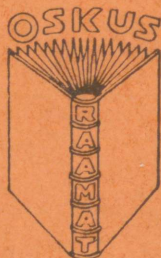


Haridusministeeriumi poolt tööstuslikes
ja tehnilistes õppeasutistes õppe- ning
käsiraamatuna tarvitamisele võtmiseks
lubatud 3. okt. 1939. a.

REIN RAVA

insener

ÜLDINE ELEKTROTEHNIKA



KIRJASTUS K.-ÜHING „OSKUSRAAMAT“

TALLINN, 1939

REIN RAVA

insener

ÜLDINE
ELEKTROTEHNIKA

*Tallinn
9. novbr.
1939.*



KIRJASTUS K.-UHING „OSKUSRAAMAT“

TALLINN, 1939

O.-ü. „Vaba Maa“ trükk, Tallinnas 1939. a.

TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU

Eessõna.

Käesoleva raamatu ülesandeks on anda lühike ülevaade elektri nähtustest ja nende rakendamisviisidest. Raamat on mõeldud eeskätt õpperaamatuks tööstuskeskkoolile ja on koostatud vastavalt selle koolitüübi õppekavale. Kuid arvesse võttes järjest laienevat huvi elektrotehnika vastu ja meie raamatuturu piiratud mahtu, on raamatu koostamisel silmas peetud veel seda, et raamatut võiks kasutada ka iseõppija algteadmiste omandamiseks elektrotehnika alal.

Raamatu koostamisel kasutatud kirjandusest mõne teose esiletõstmine poleks õiglane, sest käesolevas raamatus leiduv faktiline materjal on ka igas elektrotehnika õpperaamatus; aine järjestus ja käsitusviis, eriti raamatu üldmõistete osas, on aga algupärane. Rohke arv jooniste klišeetid on saadud ajakirjalt „Tehnika Kõigile“. Osa jooniseid on võetud Datsch'i väljaandest „Spannung, Widerstand, Strom“.

Raamatu käsikirja vaatas läbi insener A. Põdrus, keda tänan siinkohal väärtuslike märkuste eest.

R. Rava.

I. Vooluahel. Elemendid. Voolu toime.

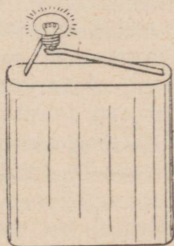
1. Vee ringvool looduses.

Väikesed ojakesed kannavad oma veed suurematesse jõgedesse, millede kaudu vesi ruttab vahetpidamata edasi. Veevoolule ehitab inimene tõkkeid ette, paisutab veepinna kõrgemale ja juhib vee läbi vesiturbiinide, milles voolava vee energia muundub mehaaniliseks energiaks, mis rakendatakse inim- või loomajõu asemel kasulikule tööle. Vesiturbiinist läbivoolanud vesi voolab aga edasi merre või järve ja aurustub seal päikese soojuse kaastegevusel. Tekkinud veeaurust moodustuvad pilved, milledest vesi langeb vihmana või lumena maapinnale, kust vesi voolab uuesti ojakeste ja jõgede kaudu merre, pannes oma teekonnal jällegi tiirlema inimeste ehitatud veejõumasinad.

Nii kestab igavesti vee ringvool looduses. Sealjuures ammutab vesi endasse päikese soojuseenergiat ja annab selle veejõumasinate kaudu inimeste käsutusse.

2. Elektri vooluahel.

Niipea kui ühendame elektri-taskulambi patarei kontaktiribadega kohase elektrilambi (joonis 1), hakkab lamp valgust kiirgama. Ka siin on tegemist ringvooluga, nimelt



Joon. 1.

elektri ringvooluga, mis sarnaneb loodusliku vee ringvooluga, kuid milles vee asemel ringlevad määratu kiirusega elektronid, s. o. aine kõige väiksemast osakesest, aatomist, tuhandeid kordj väiksemad osakesed. Elektronid on elektri energia kandjateks, samuti nagu vee osakesed on vee energia kandjateks. Elektri vooluahel koosneb vooluallikast (taskulambi patarei), mis paneb elektronid liikuma, voolujuhtmeist (patarei kontaktribad), millede kaudu elektronid liiguvad, ja voolutarvitavast aparaadist (elektrilamp), milles elektrivool muundub kasulikuks tööks. Vooluallikas ei teki elektrone liikumapanev jõud iseenesest, vaid selleks kulub energiat mõnesugusel teisel kujul (keemiline energia, mehaaniline energia jne.), samuti nagu looduslik vee ringvool ei toimu iseenesest, vaid toimub päikese soojuse arvel. Voolutarvitavas aparaadis muundub elektri energia mingisuguseks teiseks energia kujuks, nagu valguseks (elektrilamp), mehaaniliseks tööks (elektrimootor), soojuseks (elektrikeedunõud) jne.

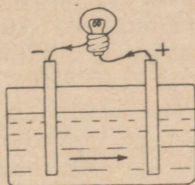
Elekter sooritab tööd ainult seni, kuni elektronid on liikvel. Kui katkestada vooluahel, jääb elektronide liikumine seisma. Paigalseisvad elektronid mingit tööd ei soorita, samuti nagu seda ei soorita ka paigalseisev vesi. Elektrivoolu kasutamisel peab alati olema kinnine vooluahel, s. t. elektronide teekond ei tohi kusagil olla katkestatud.

Inimeste asula veega varustamiseks asetatakse teatavale kohale näiteks tsentrifugaalpump, millest väljuvast surutorustikust hargnevad üksikutesse majadesse harutorud. Kui pump töötab kestvalt, saab igast kraanist vett alati kraani lahtikeeramisel. Kui aga kusagilt vett ei võeta, püsib vesi torustikus paigal ja pump tekitab torustikus ainult vee rõhku, mille mõjul vesi voolab torustikust välja kraani avamisel. Samuti toimub ka elanike varustamine elektrivooluga. Jõujaamas asetsevast elektrivoolu allikast (veepumbast) väljuvad elektrijuhtmed (veetorustik), mis ulatuvad majadesse paigutatud elektriaparaatideni (veevõtu-kohtadeni). Kui kõikide aparaatide vooluahel on katkestatud, tekitab vooluallik juhtmes ainult elektronide „rõhku“ (veerõhku), kusjuures elektronid on paigal. Elektriaparaadi vooluahela ühendamisel (veekraani avamisel) voolavad elektronid läbi aparaaadi ja sooritavad selles vajaliku töö.

Vesivarustuse korral hoolitseb loodus ise selle eest, et pumbatavast veekogust veetagavara ei lõpeks. Elektrivarustuse korral on vajalik aga elektronide tagasijuhtimiseks vooluallikasse teine juhestik. Seega on iga elektriaparaat ühendatud vooluallikaga vähemalt kahe juhtme kaudu. Elektriaparaadi tööle rakendamiseks või selle tegevuse katkestamiseks tuleb vooluahel ühendada või katkestada ükskõik kummas juhtmes.

3. Galvaani elemendid.

Kui kallata klaaspurki lahjendatud väävelhapet ja asetada sellesse tsingist ja söest plaadid (joonis 2), moodustab



Joon. 2.

see kõige lihtsama vooluallika — galvaani elemendi, mis on saanud oma nimetuse itaalia arsti Galvani nime järgi, kes pani tähele, et kaks isesugust metalli, kokku puutudes teatavate vedelikega, võivad põhjustada elektrivoolu. Elemendi vedelikku nimetatakse elektrolüüdiks, vedelikku asetatud plaate — elektrodideks ja elektrolüüdist väljaulatuvaid elektrodide otsi — elemendi poolusteks. Et säärane element elektrivoolu annab, selgub järgmistest katsetest: Kui ühendada elemendi poolused peene traadiga, selgub, et traat soojeneb ja võib hakata isegi hõõguma; kui ühendada elemendi poolused kohase elektrilambikesega, hakkab lamp valgust kiirgama jne.

Elektrivoolu tekkimise põhjuseks on elektrodide ja elektrolüüdi vahelised keemilised protsessid, mis tekitavad ühel elektroodil elektronide „rõhku“, teisel elektroodil aga elektronide „hõrendust“. Kui ühendada elektrodid traadiga, siis voolavad elektronid läbi traadi kõrgema rõhuga elektroodilt teisele elektroodile, kus on elektronide hõren-

dus. Seda elektronide voolu võib võrrelda vee voolamisega sellest anumast, kus vesi on kõrgema rõhu all, teise anumas, milles rõhk on madalam. Säärast pidevat ühesuunalist elektronide voolamist nimetatakse *alalisvooluks*.

Galvaani elemendi juures on samuti tegemist kinnise vooluahelaga ka elemendi sisemuses, s. t. ühelt elektroodilt läbi välisvooluahela teisele elektroodile voolanud elektronid suunduvad läbi elektrolüüdi uuesti tagasi esimesele elektroodile. See oletus järgneb sellest, et kui katkestame vooluahela elemendi sisemuses, näiteks asetades elektroodid eraldi purkidesse, mingit voolu ei teki.

Kirjeldatud elemendi voolukestus on õige lühiaegne, sest elemendist vooluvõtul üks elektrood, nimelt tsink, ühineb keemiliselt elektrolüüdiga, kusjuures tekkiv gaas (antud juhul vesinik) koguneb mullikestena teise — söest elektroodi pinnale ja takistab selle elektroodi ja elektrolüüdi kokkupuutumist. Galvaani elemendis voolu tekkimise eeltingimuseks aga ongi just elektroodide kokkupuutumine elektrolüüdiga. Et takistada elektroodi kattumist gaasimullikestega ehk nn. *polarisatsiooni*, ümbritsetakse vastav elektrood säärase ainega, mis ühineb kergesti keemiliselt tekkiva gaasiga. Säärase ainenä, *depolarisaatorina*, kasutatakse sageli mangaanülihapendit (MnO_2). Eelöeldust järgneb ühtlasi, et element suudab voolu anda ainult senikaua, kuni üks elektrood või elektrolüüt pole täielikult ära tarvitatud ja on takistatud teise elektroodi polarisatsiooniga.

Katsed tõendavad, et galvaani elemente võib moodustada mitmesugustest ainete kombinatsioonidest, kusjuures üheks elektroodiks on metall, mis elektrolüüdiga kergesti keemilisse reaktsiooni astub; teiseks elektroodiks on mõni muu metall või süsi. Elektrolüüdina kasutatakse hapete, leeliste või soolade lahuseid. Kõige levinum on *Leclanché* (loe: leklanšee) element, mille elektroodideks on tsink ja süsi ning elektrolüüdiks küllastatud salmiakilahus. Söest elektrood on ümbritsetud kotikesega, mis on täidetud depolarisaatoriga (mangaanülihapendi ja söetolmu segu).

Elementide käsitamise ja transpordi hõlbustamiseks kasutatakse väga sageli *kuivelemente*. Tavaliselt koosneb kuivelement tsingist anumast, mis on ühtlasi ka

üheks elektroodiks. Teiseks elektroodiks on depolarisaatoriga ümbritsetud söepulk, mis on asetatud tsingist anuma keskele. Anum täidetakse želee- või pudrutaolise massiga, mis sisaldab elektrolüüdina salmiakilahust. Elemendi täidis kaetakse pealt papiga ja valatakse kinni pigitaolise massiga.

4. Voolu suund.

Seda elemendi elektroodi, millest vool väljub välisvooluahelasse, nim. plusspooluseks; teist poolust, mille kaudu elektronid pääsevad vooluallikasse tagasi, nimetatakse miinuspooluseks. Millises suunas elektronid vooluahelas liiguvad, see on vähese praktilise tähtsusega. Kokkuleppe kohaselt loetakse plusspooluseks söest elektroodi ja miinuspooluseks tsingist elektroodi. Seega on voolu suund: välisvooluahelas — plusspooluselt läbi ühendusjuhtme miinuspoolusele, ja elemendi sisemuses — miinuspooluselt läbi elektrolüüdi plusspoolusele (joonis 2). Elektronide tõeline voolamise suund on aga vastupidine sellele kokkuleppesuunale (vaata p. 111), milline asjaolu evib tähtsust raadiotehnikas.

5. Elektrivoolu toime.

Elektrivool, s. t. elektronide liikumine, pole inimesele otseselt tajutav, kuid selle olemasolu oletame voolu mitmesuguste toimete kaudu. Elektrivoolul on soojuseline, magnetiline ja keemiline toime.

Elektrivoolu soojuseline toime. Kui ühendada taskulambi patarei kontaktribad peene traadiga, soojeneb traat kuni hõõgumiseni ja lõpuks sulab läbi.

Elektrivoolu magnetiline toime. Kui asetada lauale kompass ja hoida selle magnetnõelaga rööbiti traati, mida läbib elektrivool, kaldub magnetnõel oma esialgselt põhja-lõuna sihist kõrvale. Kui vahetada ümber vooluallikaga ühendatud traadiotsad, kaldub magnetnõel kõrvale vastupidises suunas. Siit järeldub, et teatavil juhtumel on voolu toime voolu suunast.

Elektrivoolu keemiline toime. Kui asetada vooluallika poolustega ühendatud traadiotsad vette,

millele on lisandatud vähe mingisugust hapet, selgub, et voolu läbimisel veest eraldub kummalgi vette asetatud traadiotsal mingisugune gaas, mis võis tekkida ainult voolu toimel toimunud keemiliste reaktsioonide tõttu.

Nendele elektrivoolu toimetele rajaneb elektri kasutamine tehnikas ja igapäevases elus.

6. Voolutugevus ja selle mõõtmine.

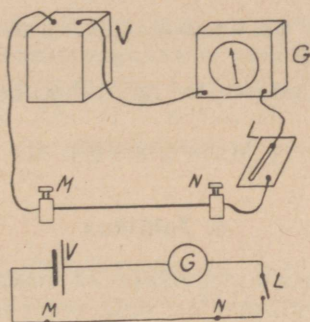
Veevoolu tugevuse mõõtühikuks on torust läbivoolanud vee hulk ühe ajaühiku jooksul, näiteks kuupmeetrite arv 1 sekundi jooksul. Analoogiliselt nimetatakse elektrivoolutugevuseks vooluahelast 1 sekundi jooksul läbivoolanud elektronide hulka. Elektrivoolu toime on seda tugevam, mida suurem on voolutugevus.

Elektri olemasolu näitamiseks ja voolutugevuse mõõtmiseks võib kasutada kõiki eespool loetletud elektrivoolu mõjuavaldusi. Kõige lihtsam sellekohane aparaat on galvanomeeter, mille tegevus põhjeneb elektrivoolu magnetilisel toimel: elektrivool kallutab magnetnõela oma esialgsesest sihist välja, kusjuures voolutugevusele vastavat pöördnurka mõõdetakse magnetnõela külge kinnitatud osuti abil, mis liigub piki skaalat. (Galvanomeetri ehitus on kirjeldatud p. 47.) Kuna magnetnõela kõrvalekaldumise suund oleneb voolu suunast, siis näitab galvanomeeter ühtlasi ka elektrivoolu suunda.

II. Takistus.

7. Takistus. Juhid ja isolaatorid.

Kinnitame klemmiide (klemmiks nimetatakse kruviga varustatud metallet elektrijuhtmete kinnitamiseks) M ja N vahele teatava läbimõõduga ja pikkusega vasktraadi ja ühendame klemmid jämeda vasktraadi abil läbi galvanomeetri ja lüliti (lülitit on seadis vooluahela sulgemiseks ja katkestamiseks) vooluallikaga joonisel 3 näidatud viisil. See lülitus, s. t. vooluallika, aparaatide ja voolujuhtivate osade omavaheline ühendus on näidatud skemaatiliselt sama joonise alumisel osal, kus on tähistatud: V — vooluallikas, G — galvanomeeter ja L — lülitit. Ühendades



Joon. 3.

lüliti abil vooluahela, näitab galvanomeeter teatava tugevusega voolu. Kui nüüd ühendada klemmid M ja N sama läbimõõdu ja pikkusega raudtraadiga, näitab galvanomeeter väiksemat voolutugevust. Korrates katset mitmesuguste teiste ainetega, selgub, et voolutugevus on iga aine korral isesugune. Sellest järgneb, et üks aine laseb elektrone paremini läbi kui teine, ehk teiste sõnadega — igal ainel on teatav elektriline takistus.

Kui asetada klemmide M ja N vahele klaaspulk ja ühendada vooluahel, jääb galvanomeetri osuti seisma O-jaotusele — seega elektronid läbi klaasi ei pääse, klaasil on väga suur takistus. Aineid, mis juhivad elektrit, nimetatakse elektrijuhtideks; aineid, mis elektrivoolu läbi ei lase, nimetatakse mittejuhtideks ehk isolaatoriteks. Elektrijuhid on kõik metallid, metallide sulamid, grafiit, süsi ning soolade, hapete ja leeliste vesilahused. Isolaatorid on klaas, portselan, marmor, paber, kummi, siid, puuvill, asbest, parafiin, õli, destilleeritud vesi jne.

Takistuse suurus oleneb eeskätt ainest. Kui katsetada edasi ja muuta ka traadi pikkust ja läbimõõtu, selgub, et takistus on igal ainel isesugune ja on võrdeline juhtme pikkusega ning pöördvõrdeline juhtme ristlõike pinnaga.

Takistuse mõõtühikuks on oom^{*)} (tähis: Ω^{**}). 1 Ω on elavhõbeda samba takistus 0° juures,

*) Georg Simon Ohm, füüsik, 1787—1854.

**) Ω — kreeka keelne täht; loetakse: oomega.

kui samba pikkus on 106,3 cm ja ristlõike pind on 1 mm².

Väga suurte takistuste mõõtühikuks on megoom (tähis: MΩ).

$$1 \text{ M}\Omega = 1\,000\,000 \text{ }\Omega.$$

8. Juhtivus.

Igast vooluahela osast pääsevad elektronid seda kerge mini läbi, mida väiksem on selle vooluahela osa takistus, ehk teiste sõnadega — mida suurem on selle juhtivus. Kui takistus on suur, siis on juhtivus väike, ja ümberpöörduvalt — väikese takistuse korral on juhtivus suur. Juhtivus on pöördvõrdeline takistusega.

Juhtivuse mõõtühikuks on siimens*) (tähis: S). 1 S on juhtme juhtivus, mille takistus on 1 Ω.

Kui märgime juhtivuse tähega G ja takistuse tähega R, leidub juhtivus valemist

$$G = \frac{1}{R}$$

Näide 1. Traadi takistus on 5 Ω. Arvutada juhtivus.

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{5} = 0,2 \text{ S.}$$

Ülesanne 1. Arvutada juhtme juhtivus, kui takistus on

- a) 10 Ω; b) 0,01 Ω; c) 2000 Ω.

9. Eritakistus ja erijuhtivus. Juhtmed.

Üksikute ainete takistust võrreldakse eritakistuse kaudu. Eritakistuseks nimetatakse 1 m pikkuse ja 1 mm² ristlõike pinnaga traadi takistust oomides.

Samuti nagu takistust saab avaldada juhtivuse kaudu, nii saab ka eritakistust avaldada erijuhtivuse kaudu. Erijuhtivus on eritakistuse pöördarv.

*) Werner Siemens, paljude elektrotehniliste leiutiste autor, 1816—1892.

Kui tähistada eritakistuse tähega ρ *) ja erijuhtivuse tähega λ **), siis leidub erijuhtivus valemist

$$\lambda = \frac{1}{\rho}$$

Kui on teada aine erijuhtivus, võib selle kaudu arvutada aine eritakistuse:

$$\rho = \frac{1}{\lambda}$$

Teatav aine juhib elektrivoolu seda paremini, mida väiksem on tema eritakistus ehk mida suurem on tema erijuhtivus. Järgnevas tabelis on toodud mõnede ainete eritakistus ja erijuhtivus temperatuuril 20° C.

Mõnede ainete eritakistus ja erijuhtivus.

	Eri- takistus ρ	Eri- juhtivus λ		Eri- takistus ρ	Eri- juhtivus λ
Metallid:			Sulamid:		
Hõbe	0,016	62,5	Nikeliin		
Vask (pehme)	0,0175	57,0	(vask + nikkel)	0,4	2,5
Alumiinium	0,03	34,8	Manganiin		
Tsink	0,06	16,5	(vask + man- gaan + nikkel)	0,43	2,32
Nikkel	0,10	10,0	Konstantaan		
Plaatina	0,11	9,0	(nikkel + vask)	0,5	2,0
Raud	0,13	7,7	Kroomnikkel	1,0	1,0
Seatina	0,21	4,8	Muud juhtmed:		
Elavhõbe	0,95	1,01	Retortsüsi	100	0,01
			Grafiit	20—100	0,05—0,01
			Siliit		
			(räni + süsinik)	1000	0,001

Juhtme materjali valik oleneb voolu tugevusest juhtmes. Suure voolutugevuse korral (valgustus, elektrimootorid jne.) kasutatakse suure juhtivuse tõttu peagu eranditult vaske ja alumiiniumi. Väikese voolutugevuse korral (telegraaf, telefon jne.) on tarvitusel tsingitud raud- ja pronksjuhtmed. Teatavail juhtudel, nagu elektrilistes soo-

*) ρ — kreeakeelne täht; loetakse: roo.

***) λ — kreeakeelne täht; loetakse: lambda.

jendusaparaatides jne., kus on tarvilik suur juhtme takistus, kasutatakse metallide sulameid, mille eritakistus on suur.

Siseruumides kasutatakse isoleeritud juhtmeid, s. t. isoleerainega kaetud vasktraate. Isoleerainena on tarvitusel peamiselt puuvill ja kummi.

10. Juhtme takistuse arvutamine.

1 m pikkuse ja 1 mm² ristlõike pinnaga juhtme takistus on võrdne juhtme materjali eritakistusega. Eespool selgus, et takistus on võrdeline juhtme pikkusega ja pöördvõrdeline juhtme ristlõike pinnaga. Seega on juhtme takistus määratud valemiga:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S}$$

kus R — juhtme takistus oomides, ρ — eritakistus, l — juhtme pikkus meetrites ja S — juhtme ristlõike pind ruutmillimeetrites.

Et eritakistust võib asendada ka erijuhtivusega, kusjuures $\rho = \frac{1}{\lambda}$, siis võib juhtme takistust arvutada ka valemiga

$$R = \frac{l}{\lambda \cdot S}$$

Kuna juhtme takistuse arvutamine toimub juhtme ristlõike pinna järgi, on kombeks elektrijuhtmete jämedust märkida mitte juhtme läbimõõdu, vaid juhtme ristlõike pinna järgi. Juhtmeid valmistatakse ainult teatud kindla ristlõike pinnaga. Tarvitatavamad juhtmed on järgmised: 1; 1,5; 2,5; 4; 6; 10; 16; 25; 35; 50; 70 mm².

Ülaltoodud valemi teisendamisel saame järgmised valemid:

a) Juhtme pikkuse arvutamiseks, kui on teada takistus, juhtme materjal ja ristlõike pind:

$$l = \frac{R \cdot S}{\rho} \quad \text{ehk} \quad l = R \cdot S \cdot \lambda$$

b) Juhtme ristlõike pinna arvutamiseks, kui on teada takistus, juhtme materjal ja pikkus:

$$S = \frac{\rho l}{R} \quad \text{ehk} \quad S = \frac{l}{\lambda \cdot R}$$

Näiteid.

2. Arvutada 5 km vasktraadi takistus, kui juhtme ristlõike pind on 25 mm^2 .

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0,0175 \cdot 5000}{25} = 3,5 \ \Omega.$$

3. Kui pikk peab olema 2 mm läbimõõduga nikeliintraat, kui takistus on $8 \ \Omega$?

Traadi ristlõike pind on:

$$S = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2^2}{4} = 3,14 \text{ mm}^2.$$

Traadi pikkus on:

$$l = \frac{R \cdot S}{\rho} = \frac{8 \cdot 3,14}{0,4} = 62,8 \text{ m}.$$

Ülesandeid.

2. Arvutada vasktraadi takistus, mille a) $l = 80 \text{ m}$, $S = 1 \text{ mm}^2$; b) $l = 25 \text{ km}$, $S = 16 \text{ mm}^2$.

3. Arvutada nikeliin-lindi takistus, kui lindi laius on 3 mm, paksus 0,5 mm ja pikkus 28 m.

4. Arvutada juhtme takistus, mille pikkus on 1 km ja ristlõike pind 10 mm^2 , kui juhtme materjaliks on a) alumiinium, b) vask ja c) raud.

5. Kui pikk peab olema kroomnikkel-lint takistusega $40 \ \Omega$, kui a) lindi laius on 2 mm ja paksus 0,6 mm; b) lindi laius on 1,5 mm ja paksus 0,2 mm?

6. Juhtme takistus peab olema $20 \ \Omega$ ja läbimõõt 0,5 mm. Kui suur on selle juhtme pikkus, kui juhtme materjaliks on: a) vask, b) raud, c) nikeliin ja d) kroomnikkel?

7. Vaskjuhtme takistus on $0,1 \ \Omega$. Kui suur on juhtme ristlõike pind, kui juhtme pikkus on 57 m?

11. Takistuse olenevus temperatuurist.

Kui korrata joonisel 3 näidatud katset klemmide M ja N vahele kinnitatud juhtme soojendamisega (näiteks piirituselambi leegis), selgub, et juhtme temperatuuri tõusuga väheneb voolutugevus, s. t. juhtme takistus suureneb. Katset tõendavad, et enamiku ainete elektriline takistus suureneb temperatuuri tõusuga,

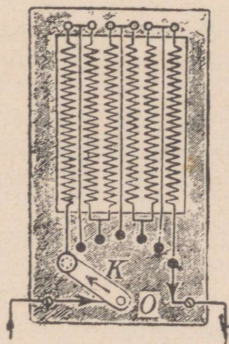
kusjuures takistuse suurenemine on üldiselt väike. Ainult mõnedel vähestel ainetel, nagu söel ja vedelikkudel, väheneb takistus temperatuuri tõusuga; klaasi takistuse vähenemine on isegi nii suur, et kõrgel temperatuuril muutub klaas elektrijuhiks.

Takistuse suurenemist temperatuuri tõusuga kasutatakse elektrilistes takistustermomeetrites, mis võimaldavad temperatuuri mõõtmist täpsusega kuni sajatuhandendiku kraadini. Takistuse suurenemise kaudu saab arvutada ka juhtmete temperatuuri, milline võte leiab praktiliselt kasutamist elektriaparaatide ja masinate mähiste temperatuuri arvutamiseks.

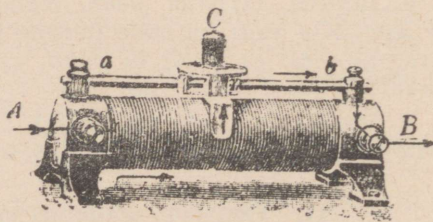
12. Reostaadid.

Sageli on tarvis vooluahela takistust soovi kohaselt muuta. Selleks ühendatakse vooluahelasse eriline aparaat — reostaat. Reostaat koosneb pikast suure takistusega traadist ja seadeldisest, mille abil saab hõlpsasti muuta vooluahelasse lülitatud traadi pikkust, millega ühtlasi muutub ka reostaadi takistus.

Reostaatide ehitusviis on mitmesugune. Joonisel 4 on näidatud väntreostaat, mille takistustraati on spi-



Joon. 4.



Joon. 5.

raalidena raami külge kinnitatud. Spiraalide otsad on ühendatud vaskkontaktidega, mida mööda libiseb vänta K ots. Voolusuund läbi reostaadi on näidatud joonisel nooltega. Reostaadi takistuse vähendamiseks tuleb vänta

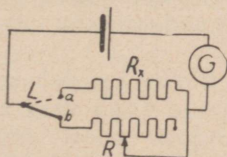
pöörata kellaosuti liikumise suunas; äärmises parempoolses seisakus on reostaat vooluahelast hoopis välja lülitatud.

Väntreostaadi puudumiks on hüppeline takistuse muutumine. Selles mõttes on otstarbekohasem rullreostaat (joonis 5), mille takistustraati on keritud spiraalina isoleerainest alusele. Spiraali üks ots on ühendatud reostaadi klemmiga A, kuna teine ots on lahtine. Takistusspiraali kohal on metallvarras ab, mis on ühendatud reostaadi teise klemmiga B. Vardal ab asetseb nihutatav kontakt C, mille asukohast oleneb vooluahelasse lülitatud takistusspiraali keerdude arv. Kontakti C äärmises parempoolses seisakus on vooluahelasse lülitatud kogu spiraal; kontakti C äärmises vasakpoolses seisakus on takistusspiraal vooluahelast välja lülitatud.

Täpsetes reostaatides, mille takistus ei tohi muutuda temperatuuri muutumisega, kasutatakse takistustraadi materjalina aineid, millede takistus ei muutu temperatuuri muutumisega.

13. Takistuse mõõtmine.

Kõige lihtsam takistuse mõõtmise viis on tundmatu takistuse võrdlemine tuntud takistusega. Selleks lülitatakse vooluahelasse joonisel 6 näidatud viisil galvanomeeter G, lüliti L, tundmatu takistus R_x ja reostaat R, mille takistuse suurus on teada selle liikuva kontakti igal seisakul. Algukses ühendatakse lüliti L tundmatu takistuse klemmiga a



Joon. 6.

