavoolumootor omab head algpöördemomenti ja talub ülekoormust (trammimootorid). Ühefaasilised peavoolu-karakteristikuga vahelduvvoolumootorid on kasutamisel peamiselt elektriraudteedel. Väikesi univertsaalmootoreid kasutatakse majapidamises ja tööstuses väikeriistadel, nagu puurmasinad, tolmuimejad jne.

Suure algpöördemomendiga töömasinad. Masinad suurte massidega, nagu valtsid, hoorattad, pikad transportöörid, paberitöötlemismasinad, trükimasinad, pöördahjud tsemenditööstuses jne., nõuavad suurt algpöördemomenti, mis ületab nimipöördemomendi mitmekordselt. Suur algpöördemoment on vajalik suurtele masinatele kiirenduse andmiseks. Selliste täiskoormusega töömasinate käivitamine tingib veomootori ülekoormamist väikestel pöörlemiskiirustel.

Kasutamist leiavad alalisvoolu-peavoolumootor, alalisvoolu kompaundmootor, kontaktrõngastega keerdvoolumootor ja harva ka kommutaatoriga keerdvoolumootor, ühefaasilised peavoolu- ja repulsioonmootorid.

Suurt kiiruse reguleerimist vajavad masinad. Treipink vajab iga treitava eseme läbimõõdu jaoks eri pöörlemiskiirust. Paberitööstuses nõuab iga paberiliigi töötlemine eri kiirust. Selliste töömasinate veomootor peab võimaldama reguleerida pöörlemiskiirust suurtes piirides, kusjuures tööpöörlemiskiirus peab olema püsiv. Mootor peab seega omama haruvoolu-karakteristikut.

Kasutamist leiab alalisvoolu-haruvoolumootor, kiiruste reguleerimine on võimalik magnetivälja nõrgendamisega 1:3 kuni 1:4. Suurema reguleerimise võimaluse (kuni 1:10 ja erijuhtudel ka enam) annab reguleerimine pinge muutmiseega.

Kommutaatoriga keerdvoolu-haruvoolumootor võimaldab reguleerida pöörlemiskiirust kuni 1:15.

Mootori võimsuse valik. Enamikul juhtudel on mootori võimsuse valiku aluseks mootori soojenemine: sel alusel valitud mootori võimsust kontrollitakse hetkelise ülekoormuse suhtes.

Mootori lubatav temperatuur sõltub kasutatud isoleer-

aineist, mis vastavalt ГООТ-ile 183-41 jaotatakse viide klassi:

1. Klass A: Puuvill, siid, paber ja teised taolised orgaanilised materjalid, immutatuna või asetatuna õlisse; siia kuuluvad ka emallakid, mida kasutatakse juhtmete katmiseks.

2. Klass B: Sideainet sisaldavad tooted vilgukivist ja asbestist.

3. Klass BC: Kuumuskindla lakiga tooted vilgukivist, klaasriidest ja asbestist.

4. Klass CB: Kuumuskindla lakiga tooted vilgukivist, klaasriidest ja asbestist, mille juures ei kasutata klassile A vastavaid isoleeraineid.

5. Klass C: Sideaineteta vilgukivi ja klaasriie, portselan, klaas, kvarts ja teised taolised materjalid.

Kui isolatsioon sisaldab erinevast klassist isoleermaterjale, siis iga üksiku materjali temperatuur ei tohi ületada selle materjali lubatavat temperatuuri.

Järgnevas tabelis 14 on toodud elektrimasinate soojenemise määrad, millede ületamine ei ole lubatav, sest see põhjustab kas otsest isolatsiooni hävimist või selle tööea tunduvalt lühenemist.

Tabelis 14 on antud lubatavate piirtemperatuuride asemel lubatavad ületemperatuurid, s. o. soojenenud masinaosa ja ümbruskonna temperatuuride vahe. Seejuures maksimaalseks jahutusõhu temperatuuriks on võetud $+35^{\circ}\text{C}$.

Masina üksikosade temperatuuri võib määrata otseste mõõtmistega termomeetri abil, takistustermomeetri, termopaari või mähiste takistuste mõõtmise teel enne ja pärast masinaosa soojenemist.

Igale töömasinale valitud mootori võimsus peab olema selline, et antud koormusel selle temperatuur ei ületaks normides ettenähtud väärtusi.

Kui mootori koormus jääb pikemat aega püsivaks, siis püstitatud tingimust rahuldava mootori võimsuse valik ei tekita raskusi. Muutuva koormuse tingimustes on sobiva mootori võimsuse valik keerukam.

Seetõttu eristatakse mootori võimsuse valikul mootori järgmisi töörežiime:

1. püsiva koormusega kestev töörežiim,
2. lühiajalise koormusega töörežiim,
3. vaheajaline töörežiim.

Masinaosade maksimaalsed lubatavad ületemperatuurid (ГОСТ 183-41)

Masinaosad		Isolatsioon klass A				Isolatsioon klass B			
		Termomeetri järgi °C	Takistuse järgi °C	Takistus- termo- meetri või termo- paari järgi		Termomeetri järgi °C	Takistuse järgi °C	Takistus- termo- meetri või termo- paari järgi	
				Poolide vahel uurdes °C	Pooli ja põhja vahel °C			Poolide vahel uurdes °C	Pooli ja põhja vahel °C
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. a) Üle 5000-kVA turbogeneraatorite mähised									
b) Üle 5000-kVA üksikpoolustega vahelduvvoolumasinate ja asünkroonmasinate mähised, südamikuga pikkusega 1 m ja enam		—	—	65	55	—	—	85	75
2. a) P. 1 toodetest väiksema võimsusega vahelduvvoolumasinate mähised									
b) Alalisvoolu- ja alalisvooluga ergutatavate vahelduvvoolumasinate ergutusmähised (mitmekihilised), välja arvatud p. 2 ja 3 märgitud									
c) Kommutaatoriga ühendatud ankrumähised		60	65	—	—	75	85	—	—

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3. a)	Ühekihilised ergutusmähised	70	70	—	—	95	95	—	—
b)	turbogeneraatorite ergutusmähised ja asünkroonmasinate rootorite varrasmähised, kui varaste arv uurdes ei ole üle kahe	—	70	—	—	—	95	—	—
4.	Väikese takistusega mitmekihilised ergutusmähised ja kompensatsioonmähised	65	65	—	—	85	85	—	—
5.	Kestvalt lühistatud isoleeritud mähised	65	—	—	—	85	—	—	—
6.	Kestvalt lühistatud isoleerimata mähised	Nende osade ületemperatuur ei tohi küündida suuruseni, mis ohustaks isoleerivaid või muid lähedal asuvaid materjale							
7.	Terassüdamikud ja muud mähistega kokupuutuvad osad								
8.	Terassüdamikud ja muud mähistega kokupuutuvad osad	65° C, kui mähise isolatsioon kuulub klassi A; 85° C, kui mähise isolatsioon kuulub klassi B ja aktiivterase lehed on isoleeritud vastava lakiga							
9.	Kontakttrõngad, kaitsitud ja kaitsmata	70	—	—	—	90	—	—	—
10.	Kommutaatorid	65	—	—	—	85	—	—	—
11.	Liugelaagrid	45	—	—	—	45	—	—	—
12.	Veerelaagrid	60	—	—	—	60	—	—	—

Mootori võimsuse valik lühiajalise ja muutuva koormusrežiimiga töömasinale. Mootori koormuse muutudes muutub ka võrgust tarbitav

võimsus. Sõltuvalt sellest muutub mootori vaseskadude ja rauaskadude arvel eralduva soojuse hulk.

Kui mootor koormatakse tõukeliselt, s. o. lühiajaliste koormusperioodidega, siis mootor ei soojene sedavõrd, kui ta soojeneks sama suure pideva koormuse juures. Koormusperioodide vaheaegadel, sõltuvalt nende pikkusest, mootor teatud määral isegi jahtub. Selle tulemusel mootor ei jõua tööperioodi lõpuks soojeneda lubatava määraneni. Seega mootor ei leia täiel määral ära kasutamist.

Järelilikult võib sellise võimsusega mootorit koormata enam või valida selle asemel väiksema võimsusega mootor.

Lühiajalise koormusrežiimiga mootori võimsus valitakse kas voolu või võimsuse keskmise väärtuse järgi.

Mootori võimsuse määramine voolu keskmise väärtuse järgi. Määramisviisi aluseks on eeldused:

a) koormuse suuruselt sõltuvad ainult vaseskaod, kuna aga rauaskaod jäävad muutmatuks;

b) muutuva koormuse kestus on lühike, võrreldes üldise töötamise perioodi kestusega;

c) mootor töötab ka koormuse puudumise perioodil (mis on samuti lühike).

Energia, mis eraldub mootori mähistes soojuskadude arvel mingi ajavälte t_x jooksul, kui mähiseid läbib vool i_x , väljendub Lenz-Joule'i seaduse alusel järgmiselt:

$$A = i_x^2 R t_x W_s,$$

kus R — staatori ja rootori mähiste takistus Ω ;

i_x — vool A ;

t_x — aeg sek.

Tööperioodi jooksul eraldub mootoris soojus

$$A = R \sum_1^n i_x^2 t_x W_s.$$

Sama soojushulk eralduks mootori mähistes, kui neid läbistaks sama tööperioodi T vältel mingi keskmine vool I_k .

Eralduv energia

$$A = I_k^2 R T W_s.$$

Mõlema valemi võrdsustamisel saame, et

$$I_k = \sqrt{\frac{i_1^2 t_1 + i_2^2 t_2 + \dots + i_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} A,$$

kus $t_1 + t_2 + \dots + t_n = T$.

Arvutades selliselt voolu väärtuse, valitakse kataloogist vastav mootor, mille nimivool antud pinge ja vooluliigi juures ei ole väiksem arvutatud voolust.

Antud arvutusmeetodi kasutamine eeldab töomasina kohta koormusgraafikute olemasolu amprites, sest vastavad ümberarvutused on seotud täiendavate ebatäpsustega (koormusvoolu kõvera ehitamiseks on vaja teada mootori kasutegurit, keerdvoolu puhul ka võimsustegurit, mis sõltuvad aga koormusest).

Mootori võimsuse määramine töomasina võimsuse keskmise väärtuse järgi. Et töomasinate koormuse muutumine peegeldub nende võimsusekõveratest, siis võetaksegi töomasinale vajaliku mootori võimsuse määramise aluseks töomasina võimsusekõverad.

Voolu keskmise väärtuse asemel kasutatakse valemis võimsuse keskmist väärtust.

$$P_k = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} \text{ kW.}$$

Selliselt määratud võimsuse järgi valitakse kataloogist lähem suurem mootor, mille võimsust kontrollitakse veel ülekoormuse suhtes.

Kui mootori maksimaalne koormus on P_{\max} , siis lubatava ülekoormuse seisukohalt ta nimivõimsus peab rahuldama tingimust:

alalisvoolumootoritel:

$$P_n \geq \frac{P_{\max}}{1,5},$$

keerdvoolu-asünkroonmootoritel:

$$\text{lühisrootoriga } P_n \geq \frac{P_{\max}}{1,65};$$

$$\text{faasirooriga } P_n \geq \frac{P_{\max}}{1,8}.$$

Näide. Keerdvoolu lühisrootoriga asünkroonmootori völl on ühendatud hammasajami ja hammaslati kaudu hõõvelpingi lauaga.

Mootori võimsusetarvituse kõver näitab, et aja vältel $t_1 = 0,25$ sek., mis kulub mootori võrku lülitamisest kuni täiskiiruse saavutamiseni, ta tarbib keskmiselt 6 kW võimsust. Sellele järgneval ajavahemikul $t_2 = 1$ sek. viib laud töödeldava eseme lõiketera alla (võimsusetarvitus 2,0 kW). Ajavahemiku $t_3 = 10$ sek. vältel toimub eseme hõõveldamise operatsioon, mispuhul tarbitakse võimsust keskmiselt 5 kW. Järgneval ajavahemikul $t_4 = 1$ sek. toimub lõiketera eemaldumine esemest (võimsusetarvitus 2,0 kW). Aja vältel $t_5 = 0,5$ sek. toimub mootori väljalülitamine võrgust ja ümberlülitamine teisele pöörlemissuunale. Aja vältel $t_6 = 0,25$ sek. saavutab mootor täiskiiruse (võimsusetarvitus 6 kW). Aja vältel $t_7 = 12$ sek. toimub tagasikäik (võimsusetarvitus 2,0 kW). Tagasikäigu lõpul mootor pidurdatakse ja ta jääb seisma ajaks $t_8 = 0,5$ sek. Kogu tsükkel kestab 25,5 sek.

Asetades toodud suurused keskmise võimsuse valemisse, saame:

$$P_x = \sqrt{\frac{P_1^2 t_1 + P_2^2 t_2 + \dots + P_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}} =$$

$$= \sqrt{\frac{6^2 \cdot 0,25 + 2^2 \cdot 1 + 5^2 \cdot 10 + 2^2 \cdot 1 + 6^2 \cdot 0,25 + 2^2 \cdot 12}{0,25 + 1,0 + 10 + 1 + 0,5 + 0,25 + 12 + 0,5}} =$$

$$= 3,6 \text{ kW.}$$

Kataloogist valitakse mootor nimivõimsusega $P_n = 4,3 \text{ kW}$.

Kontrollime valitud mootori võimsust ülekoormuse suhtes.

$$P_n \geq \frac{P_{\max}}{1,65}; \quad P_{\max} = 6 \text{ kW}; \quad \frac{6}{1,65} = 3,6 \text{ kW.}$$

Seega $P_n = 4,3 > 3,6$, järelikult mootor sobib.

Mootori võimsuse valik vaheajalise koormusrežiimiga töömasinale. Mõnede töömasinate koormus on sedavõrd ebamäärane, et ei ole võimalik ehitada koormusgraafikut. Sel korral on võimalik valida mootorit selle eksploatatsioonitegurite abil.

Ekspluatatsioonitegurid iseloomustavad mootori kasutamise astet ajas ja võimsuses.

Ajaline kasutamistegur (ka lülitustegur) on mootori töötamise aja T suhe kogu tööperioodisse T_0 , mis arvestab ka mootori seisuaega:

$$E' = \frac{T}{T_0}.$$

Võimsuse kasutamistegur on keskmise võimsuse ja maksimaalse võimsuse suhe:

$$E'' = \frac{P_k}{P_{\max}}.$$

Toodud tegurite korrutis annab üldise ekspluatatsiooniteguri

$$E_{\text{eks}} = E' E''.$$

Teades tarbitavat maksimaalset võimsust ja masina ekspluatatsiooniteguri, on võimalik määrata ligikaudselt mootori võimsus valemiga

$$P = P_{\max} \sqrt{E_{\text{eks}}}.$$

Alalis- ja vahelduvvoolu-kraanamootorid töötavad pidevalt vaheajalises režiimis. Need mootorid on arvestatud ja ehitatud sellisele töörežiimile.

Kataloogides antakse kraanamootorite võimsused tavaliselt nn. suhtelise lülitusteguri ε (ka ПВ) kolme väärtuse kohta:

$$\varepsilon = 15\%, \quad \varepsilon = 25\% \quad \text{ja} \quad \varepsilon = 40\%.$$

(ПВ = 15; ПВ = 25; ПВ = 40)

Suhteline lülitustegur on ajaline kasutamistegur, avaldatuna %-des.

Ainult vaheajalisele töörežiimile arvestatud mootori (näiteks kraanamootori) võimsuse valik toimub järgmiselt. Määratakse keskmine võimsus P_k , arvestamata seisuaegu, ja suhteline lülitustegur ε . Viimast võib leida antud tsükli arvust tunnis z ja mootori töötamiskestusest t ühe tsükli vältel.

Kui ajad t (töötamiskestus) ja t_0 (vaheaeg) on antud sekundites, siis tsükli arv tunnis

$$z = \frac{3600}{t + t_0} \text{ ja}$$

$$\varepsilon = \frac{tz}{3600} \cdot 100 (\%)$$

Kuna arvutatud ε (ПВ) läheb harilikult lahku kataloogis märgitud väärtustest, siis võimsus P_k tuleb ümber arvutada kataloogi lähima ε_{kat} väärtusele.

Selleks võib lähtuda suhtest:

$$\frac{P^2}{P_k^2} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{\text{kat}}},$$

millest otsitav mootori võimsus

$$P = P_k \sqrt{\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{\text{kat}}}}.$$

N ä i d e. Määrata keerdvoolu-kraanamootori võimsus; kraana töötab 23 tsükliga tunnis. Tsükkel koosneb neljast operatsioonist: raskuse tõstmine (2 sek. vältel võimsus 32 kW, 14 sek. vältel võimsus 26 kW); tühja konksu tõstmine (2 sek. vältel võimsus 11,6 kW, 9 sek. vältel võimsus 5,7 kW); tühja konksu allalaskmine (2 sek. vältel võimsus 7 kW, 15 sek. vältel võimsus 1,1 kW), ja raskuse allalaskmine. Viimane operatsioon teostub väljalülitatud mootoriga.

Lahendus.

Määrame keskmise võimsuse:

$$P_k = \sqrt{\frac{32^2 \cdot 2 + 26^2 \cdot 14 + 11,6^2 \cdot 2 + 5,7^2 \cdot 9 + 7^2 \cdot 2 + 1,1^2 \cdot 15}{2,0 + 14 + 2,0 + 9 + 2,0 + 15}} =$$

$$= \sqrt{\frac{12190}{42}} = 17 \text{ kW}.$$

Suhteline lülitustegur

$$\varepsilon = \frac{tz}{3600} \cdot 100 = \frac{42 \cdot 23}{3600} \cdot 100 = 27\%.$$

Arvutame ümber võimsuse lähimale kataloogi väärtusele $\varepsilon_{\text{kat}} = 25\%$.

$$P = P_k \sqrt{\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{\text{kat}}}} = 17 \sqrt{\frac{27}{25}} = 17,7 \text{ kW}.$$

Valime kataloogist mootori võimsusega 22 kW.

3. VALGUSTUSSEADMED

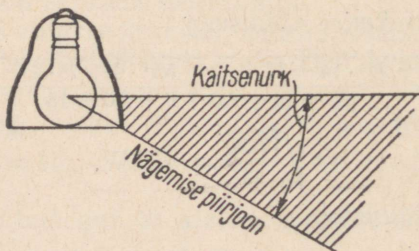
Valgustusseadmeis põhjustavad kadusid peamiselt elektrivalgustuse ebasäästlik kasutamine ja ebateadlik valgustuspunktide suuruse, asetuse ning valgusti tüübi valik.

Vajadus kasutada elektrivalgustust säästlikult ei nõua lähemat selgitamist. Ka on arusaadav, et elektrivalgustuse projekteerimine, s. o. lampide suuruse ja arvu valik peab toimuma asjatundlikult. Võimaldab ju õigesti valitud valgustus töötada silmal rahulikult ning produktiivselt. Tööstuses suurendab ratsionaalselt lahendatud valgustus tööviljakust, parandab toodangu kvaliteeti, vähendades samal ajal praaki. Hea valgustus tõstab ka töötervishoiu taset, vähendab tööõnnetuste arvu, soodustab ruumide puhtust.

Valgustid

Elektrilampide valgusvoo jaotamine parimate nägemistingimuste saavutamiseks toimub valgustite abil. Valgusti valguse jaotuskõverad näitavad valgustugevuse jaotumist valgustatavas ruumis.

Silma kaitsmise astet valgusallika kiirgava pinna pimestava mõju eest iseloomustatakse valgusti kaitsenurkiga.



Joon. 69. Valgusti kaitsenurk.

nurgaga, mis moodustub lambi hõõgniiti läbiva horisontaaltasapinna ja kiirgava hõõgniidi nägemise piirjoone vahel (joon. 69).

Siseruumis on kasutamisel kolm valgustamisviisi:

Otsene valgustamine. Sel juhul langeb valgus

otse valgustatavale esemele. Varjud on tugevad ja teravad. Kasutatakse tumedate lagedega ruumides, töökodades ja üksikute tööpinkide ning -laudade valgustamisel.

Poolkaudne valgustamine. Osa valgust langeb alla, osa üles — vastu valget lage, kust ta uuesti alla peegeldub. Varjud on mahedad. Tarvitusel heledate lagedega ruumides, nagu eluruumides, joonestussaalides, büroodes, koolides jne.

Kaudne valgustamine. Valgus juhitakse tervikuna vastu lage. Varjud puuduvad peaaegu täielikult. Tarvitusel eluruumides, teatrites ja kinodes. Tööruumide valgustusena ei ole sobiv, sest valguskaod on suured.

Soovitud valgustamisviisi kasutamist võimaldavad vastava ehitusega valgustid, kusjuures lambi valgusvoo suunamist, selle peegeldamist, hajutamist ja varjamist otsese nägemise eest võimaldavad valgusti konstruktsioonis valitavad materjalid. Valguse varjamiseks kasutatakse materjale, millede läbilasketegur on null ja peegeldamistegur võimalikult suur. Sellisteks materjalideks on alumiiniumplekk, emailitud plekk, tinutatud plekk, metallide ja klaasi peegelpind jne.

Valguse hajutamiseks kasutatakse võimalikult suure läbilasketeguriga difuusselt läbilaskvaid materjale. Peamist kasutamist leiavad mitmesugused klaasi liigid, nagu matt- ja piimklaas. Mattklaas, mis on krobestatud pinnaga tavaline klaas, on väiksema hajutusvõimega kui piimklaas (opaal-, ka tuhmklaas), mille pinnad on siledad, kuid milles leidub palju kehakesi, mis hajutavad valgust.

Üldiselt esineb kaks valgusti põhitüüpi — reflektor ja difuusor. Reflektor peegeldab valgust teatavas suunas ja varjab valgusallikat otsese nägemise eest. Difuusorid hajutavad valgusallika valgusvoo suuremale pinnale, nii et pinna heledus jääb silmale talutavasse piiridesse. Difuusori algkujuks on kas kera või koonus, mille keskel asetseb lamp, tema materjaliks kasutatakse peamiselt piimklaasi.

Nende kahe põhitüübi kombineerimine võimaldab saada palju erinevate omadustega valgusteid.

Peamist kasutamist leiavad järgmised valgustid:

1. Alfa. Lampidele võimsusega kuni 60 W, 36 V. Kasutatakse töökoha valgustamiseks.

2. Universal. Valmistatakse kahes suuruses: lam-

pidete kuni 200 W ja lambile 500 W. Põhiline tööstusruumide valgusti. Väikestel riputuskõrgustel kasutatakse varjuga. Tavaline riputuskõrgus — 4—6 m.

3. S ü g a v k i i r g a j a, e m a i l i t u d. Valmistatakse kolmes suurus: lampidele kuni 200 W, 500 W ja 1000 W. Kasutatakse samuti tööstushoonetes.

4. S ü g a v k i i r g a j a, p e e g e l r e f l e k t o r i g a. Lampidele kuni 500 W. Kohane kasutamiseks kõrgetes ruumides, alates umbes 8—10 m.

5. K o o n i l i n e v a l g u s t i (lütsett tervikklaasist). Valmistatakse lampidele võimsusega kuni 200 W. Väga levinud kontoritüüpi ruumide valgustamisel. Peamiselt otseks valgustamiseks, mistõttu kasutatakse ka vähese tolmuuga tööstusruumides ja ladudes kõrgustel mitte üle 4—5 m ning heledate seinte ja lagede puhul.

6. P i i m k l a a s i s t k u u l. Kasutatavad suurused:

lähimõõduga 150 mm —	lambile kuni	60 W.
” 250 mm —	”	150 W.
” 350 mm —	”	300 W.
” 500 mm —	”	1000 W.

Kasutatakse õppe- ja raviasutustes, samuti joonestus-saalides, elu- ja ühiskondlike ruumide valgustamisel. Leiab laialdast kasutamist lihtsa dekoratiivse valgustina tänavate, parkide, aedade jne. valgustamisel.

7. L a e v a l g u s t i. Valmistatakse ühele ja kahele lambile võimsusega kuni 60 W. Kasutatakse madalamate ruumide valgustamiseks.

8. P o r t s e l a n v a l g u s t i. Lambile võimsusega kuni 60 W. Esineb ka plastmassist kerega. Kasutatakse niisketes, eriti niisketes, tolmustes ja sööbivate gaasidega madalamates ruumides.

9. P H — k a e v a n d u s e v a l g u s t i. Valmistatakse kolmes suuruses:

PH—60, PH—100 ja PH—200.

Kasutatakse tolmustes ja tuleohtlikes ruumides.

10. H O Б j a H O Г — eriti plahvatuskindlad valgustid. Valmistatakse kahes suuruses:

$\frac{H O Б - 150}{H O Г - 100}$ ja $\frac{H O Б - 300}{H O Г - 200}$

Kasutatakse peaaegu eranditult plahvatusohtlikes ruumides.

11. В3Г—В3Б — plahvatuskindlad valgustid. Kasutatakse plahvatusohtlikes ruumes.

12. В4А — valgustid vesinikku sisaldava keskkonna jaoks. Kasutatakse vastavates plahvatusohtlikes ruumes.

13. СИУ—300 ja СИУ—500 — välisvalgustid. Kasutatakse tänavate ja teede valgustamiseks.

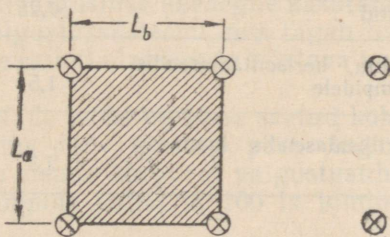
14. Л13 А 22 (2×20),

Л13 А 23 (2×30),

Л13 А 24 (2×40), Riia elektriinstallatsioonmaterjalide tehase poolt valmistatud valgustid luminesentslampide jaoks, pingele 220 V. Leiavad kasutamist tööstusruumides.

Valgustite asetus

Valguse jaotus valgustataval pinnal sõltub valitud valgusti tüübist ja ka valgusallikate vahelisest suhtelisest kaugusest $L:h$, kus h on valgusti riputuskõrgus, mõõdetuna valgustist kuni valgustatava pinnani. Valgustuse ebahühtlus sõltub valgustitevahelisest suhtelisest kaugusest ja nende valgusejaotuse iseloomust (vt. tabel 15). Valgustite asetamisel ridastikku, kui valgustitevahelised väljad, vaadatuna plaanis, moodustavad nelinurgad (joon. 70)



Joon. 70. Valgustid on asetatud ridastikku.

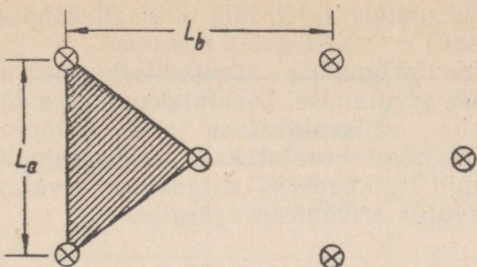
on keskmine (geomeetriline) valgustitevaheline kaugus määratav valemiga $L = \sqrt{L_a L_b}$, kus L_b ja L_a on valgustitevahelised kaugused piki- ja ristirida.

Valgustitevaheline suhteline kaugus

Valgusti tüüp või iseloomustus	Sobivaim valgustitevaheline suhteline kaugus $L : h$	Äärmine välja laius valgustite asetsemisel ühes reas piki välja telge
Sügavkiirgaja, peegelreflektoriga; peegel-lamp	1,2	0,75 h
Sügavkiirgaja, emailitud; kooniline valgusti	1,5	1,0 h
Universaal, varjuga ja ilma	1,7	1,2 h
Eriti plahvatuskindlad ja plahvatuskindlad valgustid reflektoriga	1,6 — 1,8	1,2 h
Laevalgusti kahele lambile	1,9	1,3 h
Enam-vähem ühtlase valgusjaotusega valgustid, nagu: kuul, laevalgusti ühele lambile, portselanvalgustid, eriti plahvatuskindlad ja plahvatuskindlad valgustid reflektorita	2 — 2,3	1,3 h
Restikujuliste varjudega luminescentslampide valgustid	1,25	
Sama, kuid varjuta, horisontaalasendis luminescentslampidele	1,5	
Sama, kuid vertikaalasendis luminescentslampidele	2,3	

Valgustite asetamisel malekorras (joon. 71) on soovitatav valida $L_b = \sqrt{3} L_a$, sel juhul keskmine kaugus $L = L_a$.

Valgustite kauguseks laest on tavaliselt 0,5—0,7 m, mõnikord ka suurem, kuid mitte üle 1,5 m. Äärmiste valgustite kauguseks seintest on tavaliselt 0,3—0,5 L , kusjuures suurem kaugus vastab juhule, kus seinte lähedal puuduvad töökohad.



Joon. 71. Valgustid on asetatud malekorras.

Valgustussüsteemid. Tehakse vahet kolme valgustussüsteemi vahel: üldvalgustus, kohtvalgustus ja kombineeritud valgustus.

Üldvalgustuse puhul paiknevad valgustid kaunis kõrgel tööpinkide kohal, olles jaotatud ühtlaselt üle terve ruumi.

Üldvalgustuse ülesandeks on luua teatud valgustustihe kogu ruumi ulatuses (näiteks töötoas, bürooruumis, teatrisaalis jne.).

Kohtvalgustus tagab ettenähtud valgustistihe ainult töökohal (näiteks töölaual, tööpingil või masinal). Ainult kohtvalgustuse kasutamine ei ole normidega lubatav, sest sellega ei ole tagatud küllaldane valgustus masinate- ja tööpinkidevahelistes käikudes.

Üld- ja kohtvalgustuse üheaegne kasutamine annab kombineeritud valgustussüsteemi, mis tagab teatud valgustistihe terve ruumi ulatuses ja nõutava valgustistihe töökohtadel.

Kui töökohtade jaoks on sisse seatud kohtvalgustus, siis sellele lisanduv üldvalgustus peab tagama töökohtade piirkonnas ja nende kõrgusel valgustistihe vähemalt 30 lx hõõglampide puhul ja 100 lx luminesentslampide puhul.

Lampide arv ja suurus. Lampide arvu ja suuruse määravad kindlaks ühelt poolt ruumi kõrgus ja ehitusviis (talad, sambad, sõrestikud jne.), teiselt poolt aga valgustite tüüp, töökohtade asetus ja ka valgustuse isoleerimise ja suuruse kohta ülesseatavad nõuded.

Et määrata ruumile vajalikku lampide arvu, või valitud lampide arvu juures määrata saavutatav valgustistihe

valgustatavas ruumis, tuleb läbi viia sellekohased valgustuse arvutused.

Siseruumide valgustuse arvutamiseks on mitu viisi. Üldvalgustuse arvutamisel kasutatakse nn. kasutegurimeetodit. Töökoha-, välisvalgustuse ja ka kaldpindade valgustuse arvutamisel kasutatakse punktimeetodit.

Kiireks, kuid ligikaudseks valgustuse arvutamise meetodiks on arvutus erivõimsuse järgi.