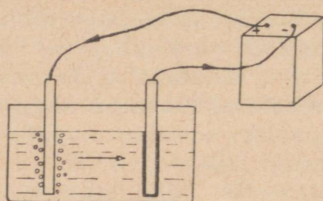
ja määratakse galvanomeetri osuti väljalöögi ulatus. Nüüd ühendatakse lüliti L reostaadi R klemmiga b ning reguleeritakse takistust seni, kuni galvanomeeter näitab sama voolutugevust nagu varem. Ühesuguse voolutugevuse korral peab vooluahela takistus olema ühesuurune. Seega takistuse R_x arvuline suurus on sama nagu reguleeritava reostaadi takistus sama voolutugevuse juures.

Peale kirjeldatud takistuse mõõtmise viisi on tegelikkuses tarvitusel veel teised mõõtmisviisid.

III. Elektrivoolu keemiline toime.

14. Elektrolüüs.

Kui kallata klaasanumasse vasevitrioli lahust, asetada vedelikku kaks söest elektroodi ja ühendada need juhtmete kaudu vooluallika poolustega ning lasta alalisvoolu läbi vasevitrioli lahuse (joonis 7), selgub, et plusspoolusega



Joon. 7.

ühendatud elektroodil hakkab eralduma mingisugune gaas, kuna miinuspoolusega ühendatud elektrood kattub vasekihiga. Kui korrata katset mõnesuguse teise aine lahusega, eralduvad elektroodidel teised ained. Need ained võisid tekkida ainult voolu toimel, kusjuures vedelik lagunes keemiliselt. Säärast vedeliku lagunemist voolu toimel nimetatakse elektrolüüsiks. Lahutatavat vedelikku nimetatakse elektrolüüdiks, vooluallika plusspoolusega ühendatud elektroodi — anoodiks ja miinuspoolusega ühendatud elektroodi katoodiks.

Kirjeldatud katse korral kandub teatava aja möödumisel elektrolüüdis leidunud kogu vask katoodile. Kui katset korrata uuesti ja asendada söest anood puhtast vasest elektroodiga, selgub, et elektrolüüsil kattus küll söest katood vasekihiga, kuid elektrolüüdi koosseis jääb enam-vähem muutumatuks. Kui kaaluda elektroodid enne ja pärast katset, selgub, et anoodi kaal on vähenenud niisama palju, kui palju suurenes katoodi kaal. Seega kandub elektrolüüsil anoodi metall katoodile.

15. Elektrolüüsi kasutamine.

Elektrolüüs on tänapäeval asendamatu keemiline protsess, mis leiab tehnikas laialdast kasutamist. Tähtsamad elektrolüüsi rakendused on järgmised.

Galvanostegia — metallesemete katmine üliõhukese muu metallikihiga. Kaetav metallese puhastatakse tolmust, rasvast ja mustusest ning asetatakse elektrolüütilisse vanni vastava metallisoola lahuse sisse. Metallitav ese on katoodiks; anoodiks on plaat sellest metallist, millega antud keha soovitakse katta. Voolu läbimisel elektrolüüdist sadestub esemele metallikiht. Sel viisil kaetakse metallesemeid vase, nikli, hõbeda, kulla, plaatina, kroomi, kaadmiumi ja teiste metallide kihiga eseme ilustamiseks või keemilistele mõjudele vastupidavuse tõstmise otstarbel.

Galvanoplastika — esemetest metalljäljendite valmistamine. Originaalist (näit. puulõige jm.) valmistatakse plastiline jäljend (vahast, kipsist jm.) ja tehakse selle pealispind juhtivaks grafiitpulbriga. Jäljend asetatakse samuti katoodiks elektrolüütilisse vanni ja toimitakse nagu galvanostegia puhul. Voolu pikemaajalisel mõjumisel tekib jäljendi pinnale paksem metallikiht, mille kuju vastab täpselt esemele, millest jäljend valmistati.

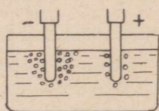
Metallide rafineerimine ehk puhastamine neis leiduvaist lisandeist. Puhastatav metallitükk asetatakse vanni anoodina, kuna katoodiks on täiesti puhtast metallist õhuke leht. Voolu läbimisel vannist kandub keemiliselt puhas metall katoodile, kuna anoodis leiduvad lisandid langevad vanni põhja. Sel teel puhastatakse peamiselt vaske (elektrolüüt-vask), kuid ka teisi metalle, nagu kulda jne. Saadud metallplaadid töödeldakse ümber valamise, pressimise või valtsimise teel.

Metallide saamine nende keemilistest ühenditest. Kuna kõik ained ei lahustu vees, võib elektrolüüdina kasutada metalliühendite lahuste kõrval ka nende sulatisi. Voolu läbimisel vannist kandub metall puhtal kujul katoodile. Sel teel saadakse alumiiniumi, vaske, kroomi, naatriumi, kaaliumi, kaltsiumi ja teisi metalle.

Elektrolüüsil on ka kahjulik toime. Kaks isesugust metalli, mis asetsevad niiskes kohas, moodustavad nõrga galvaani elemendi. Kui need metallid on omavahel voolu juhtivalt ühenduses, tekib nende vahel nõrk elektrivool, mille toimele lagunevad need metallid. Nii võivad aja jooksul hävineda mitmesugused konstruktsiooni osad.

16. Vooluallika pooluste määramine.

Elektrolüüsil tuleb elektrodid alati õieti ühendada vooluallika poolustega. Kui pooluste nimetused pole teada, võib neid määrata elektrokeemilisel teel mitmel viisil. Kõige lihtsam viis seisab selles, et vooluallika klemmidega ühendatud juhtmed pistetakse vette, millele juhtivuse suurendamiseks on lisatud veidi mingisugust hapet või leelist. Voolu läbimisel veest eraldub vette asetatud juhtmete otstel gaas; see juhe, millel gaasi eraldumine on intensiivsem (vesinik), on ühendatud vooluallika miinus-klemmiga (joonis 8).



Joon. 8.

Pooluse määramise paber on filterpaber, mis on immutatud glaubrisoola ja fenoolftaleiini lahusega. Kui niisutada seda paberit ja asetada sellele juhtmed, värvub paber punaseks juhtme kohal, mis on ühendatud vooluallika miinus-poolusega.

Pooluste määramiseks võib kasutada ka poolekslõigatud toorest kartulit — pluss-poolusega ühendatud juhtme juures värvub kartul rohekaks.

17. Faraday seadus.

Lüline elektrolüüsi vooluahelasse galvanomeetri ja reostaadi, mille abil saab muuta voolutugevust vooluahelas. Kui kaaluda teatud püsiva voolutugevuse juures mitmesuguse aja vältel elektrodidel eraldunud aine hulka, selgub, et see on võrdeline elektrolüüsi kestusega. Kui kaaluda ka teatud püsival ajavahemikul, kuid mitmesuguse voolutugevuse juures eraldunud aine hulka, selgub, et see on võrdeline voolutugevusega. Korrates katset mõne teise elektrolüüdiga, selgub sama.

Sellest järgneb Faraday (loe: färödi) seadus: Elektrolüüdist elektrodidel eraldunud aine hulk on võrdeline voolutugevusega ja voolu mõjumise ajaga.

18. Amper — voolutugevuse mõõtühik.

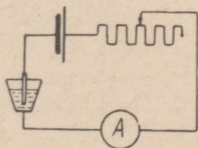
Faraday seaduse järgi eraldab elektrolüüsil teatud tugevusega vool teatud aja jookul alati kindla hulga ainet. Suurema või väiksema voolutugevuse korral on eraldunud aine hulk sama aja jooksul vastavalt suurem või vähem. See asjaolu võimaldab voolutugevuse mõõtmist elektrolüüsi kestuse ja eraldunud aine hulga järgi. Voolutugevuse mõõtühikuks on amper*) (tähis: A). Kokkuleppe kohaselt on 1 A voolutugevus, mis eraldab 1 sekundi jooksul hõbedasoola lahusest 1,118 milligrammi hõbedat.

Väikese voolutugevuse korral on voolutugevuse mõõtühikuks milliamper (tähis: mA).

$$1 \text{ mA} = 0,001 \text{ A.}$$

Elektrolüüsi aparati, millega toimub voolutugevuse mõõtmine elektrokeemilisel teel, nimetatakse voltameetriks (mitte vahetada voltmeetriga). Täpsetel mõõtmistel kasutatava hõbeda voltameetri katoodiks on plaatinast tiigel, millesse kallatakse elektrolüüdina hõbedanitraadi (AgNO_3) lahust. Anoodiks on elektrolüüti asetatud hõbedaplaat. Tiigel kaalutakse enne ja pärast katset ning arvutatakse voolutugevus eraldunud aine hulga ja voolu mõjumise aja järgi.

Voolutugevuse määramine voltameetri abil on tülikas toiming. Sellepärast kasutatakse tegelikus elus voolutugevuse mõõtmiseks osutiga mõõduriistu — ampermeetreid, millede tegevus on rajatud elektrivoolu magnetilisele või soojuselisele toimele. Kõige lihtsam ampermeeter on galvanomeeter, mille skaalale on kantud jaotused amprites. Skaala jaotuste leidmiseks lülitatakse vooluahelasse reostaat, ampermeeter ja voltameeter joonisel 9 näidatud



Joon. 9.

*) André Marie Ampère, matemaatik ja füüsik, 1775—1836.

1 A	eraldab	1 tunni	jooksul	1,186 g	vaske.
1 A	"	3	" "	3 . 1,186 g	
5 A	"	3	" "	5 . 3 . 1,186 g	
				= 17,8	g vaske.

Ülesandeid.

9. Kui palju vaske eraldub vasevitrioli lahusest a) 1 päeva jooksul, kui voolutugevus on 30 A; b) 4 tunni jooksul, kui voolutugevus on 15 A; c) 20 minuti jooksul, kui voolutugevus on 10 A?

10. Nikeldamine toimus 3 tunni jooksul voolutugevusega 5 A. Arvutada nikli kihi paksus, kui eseme pindala on 10 dm².

IV. Elektrivoolu soojuseline toime.

20. Voolusoojus.

Kui ühendada vooluahelasse jämedad vasktraadi tükid vaheldumisi peene nikeliintraadiga, näeme, et teatava voolutugevuse juures hakkab nikeliintraat hõõguma, kuna jäme vasktraat ei soojene nimetamisväärselt. Ometi läbib nii vaske kui nikeliini ühesuguse tugevusega elektrivool.

Selle nähtuse selgitamiseks lülitame vooluahelasse tuntud takistusega nikeliinspiraali ja ampermeetri. Voolu läbimisel soojeneb spiraal. Voolu toimel eralduva soojuse hulga määramiseks asetame spiraali vette. Teades veel hulka ja temperatuuri tõusu, võib arvutada voolu toimel veele ülekandunud soojuse hulka. Kui korrata katset mitmesuguse voolutugevuse ja spiraali takistuse juures, selgub katsetest Joule'i (loe: džaul'i) seadus: Voolu toimel tekkinud soojuse hulk on võrdeline voolutugevuse ruuduga, juhtme takistusega ja voolu kestusega.

Voolu toimel eraldunud soojuse hulk arvutatakse valemiga

$$Q = 0,239 J^2 R t$$

kus Q — eraldunud soojuse hulk kalorites *); J — voolutugevus amprites; R — juhtme takistus oomides ja t — voolu kestus sekundites.

*) 1 kalor (tähis: cal) on 1 g vee soojendamiseks 1^o C võrra vajalik soojuse hulk. 1 kcal = 1000 cal.

Joule'i seadus on maksev kogu vooluahela kui ka selle üksikute osade kohta. Seega soojeneb iga vooluahela osa võrdeliselt selle osa takistusega: mida suurem on vooluahela takistus, seda enam ta ka soojeneb. Jämedad juhtmed, millede takistus on väike, ei soojene ka suure voolutugevuse korral kuigi palju. Kui elektrivoolu kasutamise eesmärgiks on soojuse tekitamine, tuleb selleks otstarbeks kasutada suure eritakistusega takistustraate.

Voolusoojus leiab tehnikas ja igapäevases elus väga laialdast kasutamist, sest võrreldes teiste soojuseallikatega on elektrisoojusel rida eeliseid: puuduvad tahm, põlemisgaasid ja lahtine leek; soojust on alati lihtne tekitada; võimaldab aja säästu (jäab ära põletusaine muretsemisele, tuha kõrvaldamisele ja tule tegemisele kuluv aeg) jne.

Teatavail juhtumel on voolusoojus ka kahjulik. Voolu läbimisel soojenevad Joule'i seaduse järgi kõik juhtmed ja sellepärast tuleb elektriaparaatide ja -mootorite mähiseid jahutada. Halbades jahutustingimustes võib voolusoojus tekitada isegi rikkeid.

Näide.

6. Juhtme takistus on 5Ω . Kui palju soojust tekib selles juhtmes 2 minuti jooksul, kui voolutugevus on 10 A ?

$$Q = 0,239 \text{ J}^2 \text{ Rt} = 0,239 \cdot 10^2 \cdot 5 \cdot 2 \cdot 60 = \\ = 14340 \text{ cal} = 14,34 \text{ kcal.}$$

Selle soojusehulgaga on võimalik tõsta 1 kg vee temperatuuri $14,34^\circ \text{ C}$ võrra ehk $14,34 \text{ l}$ vee temperatuuri 1° C võrra.

Ülesandeid.

11. Kui palju soojust tekib juhtmes 1 tunni jooksul, kui voolutugevus on 2 A ja juhtme takistus: a) 1Ω , b) 15Ω , c) 400Ω ?

12. Kui palju soojust tekib juhtmes 10 min. jooksul, kui juhtme takistus on 80Ω ja voolutugevus: a) $0,5 \text{ A}$, b) 1 A , c) 2 A ?

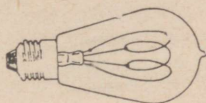
13. Kui palju soojust tekib juhtmes, mille takistus on 20Ω , voolutugevus 2 A ja voolu kestus: a) 30 min. , b) 1 tund , c) 5 tundi ?

14. Vaskjuhtme pikkus on 200 m ja ristlõike pind 16 mm^2 . Kui palju soojust tekib selles igas sekundis, kui voolutugevus on 60 A?

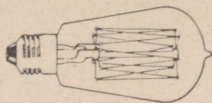
21. Hõõglamp.

Elektri-hõõglampides juhitakse vool läbi suure takistusega peene juhtme, mis voolu toimel soojeneb ja hakkab hõõguma. Küllalt kõrge temperatuuri juures hakkab hõõglamp valgust kiirgama. Valguse värv on seda valgem, mida kõrgem on hõõgniidi temperatuur.

Vanemates hõõglampides oli hõõgniidiks peenike söenii, mis asetati spiraalitaoliselt klaaspirni (joon. 10). Et hõõgniit kuumenemisel ära ei põleks, pumbatakse õhk



Joon. 10.



Joon. 11.

klaaspirnist välja. Hõõgniidi üks ots ühendatakse lambi sokli kruvilõikelise metallkesta külge, teine ots aga sokli otsapinnale isoleeritult kinnitatud metallpaadi külge. Lamp keeratakse vastavasse pesasse, mille kontaktide külge kinnitatakse juhtmed.

Võrdlemisi madala hõõgniidi temperatuuri tõttu (umbes 1700°C) on süsiniiit-hõõglambi valguse värv punakas-kollane ja voolukulu võrdlemisi suur.

Kogemused tõendavad, et hõõglampide valguse voog suureneb tunduvalt hõõgniidi temperatuuri tõusuga. Suuremat hõõgniidi temperatuuri on võimalik saavutada metallist hõõgniidiga lampides. Nende lampide hõõgniite valmistatakse peamiselt volframist. Kuna metall kõrge temperatuuri juures hapnikuga kokku puutudes ära põleb, pumbatakse ka nende lampide klaaspirnidest õhk välja. Õhutühjas metall-hõõgniidiga lambis (joon. 11) ei ole võimalik temperatuuri tõsta üle 2000° , sest säärase kõrge temperatuuri juures hakkaks hõõgniit õhutühjas ruumis kiiresti aurustuma ja sulaks peagi läbi.

Selle puudumi kõrvaldamiseks täidetakse hõõglambi klaaspirn teatavate gaasidega, mis ka kõrge temperatuuri

juures ei mõju keemiliselt hõõgniidile (lämmastik, argoon jt.), ning muudetakse hõõgniidi kuju: peenike hõõgniit keeratakse peeneks ja tihedaks spiraaliks ning keeratakse sellest teine spiraal. Joonisel 12 on näidatud gaasiga täidetud metall-hõõgniidiga lamp.



Joon. 12.

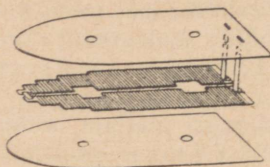
22. Soojendusaparaadid.

Kõigi voolusoojuse toimel töötavate soojendusaparaatide olulisemaks osaks on kütteelement, mis koosneb kuumuskindlale isoleerainest alusele mähitud takistus- traadist.

Kõige levinum elektrisoojuseline aparaat on elektritriikraud (joonis 13), mille kütteelemendis tekitatud



Joon. 13.



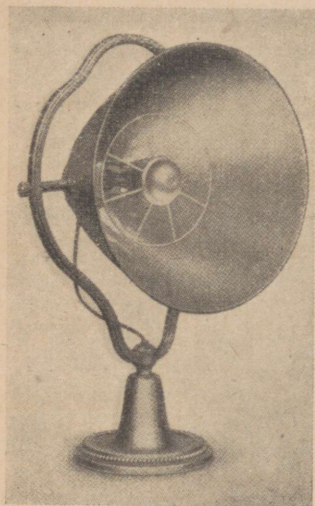
Joon. 14.

voolusoojus soojendab triikraua talda. Joonisel 14 on näidatud triikraua kütteelement ühes isolatsioonplaatidega.

Keedunõudes (joonis 15) on kütteelement asetatud nõu põhja või külgsainte vahele.

Elektripliitides asetseb kütteelement kütteleplaadi all ja soojendab seda.

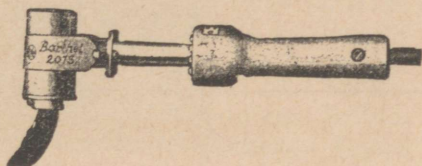
Ruumide soojendamiseks kasutatakse elektriahje. Joonisel 16 näidatud kiirgamisahju nõguspeegli kumeruse sees asetseb kütteelement. Seda ahju kasutatakse ainult töökoha täiendavaks soojendamiseks.



Joon. 16.



Joon. 15.



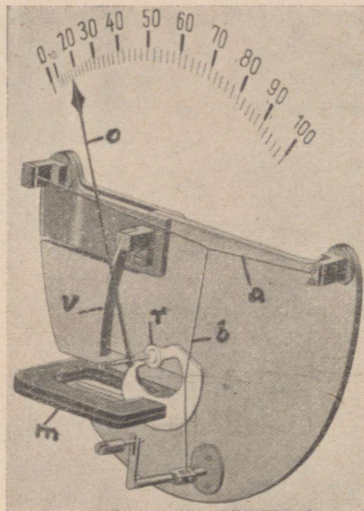
Joon. 17.

Voolusoojus leiab rohket kasutamist ka tehnikas. Laialdast kasutamist leiab tinutuskolb (joonis 17). Elektriahju kasutatakse terase hõõgutamiseks ja karastamiseks, metallide sulatamiseks ja muudeks otstarveteks.

23. Kuumtraat-ampermeeter.

Voolu läbimisel soojenevad kõik juhtmed, kusjuures antud juhtme temperatuuri tõus oleneb voolutugevusest. Seda asjaolu kasutatakse kuumtraat-ampermeetrite valmistamiseks.

Kuumtraat-ampermeetri töö- ja ehitusviis selgub jooniselt 18. Mõõduriist koosneb plaatina sulamist traadist a, mis on kinnitatud kahe tugipunkti külge. Traadi a keskele on kinnitatud teine traat b, mis on pinguli tõmmatud ümber rulli r keeratud siidniidi ja vedru v abil. Rulli r külge on kinnitatud osuti o. Voolu läbimisel traadist a soojeneb see ja pikeneb seda enam, mida suurem on voolutugevus. Traadi a pikenemisel lõdveneb traat b, kuid vedru v tõmbab selle uuesti pingule ja seega keerab rulli ja selle külge kinnitatud osutit seda enam, mida suurem on traadi a pi-

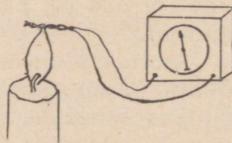


Joon. 18.

kenemine, s. t. mida suurem on voolutugevus. Voolutugevust loetakse skaalalt osuti kohalt. Skaala jaotused valmistatakse vooluahelasse lülitatud voltmeetri või teise täpse ampermeetri näitamiste järgi.

24. Termoelekter.

Samuti nagu elekter muundub soojuseks, nii saab ka soojust otseselt muundada elektriks. Kui keerata kokku raud- ja nikeliintraadi otsad ning teised otsad ühendada tundliku galvanomeetriga ja soojendada kokkukeeratud juhtmete otsi (joonis 19), näitab galvanomeeter voolu olemasolu. Galvanomeetriga ühendatud juhtmete otsade ümbervahetamisel kaldub galvanomeetri osuti kõrvale



Joon. 19.

vastassuunas — seega on tekkinud voolul kindel suund. Kui eemaldada juhtmete otsad leegist kaugemale, näitab galvanomeeter väiksemat voolutugevust; seega oleneb tekkinud voolu tugevus temperatuurist traatide ühenduskohal.

Kui korrata katset teissugusest materjalist juhtmetega, on voolutugevus teissugune. Ühesugusest materjalist juhtmete korral mingit voolu ei teki.

Katsetest selgub, et kahe isesuguse metalli ühenduskoht muutub kõrges temperatuuris elektrivoolu allikaks. Nii-moodi tekitatud elektrit nimetatakse **termoelektriks** ja sääraseid vooluallikaid — **termoelementideks**.

Termoelementide voolutugevus on väga väike ja seega nende kasutus-ulatus väga piiratud. Praktilist kasutamist leiab termoelement elektrilistes püromeetrites, s. t. kõrgete temperatuuride mõõduriistades. Selleks asetatakse kohta, mille temperatuuri soovitakse mõõta, termoelement ja ühendatakse selle otsad juhtmete kaudu tundliku galvanomeetriga, mille skaalajaotused on tehtud otse temperatuuri kraadides.

V. Elektromotoorne jõud ja pinge.

25. Elektromotoorne jõud.

Eespool kujutasime vooluallika tegevust sellisena, et ühel poolusel tekib elektronide „rõhk“, teisel poolusel aga elektronide „hõrendus“. Vooluallika pooluste ühendamisel juhtmega tekitabki see rõhkude vahe elektronide voolamise. Seda „rõhkude“ vahet, mis paneb elektronid vooluahelas liikuma, nimetatakse **elektromotoorseks jõuks** (s. t. elektrone liikuma panevaks jõuks).

26. Pinge. Volt.

Torustiku kaudu võib pumba abil vett juhtida kaugemal asuvasse tarvituskohadesse. Kui toru otsas olev kraan on suletud ja toru on vee rõhu all, on vee rõhk kogu torustiku ulatuses ühesuurune, mida on lihtne kontrollida manomeetri abil. Kui aga avada toru lõpul olev kraan, nii et vesi hakkab torustiku kaudu voolama, selgub, et vee rõhk väheneb pidevalt vee voolamise suunas. Vee rõhkude vahe

torustiku teatavas ulatuses kulub vee liikuma panemiseks kõrgema rõhuga torustiku punktist madalama rõhuga torustiku punkti suunas.

Elektri voolamisele avaldavad kõik juhtmed teatavat takistust. Nii peaks ka elektronide „rõhk“ pidevalt vähenema voolu suunas. Elektronide rõhku vooluahela kahe punkti vahel nimetatakse pingeks. Pinge mõõtühikuks on volt*) (tähis: V). 1 V on pinge, mis tekitab 1-oomilises takistuses voolu tugevusega 1 A.

Kõrgete pingete korral on pinge mõõtühikuks kilovolt (tähis: kV).

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

Pinget võib mõõta vooluahela kahe mistahes punkti vahel. Tavaliselt mõõdetakse pinget voolutarvituskohas elektriaparaadi klemmidel ja vooluallika klemmidel. Viimast pinget nimetatakse vooluallika klemmi pingeks.

Elektromotoorne jõud on kõige suurem pinge antud vooluahelas ja sellepärast on elektromotoorse jõu mõõtühikuks samuti volt. Leclanché elemendi elektromotoorne jõud on 1,5 V; suure võimsusega elektrigeneraatorite elektromotoorne jõud on aga tuhandeid volte.

27. Ohm'i seadus.

Pinge mõõtühiku definitsiooni järgi on pinge, voolutugevus ja takistus üksteisega seotud. Vooluahela kahe punkti vaheline pinge peab olema võrdeline takistusega, sest mida suurem (või vähem) on takistus, seda suurem (või vähem) peab olema pinge, et tekitada teatava tugevusega voolu läbi selle takistuse. Teisest küljest peab pinge olema võrdeline ka voolutugevusega, sest mida suurem (või vähem) on voolutugevus, seda suurem (või vähem) peab olema ka pinge, et sellele voolutugevusele vastavat elektronide hulka suruda läbi antud takistuse. Siit järgneb Ohm'i seadus: Vooluahela kahe punkti vaheline pinge on võrdeline voolutugevuse ja takistuse korrutisega. Ohm'i seadus on ker-

*) Alessandro Vo'ta, füüsik, 1745—1827.

gesti kontrollitav ka katseliselt, kuid selleks on ampermeetri kõrval vajalik veel pinge mõõduriist.

Pinge, voolutugevus ja takistus on seega seotud valemiga

$$U = J \cdot R$$

kus U — pinge voltides; J — voolutugevus amprites ja R — takistus oomides. Ohm'i seadus on maksev vooluahela mistahes kahe punkti vahel, kui ka kogu vooluahela kohta.

Ohm'i seaduse valemi teisendamisel leidub voolutugevus, kui on teada pinge ja takistus:

$$J = \frac{U}{R}$$

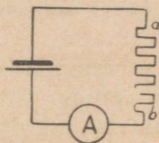
ning takistus — pinge ja voolutugevuse kaudu:

$$R = \frac{U}{J}$$

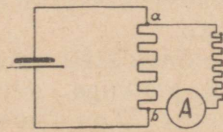
Valemitest nähtub, et voolutugevus igal üksikul juhul oleneb vooluallika pingest ja vooluahela takistusest. Seega ühest ja samast vooluallikast võib saada mitmesuguse tugevusega voolu, milleks tuleb muuta vooluahela takistust.

28. Pinge mõõtmine. Voltmeeter.

Soovides teada pinget joonisel 20 näidatud reostaadi klemmide ab vahel, võib seda arvutada Ohm'i seaduse alu-



Joon. 20.



Joon. 21.

sel, kui on teada reostaadi takistus ja voolu tugevus. Olgu näiteks reostaadi takistus 5Ω ja ampermeetriga mõõdetav voolu tugevus 2 A , siis on klemmide ab vahel mõjuv pinge

$$U = J \cdot R = 2 \cdot 5 = 10 \text{ V}.$$

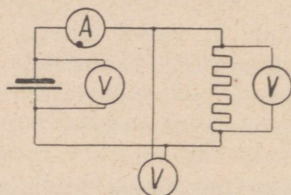
Seesugune pinge arvutus on tülikas. Tavaliselt kasutatakse pinge määramiseks joonisel 21 näidatud lülitust, kus-

juures klemmide a ja b vahele on lülitatud paralleelselt reostaadile läbi suure eeltakistuse tundlik ampermeeter. Eeltakistus on ampermeetri ette lülitatud selleks, et ampermeetri läbiks õige väikese tugevusega vool. Kui ampermeetri vooluahela takistus (s. t. eeltakistuse ja ampermeetri enda takistuse summa) on näiteks 1000Ω , siis on antud juhul ampermeetri läbistava voolu tugevus $0,01A$ ja seega on klemmide a ja b vaheline pinge

$$U = J \cdot R = 0,01 \cdot 1000 = 10 \text{ V.}$$

Niimoodi võib igasugusele ampermeetri läbistava voolu tugevusele arvutada vastava pinge ja selle kirjutada mõõduriista skaalale. Arvutatud pinge suurused on maksavad muidugi vastava eeltakistuse korral.

Seesugust pinge mõõtmiseks kasutatavat eeltakistusega ampermeetri nimetatakse **v o l t m e e t r i k s** (mitte vahe-



Joon. 22.

tada voltmeetriga). Tavaliselt on eeltakistus monteeritud mõõduriista sisemusse, nii et see moodustab mõõduriistaga ühise terviku.

Pinge mõõtmiseks tuleb voltmeeter ühendada vooluahela kahe punktiga, millede-vahelist pinget soovitakse mõõta. Joonisel 22 on näidatud ampermeetri ja voltmeetrile lülitus vooluahelasse.

29. Ohm'i seaduse katseline kontrollimine.

Eespool arutluse teel tuletatud Ohm'i seaduse katseliseks kontrollimiseks tuleb mõõta vooluahela või selle osa takistus, voolutugevus ja pinge ning võrrelda, kas arvutuse teel leitud väärtused vastavad mõõduriistadega mõõdetud väärtustele. Järgnevad arvutusnäited ja katsed kinnitavad Ohm'i seaduse tõepärasust.

Näiteid.

7. Reostaat takistusega 2Ω on ühendatud elemendiga. Vasest ühendusjuhtmete ristlõike pind on $2,5 \text{ mm}^2$ ning nende pikkus 2 m. Arvutada voolutugevus, kui pinge elemendi klemmidel on 1,3 V ja vooluahelasse lülitatud ampermeetri sisetakistus on $0,1 \Omega$.

Voolutugevus $J = \frac{U}{R}$, kus R — vooluahela kogu takistus
ühendusjuhtmete takistus $R = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{0,0175 \cdot 2}{2,5} = 0,014 \Omega$

Ampermeetri sisetakistus	0,1	Ω
Reostaadi takistus	2,0	Ω

Vooluahela kogutakistus	2,114	Ω
-------------------------	-------	----------

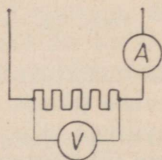
Voolutugevus $J = \frac{U}{R} = \frac{1,3}{2,114} = 0,615 \text{ A}$.

Kui ühendusjuhtmete ja ampermeetri enda takistus võrreldes reostaadi takistusega on tähtsusetult väike nagu käesoleval juhul, jäetakse voolutugevuse arvutamisel need takistused arvesse võtmata, sest sellest tekivad viga on samuti tähtsusetult väike. Vastavalt sellele on arvutatav ligikaudne, kuid tegelikus elus küllalt suure täpsusega voolutugevus:

$$J = \frac{U}{R} = \frac{1,3}{2} = 0,65 \text{ A}.$$

8. Reostaadi takistus on 8Ω . Kui suur pinge mõjub reostaadi klemmide vahel, kui voolutugevus on 1,5 A (joonis 23)?

$$U = J \cdot R = 1,5 \cdot 8 = 12 \text{ V}.$$



Joon. 23.

9. Hõõglampi läbib vool tugevusega 0,5 A. Pinge lambi klemmide vahel on 110 V. Arvutada hõõglambi takistus.

$$R = \frac{U}{J} = \frac{110}{0,5} = 2200 \Omega.$$

Ülesandeid.

15. Kui suur on elektri keeduplaati läbistava voolu tugevus, kui pinge on 220 V ja kütteelemendi takistus on a) 50 Ω , b) 120 Ω , c) 200 Ω ?

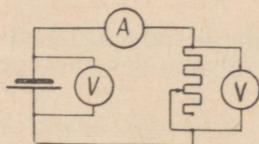
16. Elektriaparaadi takistus on 30 Ω . Kui suur on voolutugevus, kui pinge aparadi klemmidel on: a) 220 V, b) 110 V?

17. Kui suur pinge peab olema 20 Ω takistuse klemmi- del, et voolutugevus oleks: a) 20 A, b) 10 A, c) 2 A?

18. Arvutada elektriaparaadi takistus, kui pinge apa- raadi klemmidel on 220 V ja voolutugevus: a) 0,5 A, b) 1,2 A, c) 10 A.

30. Pingelangus.

Kui ühendada vooluahelasse reostaat (joonis 24) ja mõõta vooluallika klemmipinget ja pinge reostaadi klem- mide vahel, selgub, et pinge reostaadi klemmidel on alati väiksem vooluallika klemmipingest. See on ka arusaadav, sest osa vooluallika klemmipingest kulub voolu juhtimiseks läbi ühendusjuhtmete. Seda pingete vahet nimetatakse pingelanguseks.



Joon. 24.

Kui muuta reostaadi takistust ja mõõta pingelangust mitmesuguse voolutugevuse juures, selgub, et pingelangus on võrdeline voolutugevusega. Kui asendada kasutatavad ühendusjuhtmed suurema takistusega juhtmetega ja mõõta pingelangust samade voolutugevuste juures, selgub, et pingelangus on võrdeline ka juhtmete takistusega. Katsetest järgneb, et pingelangus on võrdeline voolu- tugevusega ja ühendusjuhtmete takistu- sega.

Pingelangust võib arvestada ka Ohm'i seaduse järgi:

$$e = J \cdot R$$

kus e — pingelang voltides, J — voolutugevus ja R — ühendusjuhtmete takistus.

Pingelangus on kahjulik nähtus, sest mida suurem on pingelangus, seda väiksemaks muutub pinge elektrivoolu kasutuskohal.

31. Vooluallika klemmipinge.

Eelmise katse juures (joonis 24) selgus ühtlasi, et vooluallika klemmipinge pole püsiv. Avatud vooluahela korral on vooluallika klemmipinge kõige suurem. Vooluvõtmisel aga hakkab vooluallika klemmipinge vähenema ja on seda väiksem, mida suurem on voolutugevus.

Vooluallika klemmipinge muutumine on seletatav pingelangusega vooluallika sisemuses. Igal vooluallikal on teatav sisetakistus ja seda takistust läbistab samasuguse tugevusega vool kui välisvooluahelas. Pingelangus vooluallika sisemuses on

$$e_s = J \cdot R_s$$

kus e_s — pingelangus vooluallikas ja R_s — vooluallika sisetakistus.

Avatud vooluahela korral on klemmipinge võrdne vooluallika elektromotoorse jõuga. Vooluvõtmisel väheneb klemmipinge pingelanguse võrra vooluallika sisemuses ja see pingelangus on seda suurem, mida suurem on voolutugevus. Selle tagajärjeks on ka vooluallika klemmipinge vähenemine seda enam, mida suuremaks tõuseb voolutugevus.

Vooluallika klemmipinge vähenemisel on suur tähtsus. Voolutugevuse suurenemisel väheneb vooluallika klemmipinge ja ühtlasi ka pinge voolu tarvituskohtades ning selle tõttu väheneb ka elektriaparaate läbistava voolu tugevus ning need ei anna sama efekti, nagu ette nähtud täispinge all. Sellepärast jõujaamades kasutatavate vooluallikate klemmipinge peab olema reguleeritav.

32. Vooluallikate lülitused.

Iga üksik galvaani element võib antud vooluahelas tekitada ainult teatava tugevusega voolu, mille tugevus on määratud Ohm'i seadusega. Sageli on aga üksiku elemendi pinge või voolutugevus liiga väike elektriaparaatide toitmiseks. Säärastel juhtudel ühendatakse mitu elementi patareiks, kusjuures elemendid ühendatakse omavahel järjestikku, paralleelselt või segalülituses. Need lülitused on tarbe korral kasutatavad ka teiste vooluallikate juures.

Järjestikku lülitus. Olgu näiteks antud elektriaparaadi takistus 10Ω ja vajalik voolutugevus $0,5 \text{ A}$. Seega peab aparadi klemmidel mõjuv pinge olema

$$U = J \cdot R = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ V}.$$

Leclanché elemendi elektromotoorne jõud on aga ainult $1,5 \text{ V}$. Pinge suurendamiseks ühendatakse mitu elementi järjestikku.

Järjestikku lülitus toimub sel teel, et esimese elemendi pluss-klemm ühendatakse teise elemendi miinus-klemmiga, teise elemendi pluss-klemm ühendatakse kolmanda elemendi miinus-klemmiga jne. (joon. 25). Patarei klemmideks



Joon. 25.

jäävad esimese ja viimase elemendi vabaksjäänud isenime-lised klemmid.

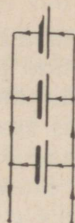
Järjestikku lülitusel on patarei pinge võrdne kõikide elementide pingete sum-maga. Tavalise taskulambi patarei koosneb kolmest jär-jestikku lülitatud kuivelemendist. Kuna üksiku elemendi pinge on $1,5 \text{ V}$, on seega patarei pinge $4,5 \text{ V}$.

Paralleelne lülitus. Madalapingelist, kuid suure tugevusega voolu ei suuda üks galvaani element anda. Olgu näiteks elemendi pinge $1,5 \text{ V}$, välisvooluahela

takistus ainult 1Ω ja elemendi sisetakistus $0,3 \Omega$. Sel juhul on voolutugevus

$$J = \frac{U}{R} = \frac{1,5}{1 + 0,3} = 1,15 \text{ A.}$$

Suurema voolutugevuse saamiseks ühendatakse mitu elementi paralleelselt.



Joon. 26.



Joon. 27.

Paralleellülituse korral ühendatakse omavahel kõikide elementide pluss-klemmid ja samuti ka kõikide elementide miinus-klemmid (joon. 26).

Paralleellülitusel on patarei pinge niisama suur kui igal üksikul elemendil, kuid üksikute elementide voolutugevused liituvad. Patarei kõige suurem voolutugevus on seda suurem, mida rohkem elemente on lülitatud paralleelselt.

Segalülitus. Kui vooluallikalt nõutakse suuremat pinget ja voolutugevust, kui seda suudab anda üksik element, lülitakse elemendid patareiks segalülituses.

Segalülitusel ühendatakse vajalik arv elemente järjestikku ja mitu seesugust rühma paralleelselt (joon. 27). Patarei pinge on võrdne igas rühmas järjestikku lülitatud elementide arvuga; voolutugevus võrdub kõigi rühmade voolutugevuste summaga.

33. Elektriaparaatide nimespinge.

Elektriaparaadid annavad soovitud efekti ainult teatud voolutugevuse juures. Kui näiteks hõõglambi voolutugevus on ettenähtust väiksem, on selge, et hõõgniit ei kuumene vajaliku temperatuurini ja ta ei anna ettenähtud määral valgust. Teisest küljest aga ei tohi voolutugevus ületada ettenähtud määra, sest suurema voolutugevuse korral eral-

dub aparaadis tunduvalt rohkem soojust, mistõttu näiteks lambi hõõgniit või soojendusaparaadi kütteelement sulab kiiresti läbi.

Aparaate läbistava voolu tugevus on määratud Ohm'i seadusega:

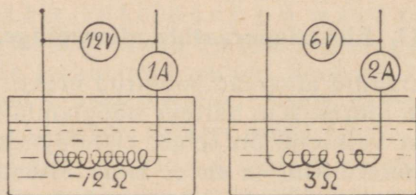
$$J = \frac{U}{R}$$

Kuna elektriaparaatide takistus on tavaliselt püsiv suurus, siis seega voolutugevus on võrdeline pingega. Mida suurem (või vähem) on pinge aparaadis klemmidel, seda suurem (või vähem) on ka voolutugevus aparaadis. Sellest järgneb, et iga elektriaparaati võib kasutada ainult selle pinge juures, mille jaoks aparaat ehitatud. Aparaadil nimespinge on märgitud igale elektriaparaadile. Kui kasutada oleva voolu pinge on väiksem aparaadil nimespingest, võib aparaadil lülitada küll vooluahelasse, kuid ta ei anna soovitud efekti. On aga kasutada oleva voolu pinge kõrgem aparaadil nimespingest, rikneb aparaat tema kasutusele võtmisel. Küll aga võib väiksema nimespingega aparaadil lülitada vooluahelasse, kui pinge on vähendatud eeltakistuse abil paraja määraneni (vt. näide nr. 18).

VI. Elektri töö ja võimsus.

34. Elektri võimsus.

Olgu meil kaks kütteelementi takistusega 12Ω ja 3Ω ning asetame need veeanumatesse, milles on ühepalju destilleeritud vett (joonis 28). Kui esimese kütteelemendi (takistus 12Ω) ühendada vooluallikaga, mille pinge on 12 V , siis läbistab kütteelementi vool, mille tugevus



Joon. 28.

$J=U:R=12:12=1\text{ A}$. Teise kütteelemendi (takistus $3\ \Omega$) ühendame vooluallikaga, mille pinge on 6 V . Teist kütteelementi läbistab vool tugevusega $J = U : R = 6 : 3 = 2\text{ A}$.

Kui mõõta vee temperatuuri tõusu, selgub, et mõlemas anumas soojeneb vesi ühe ja sama arvu kraadide võrra. Nähtavasti eraldub kummaski anumas voolu toimel ühesugusel hulgal soojust. Samale otsusele jõuame, kui arvutame eraldunud soojuse hulga Joule'i seaduse valemi järgi.

Katsest selgub, et isesuguse tugevusega elektrivoolud sooritavad ühe ja sama aja jooksul ühesuguse hulga tööd. Mehaanikast on teada, et ühes ajaühikus sooritatud tööd nimetatakse võimsuseks. Ka elektrivoolul on teatav võimsus. Katse mõlemal juhul on elektri võimsus võrdne (sest mõlemal juhul eraldus ühes ajaühikus ühepalju soojust), kuid voolutugevus ja pinge erinevad. Kui vaadelda voolutugevuse ja pinge korrutist, siis on see ühel juhul $12 \cdot 1 = 12$ ning teisel juhul niisama suur: $6 \cdot 2 = 12$. Sellest järgneb, et elektri võimsus oleneb voolutugevusest ja pingest.

Elektrivoolu võimsuse mõõtühikuks on vatt*) (tähis: W). 1 W on voolu võimsus, kui pinge on 1 V ja voolutugevus on 1 A .

Sageli on vatt liiga väike mõõtühik. Suurem võimsuse mõõtühik on kilovatt (tähis: kW).

$$1\text{ kW} = 1000\text{ W}.$$

Elektrivõimsuse arvutamiseks tuleb mõõta pinge ja voolutugevus ning need korrutada:

$$N = U \cdot J$$

N — võimsus vattides, U — pinge voltides ja J — voolutugevus amprites.

Selle valemi teisendamisel leidub pinge, kui võimsus ja voolutugevus on teada:

$$U = \frac{N}{J}$$

ja voolutugevus, kui võimsus ja pinge on teada:

$$J = \frac{N}{U}$$

*) James Watt, mehaanik, 1736—1819.

Toodud valemitest nähtub, et võimsuse ja pinge järgi võib arvutada voolutugevuse ja Ohm'i seaduse järgi ka vastava elektriaparaadi takistuse ($R = U : J$). Sellepärast märgitaksegi elektriaparaatidele ainult võimsus ja pinge, sest ülejäänud suurused, voolutugevus ja takistus, on tarbe korral kergesti arvutatavad.

Näiteid.

10. Raadiolambi pinge on 4 V ja voolutugevus 60 mA. Arvutada lambi võimsuse tarvitus.

$$N = U \cdot J = 4 \cdot 0,060 = 0,24 \text{ W.}$$

11. Alalisvoolu mootori klemmipinge on 210 V ja voolutugevus 20 A. Arvutada mootori võimsus.

$$N = U \cdot J = 210 \cdot 20 = 4200 \text{ W} = 4,2 \text{ kW.}$$

12. Hõõglambi võimsus on 40 W, pinge 220 V. Arvutada lambi voolutugevus.

$$J = \frac{N}{U} = \frac{40}{220} = 0,18 \text{ A.}$$

13. Soojendusaparaadi võimsus on 400 W, pinge 220 V. Arvutada aparadi takistus.

$$\text{Voolutugevus } J = \frac{N}{U} = \frac{400}{220} = 1,82 \text{ A.}$$

$$\text{Takistus } R = \frac{U}{J} = \frac{220}{1,82} = 121 \ \Omega.$$

Ülesandeid.

19. Elektromagneti mähise takistus on $150 \ \Omega$, voolutugevus 0,5 A. Arvutada elektromagneti võimsuse tarvitus.

20. Alalisvoolu mootori pinge on 220 V. Arvutada mootori võimsuse tarvitus, kui voolutugevuseks on: a) 5 A, b) 8,5 A, c) 22 A.

21. Arvutada elektritriikraua voolutugevus, kui pinge on 220 V ja triikraua võimsus on: a) 250 W, b) 400 W, c) 1,2 kW.

22. Elektriahu võimsus on 2,5 kW. Arvutada ahju kütteelemendi takistus, kui voolupinge on 220 V.

23. Kui palju soojust annab 1 tunni jooksul eelmise ülesande elektriahi?

35. Elektrilise ja mehaanilise võimsuse suhe.

On teada, et mehaanilist energiat võib muundada elektrienergiaks (näiteks aurumasina ja elektrigeneraatori abil) ja ümberpöörduvalt (elektrimootor). Seega peab mehaanilise võimsuse mõõtühiku — hobujõu (tähis: HJ) — ja elektrilise võimsuse mõõtühiku — vati ehk kilovati — vahel olema teatav suhe, samuti nagu näiteks pikkuse mõõtühikute — sentimeetri ja tolli — vahel. See vahekord on järgmine:

$$1 \text{ kW} = 1,36 \text{ HJ}$$

ehk

$$1 \text{ HJ} = 0,736 \text{ W}$$

Viimasel ajal on hakatud ka mehaanilise võimsuse mõõtühikuna kasutama kilovatti.

Näide.

14. Eelektrimootori nimesildile on märgitud mootori võimsusena 25 kW. Kui suur on selle mootori võimsus hobujõududeks?

$$1 \text{ kW} = 1,36 \text{ HJ.}$$

$$25 \text{ kW} = 25 \cdot 1,36 = 31,3 \text{ HJ.}$$

Ülesandeid.

24. Arvutada mootori võimsus hobujõududes, kui võimsus kilovattides on: a) 15 kW, b) 500 W, c) 5 kW, d) 120 kW.

25. Kui suur peab olema elektrimootori võimsus kilovattides, kui mootor peab käitama masinat, mille võimsuse tarvitus on: a) 0,5 HJ, b) 50 HJ, c) 8,5 HJ?

36. Elektri töö.

Mehaanikast on teada, et ühe ja sama töö hulga võib sooritada suure võimsusega lühikese aja vältel või väikese võimsusega pikema aja vältel. Tehtud töö on võrdeline võimsuse ja aja korrutisega.

Samuti ka elektrivoolu sooritatud töö on võrdne voolu võimsuse ja voolu mõjumise aja korrutisega. Kui võimsuse ühikuks on vatt ja aja ühikuks

on tund, siis elektritöö mõõtühikuks on vatt-tund (tähis: Wh). Kui aga võimsust mõõdetakse kilovattidega ja aega tundidega, on töö mõõtühikuks kilovatt-tund (tähis: kWh).

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ Wh.}$$

Elektrivoolu sooritatud töö arvutatakse valemiga

$$A = N \cdot t$$

kus A — tehtud töö; N — võimsus ja t — voolu mõjumise aeg.

Tasu maksmisel tehtud töö eest tavaliselt ei huvita töoandjat küsimus, missuguse võimsusega töövõtja töö sooritas, s. t. kas töö tehti aeglaselt või kiiresti, vaid tasu makstakse sooritatud tööhulga järgi. Ka elektrivoolu kasutamise eest tasumaksmisel langeb tavaliselt kõrvale küsimus, kui suur oli voolu võimsus või kui kaua voolu kasutati, vaid kasutatud elektrivoolu eest makstakse tasu elektrivoolu poolt sooritatud tööhulga, s. t. tarvitatud kilovatt-tundide arvu järgi. Tarvitatud kilovatt-tundide lugemiseks seatakse iga voolutarvitaja juurde arvestaja ehk voolulugeja, mis automaatselt registreerib lugejast läbiläinud kilovatt-tundide arvu.

Kuna kilovatt-tunni eest maksetav hind on ette teada, iga elektriaparaadi võimsus on samuti teada, on seega väga lihtne juba ette arvutada, kui palju maksab ühe või teise elektriaparaadi kasutamine.

Näide.

15. Hõõglambi võimsus on 60 W. Kui palju tuleb maksta voolu eest selle lambi kasutamisel 1 tunni jooksul, kui kilovatt-tunni hind on 25 senti?

1 tunni jooksul tehtud töö on:

$$A = N \cdot t = 60 \cdot 1 = 60 \text{ Wh} = 0,060 \text{ kWh.}$$

$$1 \text{ kWh maksab } 25 \text{ senti.}$$

$$0,06 \text{ kWh} \quad ,, \quad 0,06 \cdot 25 = 1,5 \text{ senti.}$$

Ülesandeid.

26. Töökojas on kasutusel mootor, mille võimsuse tarvitus täiel koormatusel on 5 kW. Kui suur on vooluarve

ühe kuu jooksul, kui mootor töötab päevas täiel koormatusel 8 tundi ja 1 kWh hind on: a) 25 senti, b) 15 senti?

27. Elukorteris on installeeritud 5 lampi võimsusega à 60 W. Kui suur on vooluarve 1 kuu jooksul, kui iga lamp põleb päevas keskmiselt 4 tundi ja kWh hind on 25 senti?

28. Tolmuimeja mootori võimsus on 150 W. Kui suur on voolukulu 1 tunni jooksul, kui kWh hind on 25 senti?

VII. Takistuste lülitusviisid.

37. Elektriaparaatide lülitusviisid.

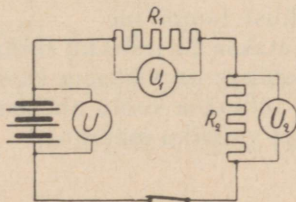
Eespool oli vooluallikale lülitatud ainult üks voolutarvitav aparaat, milline juhus tegelikus elus esineb väga harva. Tavaliselt on ühele vooluallikale lülitatud sajad ja tuhanded aparaadid.

Elektriaparaatide ühendamine vooluahelasse toimub kolmel viisil:

järjestikku lülitus,
paralleelne lülitus,
segälülitus.

38. Järjestikku lülitus.

Aparaatide järjestikku lülitus vooluahelasse on näidatud joonisel 29: vool läbibast järgemööda kõik vooluahe-



Joon. 29.

lasse lülitatud takistused. On selge, et selle lülitusviisi juures suureneb vooluahela kogutakistus seda enam, mida rohkem aparaate on vooluahelasse lülitatud.

Järjestikku lülitusel võrdub vooluahela kogutakistus kõigi aparaatide ta-

kistuste sumмага. Kui tähistada üksikud takistused tähtedega R_1, R_2, R_3 jne., on vooluahela kogutakistus

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

Voolutugevus igas vooluahela punktis on ühesugune ja on:

$$J = \frac{U}{R}$$

Üksikute aparaatide klemmidel mõjuva pinge leiame, kui voolutugevuse korrutame iga üksiku aparaadi takistusega.

$$U_1 = J \cdot R_1 \quad U_2 = J \cdot R_2 \text{ jne.}$$

Vooluahelasse lülitatud aparaatide klemmipingete summa võrdub vooluallika klemmipingega:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots$$

Järjestikku lülitust kasutatakse võrdlemisi harva, näiteks hulga väiksema võimsusega hõõglampide juures (reklaam- ja jõulupuu-valgustus) jne. Järjestikku lülituse peamiseks puudumiks on asjaolu, et kõiki vooluahelasse lülitatud aparaate tuleb kasutada üheaegselt ning ühe aparaadi riknemisel (näiteks lambi hõõgtraadi läbipõlemisel) jäävad kõik aparaadid vooluta. Soovides lülitada vooluahelasse mitu aparaati järjestikku, tuleb valida enam-vähem ühesuguse võimsusega aparaadid nimespingega, mille suurus on võrdne vooluallika pinge ja aparaatide arvu jagatisega. Näiteks 220 V vooluallikale võib lülitada järjestikku kaks 110-voldilist lampi; 12 V aku patareile võib lülitada järjestikku kolm 4-voldilist lampi jne.

Küll aga kasutatakse järjestikku lülitust tihti juhtudel, kui aparaadi nimespinge on väiksem kasutada oleva voolu pingest. Sel korral lülitakse voolu ahelasse reostaat, milles vähendatakse pinget vajaliku määran.

Näiteid.

16. Vooluahelasse on lülitatud kaks aparaati takistusega $R_1 = 5 \Omega$ ja $R_2 = 1 \Omega$. Vooluallika klemmipinge on 12 V (joonis 29). Arvutada vooluahela kogutakistus, voolutugevus ja pinge iga aparaadi klemmidel.

Vooluahela kogutakistus $R = R_1 + R_2 = 5 + 1 = 6 \Omega$.

Voolutugevus $J = \frac{U}{R} = \frac{12}{6} = 2 \text{ A.}$

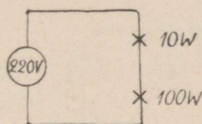
Pinge takistuse R_1 klemmidel

$$U_1 = J \cdot R_1 = 2 \cdot 5 = 10 \text{ V.}$$

Pinge takistuse R_2 klemmidel

$$U_2 = J \cdot R_2 = 2 \cdot 1 = 2 \text{ V.}$$

17. Valgustusvoolu pinge on 220 V. Vooluahelasse on lülitatud järjestikku kaks 110-voldilist lampi võimsusega 10 W ja 100 W (joonis 30). Voolu sisselülimisel hakkab



Joon. 30.

10-W lamp heledalt kiirgama, 100 W lamp aga tuhmilt, kusjuures 10 W lamp põleb peagi läbi. Mis on selle põhjuseks?

10 W lampi läbib normaalset voolutugevus

$$J = \frac{N}{U} = \frac{10}{110} = 0,091 \text{ A}$$

ja seega on 10 W lampi takistus

$$R_1 = \frac{U}{J} = \frac{110}{0,091} = 1210 \ \Omega.$$

100 W lampi takistus leidub samuti

$$J = \frac{N}{U} = \frac{100}{110} = 0,91 \text{ A} \quad \text{ja} \quad R_2 = \frac{U}{J} = \frac{110}{0,91} = 121 \ \Omega.$$

Kui lülida need lambid järjestikku, on vooluahela takistus

$$R = R_1 + R_2 = 1210 + 121 = 1331 \ \Omega$$

ja voolutugevuseks

$$J = \frac{U}{R} = \frac{220}{1331} = 0,165 \text{ A.}$$

Pinge 10 W lampi klemmidel on

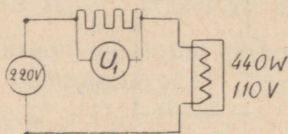
$$U_1 = J \cdot R_1 = 0,165 \cdot 1210 = 200 \text{ V}$$

ja pinge 100 W lampi klemmidel

$$U_2 = J \cdot R_2 = 0,165 \cdot 121 = 20 \text{ V.}$$

Arvutusest nähtub, et 10 W lambi klemmpinge ja voolutugevus on ligi kaks korda suurem normaalsest ja selle tõttu põleb see lamp kiiresti läbi. Arvutus tõendab eespool öeldut: järjestikku lülitatud aparaatide võimsus peab olema võimalikult võrdne.

18. Elektrivoolu pinge on 220 V. Elektriaparaat võimsusega 440 W on valmistatud nimespingele 110 V. Arvutada aparaadiga järjestikku lülitatava reostaadi takistus (joonis 31).



Joon. 31.

Aparaati peab läbistama vool tugevusega

$$J = \frac{N}{U} = \frac{440}{220} = 2 \text{ A.}$$

Reostaadis peab pinge vähenema (s. t. reostaadi klemmpinge peab olema)

$$U_1 = 220 - 110 = 110 \text{ V.}$$

Reostaadi takistus peab olema (reostaadi läbistava voolu tugevus on samuti 2 A):

$$R = \frac{U_1}{J} = \frac{110}{2} = 55 \ \Omega.$$

Ülesandeid.

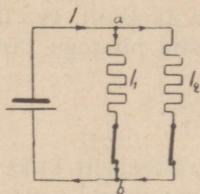
29. Elektrivõrgu pinge on 220 V. Mitu 4 V hõõglampi tuleb järjestikku lülida ja kui suur on voolutugevus, kui iga lambi võimsus on 10 W?

30. Elektriaparaadi takistus on $10 \ \Omega$ ja voolutugevus 5 A. Arvutada selle aparaadiga järjestikku lülitatava reostaadi takistus, kui pinge on a) 110 V, b) 220 V.

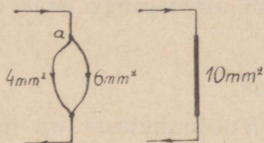
31. Voolu pinge on 220 V. Vooluahelasse on lülitatud järjestikku 110-voldilised hõõglambid võimsusega 15 W ja 25 W. Arvutada pinge lampide klemmidel.

39. Paralleellülitus.

Elektriaparaatide paralleellülitus on näidatud joonisel 32. Vooluallikast tulev vool hargneb punktis a kahte ossa ja läbistanud aparaadid, liituvad osavoolud uuesti punktis b ning suunduvad vooluallikasse tagasi.



Joon. 32.



Joon. 33.

Paralleellülitusel on vooluallika voolutugevus võrdne üksikute paralleelharude voolutugevuse summaga.

$$J = J_1 + J_2 + J_3 + \dots$$

Kui lülida antud vooluallikale kaks takistust kord järjestikku, kord paralleelselt, selgub, et vooluallikast võetava voolu tugevus on paralleellülitusel alati suurem kui samade takistuste järjestikku lülitusel. Nähtavasti on paralleellülitusel vooluahela kogutakistus väiksem kui samade takistuste järjestikku lülitusel. Et see nii on, seda selgitab järgnev arutelu. Kui vool hargneb punktis a (joonis 33) kahte ossa, kusjuures ühe juhtme ristlõike pind olgu näiteks 4 mm^2 , teisel 6 mm^2 , siis vooluahela takistus ei muutu, kui need juhtmed asendada uue niisama pika juhtmega, mille ristlõike pind on võrdne paralleelselt lülitatud juhtmete ristlõigete pindade summaga, s. o. 10 mm^2 . Suurema ristlõike pinna korral on aga juhtme takistus väiksem kui kummagi harujuhtme takistus eraldi.