Valgustuse arvutus kasutegurimeetodil

Kasutegurimeetodit kasutatakse ruumide üldvalgustuse arvutamisel. Seejuures määratakse sümmeetriliselt asetsevate üldvalgustuse valgustitega horisontaalsel töötamispinnaal (selle kõrguseks põrandast loetakse tavaliselt 0,8 m) saavutatav valgustustihedus. Töötamispinnaal valgustavad siseruumes mitte ainult lambist otseselt kiirguvad, vaid ka laest ja seintelt tagasipeegelduvad valguskiired. Kasutegurimeetodit tulebki soovitada peamiselt hajutatud valgustussüsteemi kasutamisel, sest siin võetakse arvesse ka tagasipeegelduv valgusvoog.

Üldine valgusvoog F , mis on vajalik valgustataval pinnal S keskmise valgustustiheduse E_k saavutamiseks, arvutatakse valemi abil:

$$F = \frac{EkzS}{n\eta} \text{ lm,}$$

kus E — normidega lubatav minimaalne valgustustihedus lx (tabelid 17 ja 18);

k — varutegur, mis võtab arvesse valgustuse nõrgenemist aja jooksul, tingituna valgusallika vanemisest ja valgustite, lagede ja seinte määrdumisest (tabel 16);

$z = \frac{E_k}{E}$ — ebaühtlustegur (tabel 19);

S — valgustatav pind m^2 ;

n — valgustite arv;

η — valgustustehniline kasutegur — tähistab valgustatava pinna valgusvoo F suhet lampide valgusvoosse F_1 . Valgustustehniline kasutegur sõltub ruumi valgustusviisist, seinte ja lae värvusest, valgustite riputuskõrgusest ja ka valgustite tüübist.

Varuteguri k väärtused

Ruumi iseloomustus	Valgustite puhastamise perioodsus (minimaalne)	Varutegur k	
		luminescentslampide puhul	hõõglampide puhul
1. Ruumid, kus tootmisprotsessis eraldub palju tolmu, suitsu või tahma	4 korda kuus	2,0	1,7
2. Ruumid, kus tootmisprotsessis eraldub keskmiselt tolmu, suitsu või tahma	3 korda kuus	1,8	1,5
3. Ruumid, kus tootmisprotsessis eraldub vähe tolmu, suitsu või tahma	2 korda kuus	1,5	1,3
4. Katmata pinnad	3 korda aastas	1,5	1,3

Tabel 17

Valgustustiheduse normid tööstusruumide kohta

Töö iseloomustus	Eraldatava objekti suurus mm	Tööde liik	Alaliik	Objekti kontrast-sus tausta suhtes	Taust	Minimaalne valgustustihedus lx			
						Luminescentslampide puhul		Hõõglampide puhul	
						Kombineeritud valgustus	Ainult üldvalgustus	Kombineeritud valgustus	Ainult üldvalgustus
						7	8	9	10
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Eriti täpne	0,1 ja väiksem	l	a	väike	tume	3000	750	1500	300
			b	väike	hele	—	—	—	—
			c	keskm.	tume	2000	750	1000	300
			c	keskm.	hele	—	—	—	—
			d	suur	tume	1500	500	750	300
			d	suur	hele	750	300	400	150

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Suure täpsusega	üle 0,1 kuni 0,3	II	a	väike	tume	2000	750	1000	300
			b	väike keskm.	hele tume	— 1000	— 400	— 500	— 150
			c	keskm. suur	hele tume	— 750	— 200	— 400	— 100
			d	suur	hele	500	150	300	75
Täpne	üle 0,3 kuni 1	III	a	väike	tume	1000	300	500	150
			b	väike keskm.	hele tume	— 750	— 200	— 400	— 100
			c	keskm. suur	hele tume	— 500	— 150	— 300	— 75
			d	suur	hele	400	150	200	50
Väikese täpsusega	üle 1 kuni 10	IV	a	väike	tume	150	150	150	50
			b	väike keskm.	hele tume	— 150	— 150	— 150	— 50
			c	keskm. suur	hele tume	— 100	— 100	— 100	— 30
			d	suur	hele	100	100	100	30
Täpsust mitte-nõudev	üle 10	V	—	Sõltumata tausta peegeldustegurist ja objekti kontrastsusest tausta suhtes	100	100	100	30	
Tööd, mis nõuavad töötlemisprotsessi üldist järelvalvet ilma üksikosade eristamiseta	—	VI	—	Sõltumata tausta peegeldustegurist ja objekti kontrastsusest tausta suhtes	75	75	—	20	
Tööd isehelenduvate esemetega või materjalidega	—	VII	—	Sõltumata tausta peegeldustegurist ja objekti kontrastsusest tausta suhtes	150	150	—	50	

Märkusi.

1. Eraldatava objekti all mõistetakse vaadeldava eseme osa (näiteks riide lõng, punkt, joon, kriimustus, plekk jne.), mida on vaja töö juures eristada.

2. Tausta peetakse tumedaks, kui pinna peegeldustegur on 0,3 ja väiksem, ja heledaks, kui peegeldustegur on suurem kui 0,3.

3. Objekti kontrastsust tausta suhtes peetakse väikeseks, kui selle suurus on väiksem kui 0,2 (objekti ja tausta helendused erinevad vähe); keskmiseks, kui selle suurus on võrdne 0,2—0,5 (märgatavalt erinevad); suureks, kui selle suurus on üle 0,5 (tugevasti erinevad).

4. Tööde liikidel I, II ja III tuleb reeglina kasutada kombineeritud valgustust.

5. Valgustustihedus (lx) liigitatakse järgmise skaala järgi:

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV	XV	XVI	XVII
5	10	20	30	50	75	100	150	200	300	400	500	750	1000	1500	2000	3000

6. Tabelis 17 toodud valgustustiheduse normi suurendatakse p. 5 toodud skaala ühe astme võrra järgmistel juhtudel:

a) tööde liikidel Ic, Id, I Ib, I Ic, I Id, III ja IV, kui kaugus silma ja vaadeldava objekti vahel on üle 0,5 m;

b) tööde liikidel Ic, Id, I Ib, I Ic, I Id, III ja IV, kui töö nõuab pidevat nägemise pingutamist üle poole tööpäeva kestel;

c) tööde liikidel Ic, Id, I Ib, I Ic, I Id, III ja IV, kui vaadeldavad objektid asetsevad liikuvatel pindadel ja nende eristamine on raskendatud;

d) kui ruumides, kus viibib pidevalt inimesi, puudub loomulik valgustus;

e) tööde liikidel IV, V ja VI töö suurema ohtlikkuse puhul (näiteks töötamisel ketassael, käärimasinal jne.);

f) tootmisruumide kohta rangemate sanitaarsete nõudmiste esitamise puhul (näiteks mõnede toiduainete ja farmatseutilise tööstuse tootmisruumide kohta);

g) ruumides, mis on määratud noorukitele töötamiseks või nende tootmisalaseks väljaõpetamiseks, kui normitud valgustustihedus on luminescentsvalgustuse puhul väiksem kui 300 lx ja hõõglampide puhul väiksem kui 150 lx.

Tabelis 17 toodud valgustustiheduse norme vähendatakse p. 5 toodud skaala ühe astme võrra järgmistel juhtudel:

a) tootmisruumides, kus inimesi viibib vaid lühiajaliselt;

b) pidevat teenindamist mittenõudvate seadmetega ruumides.

Mitme tingimuse üheaegsel esinemisel muudetakse valgustustiheduse norme ikkagi vaid skaala ühe astme võrra.

7. Suurte esemete ja puistematerjalide ladudes, samuti ajuti käidavates ruumides, kus teostatakse VI liigi töid (näiteks vesivarustuse tunnelid, masinate alused jne.), võib valgustustihedust vähendada hõõglampide puhul kuni 5 luksini.

8. Kombineeritud valgustuse puhul üldvalgustuse valgustite abil tööpinnal saadav valgustustihedus peab moodustama vähemalt 10% kombineeritud valgustuse normist, kuid mitte vähem kui 100 lx luminescentslampide ja 30 lx hõõglampide puhul. Üldvalgustuse valgustite abil saadav valgustustihedus üle 200 lx luminescentslampide ja üle 100 lx hõõglampide puhul ei ole kohustuslik.

9.) Luminescents- ja hõõglampide üheaegsel kasutamisel võetakse tööpinna valgustustihedusena:

a) ainult üldvalgustuse puhul — luminescentslampide kohta käivad normid;

b) kombineeritud valgustuse puhul — kohtvalgustuse valgustites kasutatavate lampide liigi normid; üldvalgustuse valgustite abil saadav valgustustihedus tuleb valida p. 8 järgi. Kasutades kohtvalgustuseks hõõglampe ja üldvalgustuseks luminescentslampe, peab üldvalgustus tagama valgustustiheduse vähemalt 100 lx.

Valgustustiheduse normid elu- ja ühiskondlike hoonete üldvalgustuse kohta¹

Ruumide nimetus	Minimaalne valgustustihedus lx		Tasapinnad, millede kohta on antud valgustustiheduse normid
	Luminestentslambid	Hõõglambid	
1	2	3	4
I. Eluhooned			
Elutoad:			
a) korterites ja võõrastemajades *	75	30	Horisontaalne tasapind 0,8 m kõrgusel põrandast
b) ühiselamutes ja internaatides *	100	50	Sama
Võõrastetoad, puhketoad jne.*	150	75	Sama
II. Administratiiv- ja kontoriruumid			
Kabinetid ja kontori toad *	200	75	Sama
Masinakiria- ja arvutusmasinate bürood *	300	150	Sama
Projekteerimis-, konstruksiooni- ja joonestusbürood *	300	150	Sama
Koosolekusaalid	200	100	Sama
Vastuvõtu- ja ooteruumid	100	50	Sama
Ühiskondlike organisatsioonide toad ja punanurgad *	150	75	Sama
Pankade, hoiukassade ja postiasutuste operatsioonisaalid *	200	100	Sama
Arhiivid:			
a) töölaudadel *	200	75	Sama
b) riulitel	75	20	Püsttasapind 2 m kaugusel põrandast, riulitel

¹ Tabelites 17 ja 18 toodud valgustustiheduse normid on kinnitatud NSVL Ministrite Nõukogu Ehituskomitee poolt 9. 01. 1958. a. ja kehtestatud 1. jaan. 1959. a.

1	2	3	4
III. Raamatukogud ja muud ühiskondlikud asutused			
Raamatukogud			
Lugemissaalid *	300	100	Horisontaalne tasapind 0,8 m kõrgusel põrandast
Kataloogide toad	150	75	Sama
Raamatuhooldad:			
a) keskraamatukogudes	100	30	Püsttasapind 2 m kau- gusel põrandast, riulitel
b) muudes raamatukogudes	75	20	Sama
Näitusesaalid	300	100	Horisontaalne tasapind 1 m kõrgusel põrandast ja vertikaalne tasapind eksponaatidega
Vaatesaalid			
a) teatrisaalid, kontserdisaa- lid, klubide ja puhkekodu- de saalid	200	75	Horisontaalne tasapind 0,8 m kõrgusel põrandast
b) kinosaalid	100	30	Sama
Jalutusruumid	200	75	Sama
IV. Ravi- ja profülaktilised asutused			
Operatsioonitoad	400	200	Sama
Muud kirurgilise bloki ruu- mid ja kirurgilised kabii- nid polikliinikutes ja sani- taar-meditiinilistes osa- kondades *	300	150	Sama
Arstide kabinetid *	200	100	Sama
Röntgenikabinetid *	75	30	Sama
Protseduuri kabinetid, bok- sid ja isolaatorid *	150	75	Sama
Palatid haiglates ja sana- tooriumides *	75	30	Sama
Diagnostika laboratooriumid *	300	150	Sama
Apteegid:			
a) arstimite valmistamise ruumid	300	150	Sama
b) retseptide vastuvõtmise ja arstimite väljaandmise ruumid *	200	100	Sama
Desinfitseerimise ja kontrol- limise kambrid	75	30	Põrand

1	2	3	4
V. Lasteaiad ja -sõimed			
Ülevaatus*, söögi- ja män- guruumid	200	100	Horisontaalne tasapind 0,8 m kõrgusel põrandast
Vastuvõtu- ja imikute toit- mise ruumid	150	75	Sama
Magamistoad	75	30	Sama
VI. Koolid, tehnikumid ja kõrgemad õppeasutused			
Auditooriumid, klassid, õp- pekabinetid ja laboratoo- riumid:			
a) lauad ja koolipingid . . .	300	150	Sama
b) klassitahvlid	300	150	Vertikaalne tasapind
c) joonestuskabinetid . . .	400	200	Horisontaalne tasapind 0,8 m kõrgusel põrandast
Õpetajate toad ja kabinetid *	150	75	Sama
Aulad	200	100	Põrand
Jalutusruumid	150	75	Sama
VII. Kauplused			
Valmisriiete, pesu, jalatsite, riide, karusnaha, peakate- te, parfümeeria, pudukau- ba, kullasepa, raamatute ja toiduainete kaupluste ruumid	300	150	Horisontaalne tasapind 0,8 m kõrgusel põrandast
Muude kaupluste ruumid (lauanõude, mööbli jne.)	200	100	Sama
Laekurite kabiinid *	200	100	Sama
VIII. Ühiskondliku toitlusta- mise ettevõtted			
Söögisaalid:			
a) restoranides	300	100	Sama
b) kohvikutes, sööklates, teemajades, toidubaarides ja puhvetites	200	75	Sama
Toidu ettevalmistamise ja nõudepesemise ruumid . . .	200	75	Sama
IX. Saunad, juuksurid ja pesumajad			
Riietus- ja pesemisruumid saunades	100	50	Põrand
Juuksurite saalid *	200	100	1 m kõrgusel põrandast

1	2	3	4
Pesu pesemise ruumid:			
a) masinpesemisel	100	50	Põrand
b) käsitsi pesemisel	150	75	Sama
Pesu triikimise ruumid:			
a) masintriikimisel	200	100	Triikimismasinatel
b) käsitsi triikimisel	300	150	Horisontaalne tasapind 0,8 m kõrgusel põrandast
X. Elu-, ühiskondlike, administratiiv- ja tööstushoonete abiruumid			
Vestibüülid ja riiehoiuruumid:			
a) teatrites, kontserdisaalides ja kesketes hotellides	150	75	Põrand
b) kõrgemates õppeasutustes, koolides, klubides, muuseumides jne.	100	50	Sama
c) ühiselamuis, polikliinikuis, kinodes ja muudes ühiskondlikes, administratiiv- ja tööstushoonetes	75	30	Sama
Trepid:			
a) peatrepid teatrites, kontserdisaalides, koolides	100	30	Podestidel ja trepiastmetel
b) peatrepid teistes ühiskondlikes, administratiiv- ja tööstushoonetes	75	20	Sama
c) muud trepid ühiskondlikes, administratiiv- ja tööstushoonetes ning trepid eluhoonetes	50	10	Sama
Koridorid ja läbikäigud:			
a) peakoridorid ja läbikäigud haiglates ja koolides	100	30	Põrand
b) peakoridorid ja läbikäigud ühiskondlikes, administratiiv- ja tööstushoonetes	75	20	Sama
c) muud koridorid ja läbikäigud ühiskondlikes, administratiiv- ja tööstus-			

1	2	3	4
hoonetes, haiglates ja koolides, samuti koridorid ja esikud elukorterites . . .	50	10	Sama
Köögid:			
a) toidu keetmise saalid ühiskondliku toitlustamise ettevõtetes, köögid lasteasutustes ja ühiselamutes	200	75	Horisontaalne tasapind 0,8 m kõrgusel põrandast
b) köögid elumajades . . .	100	30	Sama
Sanitaarsõlmed:			
a) ühiskondlikes, administratiiv- ja tööstushoonetes	75	30	Põrand
b) elukorterites	50	10	Sama
Kuivatid	75	30	Sama
Kauba ja inimeste liftid . .	75	30	Sama

Märkusi.

1. Märgiga * tähistatud ruumides tuleb lisaks üldvalgustusele kasutada veel kohtvalgustust (pistikupesad).

2. Hotellide, ühiselamute, internaatide eluruumide, elukorterite ja ka elumajade ja ühiselamute köökide kohta normitakse keskmine valgustustihedus.

3. Operatsioonivälja valgustamiseks tuleb kasutada lisaks üldvalgustusele veel lokaliseeritud kohtvalgustust varjuvabade valgustitega, kusjuures valgustustihedus operatsiooniväljal peab olema vähemalt 3000 lx.

4. Öpperuumides, mis on määratud nõrga nägemisega lastele, tuleb valgustustihedus valida tabeli 17 märkuste p. 5 toodud skaala kahe astme võrra suurem, kuid peab seejuures olema vähemalt 500 lx, sõltumata kasutatavast valgusallika liigist.

Valgustustehnilise kasuteguri η väärtuse määramisel lähtutakse tavaliselt vastavatest tabelitest (tabelid 30, 31, 32 ja 33), kus valgustustehnilise kasuteguri η väärtused

Mõnede valgustite ebaühtlusteguri z väärtusi

Valgusti tüüp	Suhteline kaugus $L : h$			
	0,8	1,2	1,6	2,0
	z-väärtused			
Universaal, varjuta	1,2	1,15	1,25	1,5
Sügavkiirgaja, emailitud	1,15	1,1	1,2	1,4
Kooniline valgusti	1,0	1,0	1,2	1,2

Märkus: Teist tüüpi valgustitel, nende paigaldamisel soodsasse asendisse, võib z väärtuseks võtta 1,1—1,2. Kaudsel valgustamisel võib z väärtuseks võtta 1. Suhtelise kauguse erinemisel soodsast väärtusest suureneb z väärtus järsult.

on toodud sõltuvana valgusti tüübist, seinte ja lagede peegeldusteguritest q_s ja q_l ning ruumitegurist i .

$$i = \frac{S}{h(A+B)},$$

kus h — valgusti kõrgus valgustatavast pinnast m;
 A ja B — ruumi pikkus ja laius m;
 S — ruumi põrandapind m².

Tabel 20

Seinte ja lagede peegeldustegurite ligikaudsed väärtused

Peegeldava pinna iseloomustus	Peegeldustegur %
1. Valgendatud lagi; valgendatud seinad, akende ees valged kardinad	70
2. Puhas betoonlagi ja hele puulagi; valgendatud lagi niisketes ruumides; valgendatud seinad, katmata akendega	50
3. Betoonlagi määrduunud ruumides; puulagi; betoonseinad akendega; seinad heledate tapeetidega	30
4. Betoon- ja puulaed ning seinad suurel hulgal tumeda tolmuga ruumides; eesriieteta klaasseinad; krohvimata punane tellis; seinad tumedate tapeetidega	10

N ä i d e 1. Projekteerida mehhaanikatsehhi üldvalgustus, kus töödeldakse detaile täpsusega 0,2 mm. Ruumi kõrgus — 4,5 m, pikkus — 40 m, laius — 18 m. Ruumil on hele puulagi, seinad — poolheledad. Kasutatav valgusti tüüp — Universaal varjuta. Võrgupinge — 220 V. Töötamispinna kõrgus põrandast on 0,8 m. Valgusti kaugus laest — 0,7 m.

L a h e n d u s. Tabelist 17 valime minimaalse nõutava valgustustiheduse $E = 75$ lx. Varuteguri väärtuseks võtame 1,3 (tabelist 16). Valgusti riputuskõrgus $h = 4,5 - (0,8 + 0,7) = 3,0$ m. Sobivaim valgustitevaheline suhteline kaugus $\frac{L}{h} = 1,7$. Seega $L = 1,7h = 1,7 \cdot 3 = 5,1$ m. Võtame $L = 5$ m, ka $L_a = 5$ m. Valgustid asetame 4 ritta, igas reas 8 valgustit, kokku 32 valgustit.

Kuna $\frac{L}{h} = \frac{5}{3} = 1,66$, siis z väärtuseks (tabel 19) on 1,25.

$$\text{Ruumitegur } i = \frac{S}{h(A+B)} = \frac{40 \cdot 18}{3(40+18)} = 4,1.$$

Võttes tabelist 20 $q_1 = 50\%$, $q_s = 30\%$, leiame, et $\eta = 0,59$ (tabel 32).

Ühe valgusti valgusvoog

$$F = \frac{EkzS}{n\eta} = \frac{75 \cdot 1,3 \cdot 1,25 \cdot 40 \cdot 18}{32 \cdot 0,59} = 4648 \text{ lm.}$$

Lampideks on valitud 300-W hõõglambid (4350 lm). Lampide üldvõimsus $P = 32 \cdot 300 = 9600 \text{ W} = 9,6 \text{ kW}$.

Valitud lampidega saavutatakse tööpinnal järgmine valgustustihedus

$$E = \frac{Fn\eta}{kzS} = \frac{4350 \cdot 32 \cdot 0,59}{1,3 \cdot 1,25 \cdot 40 \cdot 18} = 70 \text{ lx.}$$

Kõrvalekaldumine on 6,4%, mis on lubatavais piires (kuni 20%).

N ä i d e 2. Ruumis pikkusega 15 m ja laiusega 10 m on üles seatud 12 Universaal-tüüpi varjuga valgustit. Valgustite riputuskõrgus töötasapinnast $h = 2,6$ m.

$$q_1 = 50\%; \quad q_s = 30\%. \quad \text{Pinge } U = 220 \text{ V.}$$

Määrata hõõglampide võimsused, et saavutada tööpinna valgustustihedus 50 lx, kui $k = 1,3$.

L a h e n d u s. Ruumitegur

$$i = \frac{S}{h(A+B)} = \frac{15 \cdot 10}{2,6(15+10)} = 2,3.$$

Vastav $\eta = 0,42$ (tabel 32); $z = 1,2$.

Ühe lambi valgusvoog

$$F = \frac{EkSz}{n\eta} = \frac{50 \cdot 1,3 \cdot 150 \cdot 1,2}{12 \cdot 0,42} = 2300 \text{ lm.}$$

Tuleb võtta hõõglamp võimsusega 200 W (2660 lm) (tabel 2).

N ä i d e 3. Näites 2 toodud mõõdetega ruumis on üles seatud 3 rida otsese valgustamisega valgusteid luminesentslampidega BC-30.

Määrata vajalik lampide ja valgustite arv, et saavutada valgustustiheduseks $E = 150 \text{ lx}$, kui $k = 1,3$ ja $z = 1,15$.

Lahendus.

$$i = 2,3 \text{ (näide 2).}$$

Tabelist 33 leiame, et $\eta = 0,39$.

Kuna lambi BC-30 valgusvoog on 1400 lm, siis nõutav lampide arv

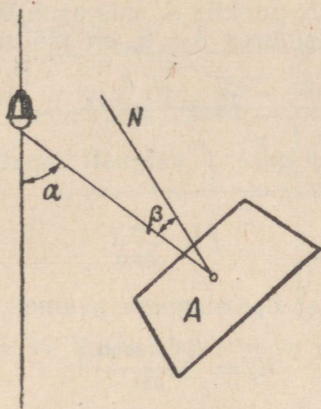
$$n = \frac{EkSz}{F\eta} = \frac{150 \cdot 1,3 \cdot 150 \cdot 1,5}{1400 \cdot 0,39} = 61.$$

Kahelambiliste valgustite puhul oleks valgustite arv reas $61 : (2 \cdot 3) \approx 10$, kolmelambiliste valgustite puhul aga $61 : (3 \cdot 3) \approx 7$.

Valgustuse arvutus punktmeetodil

Punktmeetod võimaldab määrata kas valgustustihedust antud lambi juures või lambi valgusvoogu antud valgustustiheduse saavutamiseks sõltumata valgustite asetusest, kuid tingimusel, et seintest või laest peegeldunud valgusvoog on tähtsusetu. Antud arvutusmeetodit tuleb kasutada

kohtvalgustuse, välisvalgustuse ja ka kaldpindade valgustuse arvutamisel. Ta annab küllaldase täpsuse otsese valgustusega valgustiite korral, kuna peamiselt otsese valgustusega valgustiite puhul saadakse küllaldane täpsus vaid siis, kui valguse tagasipeegeldumine seintelt ja laelt on minimaalne.



Joon. 72. Punktmeetod.

Arvutuse aluseks on valem valgustustiheduse kohta punktis A (joon. 72):

$$E_A = \frac{I'_\alpha F_1 \cos \beta}{kl^2} \text{ lx,}$$

- kus E_A — valgustustihedus punktis A lx;
 I'_α — valgusallika valgustugevus punkti A suunas (valguskiir punkti A suunas moodustab valgusti teljega nurga α) K/klm;
 β — nurk, mille valgusallikast tulev kiir moodustab punktis A valgustatava pinna normaaliga;
 k — varutegur;
 F_1 — lambi valgusvoog klm;
 l — punkti A kaugus valgusallikast.

Valgustugevuse I'_α väärtus võetakse kas vastavast iga valgusti tüübi kohta koostatud valgustugevuse polaardiagrammist või tabelist (tabel 34).

Lähtudes valgustatava tasapinna asendist valgusvoo

suhtes on võimalik kolm juhtu: 1) valgustatav pind on risti valgusvooga, 2) valgustatav pind on röhhtasapind (horisontaalne) ja 3) valgustatav pind on püsttasapind (vertikaalne).

1. Valgustatav pind on risti valgusvooga, kusjuures see pind ei ole horisontaalne ega vertikaalne (näiteks joonestuslaud).

Valgustihedus punktis A , mis asub valgusvooga risti oleval pinnal, kusjuures $\beta = 0$, on määratav avaldisega:

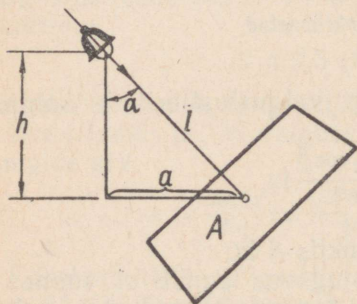
$$E_r = \frac{I'_\alpha F_1}{kl^2} l x.$$

Väljendades kauguse l valgusti riputuskõrguse h ja nurga α kaudu, saame:

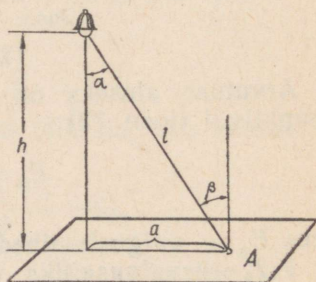
$$l = \frac{h}{\cos \alpha}.$$

Asetades l väärtuse E_r valemisse, saame:

$$E_r = \frac{I'_\alpha F_1 \cos^2 \alpha}{kh^2} l x.$$



Joon. 73. Valgustatav pind on valgusvooga risti.

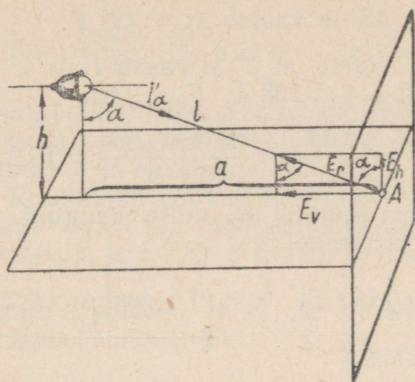


Joon. 74. Valgustatav pind on röhhtasapind.

2. Valgustatav pind on röhhtasapind. See on tavaline olukord näiteks valgustiheduse määramisel ruumi põranda mõne punkti kohta, mis ei asetse otse valgusti all. Seejuures nurk $\alpha = \beta$ ja

$$E_n = \frac{I'_\alpha F_1 \cos \alpha}{kl^2} \text{ ehk } E_n = \frac{I'_\alpha F_1 \cos^2 \alpha}{kh^2} \cos \alpha = \frac{I'_\alpha F_1 \cos^3 \alpha}{kh^2} l x.$$

3. Valgustatav pind on püsttasapind. See juhus vastab valgustustiheduse määramisele seinale.



Joon. 75. Valgustatav pind on püsttasapind.

Valgustustihedus vertikaalsel tasapinnal

$$E_v = E_r \sin \alpha.$$

Seega

$$E_v = \frac{l'_\alpha F_1 \cos^2 \alpha}{k h^2} \sin \alpha \text{ lx};$$

$$\frac{E_v}{E_h} = \text{tg } \alpha.$$

Punktimeetodi järgi arvutamist võimaldavad lisas toodud tabelid 34 ja 46.

N ä i d e. Määrata valgustustihedus rõhktasapinnal punktis A, mille annab varjuga Universaal-tüüpi valgusti hõõglambiga 200 W pingel 220 V. Valgusti riputuskõrgus $h = 4$ m.

Punkti kauguse projektsioon horisontaalsele tasapinnale $a = 3$ m; $k = 1,3$.

L a h e n d u s.

$$\text{tg } \alpha = \frac{a}{h} = \frac{3}{4} = 0,75; \quad \alpha = 37^\circ \text{ (tabel 46);}$$

$$\cos^3 \alpha = 0,51.$$

Nurga $\alpha = 37^\circ$ kaudu leiame I'_α (tabelist 34).
Tabeli kohaselt

$$35^\circ\text{-le vastab } I'_\alpha = 142 \text{ K,}$$

$$45^\circ\text{-le vastab } I'_\alpha = 121 \text{ K.}$$

Interpoleerides leiame, et 2° -le vastab $I'_\alpha = 4$, seega 37° -le vastab $I'_\alpha = 142 - 4 = 138 \text{ K}$. $F_1 = 2,66$.

$$E = \frac{I'_\alpha \cos^3 \alpha F_1}{kh^2} = \frac{138 \cdot 0,51 \cdot 2,66}{1,3 \cdot 4^2} = 10,9 \text{ lx.}$$

Valgustustihedus punktis B , mille kauguse projektsioon $a = 2 \text{ m}$, oleks järgmine:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{2}{4} = 0,5; \quad \alpha = 27^\circ; \quad \cos^3 \alpha = 0,708.$$

Tabelist 32 leiame I'_α :

$$25^\circ\text{-le vastab } I'_\alpha = 162 \text{ K,}$$

$$35^\circ\text{-le vastab } I'_\alpha = 142 \text{ K.}$$

Interpoleerides leiame, et 2° -le vastab $I'_\alpha = 4$.
Seega 27° -le vastab $I'_\alpha = 158 \text{ K}$.

$$E = \frac{158 \cdot 0,708 \cdot 2,66}{1,3 \cdot 16} = 14,3 \text{ lx.}$$

Arvutus isolukside meetodil

Kui valgustustihedus antud punktis saavutatakse mitme valgusti abil, siis igale valgustile vastab osaline valgustustihedus. Kui oletada, et igas valgustis on lamp valgusvooga 1000 lm , siis iga sellise valgustiga saavutatav osaline valgustustihedus e on funktsioon riputuskõrgusest h ja kauguse projektsioonist a . Lähemad valgustid annavad vaadeldavas punktis summaarseks valgustustiheduseks Σe ; kaugemate valgustite mõju, samuti peegelduvast valgusvoost tingitud täiendavat valgustustihedust arvestab tegur μ .

Teguri μ väärtuseks võetakse: otsese valgustamisega emailitud valgustite puhul $\mu = 1,1 - 1,2$; peegelpinnaga valgustite korral $\mu = 1,0$; peamiselt otsese valgustamisega valgustitel, isegi kui

$$Q_{\text{tae}} = 50\% \text{ ja } Q_{\text{selna}} = 30\%, \quad \mu = 1,3 - 1,6.$$

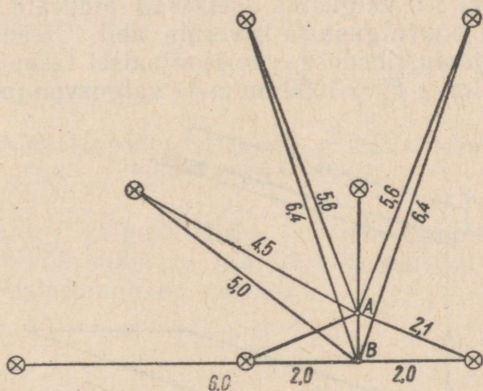
Lähtudes sellest, et valgusvoog on võrdeline valgustustihedusega, leiame, et antud punktis valgustustiheduse E saavutamiseks peab igas valgustis olema lamp valgusvooga

$$F_1 = \frac{1000Ek}{\mu\Sigma e} \text{ lm, kus } k \text{ — varutegur.}$$

Osaline valgustustihedus e võetakse vastavatest graafikutest, nn. isolukside graafikutest (joon. 92, 93, 94, 95, 96 ja 97), lähtudes h ja a väärtustest.

Näide. Ruumis on Universaal-tüüpi varjuta valgustid. Riputuskõrgus $h = 3$ m. Nõutav minimaalne valgustustihedus $E = 50$ lx, $k = 1,3$; $U = 220$ V. Määrata lampide võimsused.

Valime kontrollpunktid A ja B . Vastavad valgustustihedused leiame jooniselt 96.



Joon. 76. Näites toodud valgustite asetus. A ja B on kontrollpunktid.

Tulemused on koondatud alljärgnevasse tabelisse.

Kontrollpunkt	n	a	e	ne	Σe
A	3	2,15	11,5	34,5	} 40
	1	4,5	2,8	2,8	
	2	5,6	1,5	3,0	

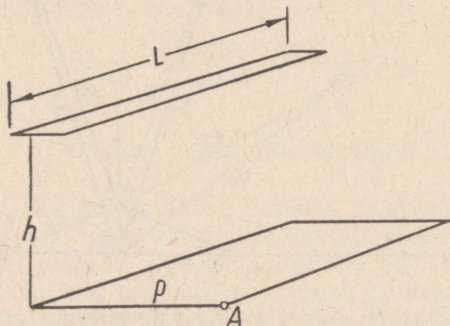
Kontrollpunkt	n	a	e	ne	Σe
B	2	2	12,5	25	} 36
	1	3	6,2	6,2	
	1	5	2	2	
	1	6	1,2	1,2	
	2	6,4	0,9	1,8	

Võttes aluseks osalise valgustustiheduse punktis B (kui halvemais tingimuses oleva) ja võttes $\mu = 1,1$, leiame:

$$F_1 = \frac{1000 \cdot 50 \cdot 1,3}{1,1 \cdot 36} = 1630 \text{ lm.}$$

Tabelist 2 valime hõõglambi 150 W (1845 lm).

Luminescentsvalgustuse arvutus punktimeetodi kohaselt, juhtudel kui valgustid asetsevad pidevate ridadena, teostatakse joonvalgustuse kõverate abil. Need annavad osalise valgustustiheduse e horisontaalsel tasapinnal, kusjuures $h = \text{lm}$ ja $F' = 1000 \text{ lm/m}$ — valgusvoo joontihedus.



Joon. 77. Luminescentsvalgustuse arvutus. Kontrollpunkti A koordinaadid on p ja h .

e määramiseks vastavateelt kõveratelt arvutatakse

$$p' = \frac{p}{h} \text{ ja } L' = \frac{L}{h}.$$

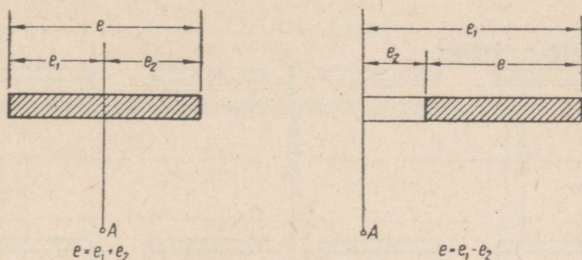
Kui kontrollpunkti valgustab mitu valgustite rida, siis üksikute ridade e liidetakse ja saadakse Σe , mille järgi

arvutatakse valgusvoo joontihedus F' , mis on vajalik nõutava valgustustiheduse E saamiseks:

$$F' = \frac{1000Ekh}{\mu\Sigma e} \text{ lm/m.}$$

Korrutades F' väärtuse iga valgustite rea pikkusega, saadakse kogu valgustite rea valgusvoog, mille alusel määratakse lampide arv ja võimsus.

Kui kontrollpunkt ei ole võetud valgusjoone algul, vaid selle keskel või väljaspool seda, siis e arvutatakse vastavalt joonisele 78.



Joon. 78. Osalise valgustustiheduse arvutus sõltuvalt kontrollpunkti asukohast.

Kui on antud valgusti tüüp ja selle lampide valgusvoog F , siis võib määrata reas kõrvuti asuvate valgustite keskjoonte vahekauguse l valemiga:

$$l = \frac{F}{F'}.$$

Kui l on väiksem kui lambi pikkus, siis tuleb kasutada suurema lampide arvuga valgustit.

Valgustite rida võib arvutusel vaadelda pidevana, valgusvoogu aga ühtlaselt jaotatuna selle rea pikkusel tingimusel, et valgustite vahed ei ületa poolt valgusti riputuskõrgusest. Suuremate vahede korral valgustite vahel määratakse e eraldi iga valgusti kohta. Kontrollpunkt valitakse tavaliselt kõige halvemas kohas, s. o. ridade vahel.

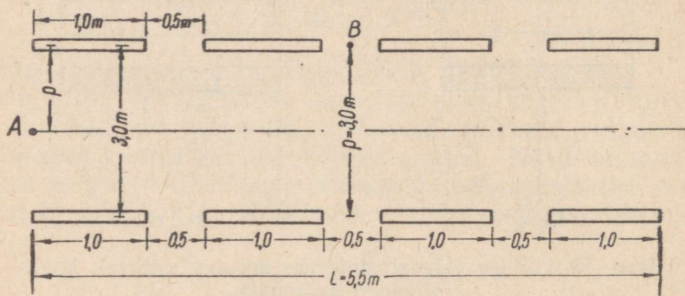
Et ära hoida valgustustiheduse vähenemist pika valgustiterea otstel, tuleb arvutamisel kas rida pikendada $0,5 h$ võrra või sama pikkuse ulatuses kahekordistada valgusvoo

joontihedust, või siis asetada pikiridade otstele valgustite põikrida. Neil tingimustel valitakse kontrollpunkt rea keskel.

Valgustustihedusi võimaldavad leida lisa toodud joonised 98, 99 ja 100.

Näide 1. Määrata valgustustihedus joon. 79 toodud punktides A ja B. Igas valgustis on kolm luminescentslampi BC-30, valgusvooga 1400 lm. Riputuskõrgus $h = 2$ m. Varutegur $k = 1,3$; $\mu = 1,2$. Rea valgusvoog $F = = 12 \cdot 1400 = 16800$ lm.

Valgusvoo joontihedus $F' = \frac{16800}{5,5} = 3054$ lm/m.



Joon. 79. Näites 1 toodud valgustite asetused.

1. Valgustustihedus punktis A:

$$l' = \frac{L}{h} = \frac{5,5}{2} = 2,75 \text{ m};$$

$$p' = \frac{P}{h} = \frac{1,5}{2} = 0,75 \text{ m};$$

$$e = 2e_{2,75; 0,75} = 2 \cdot 65 = 130 \text{ lx (joon. 100);}$$

$$E = \frac{F\mu \cdot \Sigma e}{1000kh} = \frac{3054 \cdot 1,2 \cdot 130}{1000 \cdot 1,3 \cdot 2} = 183 \text{ lx.}$$

2. Valgustustihedus punktis B:

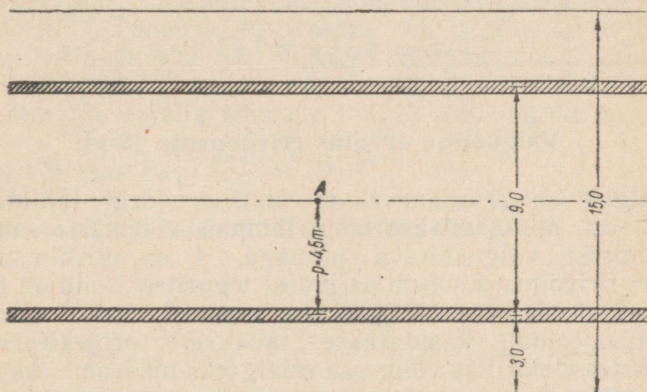
$$l' = \frac{l}{h} = \frac{2,75}{2} = 1,37; \quad l'' = \frac{2,75}{2} = 1,37;$$

$$p' = 0; \quad p'' = \frac{3,0}{2} = 1,5;$$

$$e = 2e_{1,37;0} + 2e_{1,37;1,5} = 2 \cdot 126 + 2 \cdot 17 = 290 \text{ lx};$$

$$E = \frac{3054 \cdot 1,2 \cdot 286}{1000 \cdot 1,3 \cdot 2} = 400 \text{ lx}.$$

Näide 2. Pikka 15-m laiust tööstusruumi valgustatakse luminescentslampidega ДС-40 ($F = 1700 \text{ lm}$). Valgustitena on kasutusel otsese valgustamisega hajuva valgusega lahtised valgustid, kaitsenurgaga 15° . Riputus kõrgus $h = 6 \text{ m}$; $E = 200 \text{ lx}$; $\mu = 1,1$; $k = 1,3$. Valgustid moodustavad kaks valgusriba (joon. 80). Määrata lampide arv ja paigutus.



Joon. 80. Näites 2 toodud valgustite asetus.

Vastavalt tabelile on soovitatav kaugus valgustite vahel $1,5 h$, seega 9 m. Valgustid asetame kahte ritta piki ruumi, vahekaugusega 9 m.

Määrame valgustustiheduse punktis A .

$$L = \infty; \text{ (s. o. praktiliselt üle } 4 h) L' = \infty;$$

$$p = 4,5 \text{ m}; p' = \frac{4,5}{6} = 0,75.$$

Kuna punkt A asub ruumi keskel, siis võib vaadelda ridu koosnevana kahest poolest. Valgustustihedused võtame jooniselt 99. Seega

$$\Sigma e_{\infty 0,75} = 4e = 4 \cdot 98 = 390 \text{ lx}.$$

$$F' = \frac{1000Ekh}{\mu\Sigma e} = \frac{1000 \cdot 200 \cdot 1,3 \cdot 6}{1,1 \cdot 392} = 3600 \text{ lm/m.}$$

Kuna 40 W lambi pikkus on umbes 1,25 m, siis valgusvoo sellise joontiheduse annab ainult kolme lambiga valgusti.

Kolme lambiga valgustite pidev rida annab valgusvoo joontiheduseks

$$F' = \frac{3 \cdot 1700}{1,25} = 4100 \text{ lm/m.}$$

Seega tuleb võtta kolme BC-40 tüüpi lambiga valgustid.

Valgustitevaheline kaugus:

$$l = \frac{F}{F'} = \frac{5100}{3600} = 1,42 \text{ m.}$$

Valgustuse arvutus erivõimsuse järgi

Valgustuse arvutamisel erivõimsuse järgi lähtutakse suurusest, mis saadakse kõigi lampide võimsuste summa jagamisest valgustatava pinnaga, s. o. erivõimsusest W/m^2 . Erivõimsus sõltub paljudest teguritest, kuid on üldiselt püsiv võrdsetes tingimustes ruumide kohta. Antud arvutusmeetodit kasutatakse tavaliselt projekteerimis-asutustes elektrilise võimsuse esialgseks määramiseks projekteeritavate hoonete kohta.

Arvutuse aluseks on sellekohased tabelid (lisas toodud tabelid 35—45), mis on koostatud erinevate valgustitüüpide kohta sõltuvalt ruumi kõrgusest, ruumi põrandapinna suuruselt ja valgustustihedusest.

Tabelist võetav erivõimsuse väärtus W (vastavalt antud riputuskõrgusele, põrandapinna suurusle ja valgustustihedusele) korrutatakse valgustatava põrandapinna suuruslega S , millega saadakse vajalike lampide koguvõimsus vattides. Üksiku lambi võimsus leitakse üldvõimsuse jagamise teel lampide arvuga.

Tabelites on W väärtused toodud 220-V pingega lampide kohta; tegur z võetakse hõõglampide puhul vastavalt valgustite paiknemisele, luminescentslampide puhul aga 1,15, varutegur $k = 1,3$.

110—127-V pingega lampide ja bispiraallampide puhul tuleb tabelitest valida lähem väiksem W väärtus (tabelis

toodud lähema suurema S vahemiku kohta), kuna $k = 1,5$ juures tuleb valida lähem suurem W väärtus (lähema vähema S vahemiku kohta).

Eriti pikliku kujuga ruumide kohta (kui ruumi pikkus A ületab laius B rohkem kui 2,5 korda), tuleb W väärtus valida põrandapinna suhtelise suuruse kohta, mis on võrdne $2,5 B^2$ -ga.

N ä i d e. Arvutada kontoriruumi valgustus. Ruumi suurus: pikkus $A = 18$ m, laius $B = 10$ m; $q_1 = 50\%$; $q_s = 30\%$; võrgupinge 220 V; $E = 50$ lx. Valgusteid — Universaal, varjuga — on 12 tk. Valgustite riputus kõrgus $h = 2,8$ m. Määrata lampide võimsused.

L a h e n d u s. Ruumi põrandapind $S = AB = 18 \cdot 10 = 180$ m². Tabelist 40 leiame, et kõrgusele 2—3 m, valgustustihedusele $E = 50$ lx ja põrandapinna vahemikule 150—300 m² vastab erivõimsus $W = 13$ W/m². Kõikide lampide vajalik võimsus $P = 13 \cdot 180 = 2340$ W. Ühe

lampi võimsus $P_1 = \frac{2340}{12} = 195$ W.

Valime lähima normitud suurusena 200 W.

III. ELEKTRISEADME VÕIMSUSTEGUR JA SELLE PARANDAMINE

Kuna elektrienergia ratsionaalsel kasutamisel ja võimsusteguri parandamisel on rahvamajanduslik tähtsus kogu vabariigi ulatuses, siis elektrienergia kasutamist ja võimsusteguri parandamist reguleerivad vastavad direktiivorganite eeskirjad.

Valitsuse direktiivjuhend uute ehitatavate või laiendamisele tulevate olemasolevate 100 kVA ja suurema ühendusvõimsusega tööstusettevõtete kohta seab üles nõudmise tõsta elektriseadmete võimsustegur väärtuseni 0,92—0,95.

Elektrienergia kaheastmelised tariifid võtavad arvesse võimsusteguri väärtuse; selle tõstmisel üle neutraalväärtuse annab energiasüsteem elektrienergia tariifist hinnaalandust, selle langemisel alla neutraalväärtuse võetakse tarbijalt hinnalisandit tariifile. Võimsusteguri neutraalväärtuseks on käesoleval ajal 0,9—0,92.

1. REAKTIIVVÕIMSUSE OSA ELEKTRISEADME KOORMUSES

Võimsustegur, nagu veendusime eespool, on voolu ja pinge vahelise ajalise nihkenurga funktsioon ($\cos \varphi$). Ajalise nihkenurga voolu ja pinge vahel põhjustab ühelt poolt elektriseadmete induktiivsus, teiselt poolt mahtuvus. Induktiivsus põhjustab vooluvektori mahajäävuse pingevektorist, kuna mahtuvus tingib vooluvektori ettejõudmise pingevektorist.

Ohmi seadus, rakendatuna ühefaasilise vahelduvvoolu kohta, annab järgmise seose voolu ja pinge vahel:

$$I = \frac{U}{z},$$

kus I — vool A;
 U — pingeline V;
 z — näivtakistus Ω .

Näivtakistus

$$z = \sqrt{r^2 + x^2},$$

kus r — aktiivtakistus (oomtakistus);
 x — reaktiivtakistus.

Reaktiivtakistus

$$x = x_L + x_C,$$

kus x_L — induktiivtakistus;
 x_C — mahtuvustakistus.

Induktiivtakistus

$$x_L = \omega L.$$

Mahtuvustakistus

$$x_C = -\frac{1}{\omega C}.$$

Seega reaktiivtakistus

$$x = \omega L - \frac{1}{\omega C} \Omega.$$

Induktiivtakistus põhjustab induktiivse reaktiivvõimsuse, mahtuvustakistus — mahtuvusliku reaktiivvõimsuse.

Olles vastassuunalised, kompenseerivad need reaktiivvõimsused teineteist. Kuna induktiivne reaktiivvõimsus on elektriseadmeis tavaliselt ülekaalus, siis see põhjustabki suure nihkenurga pingvektori ja sellest ajaliselt mahajääva vooluvektori vahel. Suurem nihkenurk, millele vastab madal võimsusteguri väärtus, põhjustab ka seda, et pingeline tarbijate juures on alla normi.

Allpool vaatleme elektriseadme üksikosades esinevaid reaktiivvõimsusi ja nende mõju elektriseadme koormatavuse tingimustele.

Ülekandeliinid

Elektrienergia ülekandeliinid võimaldavad juhtida energiat genereerivatest seadmetest tarbijaseadmetesse. Et tarbijaseade tarbib tavaliselt nii aktiiv- kui ka reaktiivenergiat (magneti- ja elektrivälja ülesehitamiseks), siis

ülekanделиinide kaudu tuleb transportida mõlemaid energia-
liike. Tarbija reaktiivvõimsusele liitub ka ülekanделиinide
reaktiivvõimsus, mis mõnikord võib omada kaunis suure
väärtuse.

Ülekanделиinide reaktiivvõimsus on tingitud sellest, et
pingestatud juhtmete ümber kujuneb magnetiväli ja et
juhtmed moodustavad üksteise ja maa suhtes kondensaatorid.
Magnetivälja kujundamine on seotud induktiivse
reaktiivvõimsusega. Kuna juhtmed moodustavad üksteise
suhtes kondensaatorid (veel suuremal määral esineb see
nähtus kaablite juures), siis vahelduv- ja keerdvoolu puhul
on tegemist ka mahtuvusliku reaktiivvõimsusega.

Induktiivne reaktiivvõimsus. Kolmefaasi-
lise liini induktiivne reaktiivvõimsus on määratav avaldi-
sega:

$$Q = 3I^2 \frac{x_L}{1000} = \left(\frac{P}{U \cos \varphi} \right)^2 \frac{x_L}{1000} \text{ kVAr.}$$

Võttes aluseks, et enamikel juhtudel liini induktiivtakis-
tus x_L on sagedusel 50 Hz keskmiselt $x_0 = 0,35 \div 0,38 \Omega/\text{km}$
ehk ümmarguselt $0,4 \Omega/\text{km}$, siis keerdvoolu energia üle-
kandmisel õhujuhtmetega 1 km kaugusele on induktiivne
reaktiivvõimsus järgmine:

100 A puhul	12 kVAr
200 A „	48 „
500 A „	300 „
1000 A „	1200 „

Reaktiivvõimsus kasvab voolu ruuduga. Seega kümne-
kordsele voolu suurenemisele vastab sajakordne reaktiiv-
võimsuse kasv.

Kaablite induktiivtakistus on õhujuhtmetega võrreldes
tunduvalt väiksem. Kaablite induktiivtakistus faasi kohta
on umbes $0,07\text{—}0,10 \Omega/\text{km}$. Kolmesoonelise kaabliga keerd-
voolu energia ülekanndmisel 1 km kaugusele on induktiivne
reaktiivvõimsus orienteerivalt järgmine:

100 A juures	2 —	3 kVAr
200 A „	8 —	12 „
300 A „	19 —	27 „
400 A „	34 —	48 „
500 A „	53 —	75 „
700 A „	100 —	150 „

Mahtuvuslik reaktiivvõimsus. Mahtuvuslik reaktiivvõimsus arvutatakse järgmiselt.

Mahtuvustakistus

$$x_C = \frac{1000}{\omega C} = \frac{9000}{\omega} 2 \ln \frac{D}{r} \frac{\text{k}\Omega}{\text{km}},$$

kus C — kolmesoonelise kaabli 1 km mahtuvus μF ;

$\omega = 2\pi f$ — nurksagedus;

D — juhtmete vahekaugus cm;

r — juhtmete raadius cm.

Mahtuvuslik reaktiivvool

$$I_{rC} = \frac{U}{\sqrt{3} x_C} \text{ A, kus } U \text{ — liinipinge kV.}$$

Mahtuvuslik reaktiivvõimsus

$$Q_C = \sqrt{3} U I_{rC} = \frac{U^2}{x_C} \text{ kVAr.}$$

Õhujuhtmete mahtuvustakistus ühe faasi kohta on umbes $360 \frac{\text{k}\Omega}{\text{km}}$ (kõrvalkaldumine püsib enamikel juhtudel $\pm 10\%$ piires).

Toodud väärtust arvestades saame, et genereeritav reaktiivvõimsus õhuliini 1 km kohta on sõltuvalt pingest:

6000 V puhul	0,1 kVAr
15000 V „	0,6 „
30000 V „	2,5 „
60000 V „	10 „
110000 V „	34 „
220000 V „	134 „

Vastandina õhujuhtmetele omavad kaablid väiksema mahtuvustakistuse. Seetõttu on nendes ülekaalus mahtuvuslik reaktiivvõimsus, mis aitab kompenseerida tarbijate induktiivset reaktiivvõimsust.

Kolmesooneliste kaablite mahtuvusliku reaktiivvõimsuse keskmised väärtused kaabelliini 1 km pikkuse kohta, sõltuvalt pingest:

6000 V puhul ligikaudu	4 kVAr
15000 V „ „	20 „
30000 V „ „	70 „
60000 V „ „	240 „
110000 V „ „	860 „

Mida suurem on tarbijale ülekantav reaktiivvõimsus, seda suurem on nihkenurk voolu ja pinge vahel ning seda halvem on elektriseadme võimsustegur. Kuid mida väiksema väärtuse omab võimsustegur, seda suurem on vool liinis. Voolu suurus aga määrab soojuskadude suuruse ülekandeliinides, sest soojuskaod ajaühikus

$$V_s = I^2 R \text{ W,}$$

kus I — koguvool A;

R — aktiivtakistus Ω .

Et $I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}$, siis soojuskaod ajaühikus

$$V_s = I^2 R = (I_a^2 + I_r^2) R.$$

Seega soojuskaod suurenevad võrdeliselt aktiiv- ja reaktiivvoolu ruutude summaga.

Igapäevases elus ei pöörata sellele tõsiasjale mõnikord küllaldast tähelepanu. Et see aga väärib tähelepanu, seda tõendab alljärgnev näide.

Näide 1. Väiksema tööstuse koormus moodustab aktiivvõimsusena 50 kW. Tööstust toidetakse 300 m pikuse õhuliini kaudu pingel 220 V. Juhtmete ristlõige on 50 mm², juhtme aktiivtakistus $R = 0,37 \frac{\Omega}{\text{km}}$.

Elektriseadme võimsustegur $\cos \varphi$ on 0,8, seega vool

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi} = \frac{50000}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,8} = 164 \text{ A.}$$

Kui võimsustegur $\cos \varphi$ oleks 0,9, siis vool

$$I = \frac{50000}{\sqrt{3} \cdot 220 \cdot 0,9} = 146 \text{ A.}$$

Võimsusteguri $\cos \varphi = 0,8$ puhul on soojuskaod liinis

$$V_s = 3I^2 R = 3 \cdot 164^2 \cdot 0,3 \cdot 0,37 = 8956 \text{ W} = 8,9 \text{ kW.}$$

Võimsusteguri $\cos \varphi = 0,9$ juures on soojuskaod liinis

$$V_s = 3I^2 R = 3 \cdot 146^2 \cdot 0,3 \cdot 0,37 = 7098 \text{ W} = 7,1 \text{ kW.}$$

Seega halvema võimsusteguri juures on soojuskaod suuremad 8,9 — 7,1 = 1,8 kW võrra tunnis.

Aastas moodustaks see (3000 kasutustunni juures) 5400 kWh.

Elektrienergia hinna juures 1 rbl. kilovatt-tund moodustaks see aastas 5400 rubla.

Koguvoolu suurenemine reaktiivvoolude tõttu põhjustab tihti ka juhtmete ülekoormust. Kuidas madal võimsustegur võib põhjustada juhtmete ülekoormust, selgitab alljärgnev näide.

Näide 2. Käitises on üles seatud rida keerdvoolu-asünkroonmootoreid ja keevitustrafosid üldvõimsusega $P = 500$ kW. Võrgupinge $U = 380$ V. Täiskoormusega töötamisel on seadme võimsustegur $\cos \varphi = 0,8$.

Kuid esineb päevi, mil seadme võimsustegur on madalam, omades vahel väärtuse 0,45. Aktiivvõimsuse tarvitus on sel juhul kuni 300 kW.

Voolu ülekandmine trafokioskist lülituskilbini toimub kahe kaabliga $3 \cdot 185$ mm², mille faasi-nimivool on 490 A. Näivvool $\cos \varphi = 0,8$ puhul

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi} = \frac{500\,000}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,8} = 950 \text{ A};$$

näivvool $\cos \varphi = 0,45$ puhul

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos \varphi} = \frac{300\,000}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,45} = 1014 \text{ A}.$$

Kui töötamisel koormusega 500 kW oli $\cos \varphi = 0,8$ puhul kaablite koormus normaalne (üldine lubatav vool $2 \cdot 490 \text{ A} = 980 \text{ A}$), siis töötamisel $\cos \varphi = 0,45$ puhul, kuigi tegevkoormus oli vaid 300 kW, olid kaablid juba üle koormatud.

Üldkokkuvõttes võib öelda, et võimsusteguri tõstmine võimaldab vähendada elektrienergia kadusid võrkudes, millega tagatakse tarbijate juures normaalne pinge.

Elektrimasinad

Magnetiväljad on elektrimootorites nii masina koormamisel kui ka tühijooksul. Järelikult vajab masin reaktiivenergiat nii koormusel kui ka tühijooksul. Et võimsustegur väljendab aktiivvõimsuse ja reaktiivvõimsuse suhet, mis muutuvad sõltuvalt koormusest, siis koormuse muutumisel muutub ka võimsusteguri suurus:

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{Q}{P}\right)^2}}.$$

Asünkroonmootori võimsusteguri suuruse muutumist sõltuvalt koormusest iseloomustab alljärgnev tabel 21.

Tabel 21

Asünkroonmootori võimsusteguri suurus sõltuvalt koormusest

Nimivõimsustegur täiskoormusel	Võimsustegur järgmistel koormusmääradel			
	1/4	1/2	3/4	5/4
0,92	0,76	0,89	0,91	0,92
0,91	0,74	0,87	0,90	0,91
0,90	0,70	0,85	0,89	0,90
0,89	0,65	0,82	0,87	0,89
0,88	0,60	0,80	0,86	0,88
0,87	0,58	0,78	0,85	0,87
0,86	0,55	0,76	0,83	0,87
0,85	0,53	0,74	0,82	0,86
0,84	0,52	0,72	0,81	0,85
0,83	0,50	0,70	0,80	0,84
0,82	0,48	0,69	0,78	0,83
0,81	0,47	0,68	0,77	0,82
0,80	0,46	0,67	0,76	0,81
0,79	0,45	0,65	0,75	0,80
0,78	0,43	0,63	0,73	0,80
0,77	0,42	0,62	0,72	0,79
0,76	0,40	0,60	0,70	0,78
0,75	0,38	0,58	0,69	0,78

Asünkroonmootori võimsustegur väheneb koormuse vähenemisel tunduvalt, sest koormuse, s. o. aktiivvõimsuse vähenemisel saab ikka enam ülekaalu reaktiivvõimsus, nii et tühijooksul võimsusteguri väärtus langeb isegi alla 0,2.

Ka trafo võimsustegur on tühijooksul väga madal. See tuleb sellest, et tühijooksul on aktiivvõimsuse osa väga väike, mõõduandev on vaid reaktiivvõimsus.

Kaasaegsetel suurematel trafodel moodustab reaktiivvõimsus tühijooksul umbes 4—6% trafo nimivõimsusest, täiskoormusel aga umbes 9% nimivõimsusest.

Madala võimsusteguri puhul ei saa trafo võimsust täielikult ära kasutada. See selgub alljärgnevast.

Kui näiteks trafo on koormatud püsivalt aktiivvõimsusega 100 kW, kusjuures reaktiivvõimsuse osa pidevalt tõuseb, põhjustades võimsusteguri väärtuse pidevat vähenemist, siis trafo näivvõimsus suureneb vastavalt tabelile 22.

Tabel 22

Püsiva aktiivvõimsuse juures näivvõimsuse olenevus seadme võimsustegurist

Võimsustegur $\cos \varphi$	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Trafo näivvõimsus S (kVA) püsiva aktiivvõimsuse $P = 100$ kW juures	100	111	125	143	167	200	250	333	500	1000

Toodud andmetest on näha, et 100 kW aktiivvõimsuse ja $\cos \varphi = 0,8$ puhul on näivvõimsus $S = 125$ kVA, kuna $\cos \varphi = 0,2$ juures on näivvõimsuseks 500 kVA. See tähendab, et esimese tarbija jaoks ($\cos \varphi = 0,8$) tuleb üles seada trafo võimsusega 125 kVA, teise jaoks aga võimsusega 500 kVA. Loomulikult on viimane juhul majanduslikult äärmiselt ebaratsionaalne.

N ä i d e. Käitise alajaamas on üles seatud transformaatore võimsusega 1000 kVA.

Kuna elektriseadme võimsustegur $\cos \varphi = 0,75$, siis võib trafot koormata aktiivvõimsusega kuni $P = 1000 \cdot 0,75 = 750$ kW. Oleks seadme võimsusteguri väärtus kõrgem, näiteks 0,9, siis võiks trafot koormata aktiivvõimsusega

$$P = 1000 \cdot 0,9 = 900 \text{ kW.}$$

Seega võimaldab seadme kõrge võimsusteguri väärtus täielikumalt ära kasutada nii trafosid kui ka elektrienergiat genereerivaid seadmeid, s. o. generaatoreid ja turbiine elektri jaamas.

2. VÕIMSUSTEGURI PARANDAMISE TEHNILISED VAHENDID

Võimsusteguri parandamise, s. o. selle väärtuse tõstmise abinõusid elektrienergiat tarbivate seadmete juures võib liigitada järgmiselt:

- a) abinõud, mis ei nõua kompenseerimisseadmeid;
- b) abinõud, mis on seotud kompenseerimisseadmete kasutamisega;
- c) abinõud, mis on lubatavad vaid erandjuhtudel.

Olgu tähendatud, et kõik abinõud liigist «b» ja «c» peavad olema ka majanduslikult põhjendatud. Seejuures kõigi kompenseerimisseadmete kasutamine käitistes peab toimuma energiasüsteemi loal.

Kompenseerimisseadmeteks, s. o. masinateks ja seadmeteks, mis võimaldavad kunstlikult parandada võimsustegurit, on staatilised (koosinus-) kondensaatorid ja mõnel erandjuhul ka pöörlevad kompensaatorid.