Paralleellülitusel on kõigi harude kogu juhtivus võrdne üksikute paralleelselt lülitatud harude juhtivuste summaga:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots,$$

kus R_1, R_2, R_3 jne. — üksikute harude takistused ja R — vooluahela kogu takistus. Kogu juhtivuse järgi on lihtne arvutada vooluahela kogu takistust.

Voolutugevus üksikutes paralleelsetes harudes olenev nende takistusest ning pingest harude klemmidel ning arvutatakse tuntud valemiga ($J = U : R$).

Paralleellülitus leiab tegelikus elus kõige laialdasemat kasutamist paljude elektriaparaatide ühendamiseks ühele vooluallikale. Selle lülituse juures on võimalik kasutada kõiki aparate üheaegselt ja samuti ka üksikult. Iga üksiku aparadi nimespinge peab olema võrdne pingega tarvituskohal.

Näide.

19. Vooluahelasse on lülitatud paralleelselt kaks reostaati takistusega $R_1 = 6 \Omega$ ja $R_2 = 2 \Omega$. Arvutada vooluahela kogutakistus, üldine voolutugevus ja voolutugevus kummaski takistuses. Vooluallika pinge on 12 V (joon. 32).

$$\begin{aligned} \text{Kogutakistus: } \frac{1}{R} &= \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \\ \frac{1}{R} &= \frac{1}{6} + \frac{1}{2} & \frac{1}{R} &= \frac{4}{6} \\ R &= \frac{6}{4} = 1,5 \Omega \end{aligned}$$

$$\text{Üldine voolutugevus } J = \frac{U}{R} = \frac{12}{1,5} = 8 \text{ A.}$$

Voolutugevus läbi takistuste

$$J_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{12}{6} = 2 \text{ A} \quad J_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ A.}$$

Ülesandeid.

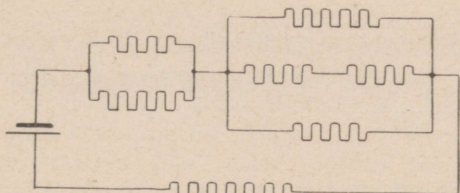
32. Arvutada vooluahela kogutakistus, kui paralleelselt on lülitatud järgmised takistused: a) $R_1 = 8 \Omega$, $R_2 = 10 \Omega$; b) $R_1 = 5 \Omega$, $R_2 = 10 \Omega$, $R_3 = 15 \Omega$; c) $R_1 = R_2 = R_3 = 30 \Omega$.

33. Voolu pinge on 220 V. Arvutada üldine voolutugevus, kui vooluahelas on lülitatud paralleelselt hõõglambid võimsusega 25 W, 60 W, 40 W ja 100 W.

34. Elukorterisse on üles seatud 5 hõõglampi võimsusega à 60 W ja elektripliit võimsusega 3 kW. Arvutada kõige suurem voolutugevus, kui pinge on a) 110 V ja b) 220 V.

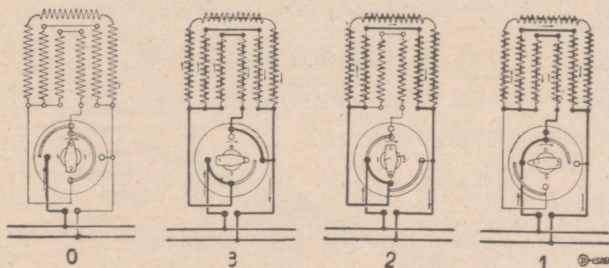
40. Segalülitus.

Segalülitus on näidatud joonisel 34. Selle lülitusviisi juures ühendatakse mitu takistust paralleelselt ning lülitatakse mitu seesugust rühma järjestikku või ühendatakse mitu takistust järjestikku ja mitu seesugust rühma paralleelselt jne.



Joon. 34.

Segalülitust kasutatakse sageli elektriaparaatides nende võimsuse reguleerimiseks. Seks otstarbeks jagatakse näiteks soojendusaparaadi küttetraat mitmesse ossa ja lülitatakse need osad omavahel mitmesugusel viisil sellekohase lüliti abil. Näitena on toodud joonisel 35 ühe elektripliidi

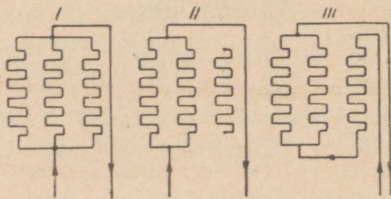


Joon. 35.

kütteelemendi lülitus. Kütteelemendi takistustraat on jagatud seitsmeks osaks, mis sellekohase lüliti abil ühendatakse omavahel mitmel viisil. Seega muutub kütteelemendi kogutakistus ja ühtlasi ka võimsus ning ühes ajaühikus tekitatav soojuse hulk.

Näide.

20. Soojendusaparaadi küttetraat on jagatud kolme ossa, kusjuures iga osa takistus on 200Ω . Arvutada apa-



Joon. 36.

raadi võimsus joonisel 36 näidatud lülitusviiside juures, kui voolu pinge on 220 V.

L ü l i t u s I.

Vooluahela takistus:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \qquad \frac{1}{R} = \frac{1}{200} + \frac{1}{200} + \frac{1}{200}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{3}{200} \qquad R = \frac{200}{3} = 66,6 \ \Omega.$$

Voolutugevus:

$$J = \frac{U}{R} = \frac{220}{66,6} = 3,3 \text{ A.}$$

Võimsus:

$$N = U \cdot J = 220 \cdot 3,3 = 725 \text{ W.}$$

L ü l i t u s II.

Vooluahela takistus:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \qquad \frac{1}{R} = \frac{1}{200} + \frac{1}{200}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{2}{200} \qquad R = \frac{200}{2} = 100 \ \Omega$$

Voolutugevus:

$$J = \frac{U}{R} = \frac{220}{100} = 2,2 \text{ A.}$$

Võimsus:

$$N = U \cdot J = 220 \cdot 2,2 = 484 \text{ W.}$$

L ü l i t u s III.

Kahe paralleelse haru kogutakistus on 100 Ω , seega vooluahela kogutakistus

$$R = 200 + 100 = 300 \ \Omega.$$

Voolutugevus

$$J = \frac{U}{R} = \frac{220}{300} = 0,73 \text{ A.}$$

Võimsus:

$$N = U \cdot J = 220 \cdot 0,73 = 160 \text{ W.}$$

Ülesanne.

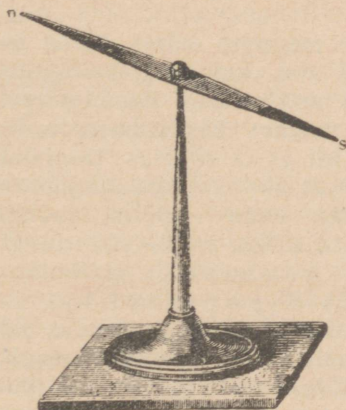
35. Kütteelemendi takistustraat on jagatud kolme ossa, kusjuures üksikute osade takistused on: $R_1 = 50 \Omega$, $R_2 = 100 \Omega$, $R_3 = 75 \Omega$. Kütteelement on lülitatud järjekorras joonisel 36 näidatud viisil. Arvutada igas lülituses aparadi võimsus ja ühe tunni jooksul eralduv soojuse hulk, kui voolu pinge on a) 220 V, b) 110 V.

VIII. Elektrivoolu magnetiline toime.

41. Magnet.

Teataval rauamaagil on omadus enda külge tõmmata rauatükke. Säärast rauamaaki nimetatakse loomulikuks magnetiks ja seda külgetõmbejõudu — magnetismiks.

Kui raua- või terasetükk puutub kokku loomuliku magnetiga, siis nad magnetiseeruvad, s. t. omandavad



Joon. 37.

magnetilised omadused ja on võimelised teisi rauatükke enda külge tõmbama. Magnetiliste omaduste kestus on igal rauasordil erinev. Pehme raud kaotab magnetilised omadused kohe, kui teda loomulikust magnetist eraldada. Karastatud terasel aga jäävad need omadused kauemaks ajaks püsima, kuid nõrgenevad kauaaegse seismise, põrutamise või kuumutamise korral.

Magnetiseeritud terast nimetatakse permanent-magnetiiks ja sellega saab omakorda raua ja terast magnetiseerida. Permanent-magnetitel on tavaliselt varva või hobuseraua kuju. Sageli kasutatakse ka magnetnõelu, s. t. õhukesest terasplekist valmistatud teravate otstega magnetit, mis on tavaliselt asetatud teravikule (joonis 37).

42. Magneti poolused.

Kui kasta magnetvarras rauapurusse, selgub, et magnet ei tõmba kogu ulatusel rauapuru ühesuguse tugevusega enda külge, vaid kõige rohkem jääb rauapuru magneti otste külge, kuna keskele ei jää rauapuru üldse püsima (joonis 38). Sellest järgneb, et magneti külgetõmbejõud



Joon. 38.

on kõige suurem magneti otstel, kuna keskel see üldse puudub. Magneti otsi, kus külgetõmbejõud on kõige suurem, nimetatakse magneti poolusteks.

Kui asetada magnet keskkohaga teravikule või riputada niidi otsa, nii et ta rõhtsas tasapinnas saab vabalt pöörduda, selgub, et üks ja sama magneti poolus pöördub alati lõuna suunda, teine — põhja suunda. Kokkuleppe põhjal nimetatakse põhja poole pöörduvat magneti otsa põhja- ehk N-pooluseks ja lõuna poole suunatud otsa lõuna- ehk S-pooluseks.

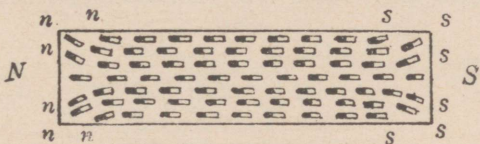
Kui magnetnõela ühele poolusele lähendame mõne teise magneti samanimelise pooluse, selgub, et magnetnõel pöördub oma esialgsest sihist kõrvale, kusjuures magnetnõela poolus kaugeneb teise magneti samanimelisest poolusest. Kui aga lähendame magnetnõela poolusele teise-

nimelise pooluse, pöörduv ka nüüd magnetnõel oma esialgsest sihist kõrvale, kuid poolus läheneb teise magneti teisenimelisele poolusele. Sellest järgneb, et samanimelised magnetipoolused tõukavad teineteist eemale, isenimelised poolused aga tõmbuvad teineteise külge.

43. Molekulaarmagnetid.

Kui murrame magnetvarda keskelt pooleks, siis saame kaks magnetit, millel kummalgi on kaks ühe ja sama tugevusega isenimelist poolust. Kui jatkame saadud osade poolitamist, saame alati kaks magnetit, millel on ikka kaks poolust; ühe poolusega magneti saamine on võimatu.

Kirjeldatud nähtus sunnib oletama, et magnetvarva molekulid on ise väikesed magnetid, nn. molekulaarmagnetid, mis magnetis on korraldatud nii, et isenimelised poolused on pööratud üksteise poole (joonis 39).



Joon. 39.

Nii tasakaalustub molekulaarmagnetite mõju magnetvarva sees, kuna varva otstel asuvate molekulaarmagnetite magnetijõud avaldab väljapoole oma mõju. Varda poolitamine on võimalik ainult molekulide vahel, nii et poolitamisel tekkinud magnetitel peab alati olema kaks isenimelist poolust.

Magnetiseerimata rauas asetsevad molekulaarmagnetid segamini ilma kindla sihita. Magnetiseerimine seisnebki molekulaarmagnetite korraldamises nii, et nende põhjapoolused asetsevad ühele, lõuapoolused aga teisele poole. Pehme raua magnetiseerimine toimub kergelt, sest pehmes rauas pole molekulaarmagnetite liikumine kuigi suurel määral raskendatud, kuid niisama kergelt asetuvad molekulaarmagnetid endisesse korraldamata olekusse, kui raua eemaldame magneti juurest. Kuid siiski jäävad ka pehmesse rauda kauemaks ajaks püsima nõrgad magnetili-

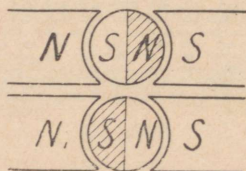
sed omadused, mida nimetatakse järelmagnetismiks ehk remanentmagnetismiks. Remanentmagnetismil on suur tähtsus tehnikas, nagu selgub tagapool.

Kõva teras ei magnetiseeru nii kergesti nagu pehme raud, kuid see-eest jäävad magnetilised omadused terasele kauemaks ajaks püsima.

Mõnel magnetil on suurem külgetõmbejõud kui teisel. Kuid iga magneti magnetijõu suurusel on teatav piir. Oletatakse, et see piir on saavutatud, kui kõik molekulaarmagnetid on korraldunud vajalikus sihis.

44. Hüsteresis.

Kui asetame magnetipooluste vahele pehmest rauast silindri, siis magnetiseerub raud joonisel 40 näidatud viisil. Pöörates raudsilindrit 180° võrra, magnetiseerub raud ümber (joonis 40 — all). Kui raudsilinder tiirleb magneti-



Joon. 40.

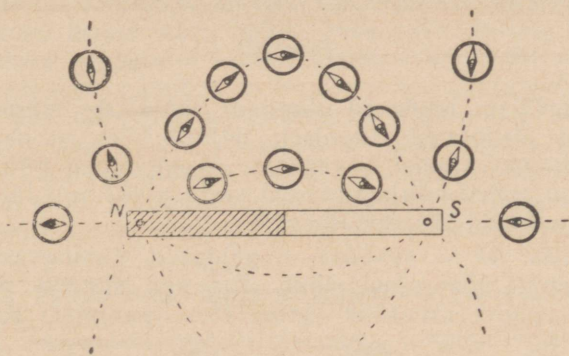
pooluste vahel, magnetiseerub raud iga poole tiiru järel ümber. Kui raudsilinder tiirleb küllalt kiiresti, s. t. kui raua übermagnetiseerumine toimub küllalt kiiresti, võib märgata raua soojenemist. Soojenemist põhjustab raua übermagnetiseerumine, mida seletatakse molekulaarmagnetite ümberasetumisest tekkiva hõõrumisega. Seda nähtust nimetatakse hüsteresisiks ehk magnetiliseks hõõrdumiseks.

Raua übermagnetiseerumine esineb kõikides elektrimasinaos ja selleks kulub osa energiat, mis muundub soojuseks. Hüsteresi kaod on seda vähemad, mida pehmem on raud.

45. Magnetiväli.

Kui asetame magneti lähedale magnetnõela, kaldub magnetnõel oma loomulikust põhja-lõuna sihist kõrvale. Seda ruumi, kus antud magneti magnetijõud avaldab oma mõju, nimetatakse magnetiväljaks. Magnetivälja ulatus ja tugevus olenevad magneti tugevusest.

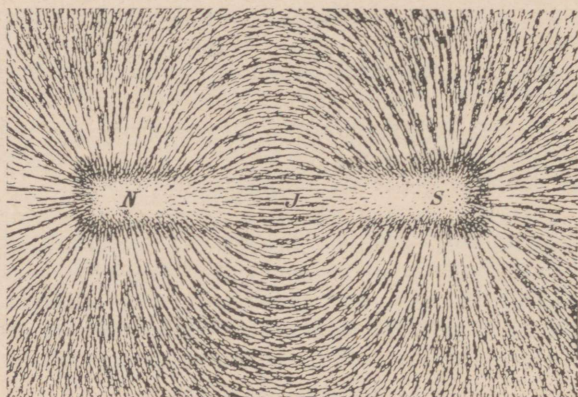
Kui asetame magnetnõela magnetivälja mitmesugustes punktidesse, asetub magnetnõel magnetivälja igas punktis ise sihis. Asub magnetnõel magneti keskkohal, mõjuvad magneti mõlemad poolused magnetnõelale ühesuguse jõuga ja selle tõttu asetub magnetnõel rööbiti magnetiga (joonis 41). Kui nihutame magnetnõela ühele poolu-



Joon. 41.

sele lähemale, tõmbab lähem poolus magnetnõela vastasnimelist poolust tugevama jõuga ja selle tõttu kaldub see magnetnõela poolus magnetile lähemale. Kui märgime magneti alla asetatud paberilehele igakordse magnetnõela sihi ja need ühendame, saame kõverjoone, mis näitab magnetijõu mõjumise sihti. Niimoodi saadud ettekujutatavaid jooni, mis näitavad magnetijõu mõjumise sihti, nimetatakse magnetijõujoonteks.

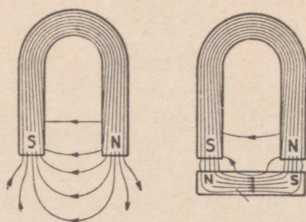
Magneti jõujooni saab nähtavaks teha rauapuru abil. Selleks asetatakse tugeva magneti kohale papitükk, millele raputatakse ühtlane kiht rauapuru. Magnetiväljas muutuvad rauapuru osakesed väikesteks magnetnõelteks, mis kergel koputamisel papitükile asetuvad jõujoonte sihis.



Joon. 42.

Joonisel 42 on näidatud niimoodi nähtavaks tehtud magnetvarva jõujooned. Jooniselt nähtub veel, et jõujooned moodustavad kinnisi kõverjooni. Kokkuleppe põhjal loetakse jõujooned põhjapoolusest väljuvateks, mis läbistades õhu suunduvad lõunapoolusesse.

Joonisel 43 — vasakul on näidatud hobuseraua-kujulise magneti jõujooned õhus. Kui aga asetada pooluste kohale pehme rauatükk (joon. 43 — paremal) siis võib



Joon. 43.

rauapuru abil veenduda, et suurem osa jõujooni koondub läbi raua ja ühtlasi muutub ka raud magnetiks. Sellest võib järeldada, et raud avaldab magneti jõujoonte vähemat takistust kui õhk.

Asetades rauatüki jõujoonte teekonnal mitmele kohale, leiame, et jõujooned koonduvad ikka läbi raua. Sel-

lest järgneb, et magneti jõujooned suunduvad selle keskkonna kaudu, mille magnetiline takistus on kõige väiksem. Antud magneti magnetvoog, s. t. tekkivate jõujoonte koguarv on seda suurem, mida väiksem on jõujoonte teekonna magnetiline takistus. (Võrdle Ohm'i seadusega.)

Peale raua juhivad magneti jõujooni hästi veel üksikud metallid, nagu nikkel, koobalt ja mõned teised. Mõned ained, nagu hõbe, vask, tsink ja teised, juhivad magneti jõujooni halvemini kui õhk.

46. Maakera magnetiväli.

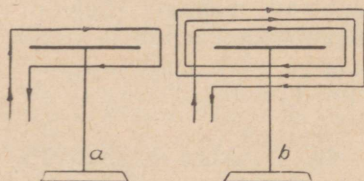
Teravikule asetatud rõhtsas pinnas vabalt liikuv magnetnõel asetub alati põhja-lõuna sihis. Sellest järgneb, et maakera ümber on samuti magnetiväli, mille magnetiline põhjapoolus asub Maa lõunapoolsel poolkeral, lõunapoolus aga põhjapoolsel poolkeral. Mõõtmised näitavad, et Maa magnetilised poolused ei ühti täpselt maakera geograafiliste poolustega, kuid asetsevad nende lähedal. Seega ei näita kompass täpselt põhja-lõuna sihti. See kõrvalekaldumine on maakera üksikutes punktides erinev.

47. Voolu toime magnetnõelale. Galvanomeeter.

Kui paigutame vabalt asetseva magnetnõela kohale rööbiti voolujuhtme ja laseme juhtmest voolu läbi, kaldub magnetnõel oma esialgsest põhja-lõuna sihist kõrvale ja hoidub uues asendis seni, kuni vool läbibistab vooluahelat. Voolu suuna muutmisel või asetades juhtme magnetnõela alla, pöörduv magnetnõel vastupidises suunas. Katsed tõendavad, et magnetnõela pöördenurga suurus on võrdeline voolutugevusega, magnetnõela pooluste tugevusega ja magnetnõela kohal oleva juhtme pikkusega ning pöördivõrdeline juhtme ja magnetnõela vahekauguse ruuduga. Küllalt soodsates tingimustes pöörduv magnetnõel risti juhtmele.

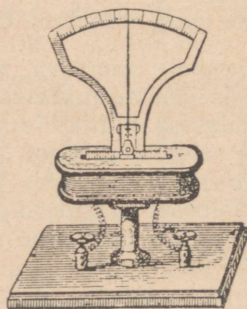
Väikese voolutugevuse korral pöörduv magnetnõel õige vähe. Pöördenurka saab suurendada, kui asetame juhtme rõngana ümber magnetnõela (joon. 44-a), sest nii juhtme ülemisest kui ka alumisest osast läbiminev vool pöörab magnetnõela ühes ja samas suunas. Pöördenurk

suureneb veelgi, kui asetame magnetnõela ümber mitmest keerust koosneva mähise (joon. 44-b), sest kõikide keerdude mõjud liituvad. Küllalt suure keerdude arvu juures pöörduv magnetnõel juba väga nõrga voolutugevuse korral. Voolu suuna muutumisel pöörduv magnetnõel vastupidises suunas.



Joon. 44.

Kui säärane mähise sisse asetatud magnetnõel varustada osutiga, võib selle aparadi abil näidata elektrivoolu olemasolu, kusjuures osuti väljalöögi suund näitab ühtlasi ka voolu suunda. Seesugust mõõduriista nimetatakse *galvanomeetrik*s (joon. 45). Galvanomeetrit võib kasutada ka ampermeetrina, kui skaala jaotused teha amprites.



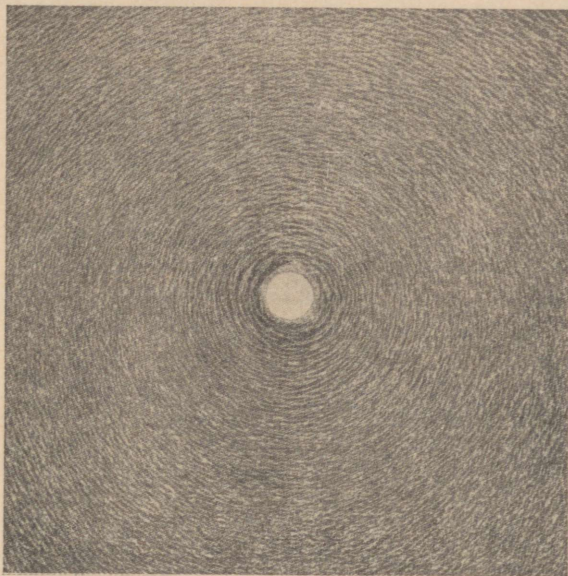
Joon. 45.

48. Elektrivoolu magnetiväli.

Magnetipoolust võib külge tõmmata või eemale tõugata ainult mõni teine magnet. Kuna juhtme lähedal asetsev magnetnõel pöörduv voolu läbimisel juhtmest, sellest

järgneb, et voolu läbimisel juhtmest tekib juhtme ümber magnetiväli.

Voolujuhet ümbritseva magnetivälja jõujooni võib nähtavaks teha rauapuru abil, kui tõmbame läbi rõhtloodis asetseva papitüki voolujuhtme. Hetkelisel suure tugevusega voolu läbilaskmisel juhtmest ja samaaegsel papitüki kergel raputamisel korraldub rauapuru kontsentriliste ringidena ümber juhtme (joon. 46). Ühtlasi võib tähele



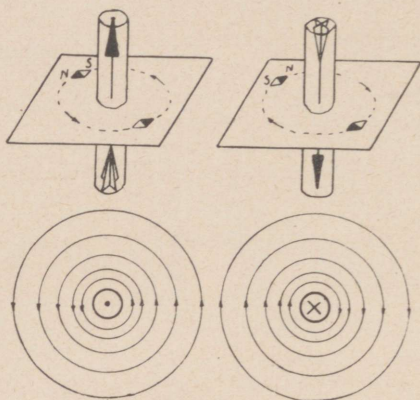
Joon. 46.

panna, et juhtmest kaugemal asetsevad rauapuru-osakesed ei asetu nii korrapäraselt kui juhtmele lähemal asuvad osakesed. Katses järgneb, et voolu läbimisel juhtmest tekib juhtme ümber magnetiväli, mille jõujooned asetsevad kontsentriliste ringidena ümber juhtme. Magnetivälja tugevus on seda suurem, mida lähemal asub vaadeldav punkt juhtmele.

Voolujuhet ümbritsevate jõujoonte suuna määramiseks asetatakse juhet ümbritsevale rõhtsale pinnale magnet-

nõelad, mis pöörduvad jõujoonte sihis. Kui muuta voolu suunda, selgub, et magnetnõelad pöörduvad samuti ümber (joonis 47). Jõujoonte suund määratakse magnetnõelte pooluste järgi. Jõujoonte suunaks loetakse suunda magnetnõela S-pooluse poolt sama magnetnõela N-pooluse poole.

Kui kujutada kirjeldatud katset paberi tasapinnal, s. t. pealtvaates, näeme ainult juhtme ristlõiget ringina. Kui voolu suund on joonise pinnast vaatleja poole (alt üles), märgitakse see suund juhtme keskele punktina (joo-



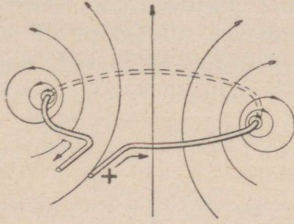
Joon. 47.

nis 47 — all vasakul), ja jõujoonte suund on vastupidine kellaosuti liikumise suunaga. Kui aga voolu suund on vaatleja poolt joonise pinna sisse (ülalt alla), märgitakse see suund juhtme keskele ristiga (joonis 47 — all paremal) ning jõujoonte suund on kellaosuti liikumise suunas.

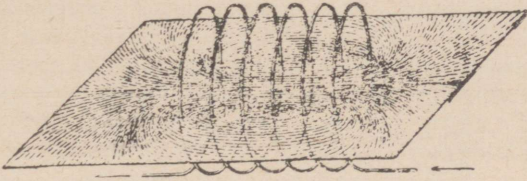
49. Elektromagnet.

Rõngakujulise voolujuhtme ümber tekivad samuti ringikujulised jõujooned nagu sirge juhtme ümber. Seda tõendab vastav katse rauapuruga (joonis 48).

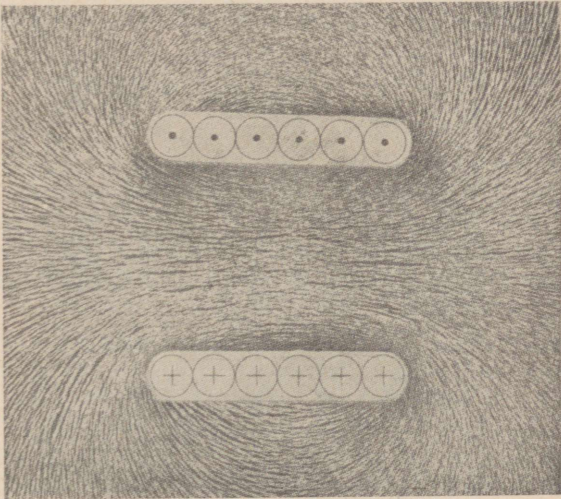
Elektrivoolu magnetivälja tugevust saab suurendada, kui valmistame juhtmest kruvijoone-taolise mähise ehk p o o l i (joon. 49) ja sellest voolu läbi laseme. Pooli iga üksiku keeru ümber tekivad jõujooned, mis liituvad naabru-



Joon. 48.



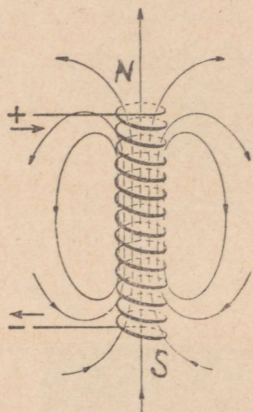
Joon. 49.



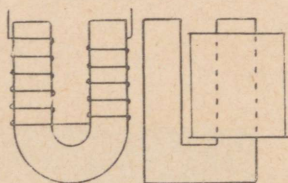
Joon. 50.

ses asuvate keerdude jõujoontega. Joonisel 50 on näidatud rauapuru abil nähtavaks tehtud pooli jõujooned.

Poolil on kõik magneti omadused. Kui lähendame pooli otstele magnetnõela, selgub, et ühes otsas on põhjapoolus, teises otsas aga lõunapoolus. Vaadates pooli otsale, on põhjapoolus selles otsas, kus voolu suund on vastupidine kellaosuti liikumise suunale, ja lõunapoolus selles otsas, kus voolu suund ühtib kellaosuti liikumise suunaga (joon 51).



Joon. 51.



Joon. 52.

Pooli magnetijõud suureneb tunduvalt, kui asetame pooli sisse raudsüdamik. Voolu läbimisel poolist muutub selle raudsüdamik magnetiks ja hoiab oma magnetilised omadused senikaua alal, kuni voolu juhitakse läbi pooli. Säärast elektrivoolu abil tekitatud magnetit nimetatakse elektromagnetiks.