Võimsusteguri parandamise abinõud, mis ei nõua kompenseerimisseadmeid

Võimsusteguri väärtuse tõstmist taotleivate abinõude hulka, mis ei nõua kompenseerimisseadmeid ja mis on selle tõttu igal juhul otstarbekohased, kuuluvad:

tehnoloogilise protsessi kordaseadmine, mis parandab seadmete energeetilist režiimi ja tõstab võimsustegurit;

sünkroonmootorite kasutamine asünkroonmootorite asemel seal, kus seda võimaldab tehnoloogiline protsess;

täht-kolmnurklülitite kasutamine (pingel kuni 1 kV) asünkroonmootorite puhul, mille koormus on pidevalt alla 40%;

tühijooksu vältimine asünkroonmootoritel, kui tööoperatsioonide vaheajad ületavad 10 sek., kasutades selleks tühijooksupiirajaid;

alla 30% koormusega trafode asendamine võimsuselt väiksematega;

pidevalt alakoormusega töötavate asünkroonmootorite väljavahetamine.

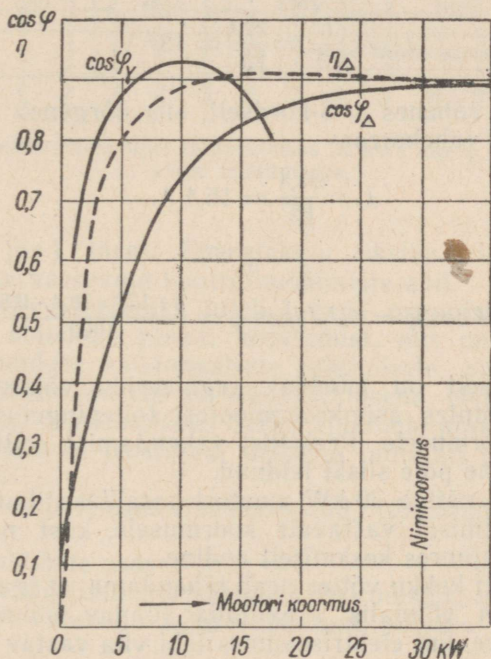
Tootmis-tehnoloogilise protsessi kordaseadmine, selle pidev täiustamine ja ratsionaliseerimine, mille tulemuseks on ka seadmete energeetilise režiimi parandamine, võimaldab tunduvalt parandada elektriseadmete võimsustegurit.

Sünkroonmootorite kasutamine asünkroonmootorite asemel tõstab tunduvalt seadme võimsustegurit (teatavasti on sünkroonmootori võimsustegur kõrge, ka alakoormusel $\cos \varphi = 1$; samuti on sünkroonmootori kasutegur suurem niisama suure asünkroonmootori omast).

Üheks võimaluseks parandada keerdvoolu-asünkroonmootori võimsustegurit on mootori toitmine madalama

pingega. Selle tagajärjel väheneb terase küllastus ja langeb vastavalt ka magnetivoo tekitamiseks vajatav vool (amperkeerdude arv).

Mootori alakoormuse puhul saavutatakse faasimähiste toitmine madalama pingega sel teel, et ühendatakse mootori mähised tavalise kolmnurkühenduse asemel tähtühendusse. Sellisel ühendamisel saavad faasimähised pinget, mis on $\sqrt{3} = 1,73$ korda madalam liinipingest. Sellist vahendit võib kasutada, kui mootori koormus on kuni 40% nimikoormusest. Suuremal mootori koormusel ei ole võimalik kasutada seda viisi mähiste (eriti rootoris) ülemäärase soojenemise tõttu.



Jooni. 81. $\cos \varphi$ ja kasutegur staatori mähiste täht- ja kolmnurkühenduse korral ühesugusel võrgupingel.

Joonisel 81 on toodud 30-kW asünkroonmootori võimsus- ja kasuteguri kõverad, staatori mähise olles nii kolmnurk kui ka tähtühenduses.

Arvutusnäide mootori võimsustarvituse kohta tähtühendusse ümberühendamisel.

a) Mootor on kolmnurkühenduses. Võrgust tarbitav võimsus on seejuures $P = 15 \text{ kW}$, võrgupinge $U = 220 \text{ V}$ ja võimsustegur $\cos \varphi = 0,8$. Vool toitejuhtmeis (liinivool)

$$I = \frac{P \cdot 1000}{\sqrt{3} U \cos \varphi} = \frac{15 \cdot 1000}{1,73 \cdot 220 \cdot 0,8} = 49 \text{ A,}$$

faasivool

$$I_f = \frac{I}{\sqrt{3}} = \frac{49,2}{1,73} = 28 \text{ A.}$$

b) Sama mootor tähtühenduses. Faasipinge

$$U_f = \frac{U}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ V.}$$

Et pinge vähenes $\sqrt{3}$ -kordselt, siis nõrgeneb ka faasivool samas vahekorras:

$$I_f = \frac{28,4}{\sqrt{3}} = 16,4 \text{ A.}$$

Võimsus

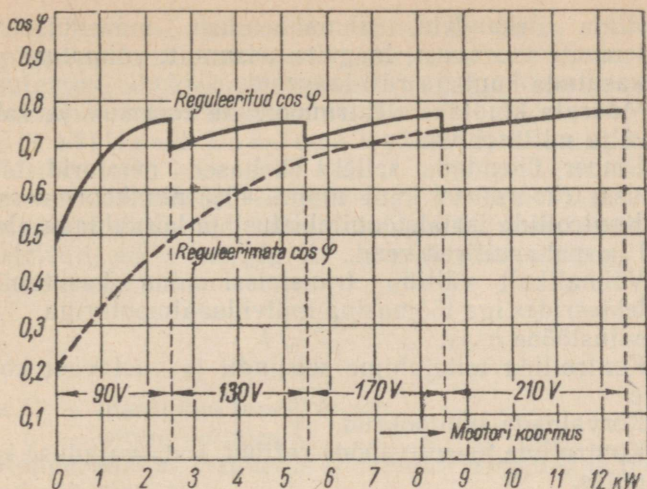
$$P = \sqrt{3} U I \cos \varphi = 3 U_f I_f \cos \varphi = \frac{3 \cdot 127 \cdot 16,4 \cdot 0,8}{1000} \approx 5 \text{ kW.}$$

Teoreetiliselt on mõeldav reguleerida võimsustegurit pidevalt, muutes asünkroonmootori toitepinget vastavalt mootori koormusele. Praktilist rakendamist selline $\cos \varphi$ reguleerimine pole siiski leidnud.

Joonis 82 näitab 30-kW mootori karakteristikut staatori pinge muutmisel vastavalt koormusele, kust nähtub, et $\cos \varphi$ on seejuures keskmiselt endine.

Ülaltoodut kokku võttes peab tähendama, et igas elektriseadmes on võimalik saavutada tunduv võimsusteguri parandamine, kui elektriseadmes läbi viia vastav kontroll- ja korrastustöö.

Alustades tööd elektrienergia säästu alal, tuleb eelkõige koostada elektribilanss kogu ettevõtte, tsehhide ja energiamahukate agregaatide kohta. Selline elektribilanss võimaldab analüüsida ja välja tuua elektrienergia tarbimise erikaalu nii tsehhide kui ka energiakulu koostisosade (kasulik tarbimine tootmisvajadusteks, kaod seadmetes, elektri-



Joon. 82. Asünkroonmootori (nimivõimsus 30 kW) $\cos \varphi$ reguleerimine pinge muutmisega.

võrkudes jne.) järgi. Energiakulu üksikud koostisosad määratakse vastavate kontrollmõõtmiste abil.

Järgmiseks tööetapiks tuleb lugeda organisatsiooniliste abinõude plaani koostamist, mis on suunatud elektrimajanduse ratsionaalsele juhtimisele, praagi ning kadude vähendamisele ja lõpptulemusena elektrienergia erikulunormi alandamisele. Selles abinõude plaanis näidatakse vastutavad teostajad, täitmise tähtajad ja oodatav efektiivsus.

Elektriseadmete osas võiks soovitada järgmiste abinõude läbiviimist.

Elektrijuhtmete osas:

1. Selgitada juhtmete vastavus koormusele; mittevastavuse korral vahetada need võimaluse piires vajalikkudega.

2. Selgitada juhtmete isolatsiooni seisund; halva isolatsiooniga juhtmetel kõrvaldada kokkupuude maandatud esemetega. Mõõta isolatsioonitakistust.

Mootorite osas:

1. Kõrvaldada mootorite tühijooks, lülitades need tööpingi seisu ajaks välja.

2. Vähendada tööpinkide hõõrdumiskadusid, milleks

kontrollida ülekandeid, rihmaühendusi, määrimise ja määrdeainete vastavust, laagrite seisundit; võimaluse pii-rides kasutada kuul- ja rull-laagreid.

3. Määrata kindlaks elektrimootorite koormus ja vahe-
tada välja mittesobivad.

4. Ümber ühendada selleks kohased mootorid täht-
ühendusse (koormusel kuni umbes 40% nimikoormusest).

5. Kontrollida isolatsioonitakistust ja kõrvaldada elekt-
rilised ja mehaanilised vead.

6. Võimalikult vältida transmissioonide kasutamist,
komplekteerides iga töömasina individuaalmootoriga.

Keevitustööde osas:

1. Kontrollida toitejuhtme seisundit ja vastavust koor-
musele.

2. Kõrvaldada tühijooksud.

3. Kontrollida keevitustööde režiimi, seda vajaduse kor-
ral muutes.

Valgustuse osas:

1. Kontrollida valgustite asetuse otstarbekust ja lam-
pide suurust. Valgustid asetada nii, et valgustuse kasu-
tamine tööprotsessis oleks ratsionaalne; vajaduse korral
vahetada valgustites olevad lambid.

2. Kontrollida pidevalt valgustite korrasolekut; võima-
likult kõik valgustid varustada varjudega.

3. Nõuda valgustuse õigeaegset väljalülitamist töö-
protsessi lõpul ja hommikul valgenemisel, samuti hoiduda
liigsete valgustuspunktide tarvitamisest ruumides, mida ei
kasutata. Kohustada viimast ruumist lahkujat kustutama
valgustuse.

4. Puhastada perioodiliselt aknaid ja valgusteid.

5. Valgendada ruumide laed ja seinad.

Alles peale elektriseadme korrastamist võib vajaduse
korral asuda võimsusteguri parandamisele kunstlike
vahenditega.

Võimsusteguri parandamise abinõud, mis on seotud kompenseerimiseseadmete kasutamisega

Selliste abinõude hulka kuuluvad: staatiliste konden-
saatorite kasutamine, sünkroonkompensaatorite kasuta-
mine, töömasinast võimsuselt suuremate sünkroonmooto-
rite kasutamine.

Erandjuhtudel lubatavate abinõude hulka kuuluvad: olemasolevate sünkroongeneraatorite ja sünkroonmootorite kasutamine sünkroonkompensaatoritena, sünkroniseeritud asünkroonmootori kasutamine.

Staatilised kondensaatorid. Tavalised plaatkondensaatorid koosnevad kahest metallplaadist, mis on teineteisest eraldatud isoleerainega (dielektrikuga). Pingestades metallplaadid alalisvooluga, kujuneb nende vahel elektriväli, mille energia A on määratav pingega U ja mahtuvusega C .

$$A = \frac{CU^2}{2} \text{ Ws,}$$

kus C — mahtuvus faradites F ;

U — pinge voltides V .

Kondensaatori mahtuvus C avaldub laengu Q ja pinge U kaudu järgmiselt:

$$C = \frac{Q}{U}.$$

Kui Q on kulonites ja U voltides, siis C avaldub faradites.

Kuna farad (F) on väga suur ühik, siis praktikas kasutatakse väiksemat ühikut — mikrofaradit (μF):

$$1\mu F = 10^{-6} F.$$

Kondensaatori mahtuvus sõltub plaatide suuruselt, plaatidevahelise dielektriku paksusest ja selle dielektrilisest läbitavusest ϵ .

Tavalise plaatkondensaatori mahtuvus määratakse avaldisega

$$C = \epsilon \frac{S}{d} \text{ cm,}$$

kus ϵ — dielektriline läbitavus $\frac{F}{\text{cm}}$;

S — metallplaadi pind cm^2 ;

d — dielektriku paksus (plaatide vahekaugus) cm .

Linditaolistest plaatidest ja isoleerainest kokkukeeratud kondensaatori mahtuvus

$$C = \epsilon \frac{bl}{d} \text{ cm,}$$

kus ϵ — dielektriline läbitavus $\frac{F}{cm}$;

b — metall-lindi laius cm;

l — metall-lindi pikkus cm;

d — dielektriku paksus cm.

Kondensaatorite reaktiivvõimsus on määratav avaldisega

$$Q = UI_{rk} \text{ ja } I_{rk} = U\omega C = U2\pi fC,$$

kus U — pinge V;

ω — nurksagedus;

f — sagedus hertsides Hz;

C — mahtuvus faradites F.

Kondensaatori mahtuvuse suurendamiseks tuleb vähendada plaatide vahekaugust. Plaatide vahekaugus aga sõltub isolatsiooni dielektrilistest omadustest.

Tugevvoolu-kondensaatorites kasutatakse dielektrikuna tänapäeval peamiselt paberit. Paber immutatakse kas kõrgeväertusliku õliga või mõne sünteetilise immutusainega, nagu näiteks sovool (pentakloordifenüül).

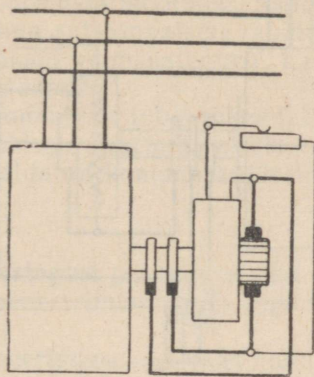
Paberina on kasutusel sile jõupaber, paksusega 0,007 kuni 0,015 mm.

Kõige tavalisem ehitusviis on kahe metall-lindi ja nende vahel oleva paberi kerimine lamedateks pakikesteks, millest kui põhielementidest ongi koostatud kogu kondensaator. Metall-lindi paksuseks on 0,007 kuni 0,030 mm.

Kondensaatori üksikelementide komplekt asetatakse ühisesse metallkesta, mis täidetakse vaakuumi all õliga. Kondensaatorid valmistatakse teatud tüüpsuurustena, näiteks 4, 6 või 10 kVAr, ja ühendatakse vajaduse korral gruppidesse, et saada suuremaid võimsusi. Energiakaod kondensaatorites on väga väikesed, kokku umbes 0,35—0,6% nimireaktiivvõimsusest kVAr-des.

Sünkroonkompensaator. Masin on aktiivvõimsuse suhtes tühijooksus olev sünkroonmootor, mis ülergutatult töötab pingest 90° ettetõttava vooluga, s. o. toodab ainult reaktiivvõimsust. Sünkroonkompensaator on seega põhiliselt tavaline sünkroonmootor, mis omab vaid kergemat mehaanilist ehitust, sest ta töötab aktiivvõimsuse suhtes tühijooksul ega ole sidurdatud ei jõu- ega töomasinaga.

Sünkroonmootor. Kui töömasinale valitakse suurema võimsusega sünkroonmootor, siis ta töötab alakoormusega ja on võimeline andma võrku reaktiivenergiat, parandades sellega seadme võimsustegurit.

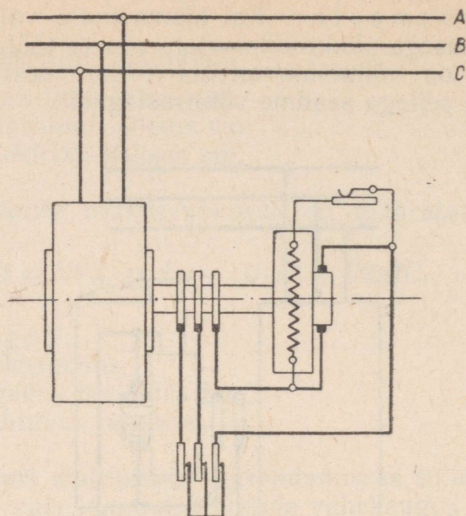


Joon. 83. Sünkroonmootor ja tema ergutusmasin.

Sünkroongeneraator. Nagu eespool tähendatud, on ka tavalist sünkroongeneraatorit võimalik kasutada reaktiivenergia tootmiseks. Selleks tuleb generaator rakendada tööse sünkroonmootorina. Ergutusvoolu tõstmisel üle normaalse, s. o. üleergutamisel, annab staator võrku reaktiivvõimsust. Sünkroongeneraatorit sünkroonmootorina kasutades võimaldab selle käivitamist poolusekingades olev summutusmähis. Staatori ühendamisel võrku töötab summutusmähisega varustatud rootor kui asünkroonmootori lühisrootor ja hakkab pöörlema. Sünkroonpöörlemiskiiruse lähedal rootor ergutatakse nõrgalt alalisvooluga, mille tulemusena see omandab sünkroonpöörlemiskiiruse. Seejärel viiakse ergutusvool normaalsele suurusele.

Sünkroniseeritud asünkroonmootor kujutab enesest tavalist kontaktrõngastega asünkroonmootorit, mille võllile on asetatud alalisvoolu-ergutusmasin. Rootori ergutamisel alalisvooluga töötab mootor sünkroonpöörlemiskiirusega ja kõrge võimsusteguriga.

Ergutusvool juhitakse rootorisse ühe kontaktrõnga harja ja käivitustakisti vahelt (joon. 84).



Joon. 84. Sünkroniseeritud asünkroonmootor.

Mootor käivitatakse kui tavaline kontaktrõngastega asünkroonmootor. Käivitamise järel pingestatakse ergutusmasin ja juhitakse ergutusvool rootorisse. Alalisvoolu toimel saab mootor sünkroonpöörlemiskiiruse. Ergutusmasina pingeks on tavaliselt 10—15 volti. Ergutusmasina asemel võib kasutada ka kuivalaldajaid. Mootori üleergutamine võimaldab anda võrku reaktiivvõimsust. Normaalselt ehitatakse sünkroniseeritud asünkroonmootoreid mahtuvusliku võimsusteguriga $-\cos \varphi = 0,9$, nii et täiskoormusel on mootor suuteline andma võrku reaktiivvõimsust umbes 50% ulatuses aktiivnimivõimsusest. Võimsusteguri $\cos \varphi = 0,9$ juures on mootori väärtusmoment võrdne umbes 1,5 kordsele nimipöördemomendile. Mootor leiab kasutamist ainult erandjuhtudel.

3. VÕIMSUSTEGURI PARANDAMINE

Vastavalt eespool toodule tuleb elektriseadme võimsusteguri parandamise esimese etapina teostada kõik abinõud, mis ei nõua kompenseerimisseadmeid. Selleks tuleb eel-

kõige analüüsida tootmise tehnoloogilist protsessi ja otsida teid selle ratsionaliseerimiseks, mis parandaks ühtlasi ka elektriseadme töörežiimi. Ka elektriseadme tööd tuleb pidevalt jälgida ja analüüsida. Pidevalt alakoormusega töötavate elektrimasinate väljaselgitamiseks tuleb teostada nende koormuste mõõtmisi. Saadud andmete alusel koostatakse kava ratsionaalsete abinõude rakendamiseks, mis parandaksid võimsustegurit, kasutamata selleks kompenseerimisseadmeid.

Kui sellised abinõud on juba rakendatud, siis asutakse võimsusteguri edasisele parandamisele, milleks kasutatakse eespool kirjeldatud kompensaatoreid.

Võimsusteguri parandamiseks sobiva kompenseerimisseadme liigi valik

Millist kompenseerimisseadet (kas kondensaatoreid, sünkroonkompensaatorit või muud seadet) ühel või teisel juhul kasutada, see sõltub eelkõige elektriseadme võimsusest ja seadme töörežiimist; sobivama kompenseerimisseadme valikuks tuleb teha mitu varianti, mille kohta koostatud majanduslike kalkulatsioonide kõrvutamine näitabki soodsama variandi kujul parima lahenduse. Majanduslikult kohasema variandi määramine peab toimuma esialgsete kapitalimahutuste ja iga-aastaste jooksvate kulutuste võrdlemise alusel. Kui täiendavad kulutused kallima variandi jaoks tehakse tasa iga-aastaste jooksvate kulude vähendamise arvel kuni 8 aasta jooksul, siis sellist varianti tuleb lugeda kõige otstarbekamaks. Kui aga kulutuste amortiseerimine toimub aja jooksul, mis ületab 8 aastat, siis tuleb kasulikumaks lugeda varianti, mille esialgsed kulutused on väiksemad. Esialgsete kulutuste hulka kuuluvad kompenseerimisseadme soetamise, selle veo ja ülesseadmise kulud, samuti kulud nende võrguelementide kohta, mille maksumus on võrreldavatel variantidel erinev (trafod, kaablid ja õhuliinid).

Iga-aastaste jooksvate kulude hulka arvatakse tavaliselt vaid kompenseerimisseadmetes esinevate energiakadude maksumus ja ka kadude maksumus nende võrguelementide kohta, mis on võrreldavatel variantidel erinevad. Ainult sünkroonkompensaatori puhul tuleb jooksvate kulutuste hulka arvata ka kompensaatori teenindamise kulud.

Sobivama variandi leidmiseks kasutatakse valemit:

$$n = \frac{A - B}{b - a} \text{ aastat,}$$

kus A ja B — võrreldavate variantide esialgsed erikulud rbl./kVAr;

a ja b — võrreldavate variantide iga-aastased jooksvad erikulud rbl./kVAr aastas;

a ja b kulutuste arvutamisel tuleb lähtuda keskmisest elektrienergia hinnast.

Kui $n = 8$ aastat, siis on võrreldavad variandid samaväärsed.

Kui $n > 8$ aastat, siis tuleb eelistada väiksemate esialgsete kulutustega varianti.

Kui aga $n < 8$ aastat, siis tuleb eelistada väiksemate jooksvate kuludega varianti.

Majanduslikult samaväärsetest variantidest tuleb eelistada varianti, mis vabastab suuremal määral reaktiivvõimsusest nii võrku kui ka trafosid.

Kompenseerimisseadme võimsuse valik. Kompenseerimisseadme võimsus määratakse avaldusega

$$Q = \frac{A_a (\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \alpha}{t_n} \text{ kVAr,}$$

kus A_a — suurema koormusega kuu aktiivenergia tarvitus kWh;

$\operatorname{tg} \varphi_1$ — faasi nihkenurga tangens, mis vastab suurema koormusega kuul esinevale keskmisele $\cos \varphi$ -le;

$\operatorname{tg} \varphi_2$ — faasi nihkenurga tangens, mis vastab taotlema-
vale $\cos \varphi$ -le (0,92—0,95);

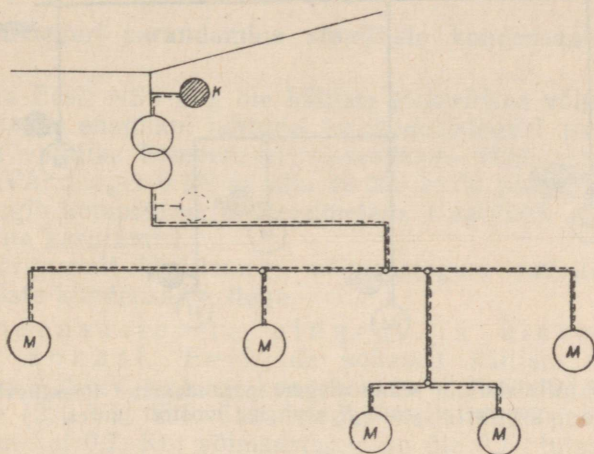
α — tegur, mis võtab arvesse võimalust tõsta võimsusteguri väärtust abinõude arvel, mis ei nõua kompenseerimisseadmeid. Olemasolevate seadmete puhul võetakse α väärtuseks 0,8—0,9. Projekteeritavate seadmete kohta võetakse $\alpha = 1,0$;

t_n — seadme töötundide arv kuus.

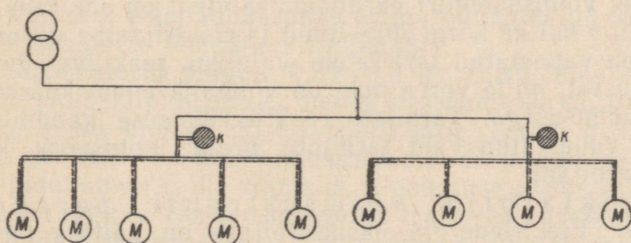
Kui arvutuse teel saadud kompenseerimisseadme võimsus on alla 5000 kVAr pingel 6 kV ja alla 10000 kVAr pingel 10 kV, siis tuleb kompenseerimisseadmena kasutada staatilisi kondensaatoreid ja sel juhul ei ole täiendav võrdlus teiste kompenseerimisviisidega vajalik.

Võimsusteguri parandamise viise

Lähtudes kompensaatori ülesseadmise asukohast elektri-seadmes on võimsusteguri parandamist võimalik organi-seerida järgmisel kahel viisil: tarbijate grupi võimsusteguri parandamine ja üksiktarbija võimsusteguri paran-damine.



Joon. 85. Tarbijate grupi võimsusteguri parandamine. Reaktiiv-võimsust genereeriv seade K asub trafoalajaamas.

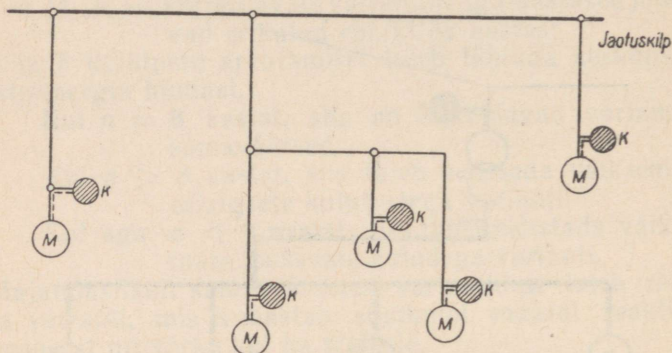


Joon. 86. Tarbijate grupi võimsusteguri parandamine. Reaktiivvõimsust genereeriv seade K asub iga mootorite grupi juures.

Tarbijate grupi võimsusteguri paran-damine. Antud juhul parandatakse kogu tarbijate grupi võimsustegurit. Tarbijate grupi moodustab näiteks kütis

tervikuna või selle üksikud tsehhid, kus on üles seatud terve rida mootoreid või muid elektrienergia tarbijaid. Grupina võib vaadelda ka rida kaitisi või muid tarbijaid.

Selle võimsusteguri parandamise viisi kohaselt seatakse reaktiivvõimsuse kompensatorid üles tarbijate gruppide juures, vastavalt joonisel 85 või 86 toodud skeemile.



Joon. 87. Üksiktarbija võimsusteguri parandamine. Reaktiivvõimsust genereeriv seade *K* asub iga mootori juures.

Tarbijate gruppide võimsusteguri parandamine on ökonoomsuse seisukohalt üks paremaid võimsusteguri parandamise viise ja leiab seetõttu praktikas rohket kasutamist.

Sellel võimsusteguri parandamise viisil on see eelis, et nii trafod kui ka kõrgepingeliinid ja elektrijaama generaatorid on vabastatud tarbijatele vajaliku reaktiivvõimsuse kandmisest, mille võrra neid on võimalik enam koormata aktiivvõimsusega. Tarbijate reaktiivvõimsuse kandmisest ei ole vabastatud vaid tarbijate grupi jaotusvõrk kuni üksiktarbijani.

Üksiktarbija võimsusteguri parandamine. Elektrienergia üksiktarbijaks on näiteks tehase iga üksik mootor.

Eriti soovitatav on kompenseerida üksikuid suuremaid elektrimootoreid, mis töötavad pidevalt nimikoormusega.

Üksiktarbija võimsusteguri parandamisel on lisaks elektrijaamale, kõrgepinge-toitevõrgule ja trafodele tarbijate reaktiivvõimsuse kandmisest vabastatud ka jaotusvõrgu juhtmed kuni üksiku kompensatoriga tarbijani.

Milline võimsusteguri parandamise viis on teatud konkreetsel juhul parem, seda otsustatakse alles tähelepaneliku ning hoolsa analüüsi põhjal. Tuleb siiski tähendada, et esineb ka segasüsteeme nimetatud kahest viisist, s. o. võimsusteguri parandamist nii üksikute mootorite kui ka mootorite gruppide juures.

Võimsusteguri parandamine staatiliste kondensaatoritega

Kuna Eesti NSV-s ei ole käitiste elektrilised võimsused suured, siis enamikul juhtudel on võimsusteguri parandamiseks vajalike kompenseerimisseadmete võimsused alla 5000 kVAr pingel 6 kV ja alla 10 000 kVAr pingel 10 kV. See tingib kompenseerimisseadmetena staatiliste kondensaatorite kasutamist.

Alljärgnevalt käsitlemegi võimsusteguri parandamist staatiliste kondensaatoritega.

Kondensaatorite pingest ja ülesseadmise kohast. Eeskirjade kohaselt käitises võrgupingega 0,22 kV seatakse kondensaatorid üles madalpinge poolele (220 V), kui võimsustegur madalpinge poolel on väiksem kui 0,7. Kui võimsustegur on üle 0,7, tuleb kondensaatorid seada üles kõrgepinge poolele (6—10 kV).

Käitistes võrgupingega 0,38 kV võib osutada kasulikumaks kondensaatorite ülesseadmine kas madalpinge ja kõrgepinge poolel või ainult madalpinge poolel. Ühe või teise variandi eelistamine peab olema põhjendatud käitise tootmiseseadmete töörežiimi analüüsiga.

Kondensaatorid pingele 0,22—0,5 kV tuleb üles seada käitise jaotuskilpide juures; nende ülesseadmine käitise alajaamas ei ole üldiselt nii otstarbekohane. Ainult neil juhtudel, kui 0,22—0,5-kV kondensaatorite ülesseadmine jaotuskilpide juures ei ole võimalik tuleohutuse seisukohalt ja lisaks on nõutav kompenseerida ka trafo reaktiivvõimsust, on nende kondensaatorite ülesseadmine lubatav ka alajaama (madalpinge poolel).

Jaotuskilbi juures ülesseatava kondensaatoripatarei võimsuseks on soovitatav võtta vähemalt 30 kVAr, sest väikese võimsuse korral kasvavad kulutused ühe võimsusühiku kohta liiga suureks, peamiselt lülitus- ja mõõteriistade arvel. Lähtudes samadest kaalutlustest ei ole soovitatav pingel 6—10 kV üles seada kondensaatoripata-

reisid võimsusega alla 400 kVAr, kui nende jaoks on eraldi võrgulüliti, ja alla 100 kVAr, kui kondensaatorid ja trafod omavad ühise võrgulüliti.

Kondensaatori võimsus ja mahtuvus. Kondensaatori võimsus on määratav valemiga

$$Q_k = U^2 \omega C \cdot 10^{-3} \text{ kVAr},$$

kus Q_k — kondensaatorite võimsus kVAr;

U — pinge V;

ω — nurksagedus; $\omega = 2\pi f = 314 \frac{1}{\text{sec}}$ (sagedusel $f = 50 \text{ Hz}$);

C — kondensaatorite mahtuvus F.

Kui pinge U on võetud kV, siis mahtuvus C tuleb võtta μF .

Kondensaatorite mahtuvus

$$C = \frac{Q_k 10^3}{U^2 \omega} \text{ F.}$$

Võrdse reaktiivvõimsuse juures on kondensaatorite mahtuvus täht- ja kolmnurkühenduse korral

$$C_\lambda = 3C_\Delta,$$

kus C_λ — ühe faasi mahtuvus tähtühenduse puhul;

C_Δ — ühe faasi mahtuvus kolmnurkühenduse puhul.

Kondensaatori tähtühendus kolmefaasilises võrgus.

$$\text{Vool } I_1 = I_f = \frac{U}{\sqrt{3}} \omega C_\lambda \cdot 10^{-3} = U_f \omega C_\lambda \cdot 10^{-3} \text{ A}$$

ehk

$$I_f = \frac{Q_k}{U\sqrt{3}} \text{ A,}$$

kus I_1 — liinivool A;

I_f — faasivool A;

U — võrgupinge kV;

ω — nurksagedus;

C_λ — kondensaatori ühe faasi mahtuvus μF ;

Q_k — kondensaatorite reaktiivvõimsus kVAr.

Reaktiivvõimsus

$$Q_k = UI_1\sqrt{3} \text{ või } Q_k = U^2\omega C_\lambda 10^{-3} \text{ kVAR.}$$

Mahtuvus kondensaatori ühe faasi kohta

$$C_\lambda = \frac{Q_k 10^3}{U^2\omega} \text{ või } C_\lambda = \frac{I_f \sqrt{3} \cdot 10^3}{U\omega} \mu\text{F.}$$

Kondensaatorite kolmnurkühendus
kolmefaasilises võrgus.

Vool juhtmes

$$I_1 = \sqrt{3}U\omega C_\Delta 10^{-3} \text{ A.}$$

Reaktiivvõimsus

$$Q_k = UI_1\sqrt{3} = 3UI_f \text{ kVAR}$$

ehk

$$Q_k = U^2 3\omega C_\Delta 10^{-3} \text{ kVAR.}$$

Mahtuvus

$$C_\Delta = \frac{Q_k 10^3}{3U^2\omega} \text{ ehk } C_\Delta = \frac{I_1 10^3}{\sqrt{3}U\omega} \mu\text{F.}$$

Kondensaatorite ühendamine
ühefaasilisse võrku

Vool

$$I_k = U\omega C 10^{-3} \text{ A.}$$

Reaktiivvõimsus

$$Q_k = UI_f \text{ kVAR}$$

ehk

$$Q_k = U^2\omega C 10^{-3} \text{ kVAR.}$$

Mahtuvus

$$C = \frac{Q_k 10^3}{U^2\omega} \mu\text{F}$$

ehk

$$C = \frac{I_f 10^3}{U\omega} \mu\text{F.}$$

Järjestikku ühendatud kondensaatorite üldmahtuvus arvutatakse järgmiselt:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}.$$

Kui üksikute kondensaatorite mahtuvused on võrdsed, s. o.

$$C_1 = C_2 = C_3 = \dots = C_n,$$

siis

$$C = \frac{C_1}{n}, \text{ kus } n \text{ — kondensaatorite arv.}$$

Kahe erineva mahtuvusega kondensaatori üldmahtuvus nende järjestikku ühendamisel

$$C = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}.$$

Rööbiti ühendatud kondensaatorite üldmahtuvus

$$C = C_1 + C_2 + \dots + C_n.$$

Alljärgnevas tabelis 23 on toodud kasutatavate staatiliste kondensaatorite tehnilised andmed.

Tabel 23

Staatiliste kondensaatorite tehnilisi andmeid¹

Tüüp	Mahtuvus μF	Välismõõded			Kaal kg	Hind 1 kVAr kohta rbl.	Märkusi
		kõrgus mm	pikkus mm	laius mm			
KM-0,24-4-3	220	425	380	110	23	90	1. Aktiivvõimsuse kaod temperatuuril +30—40°, sagedusel 50 Hz on 0,25—0,5% piires, arvutustel võib võtta kaoks 0,35% reaktiivvõimsusest. 2. Andmed kehtivad sagedusel 50 Hz.
KM-0,24-6-3	230	425	380	110	23	90	
KM-0,24-20-3	1120	—	—	—	—	90	
KM-0,42-6-3	110	425	380	110	23	51	
KM-0,42-8-3	140	425	380	110	23	51	
KM-0,42-40-3	726	—	—	—	—	51	
KM-0,55-8-3	85	425	380	110	23	46	
KM-0,55-50-3	525	—	—	—	—	46	
KM-1,1-10-1	26	455	380	110	23	30	
KM-3,3-10-1	2,92	455	380	110	23	28,5	
KM-6,6-10-1	0,73	490	380	110	24	28,5	
KM-11-10-1	0,264	520	380	110	25	30	

¹ Andmed võetud «Электротехнический справочник», 1955, том I lk. 393.

Kompenseeritava reaktiivvõimsuse leidmist lihtsustab alljärgnev tabel 24, milles otsitav reaktiivvõimsus on toodud aktiivvõimsuse ühe kilovati kohta.

Tabel 24

Kompenseeritava reaktiivvõimsuse suurus sõltuvalt võimsustegurist, väljendatuna aktiivvõimsuse 1 kW kohta

Enne kompeenseerimist		Reaktiivvõimsus $Q = P (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)$, võimsusteguri $\cos \varphi_2$ väärtustel:				
$\cos \varphi_1$	$\frac{Q}{P} = \operatorname{tg}\varphi_1$	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
1	2	3	4	5	6	7
0,30	3,17	2,43	2,56	2,70	2,85	3,17
0,40	2,29	1,54	1,67	1,81	1,96	2,29
0,41	2,23	1,47	1,61	1,74	1,90	2,23
0,42	2,16	1,41	1,54	1,68	1,83	2,16
0,43	2,10	1,35	1,48	1,61	1,77	2,10
0,44	2,04	1,29	1,42	1,56	1,71	2,04
0,45	1,99	1,24	1,37	1,51	1,66	1,99
0,46	1,93	1,18	1,31	1,45	1,60	1,93
0,47	1,88	1,13	1,26	1,40	1,55	1,88
0,48	1,83	1,08	1,21	1,34	1,50	1,83
0,49	1,78	1,02	1,16	1,29	1,45	1,78
0,50	1,73	0,98	1,11	1,25	1,40	1,73
0,51	1,69	0,94	1,06	1,20	1,36	1,69
0,52	1,64	0,89	1,03	1,16	1,31	1,64
0,53	1,60	0,85	0,98	1,12	1,27	1,60
0,54	1,56	0,81	0,94	1,08	1,23	1,56
0,55	1,52	0,77	0,90	1,03	1,19	1,52
0,56	1,48	0,73	0,86	1,00	1,15	1,48
0,57	1,44	0,69	0,82	0,96	1,11	1,44
0,58	1,41	0,66	0,78	0,92	1,08	1,41
0,59	1,37	0,62	0,75	0,89	1,04	1,37
0,60	1,33	0,58	0,71	0,85	1,01	1,33
0,61	1,30	0,55	0,68	0,82	0,97	1,30
0,62	1,27	0,52	0,65	0,78	0,94	1,27
0,63	1,23	0,48	0,61	0,75	0,90	1,23

1	2	3	4	5	6	7
0,64	1,20	0,45	0,58	0,72	0,87	1,20
0,65	1,17	0,42	0,55	0,69	0,84	1,17
0,66	1,14	0,39	0,52	0,66	0,81	1,14
0,67	1,11	0,36	0,49	0,62	0,78	1,11
0,68	1,08	0,33	0,46	0,59	0,75	1,08
0,69	1,05	0,30	0,43	0,57	0,72	1,05
0,70	1,02	0,27	0,40	0,54	0,69	1,02
0,71	0,99	0,24	0,37	0,51	0,66	0,99
0,72	0,96	0,21	0,34	0,48	0,64	0,96
0,73	0,94	0,19	0,32	0,45	0,61	0,94
0,74	0,91	0,16	0,29	0,43	0,58	0,91
0,75	0,88	0,13	0,26	0,40	0,55	0,88
0,76	0,86	0,11	0,23	0,37	0,53	0,86
0,77	0,83	0,08	0,21	0,35	0,50	0,83
0,78	0,80	0,05	0,18	0,32	0,47	0,80
0,79	0,78	0,03	0,16	0,29	0,45	0,78
0,80	0,75	—	0,13	0,27	0,44	0,75

N ä i d e 1. Tehase elektrivõrk on koormatud keerdvoolu-mootoritega, aktiivvõimsuseks $\cos \varphi_1 = 0,6$ puhul on 30 kW. Määrata reaktiivvõimsus, mis tuleks kompenseerida, et saada $\cos \varphi_2 = 0,95$.

Tabelist leiame, et võimsusteguri parandamiseks väärtu-selt 0,6 väärtusele 0,95 on vaja kompenseerida reaktiiv-võimsust 1,01 kVAr iga 1 kW aktiivvõimsuse kohta.

Seega 30 kW aktiivvõimsuse kohta on vaja kompensee-rida reaktiivvõimsust

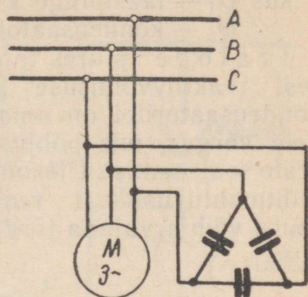
$$Q = 30 \cdot 1,01 = 30,3 \text{ kVAr.}$$

N ä i d e 2. Tehase 40 kW nimivõimsusega keerdvoolu-asünkroonmootor töötab pidevalt alakoormusega, tarbides võrgust aktiivvõimsust 30 kW, kusjuures $\cos \varphi = 0,8$. Mää-rata reaktiivvõimsus, mis tuleb kompenseerida võimsus-teguri parandamiseks väärtusele 0,95.

Tabelist 24 leiame, et 1 kW aktiivvõimsuse kohta tuleb kompenseerida 0,44 kVAr reaktiivvõimsust. 30 kW aktiiv-võimsuse kohta tuleb seega kompenseerida

$$Q = 30 \cdot 0,44 = 13,2 \text{ kVAr.}$$

Keerdvoolumootori reaktiivvõimsust võib kompenseerida sedavõrd, et saadakse võimsusteguri väärtuseks 1. Selleks ühendatakse paralleelselt mootori klemmidega kondensaator (joon. 88), mille võimsus katab mootori reaktiivvõimsuse tarvituse täiskoormusel, s. o. nimikoormusel. Tühjooksul ületab selliselt valitud kondensaatori reaktiivvõimsus mootori reaktiivvõimsuse tarvituse ja kondensaator annab reaktiivvõimsuse ülejäägi võrku. Kui aga kondensaatori võimsus katab mootori reaktiivvõimsuse tarvituse täielikult tühjooksul, s. o. kui mootor on tühjooksul täiesti kompenseeritud ($\cos \varphi = 1$), siis mootori täiskoormusel katab kondensaator mootori reaktiivvõimsuse tarvituse umbes pooles ulatuses, s. o. võimaldab viia mootori võimsusteguri $\cos \varphi = 0,95$, mis praktiliselt on ka küllaldane.



Joon. 88. Võimsustegurit parandavate kondensaatorite ühendamise rööbiti asünkroonmootoriga.

Kondensaatoriga varustatud mootori võrku lülitamisel lülitatakse samaaegselt võrku ka kondensaator. Sama toimub ka mootori väljalülitamisel.

Lülitatuna võrgust välja jääb igasse kondensaatorisse teatud suurusega jääklaeng. Jääklaeng võib püsida kondensaatorites mitu tundi pärast võrgust väljalülitamist. Mitte täiesti tühjenenud kondensaatori uuesti võrku lülitamisel võib esineda juht, kus kondensaatori jääkpinge liitub võrgupingega. Sel puhul esinev suur voolutõuge võib rikkuda lüliti ja kaitsmed. Et vältida neid kahjustusi ja samuti elektrilööke kondensaatori puudutamisel, tuleb kondensaatorid varustada tühjendustakistitega.

Kondensaatorite ühendamisel mootori või trafoga ei ole eraldi tühjendustakistite ülesseadmine nõutav, sest kondensaatorite tühjenemine toimub siin mootori või trafo mähiste kaudu. Ent igal juhul tuleb täita kõik nõuded maandamise ja nullimise kohta.

Tühjendustakisti suuruse võib orienteerivalt määrata järgmise empiirilise valemiga:

$$R \leq 15 \cdot 10^6 \frac{U_f^2}{Q_k} \Omega,$$

kus U_f — faasipinge kV;

Q_k — kondensaatorite reaktiivvõimsus kVAR.

Trafo de juures tuleb hoiduda ülekompanseerimisest, sest reaktiivvõimsuse kompenseerimiseks kasutatavatel kondensaatoritel on omaduseks tugevdada ülepingelaineid võrgus, mis põhjustab rauaskadude suurenemist ja trafo soojenemist. Ülekompanseeritud trafo juures esinevast puhtmahtuvuslikust reaktiivvõimsusest tingitud pingetõusu võib arvutada järgmise lihtsustatud valemi abil:

$$U_{tõus} = U_k \frac{Q_m}{S_{tr}} \%,$$

kus $U_{tõus}$ — pingetõus, %-des nimipingest;

U_k — trafo lühispinge, %-des nimipingest;

Q_m — trafo mahtuvuslik koormus kVAR;

S_{tr} — trafo nimivõimsus kVA.

Kondensaatoriga kompenseeritud keerdvoolu-asünkroonmootori juures võib juhtuda, et kompenseeritav mootor saab kondensaatorite olemasolul ergutust ja töötab võrgust väljalülitamise järel inertsil mõjul pööreldes generaatorina, andes vastavalt pinget. Selle pinge suurus sõltub masina sildiaandmetest, kondensaatorite mahtuvusest ja ka pidevalt langevast mootori pöörlemiskiirusest. Juhul kui mootor on tühijooksul tugevasti ülekompanseeritud, võib pinge osutuda võrgupingest kõrgemaks ja kahjustada mootori mähiseid. Ka osutub ta ohtlikuks teenindavale personalile, kes ei tea aimatagi võrgust väljalülitatud mootori juures esineda võivat kardetavat pinget, kuigi see esineb vaid lühiajaliselt.

Kõik sellised mootorid peavad olema hästi maandatud ja maanduse seisukorda tuleb aeg-ajalt kontrollida.

Tõstukite juures võib samuti esineda juhuseid, näiteks raskuse allalaskmisel, mil kompenseeritud mootor töötab generaatorina. Selle juures võib esineda ka võrgupingest kõrgem pinge. Seetõttu ei tohi neid mootoreid enne täielikku seismajäämist puudutada. Ka ei ole selliseid mootoreid soovitatav üksikult kompenseerida.

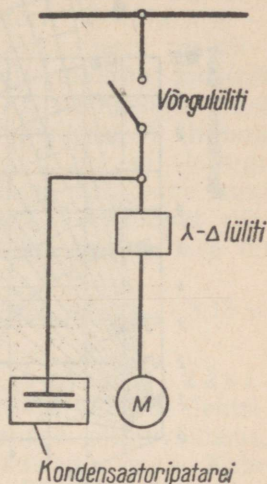
Täht-kolmnurklülitiga käivitatava asünkroonmootori üksikkompenseerimisel kondensaatoritega tuleb

silmas pidada, et tähelt kolmnurka ajaline voolukatkestus, mispuhul ühendatud kondensaator põhjustab võib küündida kuni võrgupinge Tähele üleminekul võib tek- kida sama kõrge pinge. Seega võib katkestuspinge omada kuni kahekordse võrgupinge väärtuse. Kõrge pinge tekkimine võib põh- justada ülelööke, mille tulemuseks võib olla täht-kolmnurklüliti rik- ked ja ka õnnetused teenindava personaliga.

Praktikas kasutatakse täht-kolm- nurklülitiga varustatud kompen- seeritava asünkroonmootori ja kon- densaatori ühendamiseks võrguga vastavat võrgulülitit. Selle lüliti järel asuv täht-kolmnurklüliti on määratud ainult mootori käivita- miseks (joon. 89).

Mõnikord nõutakse kompenseeri- misseadmete väljalülitamist, näi- teks töövaheaegadeks ja puhke- päevadeks. Neil juhtudel on soo- vitav kasutada automaatseadmeid, mis lülitavad kondensaatoreid sisse või välja (täielikult või osaliselt) sõltuvalt reaktiivvõimsuse vajadusest; seda automaatseadet juhib reaktiivvõimsuse suurusele, ajale või pingemuutusele reageeriv organ.

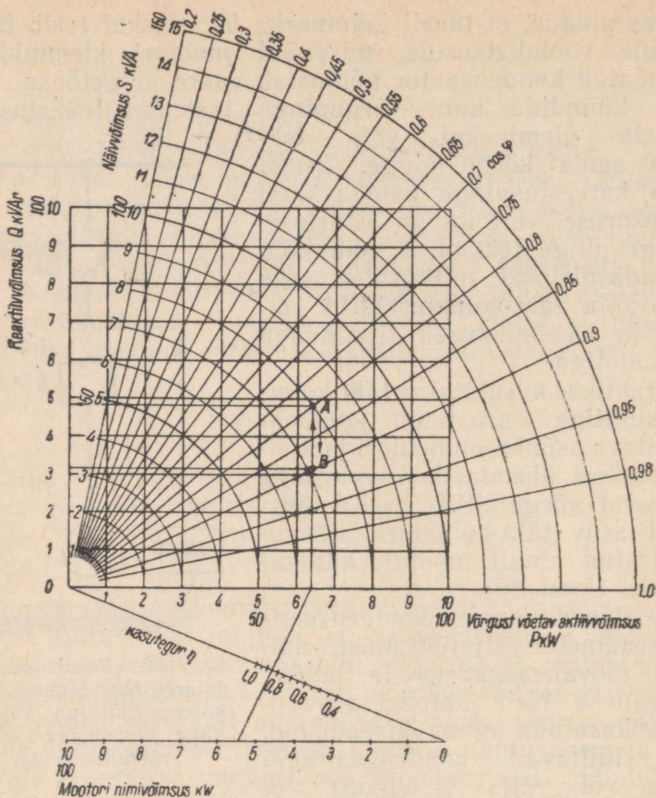
üleminekul tekib lühi- mootori klemmidega suure pingetõusu, mis maksimaalväärtuseni.



Joon. 89. Kondensaatori- patarei ühendamine täht- kolmnurklülitiga käivita- tava keerdvoolu-asünk- roonmootoriga.

Diagramme tarbijate aktiiv-, reaktiiv- ja näivvõimsuste, samuti $\cos \varphi$ määramiseks

Mõnikord tekib vajadus kiirelt määrata mõne tarbija, näiteks elektrimootori poolt võrgust võetava reaktiivvõim- suse orienteeriv suurus, samuti selle võimsusteguri paran- damiseks vajatav reaktiivvõimsuse kompenseerimise määr. Niisugustel juhtudel on võimalik kasutada alljärgnevaid diagramme (joon. 90 ja 91).



Joon. 90. Diagramm keerdvoolu-asünkroonmootori reaktiivvõimsuse määramiseks.

Juhis joonisel 90 toodud diagrammi käsitamiseks. Diagrammi käsitamise selgitamiseks võtame näite. Olgu antud keerdvoolu-asünkroonmootor nimivõimsusega $P = 5,5$ kW, kasuteguriga $\eta = 0,86$ ja võimsusteguriga $\cos \varphi = 0,8$.

Tuleb määrata mootori poolt võrgust võetav reaktiivvõimsus, samuti reaktiivvõimsuse suurus, mis tuleks kompenseerida mootori võimsusteguri $\cos \varphi$ tõstmiseks väärtusele 0,9.

Diagrammi alumises osas toodud aktiivvõimsuse skaalalt, mootori nimivõimsusele $P = 5,5$ kW vastavast punktist

tõmbame sirge läbi kasuteguri skaala vastava punkti ($\eta = 0,86$) kuni lõikumiseni võrgust võetava võimsuse skaalaga. Lõikepunkt määrab mootori poolt võrgust võetava võimsuse, mis on 6,4 kW. Püstjoon kuni lõikumiseni võimsusteguri $\cos \varphi = 0,8$ kiirega annab punkti A , mis, asudes vastaval kaarel, määrab mootori näivvõimsuse — 8 kVA. Rõhtjoon läbi punkti A kuni lõikumiseni reaktiivvõimsuste skaalaga annab punkti, mis määrab mootori reaktiivvõimsuse, mis on $Q = 4,8$ kVAR. Kompenseerimist vajava reaktiivvõimsuse leiame, kui punktist A liigume mööda püstjoont allapoole kuni lõikumiseni kiirega $\cos \varphi = 0,9$. Leitud punktist B tõmbame rõhtjoone kuni lõikumiseni reaktiivvõimsuste skaalaga. Lõikepunkt näitab mootori reaktiivvõimsust $\cos \varphi = 0,9$ juures. See on 3,15 kVAR.

Kompenseerida tuleb seega reaktiivvõimsust $4,8 - 3,15 = 1,65$ kVAR.

Juhisjoonisel 91 toodud diagrammi käsitlemiseks. Diagrammis on toodud järgmised elektriseadme koormust iseloomustavad suurused: aktiivvõimsus, reaktiivvõimsus, näivvõimsus ja võimsustegur $\cos \varphi$. Kahe toodud suuruse teadmisel on võimalik leida ülejäänud kahte. Lisaks sellele on diagrammi abil võimalik määrata ka reaktiivvõimsuse suurus, mis tuleb kompenseerida seadme võimsuseteguri $\cos \varphi$ parandamisel teatud suuruseni.

Näide 1. Antud aktiivvõimsuse $P = 75$ kW ja reaktiivvõimsuse $Q = 130$ kVAR juures määrata näivvõimsus S ja võimsustegur $\cos \varphi$.

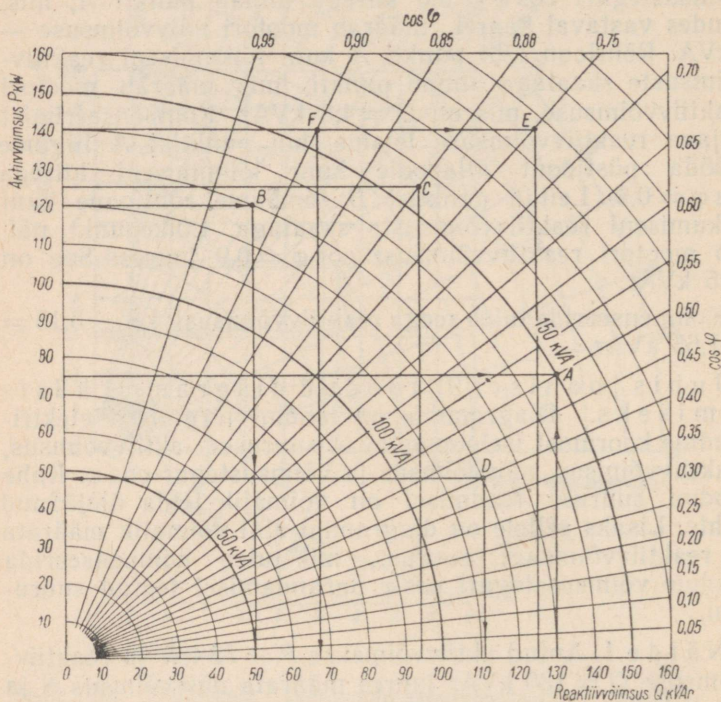
Leiame rõht- ja püstjoone lõikepunkti A (rõhtjoone, mis läbib aktiivvõimsuste skaala $P = 75$ kW kohal ja püstjoone, mis läbib reaktiivvõimsuste skaala $Q = 130$ kVAR kohal). Leitud punkt asub kaarel, mis vastab näivvõimsusele $S = 150$ kVA. Sama punkti läbib kiir tähistab võimsusteguri väärtust: $\cos \varphi = 0,50$.

Näide 2. Antud aktiivvõimsuse $P = 120$ kW ja näivvõimsuse $S = 130$ kVA juures määrata reaktiivvõimsus ja võimsustegur $\cos \varphi$.

Tõmbame rõhtjoone läbi punkti, mis vastab aktiivvõimsusele $P = 120$ kW. Pikendame rõhtjoont kuni lõikumiseni kaarega $S = 130$ kVA. Püstjoon läbi selliselt leitud lõike-

punktide B määrab reaktiivvõimsuse teljel reaktiivvõimsuse, mis on 50 kVAr.

Punkti B asend võimsusteguri kiirte suhtes näitab, et $\cos \varphi = 0,92$.



Joon. 91. Diagramm aktiivvõimsuse, reaktiivvõimsuse, näivvõimsuse ja $\cos \varphi$ määramiseks.

Näide 3. Antud aktiivvõimsuse $P = 125$ kW ja $\cos \varphi = 0,8$ juures määrata näivvõimsus ja reaktiivvõimsus.

Leiame läbi punkti $P = 125$ kW tõmmatud rõhtjoone lõikepunkti võimsusteguri $\cos \varphi = 0,8$ kiirega. Saadud lõikepunkti C asukoht näivvõimsust tähistavate kaarte vahel annab S väärtuseks 156 kVA.

Punkti C läbiv püstjoon määrab reaktiivvõimsuste teljel reaktiivvõimsuse: $Q = 94$ kVAr.

Näide 4. Antud näivvõimsuse $S = 120$ kVA ja $\cos \varphi = 0,4$ juures määrata aktiivvõimsus ja reaktiivvõimsus.

Leiame võimsusteguri $\cos \varphi = 0,4$ kiire löikepunkti kaarega $S = 120$ kVA. Rõhtjoon läbi leitud löikepunkti D määrab aktiivvõimsuseks $P = 48$ kW, kuna püstjoon annab reaktiivvõimsuseks $Q = 111$ kVAr.

N ä i d e 5. Käitise koormus aktiivvõimsusena moodustab $P = 140$ kW $\cos \varphi = 0,75$ juures.

On nõutav parandada käitise võimsustegurit väärtuseni $\cos \varphi = 0,9$. Millisel määral tuleb selleks kompenseerida reaktiivvõimsust?

Leiame punkti $P = 140$ kW läbiva rõhtjoone löikepunkti võimsusteguri $\cos \varphi = 0,75$ kiirega. Leitud löikepunktist E liigume rõhtjoonel vasakule kuni lõikumiseni kiirega $\cos \varphi = 0,9$. Saadud punkti F ja punkti E vahekaugus määrabki reaktiivvõimsuse, mis tuleb kompenseerida; püstjoon läbi punkti E annab reaktiivvõimsuse $Q = 125$ kVAr (vastab $\cos \varphi = 0,75$), püstjoon läbi punkti F määrab reaktiivvõimsuse $Q = 65$ kVAr. Seega tuleb kompenseerida reaktiivvõimsust $Q = 125 - 65 = 60$ kVAr.

Tuleb märkida, et valitsuse määruse alusel toimub igas kvartalis tööstusettevõtete vaheline sotsialistlik võistlus elektrienergia säästu ning võimsusteguri tõstmise alal, milles esikohale tulnud tööstusettevõtete töötajaid premeeritakse kinnitatud määrustiku alusel energiasäästu ja võimsusteguri tõstmise eest.

Näiteid võimsusteguri parandamise kohta

Alljärgnevalt on toodud kaks näidet võimsusteguri parandamise kohta käitistes.

N ä i d e 1. Kaks kõrvuti asuvat tehast — masinaehitus- ja keemiatehas — omavad ühise trafokioski. Mõõtmised on näidanud, et keskmine aastane võimsustegur trafokioskis on 0,7. Võrgupinge madalpinge poolel on 220 V, sagedus 50 Hz.

Masinaehitustehases on üles seatud 17 keerdvooluasünkroonmootorit installeeritud võimsusega 254,8 kW ja keemiatehases 15 mootorit installeeritud võimsusega 89,65 kW.

Eelkõige tuleb jõuda selgusele, kas ülesseatud mootorid on küllaldaselt koormatud. Sellekohaste mõõtmiste tulemused on toodud tabelites 25 ja 26.

Mõõtmistel määrati kindlaks iga mootori poolt võrgust võetav aktiivvõimsus P , näivvõimsus S ja võimsustegur $\cos \varphi$.

Nende andmete abil arvutati reaktiivvõimsus:

$$Q = S \sin \varphi.$$

Masinaehitustehases töötab kaks suuremat mootorit pidevalt vaid pool päeva. Ühe nimetatud mootori ($P = 40$ kW) võimsustegur on töötamisel 0,84, kuigi koormus on alla 50%. See on seletatav sellega, et mootor on ehitatud pingele 500 V, kuid ühendatuna tähte töötab pingel 220 V.

Mõõtmistulemuste najal tuleb soovitada mõnede mootorite töötamist tähtühenduses. Sellisteks mootoriteks on: masinaehitustehases — valukoja transmissiooni mootor nimivõimsusega 11,0 kW, transmissiooni mootor nimivõimsusega 11,0 kW ja freesmasina mootor nimivõimsusega 3,0 kW (tabelis 25 jrk. nr. 2, 10 ja 17);

keemiatehases — seebi strandpressi mootor nimivõimsusega 5,5 kW, ookriveski mootor nimivõimsusega 7,5 kW, pesupulbri eelpurustaja mootor nimivõimsusega 5,5 kW ja keedukatla segaja mootorid nimivõimsusega 4,0 ja 5,8 kW (tabelis 26 jrk. nr. 1, 5, 9, 13 ja 14).

Masinaehitustehases tuleks üks mootor (treipingi mootor võimsusega 3,0 kW) ja keemiatehases kaks mootorit (pesupulbri elevaatori mootor nimivõimsusega 2,2 kW ja üks keedukatla mootoritest nimivõimsusega 7,5 kW) asendada väiksematega, näiteks keemiatehases keedukatla mootorina kasutada 2,2-kW mootorit ja elevaatori jaoks võtta uus, võimsusega umbes 0,8 kW. Nende abinõude rakendamise tulemusena paraneb seadme võimsustegur mõlemas käitis. Edasine võimsusteguri parandamine tuleb saavutada staatiliste kondensaatorite kasutuselevõtmisega. Parandame võimsustegurit näiteks väärtusele 0,95. Vajalike kondensaatorite võimsuse leiame alljärgneva arvutuse teel.

Ööpäevaste koormusgraafikute analüüs näitab, et keskmiseks aktiivkoormuseks on keemiatehases 25 kW ja masinaehitustehases 125 kW. Seejuures võimsusteguri mõõtmisel saadi järgmised tulemused: keemiatehases $\cos \varphi = 0,7$; masinaehitustehases $\cos \varphi = 0,72$.

Vajalik kondensaatorite võimsus keemiatehases

$$Q_k = P(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \alpha = 25(1,02 - 0,32)0,9 = 16 \text{ kVAr},$$

kus $\operatorname{tg} \varphi_1 = 1,02$ (vastab $\cos \varphi_1 = 0,7$);

$\operatorname{tg} \varphi_2 = 0,32$ (vastab $\cos \varphi_2 = 0,95$).