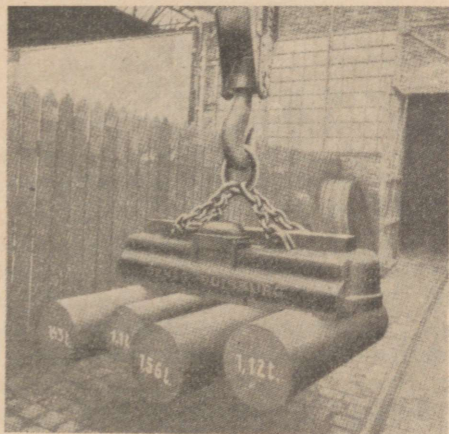
Katsed tõendavad, et samast raudsüdamikust valmistatud elektromagneti magnetijõud on seda suurem, mida suurem on voolutugevuse ja pooli keerdude arvu korrutis. Näiteks elektromagnet, millel on 10 keerdu, on 2 A voolutugevuse korral ($10 \cdot 2 = 20$) niisama tugev kui samast raudsüdamikust valmistatud elektromagnet 10 keeru ja 0,2 A voolutugevuse korral ($100 \cdot 0,2 = 20$). Sellepärast hinnatakse

elektromagneti tegevust amperkeerdudega, s. t. mähise keerdude arvu ja mähist läbistava voolutugevuse korrutisega. Nii võib väga väikese voolutugevusega saavutada suure tugevusega magneteid, kui valmistame mähise küllalt suure keerdude arvuga.

Nõrgal magnetiseerimisel on magneti tugevus võrdeline amperkeerdude arvuga. Magnetivälja tugevuse suurenemisel tekib lõppeks raudsüdamikus magnetiline küllastus ja edaspidisel amperkeerdude arvu suurenemisel ei suurene jõujoonte arv. Küllastatud elektromagneti tugevus oleneb südamikute materjalist: pehmel raual on see tunduvalt suurem kui terasel või malmil.

Elektromagneti kuju oleneb selle kasutusotstarbest. Sirgete varvakujuliste elektromagnetite kõrval on rohkesti tarvitusel ka hoburaua-kujulisi elektromagneteid (joonis 52). Elektromagneti mähis ei tarvitse ulatuda üle kogu raudsüdamiku, vaid tavaliselt asetatakse see lähemale ulatusele, kusjuures mähis on valmistatud mitmekihilisena ja on mähitud sellekohasele papist kehale.

Elektrivoolu abil tekitatud tugevaid magneteid kasutatakse tehnikas väga mitmesugusteks otstarveteks, nagu raudesemete tõstmiseks (joonis 53), tööriistmasinatel töödeldavate raudosade kinnitamiseks töölaua külge jne. Elektromagneti kasutamist hõlbustab asjaolu, et raud-



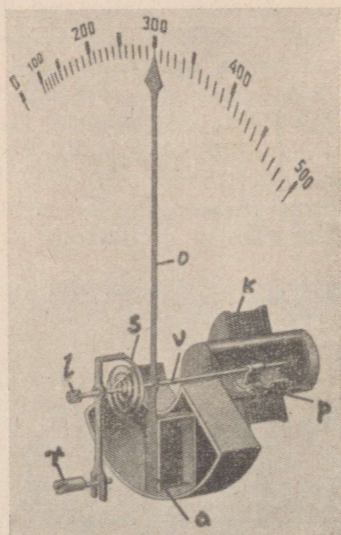
Joon. 53.

eseme kinnitamine ja lahtilaskmine toimub lihtsalt voolu sisse- või väljalülitamisega. Eriline tähtsus elektromagnetil on aga elektrotehnikas, kus see leiab väga laialdast kasutamist paljudes elektriaparaatides ja kõikides elektrimasinates.

Elektromagnetit kasutatakse ka terasest permanentmagnetite valmistamiseks. Selleks asetatakse magnetiseeritav terasetükk pooli sisse, ning mõneaegse voolu mõju-
mise järel muutubki teras magnetiks.

50. Pehmerauast volt- ja ampermeeter.

Elektrivoolu magnetilisele toimele on rajatud tehnikas rohkelt kasutatava pehmerauast voltmeetri ja ampermeetri tööviis. Mõõduriista ehitusviis on näidatud joonisel 54.



Joon. 54.

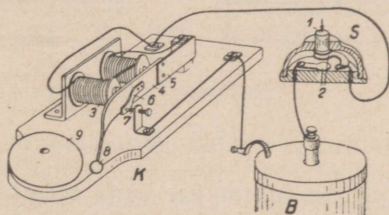
Mähise k sisse on paigutatud kaks raudsüdamikku p, milledest üks on kinnitatud mähise kesta külge, teine aga on kinnitatud võllile v. Võlli küljes on osuti o. Voolu läbimisel mähisest magnetiseeruvad raudsüdamikud ühenimeliselt ja tõukuvad teineteisest eemale. Sellega pöördub võll

ühes osutiga senikaua, kuni vedru s pinevus saavutab tasa-kaalu raudsüdamikkuude-vahelise jõuga. Võll pöörduv seda enam, mida suurem on mähist läbistava voolu tugevus. Osuti liigsete võnkumiste summutamiseks on tiib a, mis liigub vastavas karbis.

Kui mõõduriist on määratud ampermeetriks, koosneb mähis jämeda traadi mõnedest vähestest keerdudest. Voltmeetri mähis aga valmistatakse peenest traadist suure keerdude arvuga.

51. Elektrikõlistaja.

Elektrikõlistaja ehitus- ja tööviis on näidatud joonisel 55. Seade koosneb kõlistajast K, surulülitist S ja vooluallikast B.



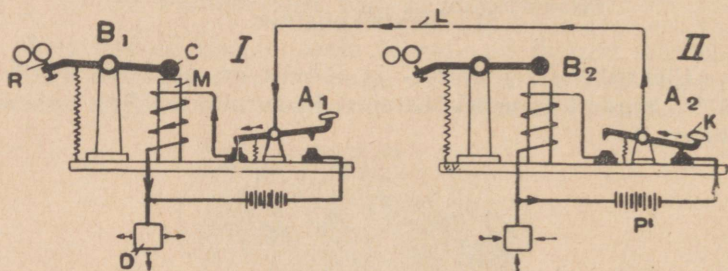
Joon. 55.

Kõlistaja koosneb elektromagnetist 3, mille pooluste kohal asub rauast ankur 4, mis lehtvedru 5 abil kinnitatud aluse külge. Ankru 4 küljes on vedrukontakt 6, mis rahulik olekus puutub vastu kruvi 7. Surulüliti S nupule 1 vajutamisel ühenduvad kontaktvedrud 2 ja vooluallikast B tulev vool, läbistades need kontaktid, läheb läbi mähise 3, vedru 5, ankru 4 ja suundub kontaktvedru 6 ja kruvi 7 kaudu vooluallikasse tagasi. Voolu läbimisel magnetiseerub elektromagneti 3 raudsüdamik ja tõmbab ankru elektromagneti poolustele lähemale, kusjuures ankru külge kinnitatud vasar 8 lööb vastu kaussi 9. Ühtlasi katkeb aga kontakt vedru 6 ja kruvi 7 vahel, vooluahel katkeb, elektromagnet kaotab magnetijõu ja ankur asetub endisesse asendisse. Nüüd läbistab vool uuesti elektromagneti mähise, vasar lööb vastu kõlistaja kaussi jne.

Niimoodi liigub vasar volukatkestamise tõttu kiiresti edasi-tagasi ja paneb kõlistaja helisema niikauaks, kuni surulüliti S nupp on alla vajutatud.

52. Telegraaf.

Telegraafi kasutatakse teadete edasiandmiseks kaugel maa taha. Kahe telegraafiijaama töö ja ehitusviis on näidatud joonisel 56. Kumbki jaam koosneb saateaparaadist A_1 ja A_2 ning vastuvõtuaparaadist B_1 ja B_2 , mis on oma-



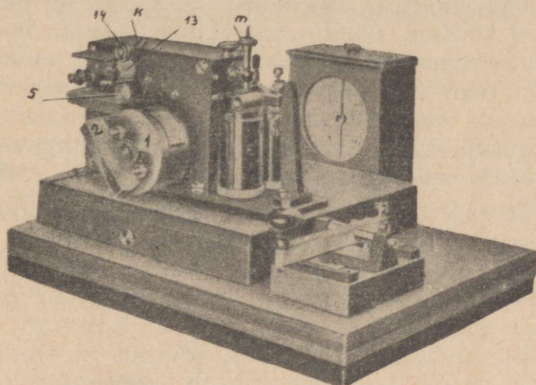
Joon. 56.

vahel ühendatud ühe juhtmega, kuna teiseks juhtmeks on maapind. Maasse satub vool plaatide D kaudu.

Teadete edasiandmisel jaamast II vajutatakse võtme A_2 nupule K (nagu joonisel näidatud); vastasjaamas jääb võti joonisel näidatud asendisse. Nüüd läbib patareist P tulev vool võtme A_2 ja läheb juhtme L kaudu I jaama võtme A_1 telge, kust pääseb elektromagneti M mähisesse ja, läbistades selle, suundub maandusplaati D, kust läheb läbi maa ning teise maandusplaadi patarisse P tagasi. Voolu läbiminekul elektromagneti mähisest tõmbub ankur C vastu magneti poolust, kuna ankru teine ots tõuseb ühes pliiaatsiga R üles, kusjuures pliiaats puutub vastu pabeririba, mis liigub üle rullide. Olenevalt voolu kestusest, s. t. kui kauaks vajutatakse võti A_2 alla, märgib pliiaats R paberiribale punkti või kriipsu. Seesugustest punktidest ja kriipsudest on koostatud telegraafi tähestik. Näitena on siinjuures toodud sõna „elekter“ telegraafi tähestiku järgi:

• • — • • • — — — — • • — •
e l e k t e r

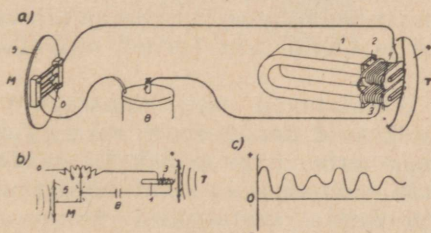
Joonisel 57 on näidatud Morse'i telegraafiaparaat praegusel kujul.



Joon. 57.

53. Telefon.

Telefoniks nimetatakse kõne edasikandmise seadet juhtmete kaudu kauge maa peale. Telefoni seade lihtsamal kujul on näidatud joonisel 58-a. Seade koosneb mikro-



Joon. 58.

fonist M, alalisvoolu allikast B ja kuulde-
torust (telefonist) T. Mikrofoni ülesandeks on muunda
helilained elektrivoolu võnkumisteks, kuna kuulde-
toru ülesandeks on muundada mikrofonis tekitatud elektri-
voolu võnkumised uuesti helilaineteks.

Mikrofon koosneb membraanist 5, mille tagaküljel
olevate söest liistukeste pesadesse on vabalt asetatud söest

pulgakesed 6. Kui helilained satuvad mikrofonile, hakkab membraan võnkuma ja seega raputab kergelt söest pulgakesi. Sellega muutub aga söest liistukeste ja pulgakeste vaheline elektriline ülemineku-takistus (joon. 58-b). Kui mikrofoni membraan on rahulikus olekus, läbib mikrofoni püsiva tugevusega elektrivool. Kõnelemisel mikrofoni kohal muutub aga pidevalt mikrofoni takistus ja ühes sellega muutub mikrofoni läbistava voolu tugevus vastavalt mikrofoni membraani võnkumistele (joon. 58-c).

Kuuldetoru T koosneb permanent-magnetist 1, mille pooluste külge on kinnitatud raudsüdamikud 2; südamikkudele on asetatud mähised 3. Säärase polariseeritud elektromagneti pooluste kohale on asetatud õhuke raudplekist membraan 4. Läbistab magneti mähiseid püsiva tugevusega vool, tõmbub membraan pooluste poole; voolu katkemisel asub membraan endisesse seisakusse tagasi. Kui aga kuuldetoru mähisist läbistab muutuva tugevusega vool (joon. 58-c), suureneb voolutugevuse suurenemisel pooluste magnetism ning membraan tõmbub poolustele lähemale; voolutugevuse vähenemisel aga eemaldub membraan poolustest. Seega pulseeriva voolu läbimisel kuuldetoru mähisest hakkab membraan võnkuma ja tekitab õhus helilaineid. Kuna voolutugevuse muutumine toimub kooskõlas mikrofoni membraani võnkumistega, tekitab kuuldetoru membraan täpselt samasuguseid helilaineid ja kuuldetoru kordab mikrofonis räägitud kõnet.

Tegelikult kasutatavad telefoniaparaadid töötavadki sellel põhimõttel, kuid nende ehitus on keerukam vajalikkude lisaseadiste tõttu, nagu väljakutse seade, lüliti, millega vool lülitub vooluahelasse ainult kõnelemise ajaks jne. Et seade võimaldaks vastastikust kõnet, s. t. kuulamist ja kõnelemist, selleks on kummagi kõnekoha aparaadil kuuldetoru ja mikrofon. Tänapäeval kasutatav mikrofon koosneb söeplaadist, mille lohukestes on söekuulikesed, ja selle vastas asetsevast söest membraanist, mis võnkudes surub kuulikesi kokku nõrgemalt või tugevamalt.

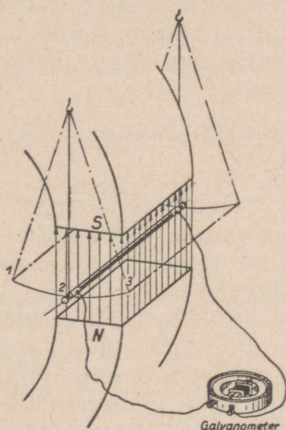
Mitme kõnekoha korral toimub aparaatide ühendamine telefoni keskjaama kaudu. Ühendus teostatakse käsitsi, kommutaatori abil, või automaatselt, sellekohaste aparaatide abil.

IX. Elektrivoolu indutseerimine.

54. Elektromagnetiline induktsioon.

Eespool selgus, et elektrivool tekitab magnetivälja. Kuid ka ümberpööratud nähe on võimalik — magnetiväljas tekib elektrivool.

Riputame tugeva magneti (või elektromagneti) pooluste vahele vaskjuhtme ning ühendame selle otsad galvanomeetriga (joonis 59). Kui liigutada juhet kiiresti läbi



Joon. 59.

magnetivälja asendist 1 asendisse 3, selgub, et galvanomeetri osuti lööb välja teatud suunas ja asub siis uuesti O-seisakusse. Nähtavasti tekkis juhtmes elektrivool selle kiirel liikumisel läbi magnetivälja. Kui liigutada juhet uuesti läbi magnetivälja, kuid nüüd asendist 3 asendisse 1, lööb galvanomeetri osuti vastupidises suunas. Nähtavasti on nüüd juhtmes tekkinud voolu suund vastupidine. Juhtme liigutamisel jõujoonte sihis, s. t. ülalt alla või alt üles, jääb galvanomeetri osuti paigale. Kui ühendame galvanomeetri liikuva juhtmega peenema ja pikema traadi kaudu, siis näeme, et juhtme liigutamisel endise kiirusega pöördub galvanomeetri osuti vähem. Sellest järgneb, et juhtmes ei teki vool, vaid elektromotoorne jõud, mille tekitatud voolu tugevus oleneb vooluahela takistusest.

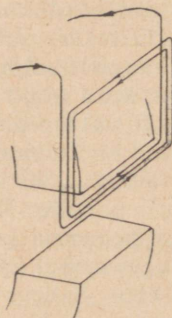
Katsetest järgneb elektromagnetilise induktsiooni seadus (Faraday, 1831): Kui liigutada juhet magnetiväljas nii, et juhe lõikab jõujooni, indutseerub (s. t. tekib) juhtmes elektromotoorne jõud. Sama nähtus kordub, kui juhe püsib paigal ja liigutada kiiresti magnetit, nii et jõujooned lõikuvad juhtmega. Induktsioonvoolud tekivad alati jõujoonte ja juhtme lõikumisel.

Elektromagnetilisele induktsioonile on rajatud tänapäeva tähtsamad elektrivoolu allikad — elektrigeneraatorid ehk dünamomasinad. Väike erinevus võrreldes kirjeldatud katsetega seisab ainult selles, et masinas pole juhtme liikumine sirgjooneline, vaid praktilistel põhjustel ringjooneline.

55. Indutseeritud elektromotoorse jõu suurus ja suund.

Katsetest selgub, et indutseeritud elektromotoorse jõu suurus on võrdeline ühes ajaühikus lõigatud jõujoonte arvuga. Ühes ajaühikus läbilõigatud jõujoonte arv on omakorda võrdeline juhtme või magnetivälja liikumise kiirusega, magnetivälja tugevusega ja jõujooni lõikava juhtme pikkusega.

Suurema elektromotoorse jõu saavutamiseks tuleb juhtme liikumise kiirust või magnetivälja tugevust suurendada, mis aga on piiratud. Sellepärast kasutatakse indutseeritud elektromotoorse jõu suurendamiseks ka kolmandat võimalust — suurendatakse juhtme pikkust, kasutades üksiku juhtme asemel paljudest keerdudest koosnevat mähist (joonis 60), kusjuures üksikutes keerdudes (õige-



Joon. 60.

mini: magnetiväljas liikuv as) indutseeritud elektromotoorsed jõud liituvad.

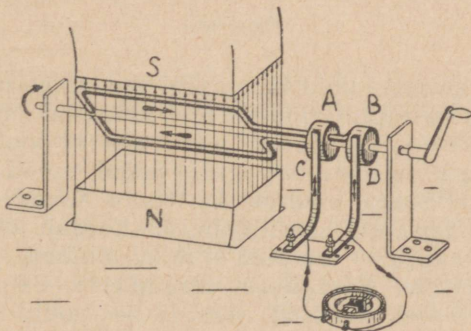
Indutseeritud elektromotoorse jõu ja voolu suunda on lihtne määrata galvanomeetri osuti väljalöögi suuna järgi, mille järgi on ka sõnastatud tavaliselt kasutatav nn. parema käe reegel: Kui asetada parema käe peopesa vastu põhjapoolust ja harali hoitud põial juhtme liikumise suunas, siis näitavad väljasirutatud sõrmed voolu suunda (joonis 61).



Joon. 61.

56. Vahelduv vool.

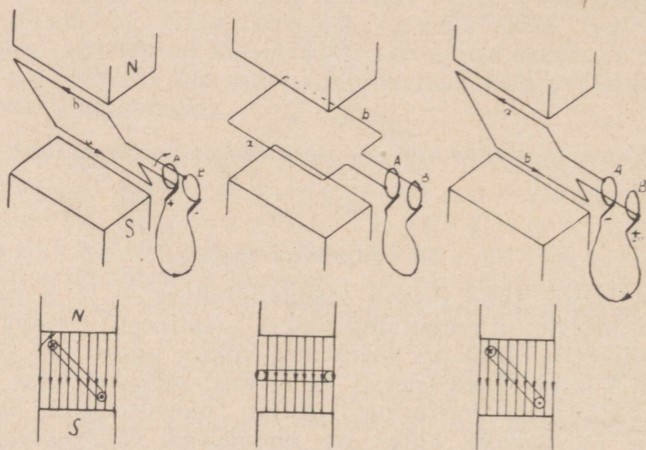
Asetame kahe tugeva magnetipooluse N ja S vahele võlli, millele on paigutatud vasest traadikeerd (joonis 62). Traadikeeru otsad on ühendatud võllile isoleeritult kinnitatud kontaktrõngastega A ja B, mis tiirlevad koos võlliga. Rõngaste vastu on surutud paigalseisvad harjad C ja D, millede külge on ühendatud välisvooluahela juhtmed.



Joon. 62.

Võlli tiirlemisel lõikavad juhtmed jõujooni ja seega indutseerub juhtmetes elektromotoorne jõud, mille suurus oleneb magnetivälja tugevusest ja tiirlemise kiirusest.

Indutseeritud elektromotoorse jõu ja voolu suund leidub parema käe reegli abil (joonis 63). Asetseb traadikeerd joonisel 63-I näidatud asendis, siis väljub vool traadikeeru liikumisel rõnga A harjast ja tuleb välisvooluahelast tagasi rõnga B harja kaudu. Kui traadikeerd jõuab joonisel 63-II näidatud asendisse, liiguvad mõlemad juhtmed teatava aja rööbiti jõujoontega ja seega traadikeerus voolu ei ole. Jõuab aga traadikeerd joonisel 63-III näidatud asendisse, on voolu suund pooluste kohal olevates juht-

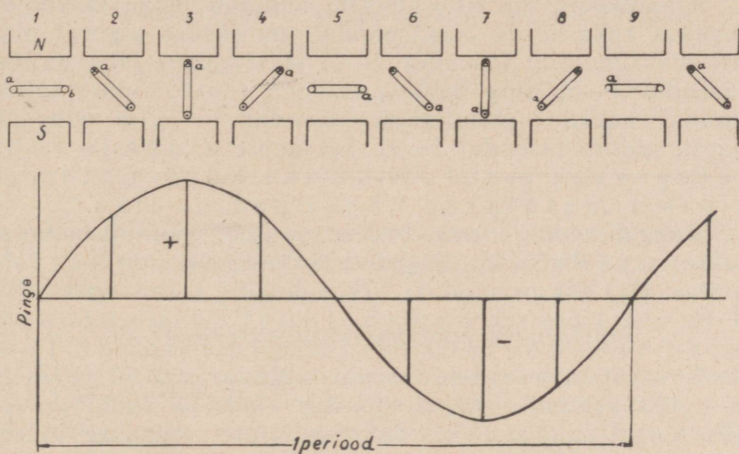


Joon. 63.

metes küll endine, kuid kummaski traadikeeru harus on voolusuund vastupidi joonisel 63-I näidatud suunale (juhe a oli enne S-pooluse kohal, nüüd aga N-pooluse kohal; samuti juhe b oli enne N-pooluse kohal, nüüd aga S-pooluse kohal). Seega muutub ka voolu suund välisvooluahelas. Traadikeeru edasiliikumisel kordub joonisel 63-II näidatud olukord — juhtmed ei löiku jõujoontega ja voolu juhtmetes ei ole. Edaspidisel traadikeeru liikumisel kordub joonisel 63-I näidatud olukord — voolu suund muutub uuesti vastupidiseks joonisel 63-III näidatud voolu suunale jne. Seega: traadikeeru tiirlemisel magnetipooluste vahel tekib vooluahelas muutuva suunaga elektrivool. Säärast voolu nimetatakse vahelduvvooluks.

57. Vahelduvvoolu sagedus ja pinge.

Traadikeeru ühtlase kiirusega tiirlemisel magnetipooluste vahel on igal momendil läbilõigatavate jõujoonte arv muutuv ja seega on muutuv ka traadikeerus indutseeritud elektromotoorse jõu suurus ja samuti ka pinge kontakt-rõngaste vahel. Kui traadikeerd on asendis 1 (joonis 64), liiguvad mõlemad juhtmed rööbiti jõujoontega ja seega on pinge null. Traadikeeru edasiliikumisel hakkavad juhtmed



Joon. 64.

jõujooni lõikama ja asendis 2 mõjub juba teatud pinget, mille suurus on kantud diagrammile teatud pikkusega joonlõiguna. Asendis 3 on pinget kõige suurem, sest siin liigub juhe risti jõujoontega ja ühes ajaühikus läbilõigatavate jõujoonte arv on kõige suurem. Asendis 4 on pinget väiksem, sest juhe liigub jõujoonte suhtes teatava nurga all ja ühes ajaühikus läbilõigatavate jõujoonte arv on väiksem. Jõuab tradikeerd asendisse 5, siis on pinget jälle null, sest juhtmed liiguvad rööbiti jõujoontega. Traadikeeru edasiliikumisel hakkab pinget uuesti suurenema, kuid nüüd lõikavad juhtmed a ja b jõujooni vastupidistes suundades ja seega muutub pinget ja voolu suund vastupidiseks. Eelmisele suunale vastupidi suunatud pinget märgitakse diagrammile nulljoonest allapoole. Pinget saavutab selles

suunas oma kõige suurema väärtuse asendis 7. Asendis 9 on pinge uuesti null. Edaspidisel tiirlemisel muutuvad uuesti pinge ja voolu suund jne.

Kui igale traadikeeru asendile vastava pinge suuruse märgime diagrammile ja saadud joonlõikude otsad ühendame, saame kõveriku, mis näitab pinge muutumist. Kuna voolutegevus on võrdeline pingega (vooluahela takistus käesoleval juhul on püsiv suurus), siis näitab leitud kõverik samuti ka voolutugevuse muutumist.

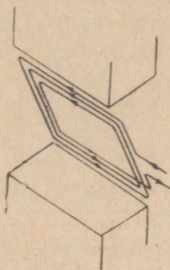
Traadikeeru iga tiiru jooksul muudab pinge ja voolutugevus kaks korda oma suunda, suurenedes alguses nullist maksimumini (asendid 1—3) ja langedes jälle nullini (asendid 3—5) ning muutes suunda tõuseb vastupidises suunas uuesti maksimumini (asendid 5—7) ja väheneb uuesti nullini (asendid 7—9). Seesugust pinge ja voolutugevuse muutumist üks kord mõlemas sihis nimetatakse üheks perioodiks.

Vahelduvvoolu perioodide arvu ühes sekundis nimetatakse sageduseks. Sageduse mõõtühikuks on herts*) (tähis: Hz) ehk perioodide arv sekundis (tähis: per/sek). 1 Hz ehk 1 per/sek on vahelduvvoolu sagedus, mis 1 sekundi jooksul teeb 1 perioodi. Tavaliselt kasutatava vahelduvvoolu sagedus on 50 per/sek, s. t. ühe sekundi jooksul muudab pinge ja voolutugevus 100 korda oma suunda. Säärase suure sageduse juures pole pinge ja voolutugevuse kõikumine enam märgatav. Samuti ei jõua mõõduriistade osutid selle sagedusega kaasas käia.

Vahelduvvoolu mõõduriistad ei näita mitte kõige suuremat pinget ja voolutugevust, vaid teatavaid keskmisi väärtusi. Praktiliselt polegi tähtis teada, kui suur on pinge ja voolutugevuse maksimaalne väärtus perioodi vältel, vaid hulga vajalikum on teada seda keskmist vahelduvvoolu pinget ja voolutugevust, mis suudab sama töö sooritada nagu sama pinge ja voolutugevusega alalisvool. Neid keskmisi väärtusi nimetatakse efektiiv-väärtusteks. On kindlaks tehtud, et efektiiv-pinge ja voolutugevus on 1,41 (täpsemalt: $\sqrt{2}$) korda väiksem maksimaalsest pingest ja voolutugevusest. Mõõduriistad mõõdavadki voolu efektiivväärtusi.

*) Heinrich Rudolf Hertz, füüsik, 1857—1894.

Kui pooluste vahel tiirleb ainult üks traadikeerd, on indutseeritud elektromotoorne jõud ja seega ka voolutugevus väga väike. Selle suurendamiseks valmistatakse mitmest keerust koosnev mähis (joonis 65), kusjuures üksi-



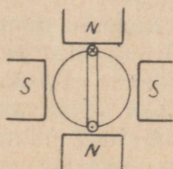
Joon. 65.

kutes keerdudes indutseeritud elektromotoorsed jõud liituvad. Nii võib saada praktilisteks otstarveteks küllalt kõrget pinget.

58. Vahelduvvoolu sageduse arvutamine.

Kui traadikeerd tiirleb kahe isenimelise pooluse vahel, muudab vool ühe tiiru vältel kaks korda oma suunda, s. t. iga tiiruga teeb vool ühe perioodi. Et saada 50-perioodilist voolu, peab traadikeerd tegema sekundis 50 tiiru ehk minutis 3000 tiiru. Säärane suur tiirude arv on paljude jõumasinate jaoks liiga kõrge ja seega nõuaks kulukat seadeldist tiirude arvu suurendamiseks.

Sama vahelduvvoolu sageduse võib saavutada ka väiksema tiirude arvuga, kui paneme traadikeeru tiirlema nelja pooluse vahele (joonis 66), kusjuures pooluste nimetused vahelduvad. Traadikeerus indutseeritud pinge ja voolutugevus saavutab sel korral kõik võimalikud väärtused



Joon. 66.

mõlemas suunas juba poole tiiruga, sest selle aja vältel mööduvad keeru mõlemad juhtmed ühest N-poolusest ja ühest S-poolusest. Nelja poolusega masinas saab seega 1 tiiru jooksul 2 perioodi. Kui sagedus peab olema 50 Hz, peab mähis tegema ühe sekundi jooksul 25 tiiru ehk minutis 1500 tiiru. Kui masinal on 6 poolust (3 pooluse poori), saab ühe tiiruga 3 perioodi jne. Vahelduvvoolu sagedus on määratud valemiga:

$$f = \frac{p \cdot n}{60}$$

kus f — sagedus, p — magnetipooluste paaride arv, n — tiirude arv minutis.

Eelmise valemi teisendamisel leidub tiirude arv, kui on teada pooluse paaride arv ja vahelduvvoolu soovitud sagedus:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}$$

Näide.

21. Vahelduvvoolu sagedus on 50 per/sek. Kui suur peab olema tiirude arv, kui masinal on 10 poolust?

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} = \frac{60 \cdot 50}{5} = 600 \text{ tiiru/minutis.}$$

Ülesandeid.

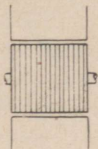
36. Arvutada tiirude arv 50 Hz vahelduvvoolu saamiseks, kui pooluste paare on a) 2, b) 4, c) 6, d) 20, e) 32.