Masinaehitustehases ülesseatud mootorite andmed

Töomasina nimetus	Mootori sildandmed				Mootori tegelik koormus			
	Nimivõimsus kW	Võrgust tarbitav võimsus kW	Pöörlemiskiirus p/min	cos φ	Aktiivvõimsus kW	Näivvõimsus kVA	cos φ	Reaktiivvõimsus Q kVAr
1. Valukoja ventilaator	8,5	9,8	2900	0,88	7,56	8,45	0,89	3,84
2. Valukoja transmissioon	11,0	12,8	1425	0,9	3,0	5,55	0,54	4,67
3. Valukoja käi	7,8	9	1435	0,86	3,84	6,95	0,57	5,7
4. Mehaaniline haamer	22,1	25,8	745		22,2	28	0,79	17,1
5. Transmissioon (mootor 500 V, tähtühenduses)	16,0	18,3	1440		5,2	6,6	0,79	4,03
6. Stantside transmissioon	5,5	6,6	960	0,81	4,8	6,67	0,73	4,55
7. Kompressor (mootor 500 V, tähtühenduses)	40,0	46,5	720	0,8	18,6	22,0	0,84	11,90
8. Öhuhaamer	7,5	9,15	950	0,835	6,48	8,13	0,8	4,87
9. Smirgelkäi	11,0	12,8	1450	0,82	6,6	8,9	0,74	5,97
10. Transmissioon	11,0	13,1	710	0,78	3,6	7,6	0,47	6,71
11. Suur kompressor	80,0	93	720	—	73,3	—	0,86	43,4
12. Treipink	3,0	3,6	950		1,74	3,53	0,49	3,08
13. Saepuru ventilaator	11,0	13,1	710	0,78	7,44	10,35	0,84	5,6
14. Ketassaag	5,5	6,5	1450	0,83	3,24	4,32	0,75	2,85
15. Hõõvelmasin	7,5	8,6	2910	0,89	4,56	5,45	0,836	3,00
16. Hõõvelmasin	4,4	5,2	1430	0,85	3,6	4,32	0,83	2,41
17. Freesmasin	3,0	3,6	2910	0,83	1,12	2,30	0,49	2,0
Kokku	254,8				176,88			131,68
Ilma 40-kW ja 80-kW mootoriteta (p. 7 ja 11)					84,98			76,38

Masinaehitustehase puhul lähtume üldvalemist:

$$Q_k = \frac{A(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \alpha}{t_n},$$

kus $A = 25200$ kWh — elektrienergia tarvitus kuus;
 $\operatorname{tg} \varphi_1 = 0,97$ (vastab $\cos \varphi_1 = 0,72$);

Keemiatehases ülesseatud mootorite tehnilised andmed

Töomasina nimetus	Mootori sildiandmed				Mootori tegelik koormus			
	Nimivõimsus P kW	Võrgust tarbitav võimsus kW	Pöörlemiskiirus p/min	cos φ	Aktiivvõimsus kW	Näivvõimsus kVA	cos φ	Reaktiivvõimsus kVA
1. Seebi strandpress . . .	5,5	6,6	960	0,81	2,22	4,64	0,48	4,08
2. Pileerimismasin . . .	8,8	10,5	940	0,82	4,20	6,84	0,61	5,40
3. Hõõvelmasin ja segaja	3,0	3,6	1410	0,84	2,28	2,70	0,84	1,46
4. Kompressorid	8,85	10,2	1430		4,32	5,84	0,74	3,91
5. Ookriveski	7,5	8,62	1430		2,88	4,34	0,66	3,25
6. Kuivatusahju ventilaator	4,0	4,73	1430		2,94	3,53	0,83	1,98
7. Kollerveski	5,5	6,46	1415	0,81	3,30	4,20	0,78	2,60
8. Veskikivid	7,5	8,62	1440		4,80	6,92	0,81	4,01
9. Pesupulbri eelpurustaja	5,5	6,46	1420		1,62	2,78	0,58	2,25
10. Pesupulbri pakkimiseruumi ventilaator	3,0	3,62	950		3,00	3,75	0,8	2,25
11. Kompressor	11,0	12,8	1430		12,2	13,90	0,88	6,53
12. Pesupulbri elevaator	2,2	2,65	1410		0,48	1,70	0,28	1,63
13. Keedukatla segaja	4,0	4,73	1430	0,89	1,44	2,52	0,57	2,06
14. " "	5,8	6,83	1430		2,40	3,70	0,65	2,81
15. " "	7,5	8,62	1430	0,87	0,90	2,80	0,32	2,66
Kokku	89,65				48,98			46,83

$\text{tg } \varphi_2 = 0,32$ (vastab $\text{cos } \varphi_2 = 0,95$);
 $t_n = 200$ — kätise töötundide arv kuus;
 $\alpha = 0,9$.

Seega

$$Q_k = \frac{25200 (0,97 - 0,32) 0,9}{200} = 74 \text{ kVAr.}$$

Et vabastada mõlema tehase toitekaablid kompenseeritavatest reaktiivvõimsustest, tuleb kondensaatorid üles seada eraldi mõlema tehase peajaotuskilpide juurde.

Lähtudes toodetavate kondensaatorite suurustest

(tabel 23) tuleks üles seada: keemiatehases 4 kondensaatorit üksikvõimsusega 4 kVAR, tüüp KM-0,24-4-3, masinaehitustehases 19 kondensaatorit tüüp KM-0,24-4-3.

Näide 2. Kombinaadi tööstusi — naelatehast, puitaara remonditöökoda ja kartonaažitehast toidetakse ühisest trafokioskist. Naelatehases on üles seatud 32 keerdvoolu-asünkroonmootorit ja muud elektrimasinat, taara remonditöökogas — 7 mootorit, kartonaažitehases samuti 7 keerdvoolu-asünkroonmootorit; võrgupinge on 220 V.

Kombinaadi laos on järgmise suurusega vabu keerdvoolu-asünkroonmootoreid:

$$P = 0,81 \text{ kW}, P = 0,5 \text{ kW}, P = 3,0 \text{ kW}, P = 11,0 \text{ kW}, \\ P = 0,73 \text{ kW ja } P = 4,0 \text{ kW}.$$

Elektriseadme võimsustegur tuleb tõsta väärtuseni 0,95.

Elektriseadme keskmine võimsustegur oli mõõtmisandmetel järgmine: naelatehases $\cos \varphi = 0,727$, taara remonditöökogas $\cos \varphi = 0,56$, kartonaažitehases $\cos \varphi = 0,48$.

Üksikasjalised andmed elektrimasinate suuruse kohta on koondatud alljärgnevasse tabelisse 27. Tabelisse 27 on paigutatud ka sellekohaste mõõtmiste tulemused masinate poolt võrgust tarbitava võimsuse kohta.

Mõõtmiste tulemused näitavad, et osa masinaid töötab suure alakoormusega, millest peamiselt sõltubki tehase madal võimsustegur.

Enne kunstlike vahendite rakendamist võimsusteguri parandamiseks tuleb mootorid nii sobitada töömasinatega, et ei esineks enam suurt mootorite alakoormust (alla 50—60%).

Alljärgnevas tabelis 28 on toodud variant mootorite ümberpaigutamise kohta kõigis kolmes käitis.

Ettenähtud ümberkorralduste tulemusel seadme võimsustegur kahtlematult paraneb. Selle edasiseks tõstmiseks vajaliku suuruseni (0,95) tuleb kasutada staatilisi kondensaatoreid.

Staatiliste kondensaatoriga kompenseerimisseadme võimsuse arvutamiseks on järgmised lähteandmed.

Kombinaadi tehastes ülesseatud mootorite tehnilised andmed

Töomasina nimetus	Mootori sildiandmed				Mootori tegelik koormus			
	Nimivõimsus kW	Võrgust tarbitav võimsus kW	Pöörlemiskiirus p/min.	cos φ	Aktiivvõimsus kW	Näivvõimsus kVA	cos φ	Reaktiivvõimsus kVA r
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Naelatehas								
1. Naelamasin	2,2	2,64	925	0,77	0,86	1,86	0,46	1,65
2. „	1,5	1,88	1420	0,83	1,12	1,49	0,75	0,98
3. „	1,5	1,88	1400	0,83	0,98	1,33	0,74	0,99
4. „	1,5	1,88	1400	0,83	0,72	1,10	0,66	0,83
5. „	1,5	1,88	1420	0,83	0,60	1,04	0,58	0,84
6. „	1,5	1,88	1400	0,81	0,82	1,48	0,55	1,24
7. „	0,81	1,04	1420	0,77	0,32	0,89	0,36	0,83
8. Ventilator	1,1	1,4	—	0,79	0,68	1,27	0,54	1,07
9. Puhastustrumlid	3,0	3,6	—	—	3,96	5,89	0,67	4,37
10. Naelamasin	4,0	4,75	940	0,8	2,46	3,86	0,64	2,98
11. „	1,47	1,82	700	0,72	1,10	2,02	0,55	1,69
12. „	4,00	4,75	940	0,82	2,46	3,64	0,68	2,67
13. „	4,0	4,75	920	0,82	2,46	4,15	0,59	3,35
14. „	3,0	3,7	700	0,72	1,10	2,32	0,47	2,05
15. „	2,2	2,6	720	0,8	2,04	3,30	0,62	2,59
16. „	2,2	2,6	720	0,8	2,04	2,40	0,85	1,27
17. Kompressor	5,5	6,4	1415	0,81	3,06	4,58	0,67	3,39
18. Okastraadimasin	5,5	6,45	960	0,84	6,60	9,55	0,69	6,90
19. Ketiosakonna transmissioon	4,0	4,7	1440	0,83	4,20	4,95	0,85	2,62
20. Stants	1,5	1,9	700	0,74	1,72	2,44	0,71	1,72
21. „	1,2	1,5	930	0,73	1,24	2,10	0,59	1,69
22. Transmissioon	2,2	2,65	1400	0,8	0,96	1,65	0,58	1,34
23. Keevitusaparaat	5	—	—	—	7,20	7,4	0,97	1,78
24. Keevitusautomaat I	6	—	—	—	8,00	8,0	1	—
25. „ II	6	—	—	—	4,40	4,4	1	—
26. Traadikeevitusaparaat	5	—	—	—	7,20	7,5	0,96	2,10
27. Traaditõmbemasin	44,0	50	965	0,85	38,40	55,5	0,69	40,13
28. „	22,0	25,5	960	0,85	8,80	13,6	0,64	10,47
29. „	37,0	42,5	960	0,86	28,20	41,1	0,69	29,72
30. Transmissioon	3,0	3,6	—	0,8	1,08	2,66	0,41	2,42
31. „	2,2	2,6	—	0,7	0,52	2,72	0,19	2,67
32. Sepikoja ventilator	0,8	1,0	—	0,78	0,54	1,31	0,41	1,19
Kokku					145,84		0,727	137,54

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Taararemonditöökoda								
1. Ketassaag	5,8	6,7	1450	0,86	1,99	5,10	0,39	4,70
2. Ventilaator	5,8	6,7	1450	0,87	4,86	7,10	0,66	5,33
3. Lintsaag	5,8	6,7	1450	0,87	1,44	3,72	0,39	3,43
4. Freemasin	1,5	1,9	1440	0,81	2,76	3,56	0,78	2,21
5. Hõõvelmasin	10,0	11,5	1460	0,87	3,20	7,46	0,43	6,74
6. Ketassaag	18,0	21	940		10,80	20,5	0,53	17,38
7. „	10,0	11,5	1460	0,87	10,40	16,1	0,65	12,24
Kokku					35,45		0,56	52,03
Kartonaazitehas								
1. Transmissioon I (5,5-kW mootor täht- ühenduses)	1,83	2,25	940	0,83	0,68	1,11	0,61	0,88
2. Transmissioon II	3,0	3,5	1430	0,8	1,20	2,18	0,35	2,04
3. Suur lõikemasin	2,2	2,7	930	0,81	0,58	1,90	0,30	1,81
4. Automaatne trükipress	3,0	3,6	1425	0,83	2,04	2,64	0,785	1,63
5. Kiirpress	1,5	1,9	920	0,74	0,52	1,85	0,28	1,78
6. Lineerimismasin	1,1	1,4	920	0,72	0,34	1,41	0,24	1,37
7. Viuõblemismasin	0,55		720	0,68	0,24	0,8	0,3	0,76
Kokku					5,60		4,48	10,27

Tabel 28

Soovitavad abinõud seadme võimsusteguri parandamise esimese etapi teostamisel

Töomasina nimetus	Olemasolev mootor		Vajatav mootori võimsus kW	Märkusi
	võimsus kW	koormuse määr %		
1	2	3	4	5
Naelatehas				
1. Naelamasin	2,2	32,5	0,8—1,1	Asendada vaba mootoriga $P = 0,81$ kW
2. „	1,5	32	0,6—0,8	Asendada vabaneva (p.l.) mootoriga, ühendades selle tähte
3. „	0,81	31	0,3—0,55	Asendada vaba mootoriga $P = 0,5$ kW, vahetada ka rihmarattad

1	2	3	4	5
4. Naelamasin	3,0	30	1,1	Asendada vabaneva (p. 2) mootoriga
5. „	1,5	38	0,81	Asendada vabaneva (p. 3) mootoriga
6. „	1,5	59,6	1,1	Tõsta töömasina kiirust, valides sobiva rihmaratta
7. „	1,5	52	1,1	Tõsta töömasina kiirust, valides sobiva rihmaratta
8. Ventilaator	1,1	48,5	0,7—0,81	Asendada vabaneva (p. 18) mootoriga, ühendades selle tähte
9. Naelamasin	1,5	43,5	0,81—1,1	Asendada vabaneva (p. 8) mootoriga
10. „	4,0	52	2,5—3,0	Asendada vabaneva (p. 4) mootoriga
11. „	1,47	61	1,1—1,2	Tõsta töömasina kiirust, vahetades rihmaratta
12. „	4,0	52	2,5—3,0	Asendada vabaneva (p. 15) mootoriga
13. „	4,0	52	2,5—3,0	Asendada vaba mootoriga $P=3,0$ kW
14. Traaditõmbemasin	22,0	34,5	8,8—10,0	Asendada vaba mootoriga $P=11$ kW
15. Transmissioon	3,0	30	1,1	Asendada vabaneva (p. 9) mootoriga
16. „	2,2	20	0,55	Ühendada mootor tähte
17. Kompessor	5,5	48	3	Asendada vabaneva (p. 12) mootoriga
18. Naela-lukk-sepa töökoja transmissioon	2,2	36	1,1	Asendada vabaneva (p. 5) mootoriga
19. Sepikoja ventilaator	0,8	54	0,55	Tõsta ventilaatori pöörlemiskiirust, vahetades rihmaratta
T a a r a - r e m o n d i - t ö ö k o d a				
1. Hõõvelmasin	10,0	28	3—4	Asendada vaba mootoriga $P=4$ kW
2. Ketassaag	5,8	30	1,5—2	Töötada tähtühenduses
3. Lintsaag	5,8	21,5	1,5	Asendada vaba mootoriga $P=4$ kW
4. Ketassaag	18,0	51,5	10—12	Asendada vabanenud mootoriga $P=10$ kW

1	2	3	4	5
Kartonaaži- tehas				
1. Kiirpress	1,5	27	0,55—0,81	Mootor ühendada tähte
2. Vihūõmblemis- masin	0,55	34	0,25—0,3	Asendada vaba mootoriga $P=0,73$ kW, ühendades selle tähte
3. Transmis- sioon I	5,5		0,81—1,1	Asendada transmissiooni II mootoriga, ühenda- des selle tähte
4. Suur löike- masin	2,2	21	0,6—0,81	Töötada tähtühenduses
5. Lineerimis- masin	1,1	24	0,3—0,55	Ühendada tähte
6. Transmis- sioon II	3,0	38	1,32—1,5	Asendada vaba mootoriga $P=4,0$ kW, ühendades selle tähte

Naelatehase kohta:

elektrienergia tarvitus kuus — 24 600 kWh;
keskmine ööpäeva aktiivkoormus 40 kW (koormus-
graafiku järgi);
käitise töötundide arv kuus $t_n = 600$;
käitise võimsustegur $\cos \varphi = 0,72$ (mõõdetud).

Taararemonditöökoja kohta:

elektrienergia tarvitus kuus — 2860 kWh;
keskmine tööpäeva aktiivkoormus — 14 kW (koormus-
graafiku järgi);
käitise töötundide arv kuus $t_n = 200$;
võimsustegur $\cos \varphi = 0,56$ (mõõdetud).

Kartonaažitehase kohta:

elektrienergia tarvitus kuus — 1250 kWh;
käitise töötundide arv kuus $t_n = 200$;
võimsustegur $\cos \varphi = 0,48$ (mõõdetud).

Kompenseerimisseadme võimsused kujunevad järgmis-
teks.

naelatehases:

$$Q_k = \frac{A(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2) \alpha}{t_n} = \frac{24600 (0,97 - 0,32) 0,9}{600} = 24 \text{ kVAr},$$

kus $\alpha = 0,9$;

$\operatorname{tg} \varphi_1 = 0,97$ (vastab $\cos \varphi_1 = 0,72$);

$\operatorname{tg} \varphi_2 = 0,32$ (vastab $\cos \varphi_2 = 0,95$)

Naelatehases tuleks seada üles 6 kondensaatorit üksikvõimsusega 4 kVAr, tüüp KM 0,24-4-3 (tabel 23).

Taararemonditöökojas:

$$Q_k = \frac{A(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)\alpha}{t_n} = \frac{2860(1,48 - 0,32)0,9}{200} = 15 \text{ kVAr},$$

kus $\operatorname{tg} \varphi_1 = 1,48$ (vastab $\cos \varphi_1 = 0,56$);

$\operatorname{tg} \varphi_2 = 0,32$ (vastab $\cos \varphi_2 = 0,95$);

$\alpha = 0,9$.

Taararemonditöökojas tuleb üles seada 4 kondensaatorit, üksikvõimsusega 4 kVAr, tüüp KM 0,24-4-3.

Kartonaažitehases:

$$Q_k = \frac{A(\operatorname{tg} \varphi_1 - \operatorname{tg} \varphi_2)\alpha}{t_n} = \frac{1250(1,83 - 0,32)0,9}{200} = 8 \text{ kVAr},$$

kus $\alpha = 0,9$;

$\operatorname{tg} \varphi_1 = 1,83$ (vastab $\cos \varphi_1 = 0,48$);

$\operatorname{tg} \varphi_2 = 0,32$ (vastab $\cos \varphi_2 = 0,95$).

Kartonaažitehases tuleb seada üles 2 kondensaatorit üksikvõimsusega 4 kVAr, tüüp KM 0,24-4-3.

Lähtudes tuleohutuse tingimustest, mis raskendavad kondensaatorite ülesseadmist puittaara remonditöökojas ja kartonaažitehases, samuti kompenseerimisseadmete võrdlemisi väikestest võimsustest ja tööstuste lähestikku asumisest, osutub otstarbekamaks kondensaatorite tsentraalne ülesseadmine trafokioskis.

Kompenseerimisseadme üldvõimsus

$$Q_k = 24 + 16 + 8 = 48 \text{ kVAr}.$$

Üles seada tuleb 12 kondensaatorit, tüüp KM 0,24-4-3.

LISAD

Üldvalgustuse valgustite minimaalsed riputuskõrgused
A. Hõõglampide puhul

Valgusti iseloomustus	Valgusti väikseim kõrgus põrandapinnast meetrites, kui lambi võimsus on	
	kuni 200 W	üle 200 W
Difuusse reflektoriga, kuid hajutajateta valgustid kaitsenurgaga 10–30°	3	4
Sama, kaitsenurgaga üle 30°	ei piirata	3
Difuusse reflektoriga ja hajutajatega valgustid, samuti reflektorita, kuid hajutajatega valgustid:		
a) läbilasketeguriga kuni 80% tsoonis 0–90° ja läbilasketeguriga kuni 55% tsoonis 60–90°	3	4
b) läbilasketeguriga kuni 55% tsoonis 0–90°	2,5	3
Peegelreflektoriga valgustid:		
a) sügavkiirgaja	2,5	3
b) laikiirgaja	4	6
Katmata mateeritud kolviga lamp	4	6

Märkusi.

1. Kui valgustites kasutatakse mateeritud kolviga lampe, siis võib riputuskõrgust vähendada 0,5 m võrra.

2. Kaitsenurgaga kuni 10° ja läbipaistmatute reflektoritega valgusteid ilma hajutajateta ning läbipaistvate lampidega ei ole lubatud kasutada ruumide üldvalgustuseks.

3. Kui valgustis kasutatakse mateeritud kolviga hõõglampe võimsusega kuni 60 W või läbipaistva kolviga lampe, kuid hajutajaga tsoonis 0–90°, samuti kui võimsamate lampidega valgustid ei satu nägemispiirkonda kuni 40° nurga juures, siis riputuskõrgust ei normita.

4. Tabelis toodud riputuskõrgusi võib vähendada 0,5 m võrra:

a) ruumides, kus nõutava üldvalgustuse valgustustihedus on alla 50 lx;

b) ruumides, mille pikkus ei ületa kahekordset valgusti riputuskõrgust põrandast;

c) ruumides, kus inimesi viibib vaid ajutiselt:

Tabel 29-b

B. Luminestsentslampide puhul

Valgusti iseloomustus	Valgusti kaitsenurk rist- ja pikitasapinnas	Valgusti väikseim kõrgus põrandapinnast meetrites, kui lampide arv valgustis või valgusribas on	
		4 ja vähem	üle 4
Otsese valgusega valgustid difuusse reflektoriga	15—25°	4	4,5
	25—40°	3	3,5
	üle 40°	ei piirata	
Hajutatud valgusega valgustid, kui hajutajate läbilasketegur on			
a) alla 55%	—	2,6	3,2
b) 50—80%	—	3,5	4,0

Märkusi.

1. Ruumide üldvalgustuseks ei ole lubatavad lahtised (kaitsmata) luminestsentslambid. Ühiskondlike hoonete ruumides, kus pidevalt ei viibi inimesi (vestibüülid, fuažeed jne.), on lubatav kasutada katmata luminestsentslampe vaid arhitektuurilis-kunstilistes vormistustes, kui muu lahendusviis on võimatu.

2. Valgustid kaitsenurgaga risttasapinnas alla 15° ilma hajutajateta ei ole lubatavad. Kui töötaja vaatamise suund on peamiselt risti valgustile, siis kaitsenurka pikitasapinnas ei normita.

3. Valgusti kaitsenurka on võimalik moodustada mõlemas tasapinnas ka vastavate läbipaistmatust või valgust hajutavast materjalist vaheseinte või restide abil.

4. Kohtvalgustuse valgustid (sõltumata lambi liigist) tuleb varustada läbipaistmatust või tihedast valgust hajutavast materjalist reflektoritega, kusjuures kaitsenurk ei tohi tavaliselt olla väiksem kui 30°; juhul, kui valgusti asetseb töötaja silmade kõrgusel või madalamal, peab valgusti kaitsenurk olema vähemalt 10°.

5. Treppe tuleb valgustada nii, et iga liiki lambi valgustkiirgav osa ei oleks nähtav nurga all kuni 10° silmapiiri suhtes (üles- ja allapoole silmapiirist).

Valgustustehnilise kasuteguri η väärtusi hõõglampidega valgustite kohta

Valgusti tüüp	Välisvalgustuse valgusti, piimklaasiga							Laevalgusti ühele lambile							Laevalgusti kahele lambile							Plahvatuskindel, tugevdatud HOE-300 ja HOF-200 mattklaasist reflektoriga		
	Q_l %	30	30	50	50	50	70	70	30	30	50	50	50	70	70	30	30	50	50	50	70	70	30	50
Q_s %	10	30	10	30	50	30	50	30	50	30	50	70	50	70	30	50	30	50	70	50	70	10	30	50
i	Valgustustehnilise kasuteguri väärtusi %																							
0,5	8	9	8	10	14	10	14	8	11	9	13	18	14	20	9	12	9	13	18	13	19	10	11	15
0,6	11	13	11	13	17	14	18	10	13	12	16	21	17	24	12	15	12	15	21	16	22	13	15	18
0,7	14	15	13	16	20	16	21	13	16	14	18	24	20	26	14	17	15	18	23	19	25	15	18	21
0,8	15	17	15	18	21	18	22	15	18	16	20	25	22	28	16	19	16	20	24	20	27	17	20	23
0,9	16	19	17	19	23	20	23	16	19	17	21	27	23	30	17	20	18	22	26	22	27	19	21	24
1,0	17	20	18	21	24	21	25	17	20	19	22	28	24	31	18	21	19	23	27	23	28	20	22	25
1,1	18	21	19	22	25	23	26	19	21	20	23	29	25	33	19	21	19	24	27	24	30	21	24	26
1,25	20	22	20	24	28	24	28	19	22	21	25	30	27	35	20	23	21	26	28	26	32	22	25	27
1,5	22	24	22	25	29	26	30	21	25	23	27	33	30	37	22	24	23	27	30	28	33	24	26	29
1,75	24	26	25	28	31	28	32	23	26	26	30	35	33	39	23	26	25	29	32	30	35	26	28	30
2,0	25	28	26	29	33	30	34	24	27	27	31	36	34	41	25	27	26	30	33	31	37	27	29	31
2,25	27	29	27	30	34	32	36	26	29	29	32	37	36	42	26	29	27	31	34	33	38	28	30	33
2,5	28	31	29	32	35	34	37	27	30	30	34	39	37	44	27	30	28	33	35	34	39	29	31	34
3,0	30	33	31	34	37	35	39	29	32	32	36	41	40	45	28	30	29	33	38	35	40	31	32	35
3,5	31	34	32	35	39	37	41	30	33	34	38	42	42	47	29	31	31	35	38	37	42	32	34	36
4,0	33	35	34	36	40	39	42	32	34	35	39	44	44	49	30	32	33	36	39	39	43	33	35	37
5,0	35	36	37	38	43	41	44	33	36	36	41	45	46	50	31	34	34	37	41	40	44	34	36	38

Valgustustehnilise kasuteguri η väärtusi hõõglampidega valgustite kohta

Valgusti tüüp	Piimklaasist kuul							Kooniline valgusti							Kooniline valgusti peamiselt kaudse valgustusega								
	e_1 %	30	30	50	50	50	70	70	30	30	30	50	50	50	70	70	30	30	30	50	50	50	70
e_s %	30	50	30	50	70	50	70	30	50	70	30	50	70	50	70	10	30	50	30	50	70	50	70
i	Valgustustehnilise kasuteguri väärtused %																						
0,5	8	11	9	12	18	13	20	14	19	25	16	20	27	22	29	5	6	8	7	10	15	13	19
0,6	10	14	12	16	21	17	23	19	23	29	21	25	32	27	33	6	8	10	10	13	18	16	22
0,7	12	16	14	18	23	20	26	23	27	32	24	29	35	30	38	8	9	12	12	15	20	18	24
0,8	14	18	16	20	25	21	28	25	29	35	26	31	37	33	41	9	11	13	13	17	22	20	26
0,9	16	19	17	21	26	23	30	27	31	37	29	33	39	35	43	9	12	15	14	18	23	21	28
1,0	17	20	19	22	28	24	31	29	32	38	31	34	41	37	44	10	13	15	16	19	24	23	29
1,1	17	21	19	23	28	25	32	30	33	39	32	36	42	38	46	11	13	16	17	20	25	24	30
1,25	19	22	21	24	30	28	35	31	35	40	34	38	43	41	48	12	14	17	18	21	26	26	32
1,5	21	24	23	27	32	30	36	34	38	42	37	41	46	44	51	14	16	19	20	24	28	28	31
1,75	22	25	25	29	33	32	39	36	40	44	39	43	48	46	53	15	17	20	22	25	30	30	36
2,0	24	27	27	30	36	34	40	38	41	45	41	45	50	48	55	17	18	21	23	27	31	32	38
2,25	25	28	28	31	37	36	42	40	43	47	43	47	52	50	57	18	19	22	25	28	33	34	40
2,5	27	30	29	33	38	37	43	41	45	48	45	48	54	52	58	19	21	24	26	29	34	35	41
3,0	28	31	31	35	40	39	45	44	46	50	47	51	55	54	60	20	22	25	28	31	36	38	43
3,5	30	32	33	37	41	41	47	45	48	51	49	52	57	57	63	21	23	25	30	33	37	40	45
4,0	31	33	35	38	42	43	48	46	49	52	50	54	58	59	64	22	24	27	31	34	38	42	46
5,0	32	35	37	40	44	46	49	48	51	54	52	56	60	61	65	24	26	28	33	36	40	44	48

Valgustehnilise kasuteguri η väärtusi hõõglampidega valgustite kohta

Valgusti tüüp	Lahtine lamp			Sügavkiirgaja emailitud			Universaal varjuta			Universaal varjuga			Portselanvalgusti					Sügavkiirgaja reflektoriga. Peegellamp			Kaevanduse valgusti PH-200 piimklaasist varjuga, reflektorita						
	e_1 %	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	50	70	30	30	50	50	70	30	50	70	30	30	50	50	70	
e_s %	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	30	50	50	10	30	50	10	30	30	50	50		
<i>i</i>	Valgustustehnilise kasuteguri väärtused %																										
0,5	10	13	21	19	21	25	21	24	28	14	17	21	8	10	10	15	17	26	30	35	5	7	7	11	12		
0,6	14	18	26	24	27	31	27	30	34	19	22	26	11	13	14	19	21	34	37	42	8	9	10	14	15		
0,7	17	22	30	29	31	34	32	35	38	23	26	29	14	16	17	21	24	40	43	48	10	12	12	16	18		
0,8	19	24	32	32	34	37	35	38	41	26	28	32	15	17	19	24	26	44	47	52	11	13	14	19	19		
0,9	20	26	35	34	36	39	38	40	44	28	30	34	17	19	21	24	28	48	50	54	12	15	15	19	20		
1,0	22	28	37	36	38	40	40	42	45	30	32	35	18	20	23	27	30	50	53	56	13	15	17	20	22		
1,1	23	29	39	37	39	41	42	44	46	31	33	36	19	21	24	28	31	52	54	58	14	16	17	21	23		
1,25	25	32	42	39	41	43	44	46	48	33	35	37	20	23	25	30	34	54	57	60	14	17	19	22	24		
1,5	28	36	46	41	43	46	46	48	51	35	36	40	23	25	29	33	37	57	59	64	17	19	21	24	27		
1,75	30	38	48	43	44	48	48	50	53	37	39	41	25	27	31	36	41	59	62	66	18	22	23	26	29		
2,0	32	40	51	44	46	49	50	52	55	39	40	43	26	29	33	37	42	62	65	68	20	22	24	38	30		
2,25	34	42	53	46	48	51	52	54	56	40	42	45	28	31	35	39	44	65	67	71	21	23	26	29	32		
2,5	36	44	55	48	49	52	54	55	59	42	44	46	30	32	36	41	46	67	69	73	22	25	27	29	33		
3,0	38	46	59	49	51	53	55	57	60	43	45	47	31	35	39	43	49	68	70	75	24	26	29	32	34		
3,5	40	49	61	50	52	54	56	58	61	44	46	48	34	36	41	45	50	70	72	76	25	28	30	34	37		
4,0	42	51	64	51	52	55	57	59	62	45	47	49	36	38	43	47	54	71	73	77	27	29	32	35	39		
5,0	45	54	67	52	54	57	58	60	63	46	48	51	38	39	45	50	56	72	75	79	29	30	33	36	40		