37. Vahelduvvoolu generaatoril on 8 poolust. Arvutada voolu sagedus, kui tiirude arv minutis on: a) 700, b) 725, c) 750, d) 800.

59. Pöörivoolud.

Kui asetame magnetipooluste vahele mistahes metallist silindri ja selle kiiresti tiirlema paneme, soojeneb silinder. See soojenemine toimub silindris indutseerunud voolu toimel. Magnetiväljas tiirlevas silindris indutseerub samuti nagu igas magnetiväljas liikuvast juhtmeski elektromotoorne jõud ja see tekitab teatava tugevusega voolu, mis muundub soojuseks. Säärast metallkehades indutseerunud voolu nimetatakse pöörivooluks.

Pöörivoolud tekivad kõikides magnetiväljas tiirlevates metallosades ja samuti ka paigalpüsivates metallosades, mis asetsevad muutuva tugevusega magnetiväljas.



Joon. 67.

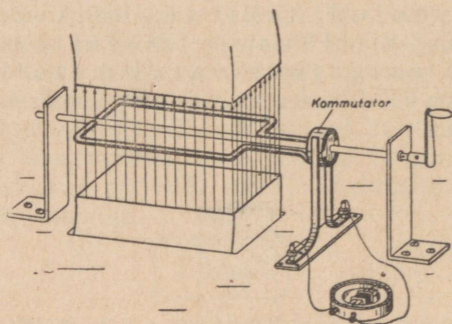
Pöörivoolud on kahjulikud, sest nad kutsuvad esile metallosade ebasoovitava soojenemise. Pöörivoolude vähendamiseks koostatakse elektrimasinate magnetiväljas tiirlevad raudosad ja samuti ka raudosad, mis asuvad muutuva tugevusega magnetiväljas, üksikutest õhukestest plekkidest (joon. 67), mis on üksteisest elektriliselt isoleeritud paberiga või lakiga. Üksikud plekid pannakse kokku nii, et isoleerkiht jääks risti pöörivoolu suunale.

X. Alalisvoolu generaatorid.

60. Alalisvoolu generaatori tööviis.

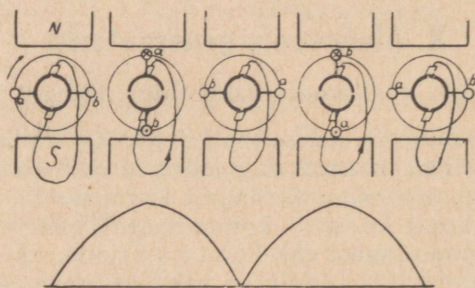
Välisvooluahelas alatiselt ühes suunas voolava elektri- voolu saamiseks asendatakse joon. 62 näidatud vahelduv- voolu generaatori kontaktrõngad k o m m u t a a t o r i g a. Lihtsamal kujul koosneb kommutaator kahest üksteisest isoleeritud poolrõngast ehk l e s t a s t (joon. 68). Kummagi lestaga ühendatakse pooluste vahel tiirleva traadikeeru üks ots. Voolu võetakse kommutaatorilt samuti harjade abil.

Traadikeeru tiirlemisel magnetipooluste vahel muutub voolu suund traadikeerus niipea, kui juhe hakkab jõujooni lõikama vastupidises suunas. Kommutaatori tõttu, mis tiirleb koos traadikeeruga, jääb üks hari ühendusesse alati selle lestaga, millest vool väljub välisvooluahelasse, teine hari aga alati ühendusesse lestaga, mille kaudu välisvoolu- ahelast tulev vool suundub tagasi traadikeerdu (joon. 69).



Joon. 68.

Kommutaatori ülesanne seisab seega selles, et tiirleva traadikeeru otsi vaheldumisi ühendada välisvooluahela juhtmetega. Niimoodi muudab kommutaator vahelduvvoolu ühesuunaliseks alalisvooluks, mille pinge ja voolutugevus pole aga püsiva suurusega, vaid muutuvad nullist kuni teatud kõige suurema väärtuseni, et siis uuesti langeda nullini jne. Pinge (ja samuti ka voolutugevuse) muutumise diagramm on näidatud joon. 69 alumises osas.



Joon. 69.

61. Alalisvoolu generaatori indutseeriv mähis.

Tehnilisteks otstarveteks kõlblikul alalisvoolul peab olema võimalikult ühtlane pinge. Selle saavutamiseks pannakse magnetipooluste vahele tiirleva mitte üks traadikeerd, vaid mitu ning varustatakse kommutaator tarviliku arvu lestadega. Sealjuures ühendatakse üksikud traadi-

keerud omavahel nii, et kõikides keerdudes indutseeruvad elektromotoorsed jõud liituvad. Sellega suureneb ühtlasi ka pinge kommutaatori harjade vahel. Et pinget veelgi suurendada, selleks asendatakse traadikeerud paljudest keerdudest koosnevate mähistega.

Vooluvõtmine kommutaatorilt toimub paigalpüsivatesse harjahoidjatesse asetatud söest või vasest harjade abil, mis vedru abil surutakse vastu kommutaatorit. Harjad peavad asetsema nendel kommutaatori lestadel, mis on ühendatud neutraaljoonel (s. t. sellel joonel, kus traadikeerus voolava voolu suund muutub) asetseva mähise keerdudega.

62. Generaatori magnetsüsteem.

Generaatori magnetitena saab kasutada permanentteras-magneteid ainult siis, kui generaatorilt nõutav elektriline võimsus on väike. Suurema võimsuse jaoks on teras-magnetite magnetiväli liiga nõrk. Sellepärast kasutatakse generaatoris magnetivälja tekitamiseks eranditult elektromagneteid, millede ergutusmähise toitmiseks vajalik vool saadakse mõnest muust alalisvoolu allikast, näiteks galvaani elementide või akumulaatorpatareist. Masinad valmistatakse 2, 4, 6, 12 ja enamagi poolusega.

Magnetite raudsüdamikud kinnitatakse masina kere ehk nn. ikke külge. Kuna magnetijõujooned läbistavad oma teekonnal ka ikke, valitakse ikke materjaliks aine, mille magnetiline takistus on väike. Tavaliseks ikke materjaliks on malm või teras.

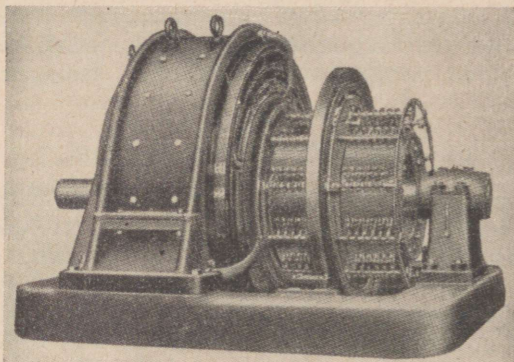
63. Generaatori ankur.

Magnetijõujooned peavad läbistama indutseeriva mähise. Et aga õhk on väga halb jõujoonte juht, sellepärast asetatakse mähis raudsilindrile. Kuna mähise kinnitamine siledale kiirelt tiirlevale silindrile on raskendatud, varustatakse silinder üle kogu ümbermõõdu ühtlaselt jagatud uuretega, millede sisse asetatakse indutseeriv mähis. Et juhtmed tsentrifugaaljõu toimele silindri uuretest välja ei viskuks, kinnitatakse juhtmed uuretesse fiibrüst või puidust kiiludega ja hoitakse kinni bandaažidega.

Raudsilindris tekkivate pöörivoolude vähendamiseks koostatakse see alati õhukestest isoleeritud lehtedest, mis

surutakse kokku teatud paksusega kimpudeks. Need kimbud asetatakse võllile üksteisest väikese vahemaaga, et võimaldada ventilatsiooni ankrus jahutamiseks.

Generaatori tiirlevat raudsilindrit ühes mähise, kommutaatori ja võlliga nimetatakse **a n k r u k s**. Ankur toetub laagritele. Joon. 70 on näidatud ühe alalisvoolu generaatori üldvaade (võimsus 1000 kW).



Joon. 70.

64. Dünamoelektriline printsiip.

Suure sammu astus elektrotehnika edasi **d ü n a m o - e l e k t r i l i s e** printsiibi avastamisega (W. Siemens, 1866), mille järgi saab generaatori elektromagnetite ergutamiseks kasutada generaatori enda ankrus indutseeritud voolu.

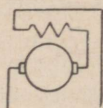
Endaergutus on rajatud elektromagnetite raudsüdamikkude järelmagnetismile. Masina käiku-laskmisel tiirleb ankur väga nõrgas remanentmagnetiväljas ja seega indutseerub ankrus väga väike elektromotoorne jõud. Kui välisvooluahel on katkestatud ja ergutusmähise otsad ühendada kommutaatori harjadega, tekitab ankrus indutseerunud elektromotoorne jõud väikese tugevusega voolu läbi ergutusmähise. Selle voolu toimel suureneb pooluste magnetism, jõujoonte arv suureneb ja sellega ühtlasi suureneb ka ankrus indutseeruv elektromotoorne jõud. Nüüd läbis- tab ergutusmähiseid endisest tugevam vool, mis omakorda

suurendab magnetite tugevust jne. Niimoodi suureneb ankrus indutseeritud elektromotoorne jõud vajaliku määran, mille järel hakatakse voolu andma välisvooluahelasse.

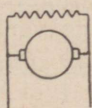
65. Generaatorite lülitusviisid.

Ergutus- ja ankrumähise lülitusviisilt jagunevad alalisvoolu generaatorid kolme rühma: peavoolu, haruvoolu ja kompaund-masina.

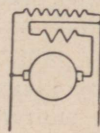
Peavoolu generaatoril on ankru- ja ergutusmähised lülitatud järjestikku (joon 71). Sel juhul läbib ankruga kogu vool ergutusmähist, mis koosneb jämeda traadi mõnedest vähestest keerdudest. Masina endaergutus on



Joon. 71.



Joon. 72.



Joon. 73.

võimalik ainult suletud välisvooluahela korral. Peavoolu generaatori elektromotoorne jõud ja klemmipinge on suures määral sõltuv koormusest: väikese koormuse korral on pinge väike, kuid koormuse suurenemisel kasvab kiiresti.

Haruvoolu generaatoril on ankru- ja ergutusmähis lülitatud paralleelselt (joonis 72). Ergutusmähis on valmistatud peenest traadist suure keerdude arvuga. Ergutusvoolu tugevus oleneb ergutusmähise takistusest; kuna see on kaunis suur, suundub läbi ergutusmähise ainult väike osa (tavaliselt 2—5%) ankruga kogu voolust. Masina endaergutus on võimalik ka avatud välisvooluahela korral. Haruvoolu generaatori klemmipinge on kõige suurem avatud välisvooluahela korral. Masina koormamisel väheneb klemmipinge vähesel määral.

Kompaund-generaatoril on ergutusmähis jagatud kahte ossa, kusjuures üks osa on lülitatud ankruga paralleelselt, teine osa järjestikku (joon. 73). Kompaund-generaatori peavoolu ja haruvoolu ergutusmähiste keerdude arv valitakse nii, et koormuse muutumisel ühe

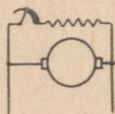
mähise iseloomust tingitud pinge vähenemine tasakaalustub teise mähise toimel suureneva pingega.

Kõige rohkemat kasutamist leiavad haruvoolu generaatorid.

66. Haruvoolu generaatori pinge reguleerimine.

Generaatori klemmpinge on alati väiksem kui ankrus indutseeritud elektromotoorne jõud, sest osa elektromotoorsest jõust kulub voolu juhtimiseks läbi ankrumähise. Eespool selgus, et pingelangemine vooluallika sisemuses on võrdeline voolutugevusega ja vooluallika sisetakistusega. Seega on pingelangemine ka generaatoris seda suurem, mida suurem on voolutugevus, s. t. mida suurem on generaatori koormus. Koormuse suurenemisest tingitud pingelangus vähendab ka voolutugevust läbi ergutusmähise ja selle tagajärjel langeb pinge veelgi.

Generaatori klemmpinge suurendamiseks (või vähendamiseks) tuleb suurendada (või vähendada) ankru tiirlemise kiirust või magnetivälja tugevust. Tiirude arvu muutmine on praktiliselt raskendatud. Sellepärast kasutatakse pinge reguleerimiseks teist võimalust ja muudetakse ergu-



Joon. 74.

tusvoolu, s. t. magnetivälja tugevust. Selleks lülitatakse magnetite vooluahelasse reostaat (joon 74), millega saab tarviduse kohaselt suurendada või vähendada ergutusvoolu tugevust ja seega ka generaatori klemmpinget.

XI. Akumulaatorid.

67. Akumulaatori otstarve ja tööviis.

Galvaanilised elemendid on teatava aja kestel alati võimalised voolu andma, kuid suurema voolutugevuse korral on nende kasutamine liiga kulukas. Elektrigeneraator

vajab aga eraldi jõumasinat ja peab ka siis töötama, kui voolutarvitus on väga väike (näiteks öösel). Sellepärast on püütud leida vahendeid, mis võimaldaksid generaatoris indutseeritud elektri energiat tagavaraks koguda, et seda hiljem tarbe korral kasutada jõujaama masinate seisu ajal või neis kohtades, kuhu jõujaama jaotusjuhtmed ei ulatu.

Ainukene praktiliselt kasutatav elektrienergia pääramise seadeldis on akumulaator ehk aku. Aku tööviis on järgmine: voolu läbilaskmisel akust toimub akus elektrolüüs, mille tulemuseks on ained, mis moodustavad aku elektrolüüdiga galvaanilise elemendi — aku on laetud. Laadimine on seega galvaanilise elemendi moodustamine voolu toimel. Vooluvõtul, aku tühjendamisel, toimuvad akus jällegi keemilised reaktsioonid, kusjuures tekivad uuesti samad ained, mis olid akus enne laadimist. Nii toimub voolu täaramine akus kaudselt: elektrienergia muundatakse keemiliseks energiaks ja see muundub hiljem uuesti elektrienergiaks. Akut saab kasutada ainult alalisvoolu korral.

Akusid kasutatakse väiksema võimsusega elektriaparaatide toitmiseks galvaani elementide asemel, hädavalgustuse seadmetes jõujaama rikke puhul (kinod, teatrid jne.), sõidukite mootorite ja lampide toitmiseks (autovalgustus, elektriautod jne.) ja muudeks säärasteks otstarveteks.

68. Tinaakumulaator.

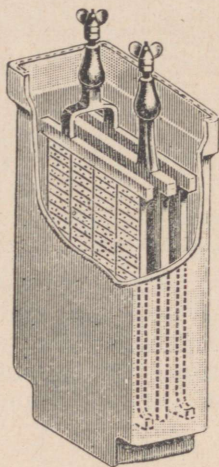
Lihtsamal kujul koosneb tinaaku kahest seatina-plaadist, mis asetatakse veega lahjendatud väävelhappesse. Happega kokkupuutumisel muutub tina plaadi pinnal tinasulfaadiks.

Aku laadimisel, s. t. voolu läbilaskmisel akust toimuvad aku elektrolüüdi ja elektroodide vahel keemilised reaktsioonid, mille tagajärjel vooluallika miinus-klemmiga ühendatud plaadi pind muundub urbseks tinaks, teise plaadi pinnale tekib aga tinaülihapend. Ühtlasi suureneb ka happe erikaal.

Aku tühjendamisel, s. t. vooluvõtmisel akust on voolu suund aku sisemuses vastupidine laadimisvoolu suunale. Ka tühjendamisel toimuvad akus keemilised reaktsioonid,

kusjuures plaatide pinnale tekib uuesti tinasulfaat ja elektrolüüdi erikaal väheneb.

Tegelikult kasutatavatel akudel pole elektrodideks mitte tinaplaadid, vaid võrestik, millede vahedesse on pressitud tinähenditest koosnev aktiivne mass. Kuna kogemused näitavad, et kahe elektroodi kasutamisel kõverdub ühekülgsel töötamise tõttu pluss-elektrood, asetatakse tavaliselt see elektrood kahe miinus-elektroodi vahele (joonis 75).



Joon. 75.

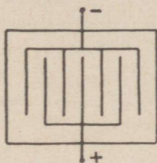
Laadimiseks ühendatakse aku pluss-klemm vooluallika pluss-klemmiga ja samuti ka miinus-klemmid (klemmid on märgitud tähtedega P ja N või märkidega + ja —). Laadimise algul tõuseb aku klemmipingest kiiresti 2,1 voldini ja siis aeglasemalt kuni 2,4 voldini. Laadimise lõpul (miinusplaadil eraldub gaas) on pinge 2,7 V. Laadimisvoolu katkestamisel langeb pinge järsku 2,1 voldini.

Tühjendamise algul langeb pinge kiiresti 1,95 voldile ja langeb siis edasi aeglaselt. Kui pinge on langenud 1,8 voldini, tuleb tühjendamine lõpetada, sest vastasel korral riknevad plaadid aktiivse massi väljalangemise tõttu.

Aku laadimise seisukorda saab määrata voltmeetri abil või elektrolüüdi erikaalu järgi. Erikaalu mõõtmist toimetatakse areomeetri abil. Laetud akus on elektrolüüdi erikaal 1,2—1,28; tühjas akus on erikaal 1,12—1,16.

69. Aku mahtuvus.

Aku elektroodide pindade suurenemisega suureneb ka elektrienergia hulk, mida aku vajab laadimiseks, ja samuti ka energia hulk, mida aku annab tühjendamisel. Seega tekib vajadus akumulaatorite suuruse mõõtühiku järele. Sääraseks mõõtühikuks oleks kõige kohasem kilovatt-tundide arv, mida aku suudab anda. Et aga aku pinget tühjendamise algul on kõrgem kui tühjendamise lõpul, pole see mõõtühik otstarbekohane. Sellepärast on aku suuruse



Joon. 76.

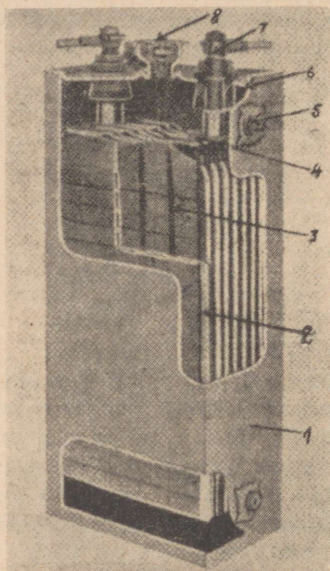
mõõtühikuks valitud ampertund (tähis Ah), s. t. aku tühjendusvoolu tugevuse (amprites) korrutis tühjendamise kestusega (tundides). 1 Ah on voolu hulk, mida aku annab 1 tunni jooksul, kui voolu tugevus on 1 A. Aku mahtuvuseks nimetatakse voolu hulka ampertundides, mida aku suudab tühjendamisel anda, ilma et pinget langeks alla 1,8 volti.

Kui aku mahtuvus on 10 Ah, siis tähendab see, et akust saab võtta 1 A tugevusega voolu 10 tundi ($10 \text{ A} \times 1 \text{ tund} = 10 \text{ Ah}$) või 2 A tugevusega voolu 5 tundi ($2 \text{ A} \times 5 \text{ tundi} = 10 \text{ Ah}$) jne. Siinjuures tuleb tähendada, et liiga suure tühjendusvoolutugevuse korral langeb aku mahtuvus. Peale selle on liiga suur voolutugevus kahjulik akule. Sellepärast pole lubatav koormata akut tugevama vooluga, kui see aku sildile on märgitud.

Aku mahtuvuse suurendamiseks tuleb plaatide pindala suurendada. Praktelistel põhjustel asetatakse ühte purki vaheldumisi mitu pluss- ja miinus-plaati (joonis 76). Pluss-plaatide kõverdumise ärahoidmiseks on äärmisteks plaatideks alati miinus-plaadid.

70. Leelis- ehk raudnikkel-aku.

Tinaakude kõrval on rohkelt kasutatavad leelis- ehk r a u d n i k k e l - a k u d. Selle aku elektrodid on moodustatud terasraamistikule asetatud aukudega torudest või taskutest, milledesse on paigutatud aktiivne mass. Pluss-elektroodi massiks on nikliühendid; miinus-elektroodi massiks on raua- või kaadmiumiühendid või nende segu. Elektrolüüdiks on lahjendatud kaalileelis.



Joon. 77.

Leelisaku ehitus on näidatud joonisel 77, kus on märgitud: 1 — terasplekist purk; 2 — elektroodi raam; 3 — elektrodide-vahelised isoleerribad; 4 — samanime-liste plaatide ühendusriba; 5 — purgi tugi (purgi kinnitamiseks kasti); 6 — isoleerpuks; 7 — klemm; 8 — täitekork.

Leelisaku elektromotoorne jõud on 1,25—1,3 V. Leelisakude eeliseks on väiksem kaal ja väiksem tundlikkus ülekoormuse ja pörutuste vastu, kuid nende hind on kallim. Leelisakusid kasutatakse peamiselt sõidukitel (autod jne.).

71. Aku patarei.

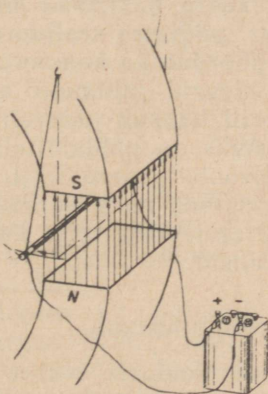
Suurema pinge või voolutugevuse saamiseks lülitatakse üksikud akud patareiks samuti nagu galvaanilised elemendid. Ka akude juures on võimalik järjestikku-, paralleel- ja segalülitus.

XII. Alalisvoolu mootorid.

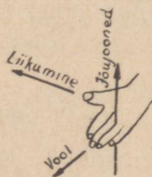
72. Magneti toime voolujuhtmele.

Mehaanilist energiat saab elektri generaatori abil muundada elektrienergiaks. Samuti saab ka vastupidiselt elektrienergiat uuesti muundada mehaaniliseks energiaks.

Kui asetame kahe tugeva magnetipooluse vahele voolujuhtme (joonis 78), siis selgub, et voolu läbi laskmi-



Joon. 78.



Joon. 79.

sel juhtmest hakkab juhe magnetiväljas liikuma. Kui muuta voolu suunda läbi juhtme, liigub juhe teisele poole. Vahtades ka magnetite poolused vastasnimeliste poolustega (N-pooluse asemele S-poolus ja ümberpöörduvalt), selgub, et juhe liigub jällegi vastupidises suunas. Katsetest järgneb vasaku käe reegel juhtme liikumise suuna määramiseks (joonis 79): Kui asetada vasaku käe peopesa vastu põhjapoolust ja

sirutada sõrmed voolu suunas, siis näitab harali hoitud pöial juhtme liikumise suunda. (Võrdle parema käe reeglga: peopesa hoitakse vastu põhjapoolust, sõrmede suund on voolu suund ja pöidla suund on liikumise suund.)

Katsed tõendavad, et juhet liikuma panev mehaaniline jõud on võrdeline magnetivälja tugevusega, voolutugevusega ja magnetiväljas oleva juhtme pikkusega.

73. Alalisvoolu mootori ehitusviis.

Magnetipooluste vahele asetatud juhe saab sirgjooneliselt edasi liikuda ainult õige piiratud ulatuses, sest poolustest kaugemal on magnetivälja tugevus väga väike. Pideva ringjoonelise liikumise saamiseks võib kasutada joonisel 68 näidatud seadeldist, mida eespool kasutatud alalisvoolu generaatori tööviisi selgitamisel.

Kui lasta voolu läbi traadikeeru, hakkavad juhtmed liikuma vastupidistes suundades, pöörates sealjuures traadikeerdu. Kuna traadikeeruga pöörduv ka kommutaator, siis läbib vool pooluste kohal olevaid juhtmeid alati ühes ja samas suunas ja traadikeerd hakkab pidevalt tiirlema.

Alalisvoolu mootori ehitusviis on põhimõtteliselt täpselt samasugune nagu alalisvoolu generaatoril. Ühte ja sama masinat võib koguni kasutada nii generaatorina kui ka mootorina. Kuid väikeste erinevuste tõttu kasutatakse kummakski otstarbeks erimasinaid.

74. Mootori voolutugevus.

Mootori ankru tiirlemisel pooluste vahel lõikavad ankrü juhtmed jõujooni. Seega indutseerub ka mootori ankrus teatav elektromotoorne jõud. Mootori ankrus indutseeritud vool on parema käe reegli põhjal vastupidi suunatud mootori ankrusse juhitud voolule (joon. 80).

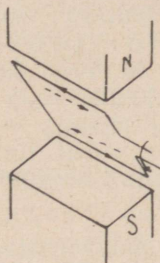
Kui tähistame mootori toitevoolu pinget tähega U , mootori ankrü mähise takistust tähega R ja ankrü mähises indutseeritud vastusuunalise elektromotoorse jõu tähega e , siis on ankrü mähise läbistava voolu tugevus määratud valemiga:

$$J = \frac{U - e}{R}.$$

Vastusuunalise elektromotoorse jõu suurus oleneb ankru tiirude arvust ja pooluste magnetismist ja on tavaliselt õige vähe väiksem toitevoolu pingest.

Mootori koormamisel väheneb ankru tiirude arv. Tiirude arvu vähenemisel väheneb ka ankrus indutseerunud vastusuunaline elektromotoorne jõud ja selle tõttu suureneb mootori voolutugevus.

Mootori koormuse vähenemisel suureneb ankru tiirude arv. Suurema tiirude arvu korral on aga ankrus indutseeritud vastusuunaline elektromotoorne jõud suurem, ja seega väheneb voolutugevus. Nii võtab elektrimootor



Joon. 80.

automaatselt ainult seesuguse tugevusega voolu, mis vastab mootori koormusele. Koormuse suurenemisel suureneb pidevalt voolutugevus; tühijooksul on voolutugevus kõige väiksem.

Iga mootor on ehitatud ainult teatava maksimaalse voolutugevuse jaoks. Selle ületamisel võib voolusoojus põhjustada mootori mähise rikkeid. Sellepärast ei tohi mootorit kestvalt koormata suurema voolutugevusega, kui see mootori sildile on märgitud.

75. Alalisvoolu mootori tiirude arv ja selle reguleerimine.

Mootori ankrus indutseeruva vastuelektromotoorse jõu suuruse leiame, kui lahutame toitevoolu pingest pingelanguse ankrus. Kui voolu pinge on näiteks 220 V ja ankru takistus $0,1 \Omega$, siis on antud mootoris indutseeruv vastuelektromotoorne jõud mootori mitmesugusel koormusel järgmine:

Voolu- tugevus J	Pingelangus ankrus J . R	Vastuelektromotoorne jõud U — J . R
5 A	$5 \cdot 0,1 = 0,5 \text{ V}$	$220 - 0,5 = 219,5 \text{ V}$
10 A	$10 \cdot 0,1 = 1 \text{ V}$	$220 - 1 = 219 \text{ V}$
20 A	$20 \cdot 0,1 = 2 \text{ V}$	$220 - 2 = 218 \text{ V}$

Tabelist nähtub, et igasugusele mootori koormusele ja seega ühtlasi ka igasugusele tiirude arvule vastab mootori ankrus indutseeruv teatava suurusega vastuelektromotoorne jõud. Mootor töötab alati säärase tiirude arvuga, mille juures ankrus indutseerub vajaliku suurusega vastuelektromotoorne jõud.

See asjaolu võimaldab alalisvoolu mootori tiirude arvu reguleerimist kahel viisil:

1) Vastusuunalise elektromotoorse jõu suurus, mis peab ankrus indutseeruma, oleneb toitevoolu pingest. Kui vähendada toitevoolu pinget, väheneb vastavalt ka vajaliku vastuelektromotoorse jõu suurus ja selle saavutamiseks peab ankur tiirlema väiksema tiirude arvuga. Seega mootori tiirude arvu vähendamiseks lülitatakse mootori vooluahelasse reostaat, millega vähendatakse toitevoolu pinget.

2) Ankrus indutseeruva vastusuunalise elektromotoorse jõu suurus oleneb magnetipooluste tugevusest. Magnetivälja tugevuse vähenemisel peab ankur tiirlema kiiremalt, et saavutada vajalikku vastusuunalist elektromotoorset jõudu. Seega mootori tiirude arvu suurendamiseks vähendatakse pooluste magnetismi mootori elektromagnetite ergutusvoolu tugevuse vähendamisega. Ergutusvoolu tugevuse vähendamine toimub lihtsal teel reostaadi lülitamisega ergutusvoolu ahelasse.

Tiirude arvu reguleerimine esimese viisi järgi on seotud suurte kadudega, sest osa elektri võimsusest muutub

reostaadis tulutult soojuseks. Sellepärast kasutatakse tiirude reguleerimiseks tavaliselt teist võimalust, kuna see toimub praktiliselt kadudeta.

76. Alalisvoolu mootorite lülitusviisid.

Ankru ja ergutusmähise lülitusviisi järgi jagunevad alalisvoolu mootorid, samuti nagu generaatorid, kolme rühma: peavoolu, haruvoolu ja kompaund-masinad.