Valgustustehnilise kasuteguri η väärtusi luminesentslampidega valgustite kohta

Valgusti tüüp	Otsese valgustusega difuusne valgusti, restikujulise varjuga, 15°			Riputatav, ülevalt lahtine valgusti, restikujulise varjuga, kaitsenurk 30°				Laevalgusti restikujulise varjuga, kaitsenurk 30°				
	e_1 %	30	50	70	50	50	70	70	50	50	70	70
e_s %	10	30	50	30	50	50	70	30	50	50	70	70
i	Valgustustehnilise kasuteguri väärtusi %											
0,5	15	17	20	13	15	17	23	13	15	15	19	19
0,6	19	22	24	16	19	22	27	16	18	19	22	22
0,7	23	25	27	19	21	24	30	19	21	21	24	24
0,8	25	27	30	21	23	26	32	20	22	23	25	25
0,9	27	29	31	22	24	28	33	22	23	24	26	26
1,0	29	30	32	23	25	30	35	23	24	24	27	27
1,1	30	31	33	24	27	31	36	24	25	25	28	28
1,25	31	33	35	26	28	33	38	25	26	26	29	29
1,5	33	34	37	28	30	35	40	26	27	28	30	30
1,75	34	36	38	29	32	37	41	27	28	29	31	31
2,0	36	37	39	31	33	39	43	28	29	30	32	32
2,25	37	39	41	32	35	40	44	29	30	31	33	33
2,5	38	39	42	33	36	42	46	30	31	32	33	33
3,0	39	41	43	35	37	44	47	31	32	33	34	34
3,5	40	42	44	36	38	46	49	32	32	33	34	34
4,0	41	42	44	38	39	47	50	32	33	34	35	35
5,0	42	43	45	39	41	49	52	33	34	34	35	35

Valgustite valgustugevus

Valgusti tüüp	Alfa	Universaal	Sügavkiirgaja, emailitud	Sügavkiirgaja, peegelpinnaga	Kooniline valgusti	Portselanvalgusti	Laevalgusti		Kuul (kera)	Peegellamp	СПУ-300 ja СПУ-500	
							ühele lambile	kahele lambile				
Klaasi liik	—	—	matt	—	—	piimklaas	riffelklaas	matt	matt	piimklaas	—	piimklaas

Valgustite tugevus küünalde

0	175	235	177	263	392	141	44	59	88	63	620	130
5	175	234	177	269	436	142	90	59	87	63	586	129
15	164	229	174	259	378	144	82	61	89	64	483	127
25	160	206	162	237	351	144	74	63	83	63	347	125
35	154	185	142	214	382	146	73	63	80	62	235	123
45	145	167	121	179	265	133	77	62	72	61	161	120
55	122	140	100	91	90	88	80	61	64	60	113	114
65	38	114	76	30	0	51	74	61	57	59	71	103
75	15	16	42	12		50	71	61	52	58	41	80
85	2	3	11	1		46	71	61	48	56	30	48
90	0	0	6	0		45	70	61	45	55	25	
95			3			45	70	61	44	54	23	
105			0			47	68	61	41	53	19	
115						47	66	58	32	50	19	
125						47	66	52	19	47	20	
135						45	66	39	13	44	23	
145						40	58	18	9	42	21	
155						37	18	7	5	38	14	
165						37	3		3	34	8	
175						36	3			33	2	
180						35				33	0	
Kasutegur %	51	69	55	61	85	83	84	68	55	67	—	—
Kaitsenurk	31°	16°	16°	32°	35°	35°	—	—	—	—	—	—

jaotus 1000-lm lambi kohta

B3Г-200 reflektorita	läbipais- tev	B3Б-200 reflektoriga	läbipais- tev	B3Г-150 reflektoriga	läbipais- tev	PH-200 ja PH-100	läbipais- tev	PH-200	piimklaas	HOБ-150 reflektorita	matt	HOГ-100 ^a reflektorita	matt	HOБ-150 reflektoriga	läbipais- tev	HOБ-300 reflektorita	matt	HOГ-200 reflektorita	matt	HOБ-300 reflektoriga	matt	HOГ-200 reflektoriga	matt	B4A-200	läbipais- tev
-------------------------	------------------	-------------------------	------------------	-------------------------	------------------	------------------	------------------	--------	-----------	-------------------------	------	--------------------------------------	------	-------------------------	------------------	-------------------------	------	-------------------------	------	-------------------------	------	-------------------------	------	---------	------------------

1 0 0 0 l m . l a m b i k o h t a

38	130	145	70	55	61	60	117	60	60	99	106	26
42	132	160	70	55	62	61	119	62	61	100	108	40
59	162	175	70	57	66	65	135	68	68	109	115	77
72	141	150	74	60	71	69	127	72	70	111	115	89
68	117	130	69	60	72	70	107	70	67	104	104	82
65	98	108	65	62	70	69	95	65	65	94	92	70
55	70	95	56	62	73	68	85	64	64	83	80	90
65	97	53	64	60	72	64	71	60	58	71	56	77
72	17	12	72	58	64	55	55	57	63	54	24	67
55	4	4	55	54	60	56	9	60	59	11	9	80
50	2		58	53	61	58	2	64	60	7	5	75
62			62	51	62	58		66	70	5	5	69
69			62	45	62	56		72	75	2	4	31
45			59	40	55	51		80	73			67
52			53	33	47	45		70	50			40
10			15	27	36	33		34	27			3
0			4	15	16	8		6	4			
			2	9	2			4	2			
64	45	45	66	58	70	64	46	72	69	45	40	70

Ühtlase üldvalgustuse erivõimsus
(hõõglampide puhul)

h m	Piimklaasist kuul ja laevalgusti ühele lambile							
	$\varrho_1 = 70\%$				$\varrho_s = 50\%$			
	$E \text{ lx}$ $S \text{ m}^2$	5	10	15	20	30	50	75
1,5-2	10-15	4,2	7,7	10,9	14	20	32	48
	15-25	3,8	6,8	9,7	12,3	17,5	28	42
	25-50	3,2	5,8	8,2	10,4	14,5	24	36
	50-150	2,6	4,8	6,8	8,4	11,8	20,5	30
	150-300	2,3	4,3	6	7,4	10,5	18	26
	300	2,1	4	5,6	6,6	9,7	16,5	24
2-3	10-15	4,8	8,5	11,8	15,5	20,5	35	50
	15-25	4	7,3	10	13,2	18	29	43
	25-50	3,5	6,2	8,5	10,9	15	24	37
	50-150	2,8	5	6,8	8,5	12	20	30
	150-300	2,3	4,2	5,5	6,7	9,9	16,5	24
	300	2,1	3,8	5	6	8,9	14,5	22
3-4	10-15	5,9	10,2	13,8	17	25	37	56
	15-20	4,9	8,3	11,2	14,2	21,4	32	47
	20-30	4,1	7	9,7	12,5	18,3	29	41
	30-50	3,5	5,9	8,4	10,6	15,2	24	36
	50-120	2,8	5	6,8	8,8	12,4	20	30
	120-300	2,2	3,9	5,4	7	9,5	16	24
300	1,9	3,3	4,5	5,6	8,1	13,3	20	
4-6	10-17	7,4	12,4	17	22	30	49	69
	17-25	5,7	9,5	13,3	17	25	39	54
	25-35	4,7	7,9	11	14,5	20,5	32	46
	35-50	3,8	6,6	9,2	12,3	17	28	41
	50-80	3,1	5,5	7,8	10,4	14	23	34
	80-150	2,7	4,7	6,6	8,6	12	20	30
	150-400	2,2	3,8	5,4	6,7	9,7	16	24
	>400	1,7	3,1	4,2	5,1	7,8	12,3	19

Ohtlase üldvalgustuse erivõimsus
(hõõglampide puhul)

h m	Portselanvalgusti ($\varrho_1 = 50\%$; $\varrho_s = 30\%$)					
	$E \text{ lx}$ $S \text{ m}^2$	5	10	15	20	30
1,5—2	10—15	4,5	8,3	11,6	15	20
	15—25	3,9	7,3	10	12,3	17,5
	25—50	3,3	6,2	8,3	10,2	14,7
	50—150	2,7	5	6,8	8,4	12,2
	150—300	2,2	4,2	5,8	7	10,7
	300	2	3,9	5,4	6,6	9,7
2—3	10—15	5,4	10,7	14,5	18,5	27
	15—25	4,5	8,2	11	14,5	21
	25—50	3,7	6,7	9,2	11,6	17,7
	50—150	3	5,1	7,2	9,5	14,4
	150—300	2,4	4,1	5,8	7,8	12,8
	300	2	3,6	5	6,6	10,2
3—4	10—15	8	15,7	23	28	44
	15—20	6,7	12,6	17,5	23	35
	20—30	5,4	9,7	13,6	18	27
	30—50	4	7,6	10,7	14	22
	50—120	2,9	5,8	8,6	11,6	17,5
	120—300	2,3	4,7	6,9	9,2	14
	> 300	1,9	3,6	5	7,3	10,7

Ühtlase üldvalgustuse erivõimsus
(hõõglampide puhul)

h m		Kooniline valgusti ($\varrho_1 = 70\%$; $\varrho_s = 50\%$)							
		$E \text{ lx}$ $S \text{ m}^2$	5	10	15	20	30	50	75
2-3	10-15	3,5	6,1	8,7	10,3	14,6	22	30	43
	15-25	2,9	5	7,3	8,9	12	18	25	37
	25-50	2,4	4,3	6,2	7,7	10	15	20	31
	50-150	2	3,6	5,4	6,5	8,8	13	17,4	26
	150-300	1,8	3,2	4,6	5,7	7,5	11,3	15	22,5
	300	1,7	3	4,3	5,4	7	10,3	14	20
3-4	10-15	3,8	6,8	9,2	11,5	16	24	35	58
	15-20	3,4	6	8,2	10,3	14,6	20	29	49
	20-30	2,9	5,3	7,1	9	12,7	17,4	25	42
	30-50	2,4	4,5	6,1	7,7	10,5	14,6	22	36
	50-120	2,0	3,8	5,3	6,5	8,6	12	18,3	30
	120-300	1,8	3,1	4,4	5,6	7	10,3	15,5	25
	300	1,6	2,8	3,9	4,9	6,1	9,4	13	22,5
4-6	10-17	4,5	7,9	10,6	12,8	21	31	46	75
	17-25	3,7	6,4	8,7	10,5	16	26	38	61
	25-35	3,1	5,5	7,5	9,4	13	22	32	52
	35-50	2,8	4,8	6,6	8,3	11	18	27	45
	50-80	2,3	4,1	5,8	7,3	9,4	15	24	39
	80-150	2	3,5	4,8	5,8	8,1	13	20	33
	150-400	1,7	2,9	4,1	4,8	6,7	10,8	16,5	28
	> 400	1,5	2,4	3,3	4	5,7	9,4	14	23

Ühtlase üldvalgustuse erivõimsus
(hõõglampide puhul)

h m	Kooniline valgusti ($\rho_1 = 50\%$; $\rho_s = 30\%$)								
	$\frac{E \text{ lx}}{S \text{ m}^2}$	5	10	15	20	30	50	75	125
2-3	10-15	4	7,3	10	13	17,4	26	36	53
	15-25	3,4	6,1	8,7	10,6	14	22	28	44
	25-50	2,8	5,1	7,2	9	11,7	18	23	37
	50-150	2,4	4,3	6	7,5	10	15	19,2	30,2
	150-300	2	3,8	5,2	6,5	8,7	12,7	17	26
	300	1,8	3,4	4,9	6,1	8	12	16	24
3-4	10-15	5,2	9	12	14,8	23	34	50	80
	15-20	4,3	7,5	9,9	12,2	18	27	40	64
	20-30	3,6	6,4	8,5	10,7	14,5	22	32	52
	30-50	3	5,3	7,2	9	12	18	26	43
	50-120	2,4	4,3	6	7,5	9,9	14,2	22	36
	120-300	2	3,6	5	6,1	8,1	12	18	30
300	1,7	3,1	4,3	5,3	6,8	9,9	15	26	
4-6	10-17	6,3	10	16	21	28	47	70	117
	17-25	4,9	8,2	12,2	16	23	38	55	90
	25-35	4	6,7	10	12,7	18	30	43	70
	35-50	3,4	5,7	8,5	10	14	24	35	57
	50-80	2,8	4,9	6,8	8,3	11,3	19	28	48
	80-150	2,3	4	5,6	6,7	9,2	14,6	23	40
	150-400	2	3,3	4,6	5,5	7,5	12,8	20	33
> 400	1,7	2,8	3,8	4,6	6,6	10	17	27	

Uhtlase üldvalgustuse erivõimsus
(hõõglampide puhul)

h m	Universaal, varjuta (sõltumata seina ja lae värvusest)							
	$E \text{ lx}$ $S \text{ m}^2$	5	10	20	30	50	75	125
2-3	10-15	3,1	5,8	10	14	21	28	43
	15-25	2,5	4,7	8,5	11,3	17	24	36
	25-50	2,2	4	7	9,4	14	20	30
	50-150	1,9	3,6	6,3	8,5	12,2	17	24
	150-300	1,7	3,2	5,7	7,5	11,3	16	23
	300	1,6	3	5,4	7	10,7	15	22
3-4	10-15	4,1	7	12	16	24	34	55
	15-20	3,5	6	10,3	13,6	21	29	47
	20-30	2,9	5,2	8,7	12,2	18	25	40
	30-50	2,4	4,2	7	9,9	14,6	21	32
	50-120	2	3,6	5,9	8	12,2	17,4	26
	120-300	1,7	3,2	5,2	7	11,3	15	23
	300	1,6	2,7	4,7	6,6	10,3	14	21
4-6	10-17	4,9	8,3	14	20	31	45	72
	17-25	3,9	6,6	11,3	15,5	25	35	57
	25-35	3,2	5,5	9,4	13	21	30	47
	35-50	2,8	4,7	8	11,3	18	25	39
	50-80	2,3	3,9	6,6	9,4	14	21	32
	80-150	1,9	3,1	5,5	8	11,7	16,4	28
	150-400	1,6	2,6	4,7	6,6	10,3	14,6	25
400	1,4	2,3	4,2	5,9	9,4	13	22	
6-8	25-35	4	6,5	11,6	16,5	26	39	65
	35-50	3,2	5,4	9,9	14,6	22	33	55
	50-65	2,7	4,6	8,5	12,2	19	28	47
	65-90	2,3	4	7,5	10,8	16,5	24	40
	90-135	2,1	3,5	6,1	8,5	13,6	21	35
	135-250	1,7	2,8	5,1	7	11,3	17	30
	250-500	1,4	2,4	4,3	6,1	9,9	15	25
	> 500	1,3	2,3	3,8	5,2	9	14	23

Ühtlase üldvalgustuse erivõimsus
(hõõglampide puhul)

h m	Universaal, varjuga (sõltumata seina ja lae värvusest)							
	$E \text{ lx}$ $S \text{ m}^2$	5	10	20	30	50	75	125
2-3	10-15	4,2	7,5	13	18	26	36	56
	15-25	3,4	6,2	10,8	14,6	22	30	43
	25-50	2,8	5,1	9	11,3	17,4	25	38
	50-150	2,4	4,4	7,5	9,4	15	22	31
	150-300	2,2	4	6,8	8,5	13	19	27
	300	2	3,8	6,4	8	12,2	17,4	25
3-4	10-15	5,3	9	15	21	31	47	72
	15-20	4,3	7,7	13	17	27	41	59
	20-30	3,8	6,6	10,8	15	23	34	48
	30-50	3	5,3	9	12,2	19,3	26	39
	50-120	2,5	4,3	7,2	9,9	15,5	22	34
	120-300	2,2	3,9	6,3	8,5	13	19	29
	300	2	3,5	5,6	7,5	12,2	16	25
4-6	10-17	6,2	10,3	17,4	24	40	58	90
	17-25	4,9	8,2	14,4	21	32	47	74
	25-35	4,1	7	12,2	17	27	39	61
	35-50	3,6	6	10,3	15	22	30	49
	50-80	2,9	4,9	8,5	11,7	17,4	25	42
	80-150	2,3	4	6,8	9,4	15	21	37
	150-400	1,9	3,3	5,9	8,5	12,2	18	31
	> 400	1,8	2,8	5,2	7,5	10,8	16	27

Uhtlase üldvalgustuse erivõimsus luminescentslampide puhul (esialgsed andmed)

Valgusti		Otsese valgustusega valgust hajutav valgusti restikujulise varjuga, 15° kaitsenurgaga											
Lambid		BC-30, BC-40, TBC-40						DC-30, DC-40, XBC-30, XBC-40, TBC-30					
<i>h</i> m	<i>S</i> m ² / <i>E</i> lx	50	75	100	150	200	300	50	75	100	150	200	300
2-3	10-15	6,6	9,9	13,2	19,8	26,5	40	7,5	11,2	15	22,5	30	45
	15-25	5,7	8,6	11,5	17,3	23	34,5	6,6	9,9	13,2	19,8	26,5	40
	25-50	5	7,6	10,1	15,2	20,2	30	5,7	8,6	11,5	17,3	23	34,5
	50-150	4,5	6,7	8,9	13,4	17,8	27	5	7,6	10,1	15,2	20,2	30
	150-300	4	5,9	7,9	11,9	15,8	24	4,6	6,8	9,1	14,7	18,2	27
	300	3,9	5,8	7,7	11,5	15,5	23	4,4	6,6	8,8	13,2	17,6	26
3-4	10-15	9,7	14,6	19,5	29	39	59	11,2	16,8	22,4	34	45	67
	15-20	7,9	11,8	15,7	24	31,5	47	9	13,5	18	27	36	54
	20-30	6,6	9,9	13,2	19,8	26,5	40	7,6	11,4	15,2	23	30,5	46
	30-50	5,7	8,6	11,5	17,3	23	34,5	6,6	9,9	13,2	19,8	26,5	40
	50-120	5	7,4	9,9	14,8	19,8	30	5,7	8,5	11,4	17,1	23	34
	120-300	4,4	6,6	8,8	13,2	17,6	26	5	7,6	10,1	15,2	20,2	30
300	4	6,1	8,1	12,2	16,2	24	4,6	6,9	9,2	13,8	18,4	28	
4-6	10-17	14,5	2,2	29	43,5	58	87	16,5	25	33	50	66	100
	17-25	10,5	15,7	21	31,5	42	63	12	18	24	36	48	72
	25-35	8,6	13	17,3	26	35	52	10	15	20	30	40	60
	35-50	7	10,5	14	21	28	42	8	12	16	24	32	48
	50-80	6,1	9,1	12,2	18,3	25	37	7	10,5	14	21	28	42
	80-150	5,8	8	10,7	16	21,5	32	6	9	12	18	24	36
	150-400	4,7	7	9,4	14,1	18,8	28	5,4	8,1	10,8	16,2	21,5	32
> 400	4,2	6,2	8,3	12,5	16,6	25	4,7	7,1	9,5	14,3	19	28,5	

Ühtlase üldvalgustuse erivõimsus luminescentslampide puhul (esialgsed andmed)

Valgusti		Ülalt avatud, restikujulise varjuga valgusti, 30° kaitsenurgaga. $e_1 = 70\%$, $e_s = 50\%$											
Lambid		BC-30, BC-40, TBC-40						DC-30, DC-40, XBC-30, XBC-40, TBC-30					
h m	S m ² / E lx	50	75	100	150	200	300	50	75	100	150	200	300
2-3	10-15	6,8	10,3	13,7	20,5	27,5	41	7,9	11,8	15,7	24	31,5	47
	15-25	6	9	12	18	24	36	6,8	10,3	13,7	20,5	37,5	41
	25-50	5	7,6	10,1	15,2	20,2	30	5,7	8,6	11,5	17,3	23	34,5
	50-150	4,3	6,5	8,7	13	17,4	26	5	7,4	9,9	14,8	19,8	30
	150-300	3,7	6,6	7,5	11,2	15	22,5	4,3	6,4	8,5	12,7	17	25,5
	300	3,5	5,2	6,9	10,3	13,8	21	4	5,9	7,9	11,9	15,8	24
3-4	10-15	9,7	14,6	19,5	29	39	59	11,2	16,8	22,4	34	45	67
	15-20	7,9	11,8	15,7	24	31,5	47	9	13,5	18	27	36	54
	20-30	6,8	10,2	13,6	20,5	27	41	7,9	11,8	15,7	24	31,5	47
	30-50	5,9	8,9	11,9	17,9	24	36	6,8	10,3	13,7	20,5	27,5	41
	50-120	5	7,4	9,9	14,8	19,8	30	5,7	8,5	11,4	17,1	23	34
	120-300	4,2	6,3	8,4	12,6	16,8	25	4,8	7,3	9,7	14,5	18,4	29
300	3,7	5,6	7,5	11,3	15	22,5	4,3	6,5	8,6	12,9	17,2	26	
4-6	10-17	14,5	22	29	43,5	58	87	16,5	25	33	50	66	99
	17-25	10,5	15,7	21	31,5	42	63	12	18	24	36	48	72
	25-35	8,6	13	17,3	26	35	52	10	15	20	30	40	60
	35-50	7,2	7,1	14,3	21,5	28,5	43	8	12	16	24	32	48
	50-80	6,3	9,4	12,5	18,8	25	37	7,3	10,9	14,5	22	29	44
	80-150	5,8	8	10,7	16	21,5	32	6	9	12	18	24	36
	150-400	4,6	6,8	9,1	14,7	18,2	27	5,2	7,8	10,4	15,6	21	31
	> 400	3,9	5,9	7,8	11,7	15,6	23	4,5	6,7	9	13,5	18	27

Uhtlase üldvalgustuse erivõimsus luminescentslampide puhul (esialgsed andmed)

Valgusti		Laevalgusti restikujulise varjuga, 30° kaitsenurgaga											
Lambid		BC-30, BC-40, TBC-40					ДС-30, ДС-40, ХБС-30, ХБС-40, ТБС-30						
h m	S m ² / E lx	50	75	100	150	200	300	50	75	100	150	200	300
2-3	10-15	7,9	11,8	15,7	24	31,5	47	9	13,5	18	27	36	54
	15-25	6,8	10,3	13,7	20,5	27,5	41	7,9	11,8	15,7	24	31,5	47
	25-50	6,4	9,5	12,7	19	25	38	7,3	10,9	14,5	22	29	44
	50-150	5,5	8,3	11	16,5	22	33	6,3	9,5	12,6	18,9	25	38
	150-300	5	7,4	9,9	14,8	19,8	30	5,6	8,5	11,3	17	22,5	34
	300	4,8	7,2	9,6	14,4	19,2	29	5,5	8,2	10,9	16,4	22	33
3-4	10-15	11,1	16,7	22,2	33	44	67	12,7	19,1	25,5	38	51	77
	15-20	9,1	13,6	18,1	27	36	54	10,2	15,3	20,4	31	41	61
	20-30	7,8	11,7	15,6	23	31	47	9	13,5	18	27	36	54
	30-50	6,8	10,3	13,7	20,5	27,5	41	7,9	11,8	15,7	24	31,5	47
	50-120	6,3	9,5	12,6	18,9	25	38	7,2	10,8	14,4	21,5	29	43
	120-300	5,4	8,1	10,8	16,2	21,5	32	6,2	9,3	12,4	18,6	25	37
300	5	7,4	9,9	14,8	19,8	30	5,7	8,5	11,4	17,1	23	34	
4-6	10-17	16	24	32	48	64	96	18,5	27,7	37	55	74	111
	17-25	12,5	18,8	25	37,5	50	75	14	21	28	42	56	84
	25-35	10	15	20	30	40	60	11,5	17,3	23	35	46	69
	35-50	7,7	11,5	15,4	23	31	46	9,5	14,3	19	28,5	38	57
	50-80	7,1	10,7	14,3	21,5	29	43	8	12	16	24	32	48
	80-150	6,7	10	13,3	20	27	40	7,5	11,3	15	22,5	30	45
	150-400	5,7	8,6	11,5	17,3	23	35	6,5	9,7	13	19,5	26	39
> 400	5,1	7,7	10,3	15,5	20,6	31	5,7	8,6	11,5	17,3	23	34,5	

Hõõglampide võimsus ühe valgustiga valgustatavate väikeste ruumide jaoks

$E \text{ lx}$ $S \text{ m}^2$	5	10	15	20	25	50
2	15	25	40	60	60	1300 lm
4	25	40	60	60	900 lm	150
6	25	40	60	900 lm	1300 lm	150
8	25	60	900 lm	900 lm	1300 lm	200

Märkusi: 1. tabel on koostatud järgmiste andmete alusel: $h=3 \text{ m}$, $k=1,3$, $q_1=q_s=50\%$; valgusti — kooniline valgusti.

2. Ruumidele, kus $q_1=q_s=70\%$, valida lähem väiksem lamp.

3. Bispiraallampide kohta on antud valgusvoog 1 m.

Hõõglampide võimsus normaalsuurusega trepikodade jaoks, ühe valgustiga iga podesti kohal

$E \text{ lx}$ Valgusti tüüp	5	10	20
Kooniline valgusti. Laevalgusti ühele lambile. Portselanvalgusti	40 W	60 W	1300 lm
Laevalgusti kahele lambile	$2 \times 25 \text{ W}$	$2 \times 40 \text{ W}$	$2 \times 900 \text{ lm}$
Piimklaasist kuul	60 W	1300 lm	200 W

Märkus: Bispiraallampide kohta on antud valgusvoog 1 m.

Nihke- nurk °	$\sin \varphi$						
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	
0	0,000	0,003	0,006	0,009	0,012	0,014	89
1	0,017	0,020	0,023	0,026	0,029	0,032	88
2	0,035	0,038	0,041	0,044	0,046	0,049	87
3	0,052	0,055	0,058	0,061	0,064	0,067	86
4	0,070	0,073	0,076	0,078	0,081	0,084	85
5	0,087	0,090	0,093	0,096	0,099	0,102	84
6	0,104	0,107	0,110	0,113	0,116	0,119	83
7	0,122	0,125	0,128	0,131	0,133	0,136	82
8	0,139	0,142	0,145	0,148	0,151	0,154	81
9	0,156	0,159	0,162	0,165	0,168	0,171	80
10	0,174	0,177	0,179	0,182	0,185	0,188	79
11	0,191	0,194	0,197	0,200	0,202	0,205	78
12	0,208	0,211	0,214	0,216	0,219	0,222	77
13	0,225	0,228	0,231	0,233	0,236	0,239	76
14	0,242	0,245	0,248	0,250	0,253	0,256	75
15	0,259	0,262	0,264	0,267	0,270	0,273	74
16	0,276	0,278	0,281	0,284	0,286	0,290	73
17	0,292	0,295	0,298	0,301	0,303	0,306	72
18	0,309	0,312	0,315	0,317	0,320	0,323	71
19	0,326	0,328	0,331	0,334	0,336	0,339	70
20	0,342	0,345	0,347	0,350	0,353	0,356	69
21	0,358	0,361	0,364	0,367	0,369	0,372	68
22	0,375	0,377	0,380	0,383	0,385	0,388	67
23	0,391	0,393	0,396	0,399	0,401	0,404	66
24	0,407	0,409	0,412	0,415	0,417	0,420	65
25	0,423	0,425	0,428	0,431	0,433	0,436	64
26	0,438	0,441	0,444	0,446	0,449	0,451	63
27	0,454	0,457	0,459	0,462	0,464	0,467	62
28	0,469	0,472	0,475	0,477	0,480	0,482	61
29	0,485	0,487	0,490	0,492	0,495	0,497	60
30	0,500	0,503	0,505	0,508	0,510	0,512	59
31	0,515	0,518	0,520	0,523	0,525	0,527	58
32	0,530	0,532	0,535	0,537	0,540	0,542	57
33	0,545	0,547	0,550	0,552	0,554	0,557	56
34	0,560	0,562	0,564	0,566	0,569	0,571	55
35	0,574	0,576	0,578	0,581	0,583	0,585	54
36	0,588	0,590	0,592	0,595	0,597	0,599	53
37	0,602	0,604	0,606	0,609	0,611	0,613	52
38	0,616	0,618	0,620	0,623	0,625	0,627	51
39	0,629	0,632	0,634	0,636	0,638	0,640	50
40	0,643	0,645	0,647	0,649	0,652	0,654	49
41	0,656	0,658	0,660	0,663	0,665	0,667	48
42	0,669	0,671	0,673	0,676	0,678	0,680	47
43	0,682	0,684	0,686	0,688	0,690	0,692	46
44	0,695	0,697	0,699	0,701	0,703	0,705	45
45	0,707	—	—	—	—	—	44
	60'	50'	40'	30'	20'	10'	Nihkenurk

 $\cos \varphi$

cos φ

Nihke- nurk ^o	cos φ						
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	
0	1,000	1,0000	0,99998	0,99996	0,99993	0,9999	89
1	0,9998	0,9998	0,9997	0,9997	0,9996	0,9995	88
2	0,9994	0,9993	0,9992	0,999	0,999	0,9988	87
3	0,9986	0,998	0,9983	0,998	0,9979	0,9978	86
4	0,998	0,997	0,997	0,996	0,997	0,9964	85
5	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,9948	84
6	0,995	0,994	0,994	0,993	0,993	0,9929	83
7	0,992	0,992	0,992	0,991	0,991	0,9907	82
8	0,990	0,990	0,989	0,989	0,989	0,988	81
9	0,988	0,987	0,987	0,986	0,986	0,985	80
10	0,985	0,984	0,984	0,983	0,983	0,982	79
11	0,982	0,980	0,980	0,980	0,979	0,9788	78
12	0,978	0,977	0,977	0,976	0,976	0,975	77
13	0,974	0,973	0,973	0,972	0,972	0,971	76
14	0,970	0,969	0,969	0,968	0,967	0,9667	75
15	0,966	0,964	0,964	0,964	0,963	0,962	74
16	0,961	0,959	0,960	0,959	0,958	0,957	73
17	0,956	0,955	0,955	0,954	0,953	0,952	72
18	0,951	0,949	0,949	0,948	0,947	0,946	71
19	0,946	0,945	0,944	0,943	0,942	0,941	70
20	0,940	0,939	0,938	0,937	0,936	0,935	69
21	0,934	0,932	0,931	0,930	0,929	0,928	68
22	0,927	0,926	0,925	0,924	0,923	0,921	67
23	0,921	0,919	0,918	0,917	0,916	0,915	66
24	0,913	0,912	0,911	0,910	0,909	0,907	65
25	0,906	0,905	0,904	0,903	0,901	0,900	64
26	0,899	0,898	0,896	0,895	0,894	0,892	63
27	0,891	0,890	0,888	0,887	0,886	0,884	62
28	0,883	0,882	0,880	0,879	0,877	0,876	61
29	0,875	0,873	0,872	0,870	0,869	0,867	60
30	0,866	0,865	0,863	0,862	0,860	0,859	59
31	0,857	0,856	0,854	0,853	0,851	0,850	58
32	0,848	0,847	0,845	0,843	0,842	0,840	57
33	0,839	0,837	0,835	0,834	0,832	0,830	56
34	0,829	0,827	0,826	0,824	0,822	0,821	55
35	0,819	0,817	0,816	0,814	0,812	0,811	54
36	0,809	0,807	0,806	0,804	0,802	0,800	53
37	0,799	0,797	0,795	0,793	0,792	0,790	52
38	0,788	0,786	0,784	0,783	0,781	0,779	51
39	0,777	0,775	0,773	0,772	0,770	0,768	50
40	0,766	0,764	0,762	0,760	0,759	0,757	49
41	0,755	0,753	0,751	0,749	0,747	0,745	48
42	0,743	0,741	0,739	0,737	0,735	0,733	47
43	0,731	0,729	0,727	0,725	0,723	0,721	46
44	0,719	0,717	0,715	0,713	0,711	0,709	45
45	0,707	—	—	—	—	—	44