Peavoolu mootoril on ankru- ja ergutusmähis lülitatud järjestikku (joon. 71) ja kogu vool läbib ka magnetimähist. Koormuse suurenemisel suureneb magnetivälja tugevus ning mootori tiirude arv väheneb suurel määral. Mootori tühijooksul on voolutugevus ja ühtlasi ka pooluste magnetism väga väike ja sellepärast võib tiirude arv tõusta nii suureks, et see muutub mootorile ohtlikuks. Sellepärast kasutatakse peavoolu mootoreid eranditult kindlalt kokkuühendatult käitatava masinaga; rihmajam pole peavoolu mootori korral kunagi lubatav.

Haruvoolu mootoril on ankru- ja ergutusmähis lülitatud paralleelselt (joonis 72). Mootori koormamisel väheneb klemmipinge õige vähe (pingelanguse suurenemise tõttu toitejuhtmetes). Selle tõttu väheneb mootori tiirude arv koormamisel vähe.

Kompaund-mootoril on ergutusmähis jagatud kahte ossa, kusjuures üks osa on lülitatud ankru mähisega järjestikku, teine osa paralleelselt (joonis 73). Tiirude arvu olendus koormusest sõltub sellest, milline ergutusmähise osa on ülekaalus.

Kõige laiemat kasutamist leiavad haruvoolu mootorid (näiteks tööriistmasinad, pumbad jne.). Peavoolu mootoreid kasutatakse seadmetes, kus mootorilt nõutakse suurt tõmbejõudu, kuid tiirude arv pole oluline (näiteks elektri-vedurid, tõsteseadmed jne.). Kompaund-mootoreid kasutatakse erandjuhtudel, kus suure tõmbejõu kõrval nõutakse ka ühtlast tiirude arvu (näiteks liftid jne.).

77. Alalisvoolu mootori käivitamine.

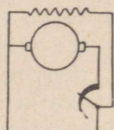
Mootori käivitamisel, s. t. kui ankur seisab veel paigal, ei indutseeru ankru mähises vastusuunalist elektromotoorset jõudu. Käivitusmomendi voolutugevus oleneb seega

ainult voolu pingest ja mootori mähiste takistusest; kuna mähiste takistus on väga väike, tavaliselt vähem kui 1Ω , läbib mootori ankrumähisid väga tugev vool. Kui voolu pinge on näiteks 220 V ja ankrumähise takistus $0,1 \Omega$, siis on voolu tugevus läbi ankrumähise

$$J = \frac{U}{R} = \frac{220}{0,1} = 2200 \text{ A.}$$

Säärase suure voolutugevuse korral rikneks mähis.

Käivitusmomendil esineva suure voolutugevuse vähendamiseks lülitatakse vooluahelasse lisataktus — käivitusreostaat —, millega vähendatakse pinget mootori klemmidel (joonis 81). Mootori käimamisel hakkab



Joon. 81.

ankrus indutseeruma vastusuunaline elektromotoorne jõud ja voolutugevus väheneb ning reostaat lülitatakse järk-järgult vooluahelast välja, kusjuures mootori tiirude arv pidevalt suureneb.

78. Alalisvoolu mootori tiirlemise suuna muutmise.

Mootori ankrumähise tiirlemise suund muutub, kui muudame voolusuuna ankrus või voolusuuna ergutusmähises, millega muutuvad pooluste nimetused (vasaku käe reegel). Kui muudame aga voolusuuna nii ankrus kui ka magnetimähises, jääb ankrumähise tiirlemise suund endiseks.

79. Alalisvoolu mootorite hooldamine.

Mootori hooldamine seisneb peamiselt voolujuhtivate kontaktide ja liikuvate osade korrashoius ning masina hoidmises täielikus puhtuses. Järgnevalt on antud mõned juhised mootorite hooldamiseks.

a) Üldised eeskirjad. Mootor peab olema kindlalt kinnitatud aluse või vundamendi külge. Sellepärast

tuleb aeg-ajalt kontrollida kinnituskruve ja neid tarbe korral kinni keerata.

Mootori mähiseid tuleb kaitsta niiskuse, õli, tolmu ja mustuse eest, sest vastasel korral rikneb mähiste isolatsioon. Mootorit puhastatakse vähemalt üks kord nädalas kuiva lapiga, kuna tolmu puhutakse mootori sisemusest käsilöötsaga. Lahtiste mootorite kinnikatmine kaitseks tolmu jne. vastu pole lubatav, sest sellega halvenevad mootori jahutustingimused ning mähised võivad ülekuumeneda.

b) **L a a g r i d.** Rõngasmäärde laagritesse tuleb õli juurde kallata vähemalt kord nädalas. Laagrite õlituse avauksed olgu alati suletud, et tolmu ei satuks laagrisse. Õli laagris uuendada 3—4 kuu järel, enne pestes laagri petrooleumiga puhtaks.

Kuul- ja rull-läägrid vajavad vähem hooldamist. Vähemate mootorite korral on küllaldane, kui määrdeainet vahetada 8 000—10 000 töötunni järel, kuid hiljemalt kahe aasta möödumisel.

Laagri temperatuuri tuleb pidevalt jälgida. Kui laager läheb kuumaks (temperatuur üle 80° C), tuleb mootor seistatada ja selle põhjused selgitada. Laagri ülekuumenemise põhjuseks võib olla rihma liigne pingutus, halb määrdeaine, õlitusrõngaste kinnijäämine jne.

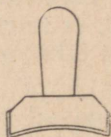
Laagrite kulumisel võib ankur hakata riivama magnetipooluseid. Sellepärast tuleb kaliibriga kontrollida, et õhupilu ankru ja magnetipooluste vahel oleks igal pool ühtlane.

c) **K o m m u t a a t o r** on alalisvoolu mootori tundlikum osa ja vajab sellepärast suurimat tähelepanu. Kommutaator peab olema täpselt silindriline ja sileda kontaktpinnaga (et oleks hea kontakt harjade ja kommutaatori vahel) ning puhas (et naabruses olevad lestad ei satuks omavahelisse elektrilisse ühendusse). Vähemad kriimustused ja konarused kõrvaldatakse smirgelpaberiga lihvides. Selleks kinnitatakse smirgelpaber puitklotsidele, mille lihvimispind on õõnes vastavalt kommutaatori läbimõõdule (joonis 82). Sügavamate konaruste või ovaalsuse korral tuleb kommutaator üle treida, võttes maha võimalikult õhukese laastu. Pärast lihvimist või treimist tuleb metallitolmu kommutaatorilt hoolikalt kõrvaldada.

Kui kommutaatori lestad kuluvad kiiremini kui nende vaheline isolatsioon, tuleb kõrgemale ulatuv isolatsioon sellekohase kaabitsaga maha kaapida.

d) Harjad. Harjad peavad olema kergelt surutud kogu pinnaga vastu kommutaatorit. Harjade kulumisel või purunemisel tuleb need uuendada täpselt samasuguste harjadega. Uute harjade tarvituselevõtul asetatakse harjade ja kommutaatori vahele smirgelpaber ja lihvitakse harja kontaktpind vastavaks mootori kumerusele.

Harjahoidjaid tuleb kord nädalas järele vaadata ja puhas tada, et harjad ei kiiluks kinni harjahoidjatesse.



Joon. 82.

80. Alalisvoolu mootorite rikkeid.

Kuigi elektrimootor on üldiselt väga käituskindel masin, esineb ka selle juures vahel rikkeid. Järgnevalt on toodud mõningaid rikkeid ja nende võimalikke põhjusi, millede tundmisel on võimalik asuda rikke kõrvaldamisele. Mitmed rikked on kergesti parandatavad, kuid tõsisemate rikete korral on tarvilik kasutada vilunud montööri kaasabi või toimetada mootor töökotta.

a) Kommutaatori ja harjade vahele tekivad sädemed. Võimalikke põhjusi:

Harjad ei asetse õigel kohal (nihutada harjahoidjat ühes harjadega).

Halb kontakt harjade ja kommutaatori vahel.

Kommutaator pole täpselt silindriline, on krobeline või pole puhas.

Harjad pole kohased antud mootorile.

Mootor on ülekoormatud.

Laagrid on kulunud.

Mootor on halvasti kinnitatud vundamendile.

b) Ankur kuumeneb liigselt. Võimalikke põhjusi:

Mootor on ülekoormatud.

Harjad ei asetse õigel kohal.

Ankru mähise keerud või kommutaatori lestad on omavahel ühenduses.

c) Magnetimähised kuumenevad liigselt. Võimalikke põhjusi:

Magnetimähiste keerud on omavahel ühenduses.

d) Mootor ei käivitu. Võimalikke põhjusi:

Toitevoolu ahel (kuni mootorini) on kusagil katkenud.

Mootori mähis on riknenud.

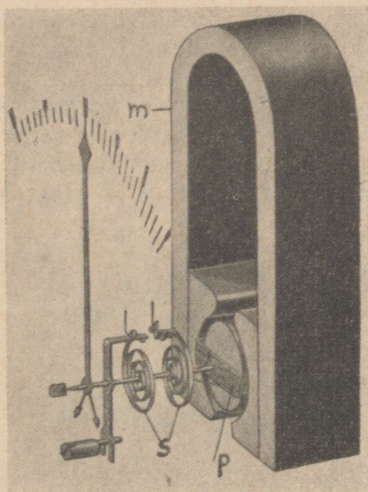
Mootor on liigselt koormatud.

Halb ühendus harjade ja kommutaatori vahel.

Käivitusreostaat on riknenud või valesti lülitatud vooluahelasse.

81. Pöördkatsa ampermeeter ja voltmeeter.

Samale nähtele nagu alalisvoolu mootorid on rajatud ka pöördkatsa*) voltmeetri ja ampermeetri tööviis (joonis 83). Tugeva terasmagneti pooluste vahele on ase-



Joon. 83.

tatud raudsilinder. Pooluste ja silindri vahelisesse õhupilusse on paigutatud liikuvalt vasest või alumiiniumist raam, millel on isoleeritud traadist mähis p. Raamj hoiavad paigal spiraalvedrud S, mida kasutatakse ühtlasi voolu juhtimiseks mähisesse.

*) Katsa = mähis.

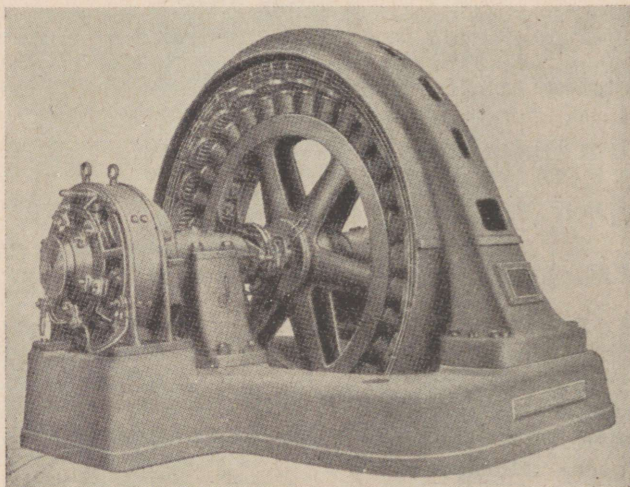
Voolu läbimisel mähisest pöörduv raam ja ühtlasi ka selle võllile kinnitatud osuti seda enam, mida suurem on voolutugevus. Voolu katkestamisel pööravad vedrud raami endisesse asendisse tagasi.

XIII. Vahelduvvoolu allikad.

82. Vahelduvvoolu generaator.

Vahelduvvoolu tekitamise viis on selgitatud juba eespool (joonis 63). Samuti nagu alalisvoolu generaatoris, nii tekitatakse ka vahelduvvoolu generaatoris vajalik magnetiväli elektromagnetite abil, millede toitmiseks võib kasutada mistahes alalisvoolu allikat. Masinas indutseeritud vool juhitakse kontaktrõngaste ja harjade kaudu välisjuhtmetesse. Generaatoris indutseeritud elektromotoorse jõu suurus oleneb ka siin magnetipooluste tugevusest, mähise keerdude arvust ja tiirlemise kiirusest.

Suurema pinge korral on voolu võtmine harjade ja tiirlevate kontaktrõngaste vahel tekkivate sädemete tõttu raskendatud. Sellepärast on tavaliselt vahelduvvoolu generaatorite indutseeriv mähis asetatud masina paigalseisvasse



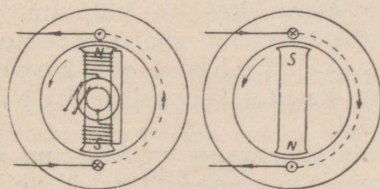
Joon. 84.

ossa — staatorisse, kuna magnetipoolused moodustavad tiirleva osa — r o o t o r i. Magnetimähiste toitmiseks vajalik alalisvool, mille tugevus on võrdlemisi väike, juhitakse mähisesse võllile asetatud kahe kontaktrõnga ja harjade kaudu. Säärase ehitusviisi juures saab välisvooluahela juhtmed otseselt ühendada paigalseisva indutseeriva mähisega.

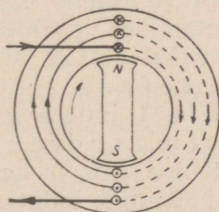
Tegelikkuses kasutatavaid vahelduvvoolu generaatoreid täiendatakse veel sellega, et ühendatakse generaatori võlliga väike alalisvoolu generaator. Selle ülesandeks on vahelduvvoolu generaatori ergutamismähise jaoks vajaliku alalisvoolu tootmine. Joonisel 84 on näidatud vahelduvvoolu generaatori üldvaade.

83. Vahelduvvoolu generaatori indutseeriv mähis.

Traadikeeru paigutus staatorisse on näidatud joonisel 85, kusjuures täppjoonega on märgitud staatori uuretesse paigutatud juhtmete ühendus staatori vastasküljel. Rootori tiirlemisel indutseerub traadikeerus muutuva suu-



Joon. 85.

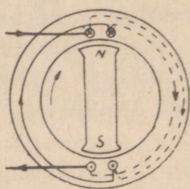


Joon. 86.

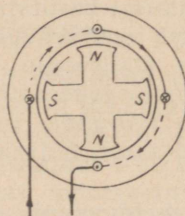
ruse ja suunaga elektromotoorne jõud. Klemmipinget suurendamiseks asetatakse staatori uuretesse mitte üks juhe, vaid paljudest keerdudest koosnev mähis, kusjuures kõikides keerdudes indutseeritud elektromotoorsed jõud liituvad (joonis 86).

Staatori sisepinna paremaks ära kasutamiseks asetatakse mähis iga magnetipooluse kohale mitmesse uurdesse. Joonisel 87 on näidatud kaks uuret iga pooluse kohal, kuid neid on sageli veelgi rohkem. Ka siin kasutatakse igas uurde paaris ühe keeru asemel paljudest keerdudest koosnevat mähist.

Eespool selgus, et teatava sagedusega vahelduvvoolu saavutamiseks on vajalik seda väiksem tiirude arv, mida suurem on magnetisüsteemi pooluse paaride arv. Joonisel 88 on näidatud nelja poolusega generaatori mähise skeem, kusjuures iga pooluse kohta on lihtsuse pärast võetud ainult üks uure. Tegelikult on uurete arv pooluse kohta alati suurem.



Joon. 87.

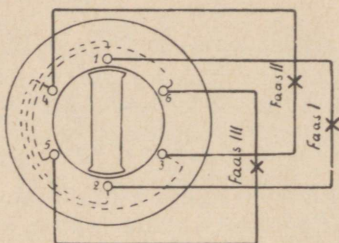


Joon. 88.

84. Keerdvoolu generaator.

Elektri kasutus-ulatuse laienemisel selgus, et vahelduvvoolu juhtimine kauge maa taha ja samuti ka voolu kasutamine vahelduvvoolu mootorites on hõlpsam, kui omavahel siduda kolm vahelduvvoolu ahelat. Seesuguse kolmefaasilise vahelduvvoolu ehk keerdvoolu*) indutseerimiseks kasutatakse erilisi keerdvoolu generaatoreid.

Kõige lihtsam keerdvoolu generaator on näidatud joonisel 89, mille indutseeriv mähis koosneb kolmest üksteisest isoleeritud traadikeerust. Ühe keeru juhtmed 1 ja 2 moo-

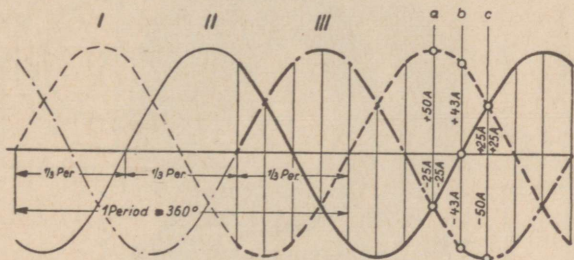


Joon. 89.

*) Keerdvoolu nimetus on tekkinud sellest, et see vool tekitab keerleva magnetivälja, nagu tagapool selgub.

dustavad ühe faasi, teise keeru juhtmed 3 ja 4 moodustavad teise faasi ning kolmanda keeru juhtmed 5 ja 6 moodustavad kolmanda faasi, kusjuures iga faasi algus (juhtmed 1, 3 ja 5) on staatori sisepinnal nihutatud üksteise suhtes 120° võrra edasi. Rootori elektromagnetid saavad ergutusvoolu tavalisel viisil — harjade ja kontaktrõngaste kaudu.

Rootori tiirlemisel indutseerub igas keerus ehk faasis sama sagedusega vahelduvvool. Käesoleval juhul vastab 1 tiirule 1 periood. Pinge ja voolutugevus ei saavuta oma tippsuursi igas faasis üheaegselt, vaid see toimub igas



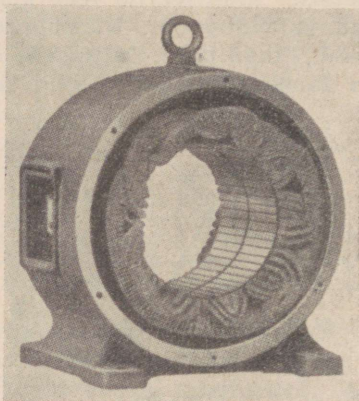
Joon. 90.

faasis erinevatel ajamomentidel, ja nimelt siis, kui magnetipoolused asuvad vastavate faaside juhtmete kohal. Jooniselt nähtub, et igas faasis saavutab indutseeritud elektromotoorne jõud sama suuruse $\frac{1}{3}$ tiiru järel ehk täpsemalt $\frac{1}{3}$ perioodi järel, sest $\frac{1}{3}$ tiirule vastab käesoleval juhul ka $\frac{1}{3}$ perioodi.

Igas üksikus faasis muutub indutseeritud elektromotoorne jõud ja iga faasi klemmipinge ning voolutugevus tuntud kõverjoone järgi (joonis 64). Kui kõik faasid on ühesuguste elektriliste omadustega, indutseeruvad kõikides faasides täiesti ühesugused vahelduvvoolud. Need erinevad üksteisest ainult sellega, et üksteisele järgnevatel faasides saavutab indutseeritud elektromotoorne jõud teatava suuruse $\frac{1}{3}$ perioodi võrra hiljem kui eelmises faasis. Kolmefaasilise vahelduvvoolu pinge (ja ühtlasi ka voolutugevuse) muutumine on näidatud joonisel 90, mis on koostatud vastavalt eelmisele arutelule.

Staatori sisepinna parema ära kasutamise ja suurema pinge saavutamise mõttes asendatakse iga faasi traadikeerd

paljudest keerdudest koosneva mähisega ja asetatakse see mitmesse kõrvuti asetsevasse staatori uurdesse. Samuti nagu ühefaasilist generaatorit, nii võib ka keerdvoolu generaatoreid ehitada suurema pooluste arvuga, et vähendada teatava sagedusega voolu tekitamiseks vajalikku tiirude arvu. Joonisel 91 on näidatud ühe keerdvoolu generaatori staatori üldvaade.



Joon. 91.

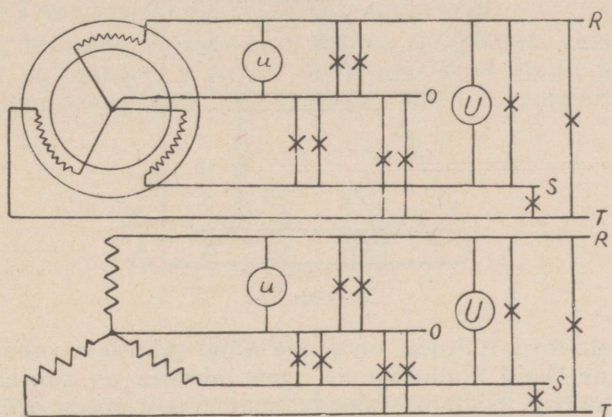
85. Kolmefaasilise voolu lülitusviisid.

Esiialgu näib, et kolmefaasilisel voolul pole mingeid paremusi ühefaasilise vooluga võrreldes, sest voolu ülekandmiseks on vajalik kuus juhet, s. t. niisama palju juhtmeid kui kolme ühefaasilise voolu korral.

Kui vaadelda lähemalt kolmefaasilise voolu voolutugevuse kõverikke (joonis 90), siis selgub, et näiteks momendil a on vool faasis I $+50$ A, faasis II aga -25 A (miinusmärk tähendab, et vool on vastasuunaline) ja faasis III samuti -25 A. Voolu summa kõikides faasides kokku on aga null (võttes arvesse ka voolu suunda). Samale tulemusele jõuame, kui vaadelda voolu suunda ja voolutugevust üksikutes faasides ajamomentidel b ja c. Samuti leiame mistahes ajamomendi kohta, et voolutugevuste summa kõikides faasides kokku on null.

See asjaolu võimaldab kuue juhtme asemel toime tulla vähema arvu juhtmetega.

Tähtlülitus. Selleks asendatakse kõigi kolme mähise lõppudega ühendatud juhtmed ühise juhtmega (joonis 92). Kui kõik faasid on ühtlaselt koormatud, siis voolutugevus selles juhtmes on alati null. Sellepärast nimetatakse seda juhet nulljuhtmeks. Faaside ühtlasel koormusel (näiteks igas faasis on ühepalju ühesuuruseid üheaegselt põlevaid hõõglampe) võib nulljuhtme hoopis ära jätta ja seega jääb kolmefaasilise voolu korral ainult kolm juhet.



Joon. 92.

Kirjeldatud lülitusviisi nimetatakse tähtlülituseks. Tavaliselt kasutatakse tähtlülituse korral ka nulljuhet. Joonistel ja skeemidel märgitakse juhtmed järgmiselt: faasijuhtmed — R, S ja T; nulljuhe — O.

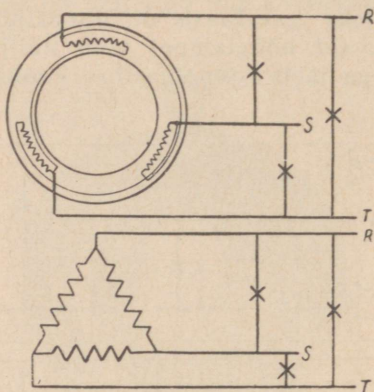
Tähtlülituse korral on pinge kahe faasi juhtme vahel alati kõrgem kui faasi ja nulljuhtme vahel. Kui tähistada pinge faasi juhtmete vahel tähega U ja pinge faasi ja nulljuhtme vahel tähega u, siis on:

$$U = 1,73 u \quad \text{ja} \quad u = \frac{U}{1,73}$$

Tavaliselt kasutatav tähtlülituse pinge on 220/380 V. Need arvud tähendavad seda, et pinge faasi juhtmete vahel on 380 V, pinge faasi ja nulljuhtme vahel aga 220 V.

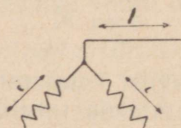
Kolmnurklülitus. Kui ühendame generaatori ühe faasi alguse teise faasi lõpuga, teise faasi alguse kol-

manda faasi lõpuga ja kolmanda faasi alguse esimese faasi lõpuga, saame joonisel 93 näidatud lülituse, mida nimetatakse kolmnurk-lülituseks. Kolmnurk-lülituse korral jääb kuue juhtme asemel järele alati ainult kolm juhet.



Joon. 93.

Kolmnurk-lülitusel on pinge kõigi juhtmete vahel ühesuurune, kuid voolutugevus igas juhtmes on suurem kui generaatori üksikute faaside mähistes (joonis 94). Kui



Joon. 94.

tähistame voolutugevuse juhtmes tähega J ja voolutugevuse faasi mähises tähega i , siis on

$$J = 1,73 i \quad \text{ja} \quad i = \frac{J}{1,73}$$

86. Elektroinduktsioon.

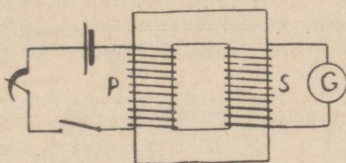
Vahelduvvoolu generaatoreid ehitatakse pingetele kuni mõni tuhat volti. Suurema pinge saavutamiseks kasutatakse erilisi aparate — transformatoreid. Transformaatori abil suurendatakse vahelduvvoolu pinget paarisaja

tuhande voldini. Transformaator võimaldab ka vastupidiselt kõrgepingelist vahelduvvoolu ümber muuta madalpingeliseks vooluks.

Transformaatori tööviis on rajatud elektroinduktsioonile, millist nähet selgitavad järgmised katsed.

Raudsüdamikule (joon. 95) on asetatud kaks mähist, mis on elektriliselt teineteisest täiesti isoleeritud. Mähise P ahelasse on lülitatud alalisvoolu allikas, reostaat ja lüliti; mähise S ahelasse on lülitatud galvanomeeter.

Kui lülitame mähisesse P voolu, siis näitab galvanomeeter ka mähises S voolu olemasolu, kuid ainult üheks silmapilguks. Läbib vool kestvalt mähist P, mingit voolu



Joon. 95.

mähises S ei teki. Kui aga mähise P vooluahela katkestame, näitab galvanomeeter mähises S uuesti voolu tekkimist üheks hetkeks, kuid vastupidises suunas eelmisele voolule. Seega: mähises S indutseerub elektromotoorne jõud mähisesse P voolu sisse- ja väljalülamise momentidel.

Kui lülida voolu mähisesse P ja muuta selle ahela takistust reostaadi abil, selgub, et voolutugevuse suurendamise või vähendamise momendil mähises P tekib ka mähises S vool. Seega: voolutugevuse muutumisel mähises P indutseerub mähises S elektromotoorne jõud.

Elektroinduktsiooni nähted on seletatavad voolu magnetilise toimega. Voolu sisselülamise momendil mähisesse P tekivad raudsüdamikus jõujooned, mis tekkimise momendil lõikavad läbi mähise S keerud, ja seega indutseerub selles elektromotoorne jõud. Kui voolutugevus ei muutu, ei muutu ka jõujoonte arv ega nende asukoht ja seega püsiva voolutugevuse korral mähises S elektromotoorset

jõudu ei indutseeru. Mähises P voolu katkestamisel kaovad jõujooned ja seejuures lõikuvad mähise S keerdudega vastupidises suunas; seega indutseerub mähises S jällegi elektromotoorne jõud.

Samal põhjusel indutseerub mähises S elektromotoorne jõud voolutugevuse muutumisel mähises P.

87. Transformaator.

Kui ühendada mähis P (joon. 95) vahelduvvoolu allikaga, siis muutub selles mähises pidevalt voolutugevus ja iga poole perioodi järele ka voolu suund. Sellega ühtlasi muutub ka voolu toimel tekkinud jõujoonte arv ja nende suund. Kuna mähis S asetseb muutuva tugevusega ja suunaga magnetiväljas, indutseerub selles mähises vahelduvvool, mille sagedus on võrdne mähisest P läbilastava voolu sagedusega.

Mähist P, millesse juhitakse vool, nimetatakse primaarmähiseks; mähist S, milles indutseerub vool, nimetatakse sekundaarmähiseks. Sekundaarmähise klemmipinge oleneb primaarmähise pingest ja mähiste keerdude arvu suhtest. Primaar- ja sekundaarpingete suhe võrdub primaar- ja sekundaarmähiste keerdude arvu suhtega:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2},$$

kus U_1 — primaarpinge; U_2 — sekundaarpinge; n_1 — primaarmähise keerdude arv ja n_2 — sekundaarmähise keerdude arv.

Eelöeldust järgneb, et sekundaarpinge on primaarpingest nii mitu korda suurem (või väiksem), mitu korda on sekundaarmähisel keerdusid rohkem (või vähem) kui primaarmähisel. Säärast elektrivoolu magnetilisel toimel põhjenevat vahelduvvoolu pinge muutmise aparati nimetatakse transformaatoriks. Kuna transformaatoris uut elektrienergiat juurde ei teki, ei saa sekundaarvõimsus kunagi suurem olla kui primaarvõimsus. Seega voolu pinge suurenemisel väheneb vastavalt voolutugevus ja ümberpöördukt.

Näide.

22. Primaarmähise keerdude arv on 100, sekundaarmähisel 236. Arvutada sekundaarpinge, kui primaarpinge on 220 V.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

$$\frac{220}{U_2} = \frac{100}{236}$$

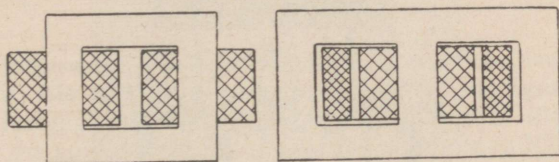
$$U_2 = \frac{220 \cdot 236}{100} = 520 \text{ V.}$$

Ülesanne.