60' 50' 40' 30' 20' 10' Nihkenurk^o

sin φ

Nihke- nurk °	tg φ						
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	
0	0,0000	0,003	0,006	0,009	0,012	0,015	89
1	0,0175	0,020	0,023	0,026	0,029	0,032	88
2	0,035	0,038	0,041	0,044	0,047	0,049	87
3	0,052	0,055	0,058	0,061	0,064	0,067	86
4	0,070	0,073	0,076	0,079	0,082	0,085	85
5	0,087	0,090	0,093	0,096	0,099	0,102	84
6	0,105	0,108	0,111	0,114	0,117	0,120	83
7	0,123	0,126	0,129	0,132	0,135	0,138	82
8	0,141	0,143	0,146	0,149	0,152	0,155	81
9	0,158	0,161	0,164	0,167	0,170	0,173	80
10	0,176	0,179	0,182	0,185	0,188	0,191	79
11	0,194	0,197	0,200	0,203	0,206	0,209	78
12	0,213	0,216	0,219	0,222	0,225	0,228	77
13	0,231	0,234	0,237	0,240	0,243	0,246	76
14	0,249	0,252	0,256	0,259	0,262	0,265	75
15	0,268	0,271	0,274	0,277	0,280	0,284	74
16	0,287	0,290	0,293	0,296	0,299	0,302	73
17	0,306	0,309	0,312	0,315	0,319	0,322	72
18	0,325	0,328	0,331	0,335	0,338	0,341	71
19	0,344	0,348	0,351	0,354	0,357	0,361	70
20	0,364	0,367	0,371	0,374	0,377	0,380	69
21	0,384	0,387	0,391	0,394	0,397	0,401	68
22	0,404	0,407	0,411	0,414	0,418	0,421	67
23	0,424	0,428	0,431	0,435	0,438	0,442	66
24	0,445	0,449	0,452	0,456	0,459	0,463	65
25	0,466	0,470	0,473	0,477	0,481	0,484	64
26	0,488	0,491	0,495	0,499	0,502	0,506	63
27	0,509	0,513	0,517	0,521	0,524	0,528	62
28	0,532	0,535	0,539	0,543	0,547	0,551	61
29	0,554	0,558	0,562	0,566	0,570	0,573	60
30	0,577	0,581	0,585	0,589	0,593	0,597	59
31	0,600	0,605	0,609	0,613	0,617	0,621	58
32	0,625	0,629	0,633	0,637	0,641	0,645	57
33	0,649	0,653	0,658	0,662	0,666	0,670	56
34	0,675	0,679	0,683	0,687	0,692	0,696	55
35	0,700	0,704	0,709	0,713	0,718	0,722	54
36	0,727	0,731	0,735	0,740	0,744	0,749	53
37	0,754	0,758	0,763	0,767	0,772	0,777	52
38	0,782	0,785	0,791	0,795	0,800	0,805	51
39	0,810	0,815	0,819	0,824	0,829	0,834	50
40	0,839	0,844	0,849	0,854	0,859	0,864	49
41	0,869	0,874	0,880	0,885	0,890	0,895	48
42	0,900	0,906	0,911	0,916	0,922	0,927	47
43	0,932	0,938	0,943	0,949	0,955	0,960	46
44	0,966	0,971	0,977	0,983	0,988	0,994	45
45	1,000	—	—	—	—	—	44

60'	50'	40'	30'	20'	10'	Nihkenurk °
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-------------

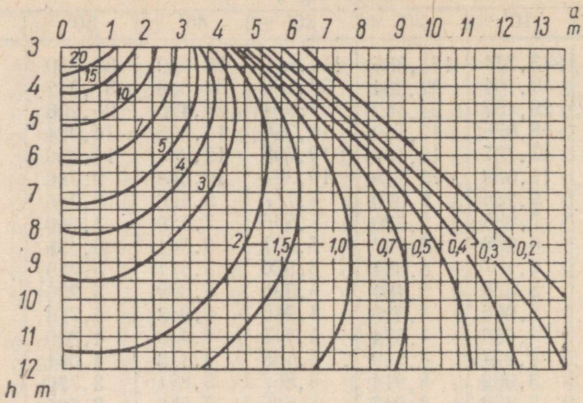
ctg φ

ctg φ

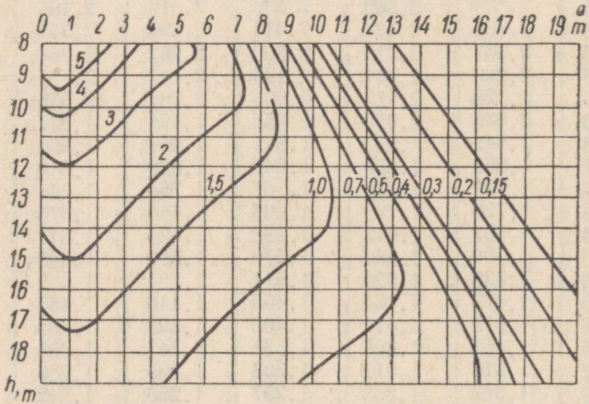
Nihke- nurk °	ctg φ						
	0'	10'	20'	30'	40'	50'	
0	—	343,774	171,885	114,589	85,940	68,750	89
1	57,290	49,104	42,964	38,188	34,368	31,242	88
2	28,636	26,432	24,542	22,904	21,470	20,206	87
3	19,081	18,075	17,169	16,350	15,605	14,924	86
4	14,301	13,727	13,197	12,706	12,251	11,826	85
5	11,430	11,059	10,719	10,384	10,078	9,788	84
6	9,514	9,255	9,010	8,777	8,556	8,345	83
7	8,144	7,953	7,770	7,596	7,429	7,269	82
8	7,115	6,968	6,827	6,691	6,561	6,435	81
9	6,314	6,197	6,084	5,976	5,871	5,769	80
10	5,671	5,576	5,484	5,396	5,309	5,226	79
11	5,145	5,066	4,989	4,915	4,843	4,773	78
12	4,705	4,638	4,574	4,511	4,449	4,390	77
13	4,331	4,274	4,219	4,165	4,113	4,061	76
14	4,011	3,962	3,914	3,867	3,821	3,776	75
15	3,732	3,689	3,647	3,606	3,566	3,526	74
16	3,487	3,449	3,423	3,376	3,340	3,305	73
17	3,271	3,237	3,204	3,172	3,140	3,108	72
18	3,078	3,048	3,018	2,987	2,960	2,932	71
19	2,904	2,877	2,850	2,824	2,798	2,773	70
20	2,747	2,723	2,699	2,675	2,651	2,628	69
21	2,605	2,583	2,560	2,539	2,517	2,496	68
22	2,475	2,454	2,434	2,414	2,394	2,375	67
23	2,356	2,337	2,318	2,300	2,282	2,264	66
24	2,246	2,229	2,211	2,194	2,177	2,161	65
25	2,145	2,128	2,112	2,096	2,081	2,066	64
26	2,050	2,035	2,020	2,007	1,991	1,977	63
27	1,963	1,949	1,935	1,921	1,907	1,894	62
28	1,881	1,868	1,855	1,842	1,829	1,816	61
29	1,804	1,792	1,779	1,767	1,756	1,744	60
30	1,732	1,720	1,709	1,698	1,686	1,675	59
31	1,664	1,653	1,643	1,632	1,621	1,611	58
32	1,603	1,590	1,580	1,570	1,560	1,550	57
33	1,540	1,530	1,520	1,511	1,501	1,492	56
34	1,483	1,473	1,464	1,455	1,446	1,437	55
35	1,428	1,419	1,411	1,402	1,393	1,385	54
36	1,376	1,368	1,360	1,351	1,343	1,335	53
37	1,327	1,319	1,311	1,303	1,295	1,288	52
38	1,280	1,272	1,265	1,257	1,250	1,242	51
39	1,235	1,228	1,220	1,213	1,206	1,199	50
40	1,192	1,185	1,178	1,171	1,164	1,157	49
41	1,150	1,144	1,137	1,130	1,124	1,117	48
42	1,111	1,104	1,098	1,091	1,085	1,079	47
43	1,072	1,066	1,060	1,054	1,048	1,042	46
44	1,036	1,030	1,024	1,018	1,012	1,006	45
45	1,000	—	—	—	—	—	44

tg φ

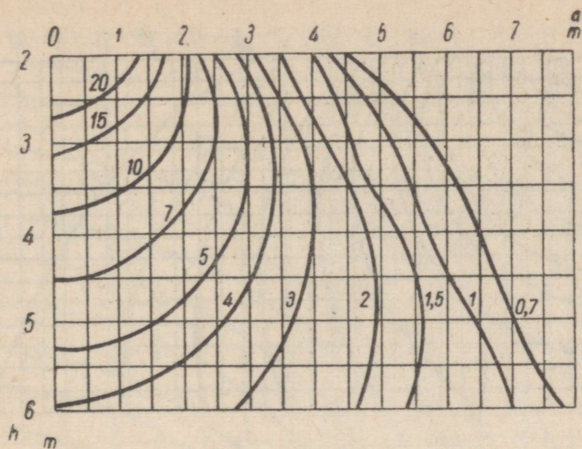
Isolukside graafikud



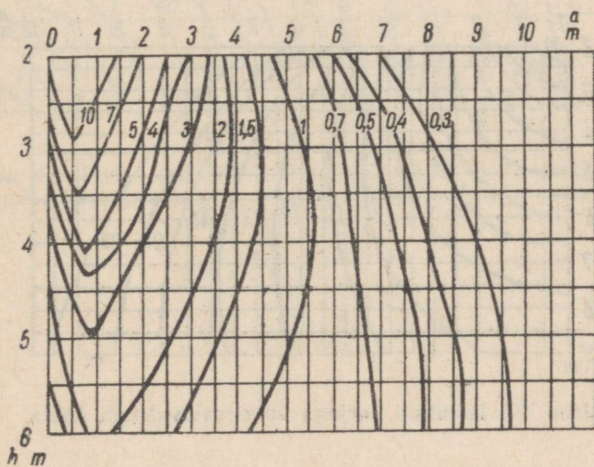
Joon. 92. Isoluksid emailitud sügavkiirgaja kohta.



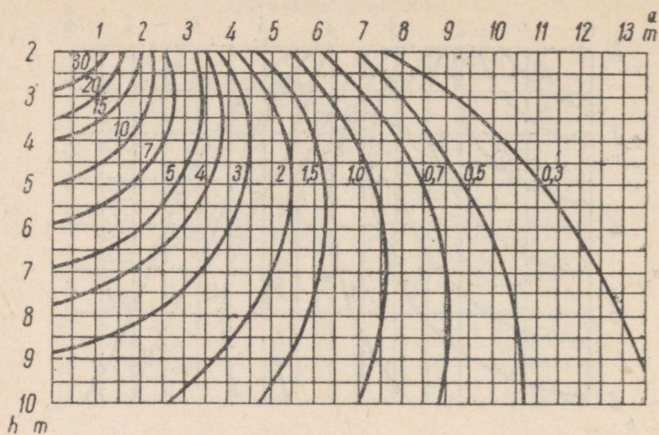
Joon. 93. Isoluksid peegel-sügavkiirgaja kohta.



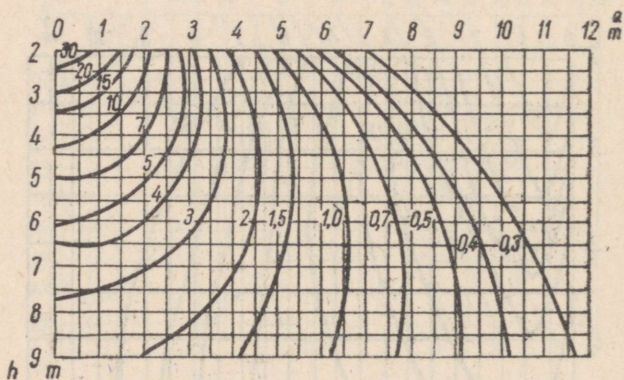
Joon. 94. Isoluksid koonilise valgusti kohta.



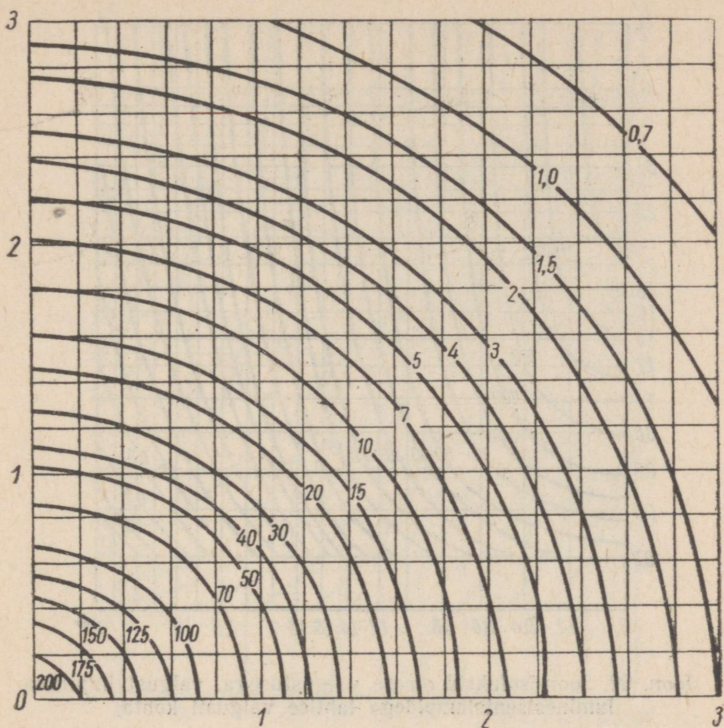
Joon. 95. Isoluksid portselanvalgusti kohta.



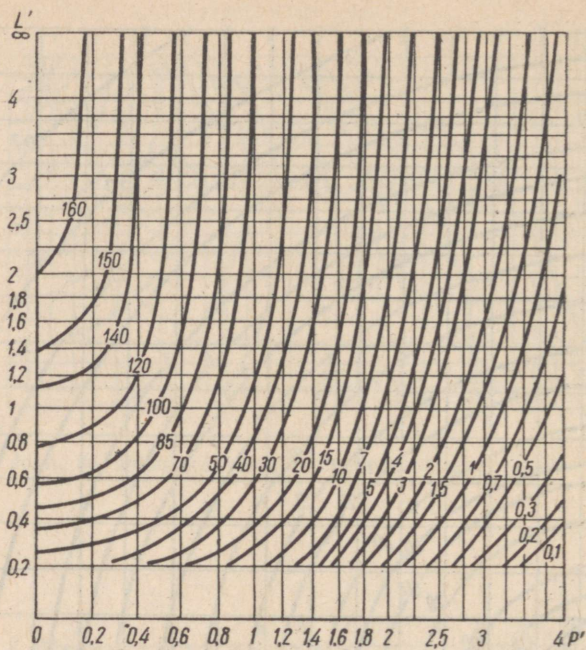
Joon. 96. Isoluksid varjuta universaalvalgusti kohta.



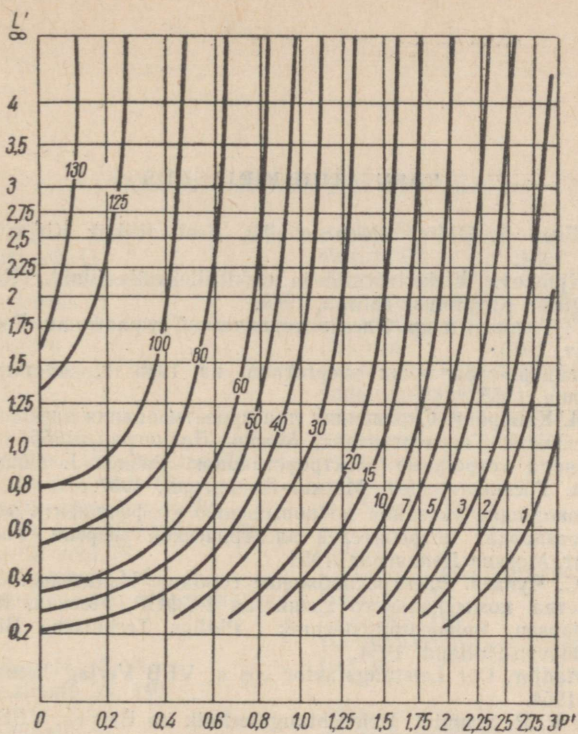
Joon. 97. Isoluksid varjuga universaalvalgusti kohta.



Joon. 98. Punkt-isoluksid lahtise, valgust hajutava reflektoriga luminescentslampidega valgusti kohta (keskmised andmed).



Joon. 99. Joon-isoluksid otsese valgustusega, valgust hajutava lumineestsentslampidega lahtise valgusti kohta.



Joon. 100. Joon-isoluksid kolme luminesentslambiga, otsese valgustusega, restikujulise varjuga ($\alpha = 15^\circ$) valgusti kohta.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. H. Esop jt. Üldine elektrotehnika. Eesti Riiklik Kirjastus, Tallinn, 1954.
2. A. Rjabkov. Elektrivõrgud ja elektriülekande liinid. RK Pedagoogiline Kirjandus, Tallinn, 1949.
3. А. Г. Голован и др. Электротехнический справочник. Госэнергоиздат, 1955.
4. Календарь-справочник энергетика на 1955 г. «Эстонэнерго», Таллин, 1955.
5. Г. М. Кнорринг. Справочник для проектирования электрического освещения. Госэнергоиздат, Москва-Ленинград, 1956.
6. Правила устройства электроустановок. Раздел I. Общие правила. Госэнергоиздат, Москва-Ленинград, 1957.
7. Руководящие указания по повышению коэффициента мощности в установках потребителей электрической энергии. Госэнергоиздат, Москва-Ленинград, 1955.
8. Д. С. Чукаев. Электроснабжение городов. Издательство Министерства коммунального хозяйства РСФСР, Москва, 1952.
9. J. Jansen. Beleuchtungstechnik. Philips Technische Bibliothek, Eindhoven-Holland, 1954.
10. L. Madjar. Der Leistungsfaktor $\cos \varphi$. VEB Verlag Technik, Berlin, 1954.
11. Kurt P. R. Schmidt. Beleuchtungstechnik im Betrieb. VEB Verlag Technik, Berlin, 1956.
12. C. Zwikker. Fluoreszenzbeleuchtung. Philips Technische Bibliothek, Eindhoven-Holland, 1951.

TAHESTIKULINE SISUNÄITAJA

- aatom 5
 aheldusvoog 11
 ajaline kasutamistegur 110
 aktiivtakistus 18
 aktiivvõimsus 24
 alalisvool 6
 alalisvoolumootor 46
 alfa 113
 amper (A) 6
 ankrumähis 48
 ankrumähise kereühendus 98
 arvutuslik koormus 83
 arvutuslik näivvõimsus 84
 arvutuslik reaktiivvõimsus 84
 arvutuslik vool 78
 asünkroonmootor 49
 asünkroonmootori võimsustegur 148

 Benardos, N. N. 39
 bispiraallamp 32, 140

 detsimillistilb 31
 difuuser 113

 ebaühtlustegur 118, 128
 eeltakisti 65
 efektiivväärtus 16
 ekspluatatsioonitegur 110
 elavhõbedaurulamp 34
 elektriahi 43
 elektriarvesti 61
 elektrienergia erikulu 75
 elektrikaarahi 43
 elektrikeevitus 39
 elektrilaeng 5
 elektriline töö 9
 elektrimasin 95, 147
 elektrimootor 45
 elektritakistusahi 43
 elektrivalgustus 28
 elektrivool 5
 elektrodünaamiline arvesti 62
 elektrodünaamiline mõõteriist 57
 elektrolüüt 5
 elektromagnetiline induksioon 10
 elektromagnetiline mõõteriist 55
 elektromotoorne jõud 6
 elektron 5
 elektrostaatiline mõõteriist 60
 endainduktsioon 11
 endainduktsiooni tegur 12
 ergutusmähise vigastus 98
 erijuhtivus 7
 eritakistus 7
 erivõimsus 140

 faas — 25
 faasidevaheline lühis 99
 faasinihe 22
 farad 20, 155
 ferrodünaamiline mõõteriist 59
 fott 30

 gaaslahendus 34
 gaaslahenduslamp 33

 haruvoolu-karakteristik 102
 haruvoolu-kommutaatormootor 53
 haruvoolumootor 46
 heledus — 31
 henri 12
 herts 15
 huumlahendus 34
 huumlamp 37
 hõõglamp 28, 32
 hõõgniit 28

 induktiivtakistus 19, 143
 induktsioonahi 44
 induktsioonarvesti 63
 induktsioonmõõteriist 59
 isolaator 8
 isolatsioonirike 72
 isolatsioonitakistus 71
 isolukside meetod 134

- joonkeevitus 42
 juht 8
 juhtivus 7
 juhtme induktiivtakistus 91
 juhtme takistus 7
 juhtmete ülekoormus 77
 jääklaeng 169
- kaablite induktiivtakistus 144
 kaablite mahtuvuslik reaktiiv-
 võimsus 145
 kaablite mahtuvustakistus 145
 kaarkeevitamine 39
 kaarlamp 37
 kaetud elektrood 40
 kaevanduse valgusti 114
 kaitstud elektrood 40
 kaitstud mootor 45
 kastetud elektrood 40
 kasutegur 27
 kasutegurimeetod 118
 kaudne valgustus 113
 keerdudevaheline lühis 97
 keerdvool 26
 keerdväli 50
 keevisliide 41
 keevisõmblus 42
 kereühendus 99
 kestevvool 78
 kiirgusahi 44
 kiloluumen 29
 kilo-oom 7
 kilovatt 10
 kilovatt-tund 10
 kilovoltamper 24
 kinnine mootor 45
 klemmipinge 6
 kohtvalgustus 117
 kolmefaasiline sidestatud süsteem
 25
 kolmnurkühendus 27
 kommutaatormootor 52
 kompaund-karakteristik 102
 kompaundmootor 47
 kompenseerimisseadmed 150, 154,
 159
 kompenseerimisseadme võimsus
 160
 kondensaatori jääklaeng 169
 kondensaatori kolmnurkühendus
 165
 kondensaatori mahtuvus 20, 164
 kondensaatori reaktiivvõimsus
 156
- kondensaatoripatarei 163
 kondensaatori tähtühendus 164
 kondensaatori võimsus 164
 kontaktkeevitamine 41
 kontaktrõngastega rootor 49
 kooniline valgusti 114
 korrektsioonitegur 82
 kulon 6
 kuulo 80
 kuumtraat-mööteriist 57
 kõrgsagedusahi 44
 käivitusmähis 51
 käivitusreostaat 47, 49
 küttekeha 43
 kütetraat 44
 küünal 30
- laevalgusti 114
 lahtine mootor 45
 Lenzi juhhis 11
 luks 30
 luminesentslamp 34
 luminofoor 34
 luumen 29
 löökkeevitamine 41
 lülitustegur 110
- maaühendus 73
 madalsagedus-induktsioonahi 44
 magnetelektriiline mööteriist 56
 magnetivoog 11
 magnetiväli 6
 magnetomotoorne arvesti 61
 mahtuvus 20
 mahtuvuslik reaktiivvõimsus 145
 mahtuvustakistus 20, 143
 mattklaas 113
 megaoom 7
 megavatt 10
 megavoltamper 24
 mikrofarad 155
 mikrohenri 13
 millihenri 13
 mitmefaasiline sidestamata süs-
 teem 25
 mitmefaasiline sümmeetriline süs-
 teem 25
 mitmefaasiline vahelduvvoolu-
 süsteem 24
 mittejuht 8
 mootorarvesti 61
 mootor kolmnurkühenduses 152
 mootor tähtühenduses 152
 mootori tühijooks 95

- mähise katkestus 97, 99
 mähitud elektrood 40
 naatriumiaurulamp 34
 neutron 5
 nurksagedus 91
 nõudetegur 83
 näivtakistus 22
 näivvõimsus 24
- Ohmi seadus 8, 142
 oom 7
 oomtakistus 18
 osaline valgustustihedus 134
 otsene valgustus 112
- paljasjuhe 82
 parasiitvool 100
 peegeldustegur 31, 128
 peegellamp 32
 peavoolu-karakteristik 102
 peavoolu-kommutaatormootor 53
 peavoolumootor 46
 piimklaas 113
 pinge 6
 pingelang 89
 pingelangumeetod 74
 pingemuutus 89
 pingemuutuse aktiivkomponent 94
 pingemuutuse induktiivkomponent 94
 plahvatuskindel valgusti 114
 plaatkondensaator 155
 plaatkondensaatori mahtuvus 155
 pooljuht 8
 poolkaudne valgustamine 113
 portselanvalgusti 114
 primaarahel 10
 prooton 5
 punktimeetod 130
 punktkeevitus 42
 põkk-keevitamine 41
 pöördemoment 50
 pöörlemiskiirus 49
 päevavalguselamp 35
- radluks 30
 reaktiivtakistus 143
 reaktiivvõimsus 24
 reflektor 113
 reklaamvalgustustoru 38
 riputuskõrgus 132, 185
 ristlõike valik 78
 rootor 51
- ruuminurk 30
 ruumitegur 128
- sekundaarahel 10
 sidestatud süsteem 25
 siinuskõver 14
 sillameetod 73
 skinefekt 18
 Slavjanov, N. G. 39
 staatilised kondensaatorid 155
 steradian 30
 stilb 31
 stroboskoopsuse nähe 36
 suhteline lülitustegur 110
 suhteline magnetiline läbitavus 91
 sügavkiirgaja 114
 sünkroniseeritud asünkroonmootor 157
 sünkronism 51
 sünkroongeneraator 157
 sünkroonkompensaator 156
 sünkroonmootor 51, 157
 sünkroonpöörlemiskiirus 49
- šunt 64
- takistus 7
 tarbimistegur 83
 tehnoloogiline norm 75
 termoelektriline mõõteriist 61
 tähtühendus 27
 töörežiim 104
 töötamiskestus 110
 tühjendustakisti 169
- universaal 113
 universaalimootor 45
- vahelduvpinge 14
 vahelduvvool 13, 14
 valgevalguselamp 35
 valguskiirgus 33
 valgusti 112
 valgustihedus 30
 valgusti kaitsenurk 112
 valgustugevus 29
 valgustusseade 112
 valgustusüsteem 117
 valgustustehniline kasutegur 118
 valgustustihedus 118
 valgustustiheduse normid 119, 123
 valgusviljakus 33
 valgusvoog 29
 valgusvoo joontihedus 137
 varutegur 118

vatt 10
veomootor 101
vibratsioonmõõteriist 60
volt 6
voltamper 24
voltamper-reaktiivne 24
vooluahel 10
voolutihedus 100
võimsus 9
võimsustegur 23
võrgupinge 48
välisvalgusti 115

õhuliini induktiivne reaktiivvõim-
sus 144
õhuliini mahtuvuslik reaktiiv-
võimsus 145
õhuliini mahtuvustakistus 145
õhupilu 100
õhutühi lamp 29
üldvalgustus 117
ülekanделиin 143
ülekanделиini soojuskaod 146
ületemperatuur 104

SISUKORD

Eessõna teisele trükile	3
-----------------------------------	---

I. ÜLDOSA

1. Elektrilised põhisuurused	5
Elektrivool	5
Elektromotoorne jõud ja pinge	6
Takistus ja juhtivus	7
Juhid, pooljuhid ja mittejuhid	8
Elektriline töö ja võimsus	9
Elektromagnetiline induksioon	10
Endainduktsioon	11
Vahelduvvool	13
Aktiiv-, induktiiv- ja mahtuvustakistus	18
Vahelduvvoolu võimsus ja võimsustegur	22
Mitmefaasilised vahelduvvoolusüsteemid	24
2. Elektrienergia kasutamine tööstuses ja majapidamises	28
Elektrivalgustus	28
Elektrikeevitus	39
Tööstuslikud elektriahjud	43
Elektrimootorid	45
3. Elektriliste suuruste mõõtmine	55
Mõõteriistade süsteemid	55
Elektriarvesti	61
Elektriliste suuruste mõõtmine	63
Isolatsioonirikete leidmine	71

II. ELEKTRIENERGIA ÜLEKULU PÕHJUSI JA SÄASTU VÕIMALUSI ELEKTRISEADMEIS

1. Elektriyaotusvõrgud	77
Juhtmete ülekoormus	77
Juhtmete ristlõike valiku alused	78
Alalisvooluvõrkude elektriline arvutus	87
Vahelduvvooluvõrkude elektriline arvutus	89

2. Elektrimasinad	95
Mootorite tühijooks	95
Mootorite ala- ja ülekoormus	95
Mootorite elektrilise osa tehnilised vead	97
Mootorite laagrite seisund	100
Mootorite õige valik	101
3. Valgustusseadmed	112
Valgustid	112
Valgustite asetus	115
Valgustuse arvutus kasutegurimeetodil	118
Valgustuse arvutus punktimeetodil	130
Arvutus isolukside meetodil	134
Valgustuse arvutus erivõimsuse järgi	140

III. ELEKTRISEADME VÕIMSUSTEGUR JA SELLE PARANDAMINE

1. Reaktiivvõimsuse osa elektriseadme koormuses	142
Ülekandeliinid	143
Elektrimasinad	147
2. Võimsusteguri parandamise tehnilised vahendid	149
Võimsusteguri parandamise abinõud, mis ei nõua kompenseerimisseadmeid	150
Võimsusteguri parandamise abinõud, mis on seotud kompenseerimisseadmete kasutamisega	154
3. Võimsusteguri parandamine	158
Võimsusteguri parandamiseks kohasema kompenseerimisseadme valik	159
Võimsusteguri parandamise viise	161
Võimsusteguri parandamine staatiliste kondensaatoritega	163
Diagramme aktiiv-, reaktiiv- ja näivvõimsuste, samuti võimsusteguri määramiseks	171
Näiteid võimsusteguri parandamise kohta kaitistes	175

LISAD

Lisa 1. Üldvalgustuse valgustite minimaalsed riputuskõrgused	186
Lisa 2. Valgustustehnilise kasuteguri η väärtusi	188
Lisa 3. Valgustite valgustugevuse jaotus 1000-lm lambi kohta	192
Lisa 4. Ühflase üldvalgustuse erivõimsus	194
Lisa 5. Hõõglampide võimsus ühe valgustiga valgustatavate väikeste ruumide jaoks	203
Lisa 6. Hõõglampide võimsus normaalsuurusega trepikodade jaoks, ühe valgustiga iga podesti kohal	203
Lisa 7. Võimsusteguri arvutamisel vajalikud trigonomeetriselised suurused	204
Lisa 8. Isolukside graafikud	208
Tähestikuline sisunäitaja	215

Rbl. 6.50

A

22500

6028718

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00602871 8