38. Primaarmähise pinge on 6000 V, sekundaarpinge peab olema 220 V. Arvutada transformaatori mähiste keerdude arvu suhe.

88. Transformaatori ehitus.

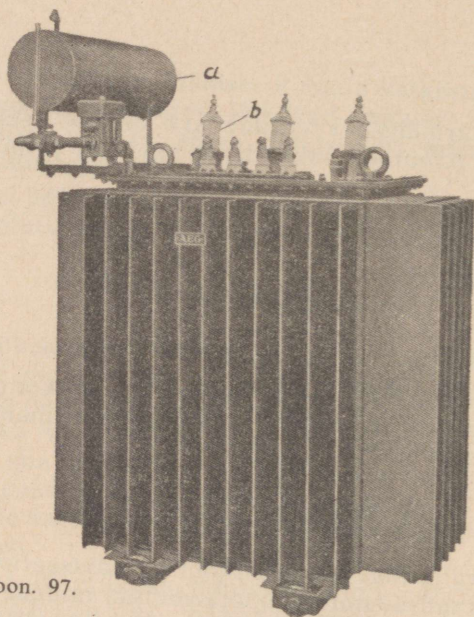
Magnetivälja tugevuse muutumisel indutseeruvad transformaatori raudsüdamikus pöörisvoolud, millede tekitamiseks kulub osa primaarvõimsusest. Pöörisvooludest tingitud kadude vähenemiseks koostatakse transformaatorite raudsüdamikud õhukestest üksteisest isoleeritud raudplekkidest.



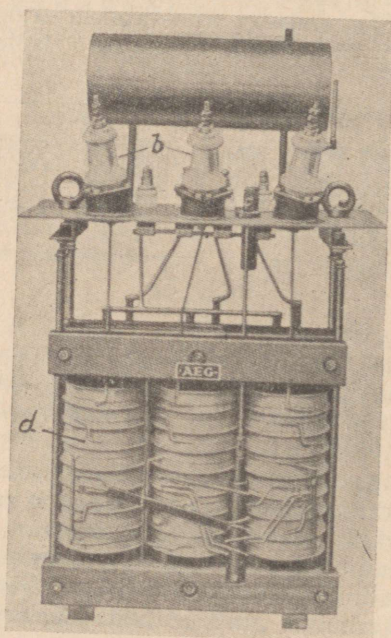
Joon. 96.

Ühefaasilise vahelduvvoolu transformaatorid jagunevad ehitusviisilt kahte rühma: mõlemad mähised paigutatakse eraldi südamikule või asetatakse ühele raudsüdamikule (joon. 96).

Keerdvoolu pinge transformeerimiseks kasutatakse erilisi kolme raudsüdamikuga transformaatoreid, kusjuures ühele südamikule asetatakse üks primaar- ja üks sekundaarmähis. Suurema võimsuse korral paigutatakse transformaatori mähised raudkasti õli sisse. Õli ülesandeks on mähiste isoleerimine ning mähiste ja raudsüdamikude



Joon. 97.



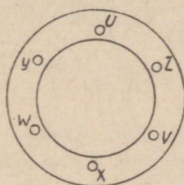
Joon. 98.

jahutamine, kuna need soojenevad transformaatoris esinevate kadude arvel (voolu soojus, pöörivoolud, ümbermagnetiseerimine jne.). Joonisel 97 on näidatud õlijahutusega transformaatori üldvaade ja joonisel 98 õlikastist väljavõetud transformaator.

XIV. Vahelduvvoolu mootorid.

89. Keerlev magnetiväli.

Asetame raudsilindri sisepinnale kolmefaasilise mähise, nagu see näidatud joonisel 99, kusjuures U, V, W tähendavad mähiste algusi ning x, y ja z tähendavad mähiste lõppusid. Mähised võib omavahel ühendada täht- või kolmnurklülituses.



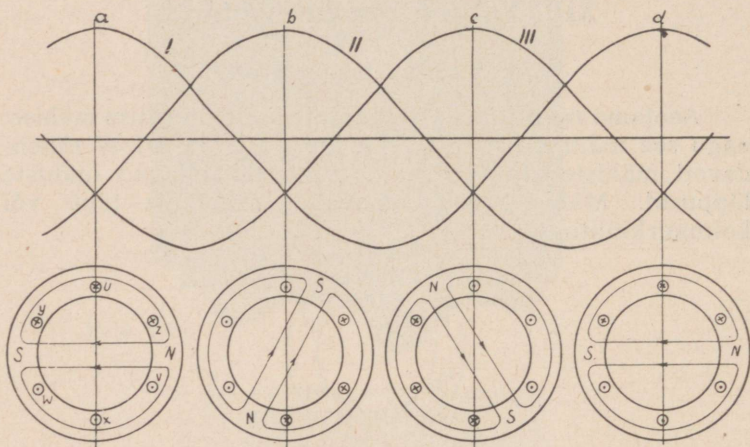
Joon. 99.

Kui juhime sellest mähisest läbi kolmefaasilise vahelduvvoolu, siis evib voolutugevus kordamööda igas faasis kõige suuremat väärtust, kusjuures samal ajal ülejäänud faasides on vool vastupidi suunatud. Ajamomendile a vastavad voolu suunad on näidatud joonisel 100, kusjuures kolmes ülemises juhtmes on vool ühesuunaline; samuti on ka vool ühesuunaline kolmes alumises juhtmes. Voolu toimel tekivad juhtmete ümber jõujooned. Kuna kolmes ülemises kõrvuti asetsevas juhtmes (Y, U, Z) on vool ühesuunaline, siis liituvad nende ümber tekkinud jõujooned. Samuti liituvad ka kolme alumise juhtme (W, X, V) ümber tekkinud jõujooned. Nii tekib silindris magnetiväli, mille poolused on tähtedega N ja S märgitud kohtades.

Ajamomendil b on voolu suund juhtmetes W—Z endine, kuid juhtmetes U—X ja V—Y vastupidine ajamomendi a voolusuundadele. Nüüd tekib samuti kaks poolust, kuid need on nihkunud edasi.

Ajamomendil c on voolusuund juhtmetes U—X sama nagu ajamomendil b, kuid juhtmetes V—Y ja W—Z vastupidine voolu suunale momendil b. Nüüd tekkinud magnetivälja poolused on veelgi edasi nihkunud samas suunas.

Ajamomendil d on olukord samane nagu momendil a ning poolused on jõudnud samadesse kohtadesse.



Joon. 100.

Kirjeldusest selgub, et kolmefaasilise voolu toimel tekib keerlev magnetiväli, kusjuures antud juhul teeb magnetiväli 1 perioodi jooksul 1 tiiru. Kui voolu sagedus on 50 per/sek., teeb magnetiväli sekundis 50 tiiru ja minutis 3000 tiiru.

Kui asetame silindrile samasuguse mähise, nagu kasutatud nelja poolusega keerdvoolu generaatori staatoris (joon. 88), tekib voolu läbilaskmisel mähisest neli poolust, kuid magnetivälja tiirlemise kiirus väheneb kaks korda. Tiirleva magnetivälja tiirude arv minutis on määratud tuntud valemiga

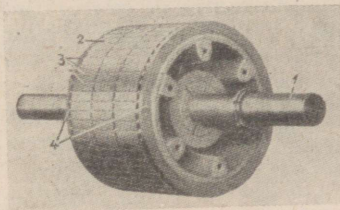
$$n = \frac{60 f}{p}$$

Seega ei saa magnetivälja tiirlemise kiirust vabalt valida, vaid see on määratud voolu sagedusega ja tekkivate poolusepaaride arvu järgi.

90. Lühiühendusrootoriga keerdvoolu mootor.

Keerdvoolu mootori staator on samasuguse ehitusviisiga nagu keerdvoolu generaatori staator (joon. 91).

Mootori tiirlev osa — rootor — on koostatud samuti nagu dünamo ankurgi õhukestest plekkidest, mille uuretesse asetatud vaskvardad on rootori otsapindadel omavahel ühendatud vaskrõngaga (joon. 101). Joonisel on märgitud: 1 — võll, 2 — rootori raudkeha, 3 — vasest vardad, 4 — ühendusrõngad.



Joon. 101.

Mootori toitevool juhitakse ainult staatorisse. Voolu läbimisel staatori mähisest tekib keerlev magnetiväli, mille jõujooned lõikuvad rootori juhtmetega. Selle tõttu indutseerub rootoris vool ning rootor hakkab magnetiväljas tiirlema.

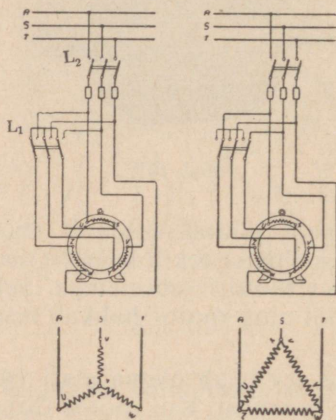
Rootori tiirude arv peab olema alati väiksem keerleva magnetivälja tiirude arvust. Kui rootor tiirleks niisama kiirelt kui magnetiväli, siis keerleva magnetivälja jõujooned rootori juhtmetega ei lõikuks ja neis voolu ei indutseeruks ning rootor jääks seisma. Rootori tiirlemise aeglustumisel lõikub aga rootori juhtmetega ühe ajaühiku vältel rohkem jõujooni, rootoris indutseerub tugevam vool, mille tõttu rootori tiirlemise kiirus suureneb jne. Keerleva magnetivälja ja rootori tiirude arvu vahet nimetatakse libisemiseks. Libisemine on seda suurem, mida suurem on mootori koormus. Mootori täiskoormusel on libisemine 3—5% magnetivälja tiirude arvust.

Kirjeldatud mootori rootor ei tiirle magnetiväljaga ühtlase kiirusega või, nagu öeldakse, ei tiirle sünkroonselt. Sellepärast nimetatakse sääraseid mootoreid ka asünkroonmootoriteks. Et kirjeldatud mootori roo-

tori juhtmed on omavahel ühendatud, sellepärast nimetakse seesuguseid mootoreid lühikäivrootoriga mootoriteks. Lühikäivrootoriga keerdvoolu mootor on tänapäeva kõige lihtsam ja odavam ning väga vähest hooldamist nõudev jõumasin ja selle tõttu rohkesti kasutatav.

91. Lühikäivrootoriga mootori käivitamine.

Voolu lülitamismomendil staatorisse püsib rootor paigal ja seega on magnetivälja ja rootori juhtmete suhteline liikumise kiirus kõige suurem. Seetõttu indutseerub rootoris



Joon. 102.

võrdlemisi suure elektromotoorse jõu tõttu suure tugevusega vool. Rootori tiirlemise kiiruse suurenemisega väheneb keerleva magnetivälja ja rootori juhtmete liikumise suhteline kiirus ning rootoris indutseeruv elektromotoorne jõud ja voolutugevus väheneb normaalse suuruseni.

Rootori voolu põhjuseks on staatorist läbijuhitud vool. Kui rootori voolutugevus on suur, läbib ka staatorit suure tugevusega vool. Seega võtab ka keerdvoolu mootor käivitusmomendil elektrivõrgust mootori nimesvoolutugevusest mitu korda tugevamat voolu, mis aga mitmel põhjusel soovitatav ei ole. Sellepärast saab lihtsalt voolu

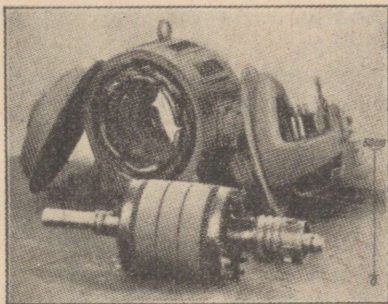
sisselülitamisega staatori mähisesse käivitada ainult väikese võimsusega mootoreid.

Lühiühendusrootoriga mootorite käivitamiseks on väga laialdaselt kasutatav tähtkolmnurk-lüliti. Selle viisi juures asetatakse käivitamiseks lüliti L_1 joonisel 102 — vasakul näidatud asendisse, kusjuures staatori mähis on lülitatud tähtlülitusse ning lülitatakse vool staatorisse lüliti L_2 abil. Nüüd on pinge staatori iga faasi mähise klemmidel 1,73 korda väiksem kui pinge juhtmete vahel ja käivitusvoolu tugevus on vastav sellele pingele. Kui sellises lülituses on mootor saavutanud täie tiirude arvu, lülitatakse lüliti L_1 joonisel 102 — paremal näidatud asendisse, kusjuures staatori faasimähised lülituvad kolmnurklülitusse, ja nüüd mõjub iga faasi mähise klemmidel toitejuhtmete-vaheline pinge. Kirjeldusest selgub, et tähtkolmnurk-lüliti abil vähendatakse käivitusajaks pinget 1,73 korda. See käivitusviis võimaldab mootorit käivitada ainult tühijooksul või vähese koormatusega.

92. Kontaktrõngastega mootor.

Mootori käivitusvoolu tugevust saab muuta ka sel teel, kui käivitusajaks suurendada rootori takistust. Seks otsarabeks ühendatakse rootori mähise otsad kontaktrõngastega, millel libisevate harjade kaudu juhitakse rootori vool mootori kõrvale paigutatud reostaati.

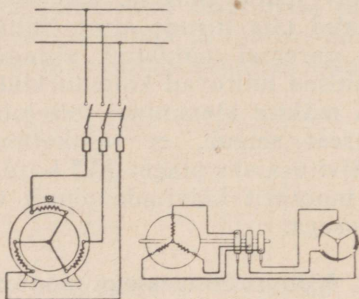
Kontaktrõngastega mootori (joon. 103) staator on täpselt samasuguse ehitusviisiga nagu lühiühendusrootoriga mootori staator. Rootorile on aga paigu-



Joon. 103.

tatud staatori mähisega sarnanev mähis, mille üksikute faaside algused on omavahel ühendatud, lõpud aga on ühendatud mootori võllile asetatud kontaktrõngastega.

Mootori käivitamisel lülitatakse rootori vooluahelasse reostaat ning seejärel lülitakse vool staatori mähisesse (joon. 104). Nüüd läbib rootorit ka selle paigalseismisel väikese tugevusega vool. Rootori tiirude arvu suurenemisel lülitakse reostaat järk-järgult rootori ahelast välja. Mõned mootori-tüübid on varustatud veel harjade ülestõstmise



Joon. 104.

seadeldisega, kusjuures harjade ülestõstmisel ühenduvad kõik kontaktrõngad omavahel ja mootor töötab pärast käivitamist lühiühendusrootoriga mootorina.

Kontaktrõngastega mootor käivitub ka koormatult.

93. Asünkroonmootori tiirude reguleerimine.

Asünkroonmootori tiirude reguleerimine toimub rootori takistuse muutmise — mida suurem on rootori vooluahela takistus, seda väiksem on ka tiirude arv. Sellepärast saab tiirude reguleerimiseks sellel viisil kasutada ainult kontaktrõngastega mootorit.

Kuna mootori tiirude arv oleneb staatoris tekkivate poolusepaaride arvust, ehitatakse tiirude muutmise otsarbel ka erilisi mootoreid, millede staatori mähis on valmistatud sääraselt, et vastava lüliti abil on võimalik staatori mähise üksikuid osi omavahel ühendada nii, et tekib rohkem või vähem poolusepaare. Mootori tiirude arv oleb sel juhul staatori mähise lülitusest.

94. Asünkroonmootori tiirlemise suuna muutmine.

Asünkroonmootori tiirlemise suuna muutmiseks tuleb muuta keerleva magnetivälja tiirlemise suunda. See toimub lihtsalt sel teel, kui vahetada omavahel ükskõik millised kaks staatori ühendusjuhet.

95. Universaalmootorid.

Teatud juhtudel on soovitatav, et ühte ja sama mootorit saaks kasutada nii alalis- kui ka vahelduvvoolu korral (näiteks käsi-tööriistmasinate mootorid, majapidamismasinate mootorid jne.). Seks otstarbeks on kõlblikud nn. **u n i v e r s a a l m o o t o r i d**, mis ehitus- ja tööviisilt sarnanevad alalisvoolu peavoolu mootoriga. Voolu läbilaskmisel säärasest mootorist hakkab ankur ka vahelduvvoolu korral tiirlema, sest magnetipooluste mähistes ja ankrus muudab vool üheaegselt oma suunda.

96. Keerdvoolu mootorite hooldamine.

Keerdvoolu mootorite kohta on maksvad eespool (§ 79) toodud juhised alalisvoolu mootorite üldise korrashoiu ning laagrite ja harjade hooldamise kohta.

K o n t a k t r õ n g a i d ja harjahoidjaid ning nende vahesid tuleb puhastada vähemalt kord nädalas neile kogunevast harjade kulumis-tolmust, et kontaktrõngaste ja harjahoidjate vahele ei tekiks voolujuhtivat ühendust. Kontaktrõngaste kriimustused ja ärapõlenud kohad lihvitakse samuti smirgelpaberiga; suuremate konaruste korral treitakse kontaktrõngastelt õhukene laast maha.

97. Keerdvoolu mootorite rikkeid.

a) Mootor ei käivitu. Võimalikke põhjusi:

Üks staatori faasidest on vooluta.

Staatori mähiste keerud on omavahel ühenduses.

Staatori mähiste otsad on vales lülituses.

Mootor on liigselt koormatud.

Rootori vooluahel on katkenud.

Laagrid on kulunud.

b) Staatori mähis kuumeneb liigselt. Võimalikke põhjusi:

Staatori mähise keerud on omavahel ühenduses.

Staatori mähiste otsad on valesti lülitatud.

Mootor on ülekoormatud.

Laagrid on kulunud.

c) Rootori mähis kuumeneb liigselt. Võimalikke põhjusi:

Mootor on ülekoormatud.

Rootori mähis on riknenud.

Laagrid on kulunud.

d) Mootor tiirleb aeglaselt. Võimalikke põhjusi:

Mootor on ülekoormatud.

Staatori vooluahelas üks faas on jäänud vooluta.

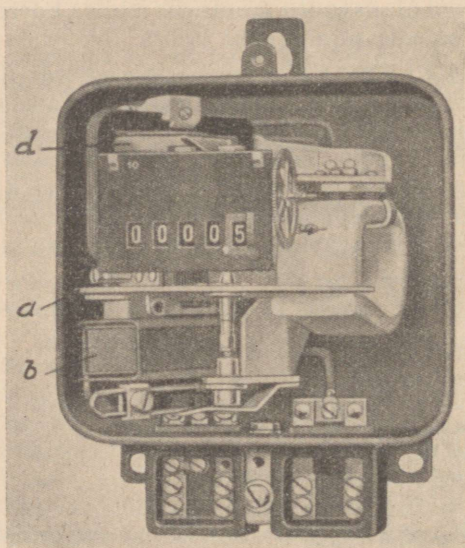
Staatori mähised on valesti lülitatud.

Rootori vooluahelas on halb kontakt.

98. Voolulugeja.

Teatava aja jooksul tarvitatud elektrienergia hulga mõõtmiseks kasutatakse voolulugejaid, mis registreerivad tarvitatud kilovatttundide arvu; harvemini kasutatakse ampertunni lugejaid.

Voolulugeja on väike elektrimootor, millest läheb läbi tarvitatav elektrivool. Vahelduvvoolu korral kasutatakse n.n. induktsoonlugejaid. Joonisel 105 on näidatud ühefaasiline induktsoonlugeja ilma katteta. Lugeja koos-



Joon. 105.

neb kahest raudsüdamikkudele asetatud mähisest b ja d, milledest üks — vähese keerdude arvuga mähis — on lülitatud vooluahelasse järjestikku, kuna teine — paljude keerdudega mähis — on lülitatud vooluahelasse paralleelselt. Mõlema mähise raudsüdamikkude vahel asetseb täpsetel laagritel pöörlev alumiiniumist ketas a.

Voolu läbimisel lugejast tekitavad mõlemad mähised oma magnetivälja, millede toimel indutseeruvad kettas pöörivoolud ja ketas hakkab tiirlema seda kiiremini, mida suurem on voolu võimsus. Ketta tiirud loetakse ära mehaanilisel teel ketta võllile asetatud tigu ja hammasrataste süsteemi abil, kusjuures ühele kilovatttunnile vastab teatud tiirude arv (näiteks 3200 tiiru), mis on märgitud ka lugeja sildile. Mehaaniline tiirude lugemisseade on nii konstrueeritud, et lugeja akna kohal on alati näha lugejast senini läbiläinud kilovatt-tundide arv. Teatavas ajavahemikus tarvitatud kilovatt-tundide arv leidub lugeja seisu järgi selle ajavahemiku algul ja lõpul.

XV. Vahelduvvoolu takistus ja võimsus.

99. Vahelduvvoolu takistus.

Laseme läbi pooli alalisvoolu ja mõõdame voolutugevuse. Kui nüüd asendame alalisvoolu allika sama pingega vahelduvvoolu allikaga, peaks voolutugevus olema endine, sest pinge ja vooluahela takistus ei muutunud. Katse aga näitab, et nüüd on voolutugevus väiksem. Kui asetame pooli sisse raudsüdamiku, väheneb voolutugevus veelgi.

Kui aga sama pooli lahti harutame ja asetame juhtme sircelt, selgub katsest, et voolutugevus on võrdne nii alalis- kui ka vahelduvvoolu korral.

Neist katsetest järgneb, et pool avaldab vahelduvvoolule suuremat takistust kui alalisvoolule. Selle põhjuseks on o m a i n d u k t s i o o n.

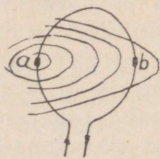
100. Omainduktsioon.

Kui juhime rõngakujulisest juhtmest läbi alalisvoolu, siis tekivad juhtme ümber ringikujulised jõujooned. Kui vaadelda juhtme punkti a (joon. 106), siis tekivad selle punkti ümber voolu sisselülilmismomendil jõujooned, mis lõikuvad sama juhtmega punktis b ja seega indutseerivad

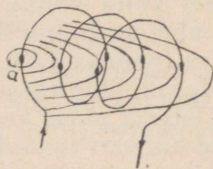
selles juhtme osas elektromotoorse jõu, mille suund on vastupidine juhete läbistava voolu suunale.

Vooluahela katkestamisel tõmbuvad juhtme osa a ümber olevad jõujooned kokku ja lõikuvad juhtmega uuesti punktis b ja seega indutseerivad juhtme selles osas elektromotoorse jõu, mille suund on ühine suunaga, milles vool läbistas juhete.

Säärast voolujuhtme enda magnetivälja toimetel samas juhtmes indutseerunud elektrivoolu nim. o m a i n d u k t s i o o n i v o o l u k s.



Joon. 106.



Joon. 107.

Alalisvoolu korral mõjub omainduktsioon ainult voolu sisse- ja väljalülitsemismomentidel, sest ainult siis muutub juhtme magnetiväli. Samuti mõjub omainduktsioon ka voolutugevuse muutumisel. Omainduktsioonivoolud on alati suunatud nii, et nad püüavad takistada voolutugevuse muutumist.

Kui laseme joonisel 106 näidatud juhtme läbi vahelduvvoolu, siis tekib kestva muutuva suunaga omainduktsioonivool, mis püüab vähendada juhtme läbi juhitava voolu tugevust ehk, teiste sõnadega, suurendab näilikut juhtme takistust vahelduvvoolule.

Omainduktsioonivoolu tugevus oleneb kolmest tegurist:

1) P o o l i k e e r d u d e a r v u s t. Jooniselt 107 selgub, et omainduktsioonivool on seda tugevam, mida rohkem on poolil keerdusid, sest juhtme punkti a ümber tekkinud jõujooned lõikuvad juhtmega seda enam kordi, mida suurem on pooli keerdude arv.

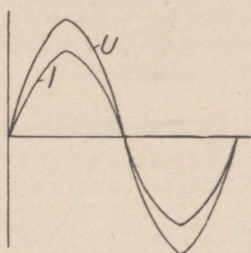
2) J õ u j o o n t e t e e k o n n a m a g n e t i l i s e s t t a k i s t u s e s t. Kui asetame pooli sisse raudsüdame, siis käib sellega kaasas magnetivälja tugevuse suurenemine. Jõujoonte arvu suurenemisega käib kaasas suurem omainduktsiooni elektromotoorne jõud ja seega ka tugevam omainduktsioonivool.

3) **Voolu sagedusest.** Mida suurem on voolu sagedus, seda enam kordi muutub voolu suund ühes ajaühikus. Selle otseseks tagajärjeks on omainduktsiooni suurenemine.

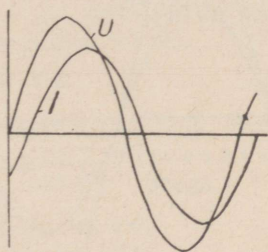
Küllalt suure keerdude arvu juures võib raudsüdami- kuga mähiste omainduktsioon isegi nii suureks tõusta, et nad moodustavad vahelduvvoolule väga suure takistuse.

101. Vahelduvvoolu võimsus.

Neis vahelduvvoolu ahelasse lülitatud aparaatides, mil- ledes omainduktsioon ei esine või on tähtsusetult väike, nagu hõõglambid, kütteelemendid jne., muutuvad voolu-



Joon. 108.



Joon. 109.

tugevus ja pinge faasis, s. t. voolutugevus ja pinge saavu- tavad üheaegselt oma kõige suuremad ja null-väärtused (joon. 108). Voolu võimsus leidub sel korral sama valemiga, nagu alalisvoolu juures:

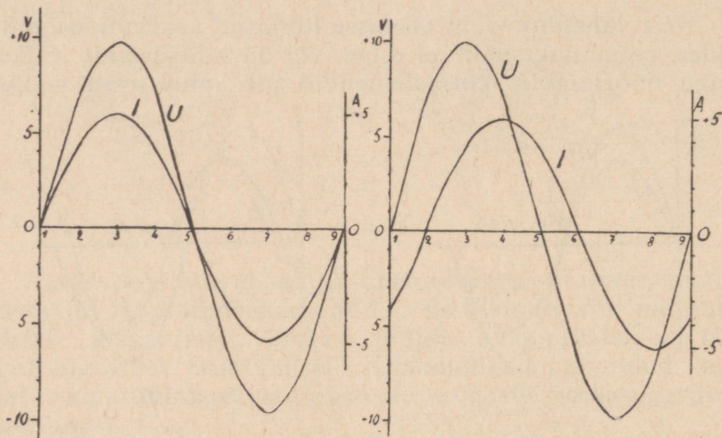
$$N = U \cdot J$$

kus U ja J tähendavad mõõduriistadega mõõdetud voolu- tugevuse ja pinge efektiivseid väärtusi.

Kui aga vahelduvvoolu ahelasse on lülitatud induktiiv- sed takistused (raudsüdamikuga mähised), nagu mootorid jne., ei muutu pinge ja voolutugevus enam faasis. Kuna omainduktsioon püüab takistada voolutugevuse suurene- mist ja vähenemist, on selle tulemuseks nähe, et voolu- tugevus saavutab oma kõige suurema väärtuse pisut hil- jem kui pinge (joon. 109) ja seega nihkuvad üksteise suhtes voolutugevuse ja pinge kõverikud.

Kuidas säärane n. n. f a a s i d e n i h k u m i n e mõju- tab vahelduvvoolu võimsust, selle selgituseks olgu arvuta-

tud vahelduvvoolu ligikaudne keskmine võimsus ühe perioodi jooksul mõlemal juhul. Selleks jagame ühe perioodi näiteks kaheksasse ossa, kusjuures saame 9 jaotuspunkti, mõõdame diagrammilt nendele ajamomentidele vastava pinge ja voolutugevuse ning arvutame igale ajamomendile vastava voolu võimsuse. Kogu võimsus ühe perioodi jooksul leidub, kui liita üksikutele ajamomentidele vastavad võimsused ja saadud summa jagada valitud mõõdupunktide arvuga.



	U	J	N = U · J
1	0 V	0 A	0 W
2	+ 7	+ 3,5	24,5
3	+ 10	+ 5	50,0
4	+ 7	+ 3,5	24,5
5	0	0	0
6	- 7	- 3,5	24,5
7	- 10	- 5	50,0
8	- 7	- 3,5	24,5
9	0	0	0
		Kokku	198,0 W

	U	J	N = U · J
1	0 V	- 3,5 A	0 W
2	+ 7	0	0
3	+ 10	+ 3,5	35,0
4	+ 7	+ 5	35,0
5	0	+ 3,5	0
6	- 7	0	0
7	- 10	- 3,5	35,0
8	- 7	- 5	35,0
9	0	- 3,5	0
		Kokku	140 W

$$\text{Ligikaudne võimsus} = \frac{198}{9} = 22 \text{ W}$$

$$\text{Ligikaudne võimsus} = \frac{140}{9} = 15,5 \text{ W}$$

Voolu võimsus ühe perioodi jooksul on seega:

induktsioonivabal koormatusel $N=22 \text{ W}$,
induktiivsel koormatusel (antud faaside nihkumise
juures) $N=15,5 \text{ W}$.

Arvutusest nähtub, et faaside nihkumine põhjustab võimsuse vähenemist, kuigi mõlemal juhul on voolutugevus ja pinge ühesuurune.

Pinge ja voolutugevuse korrutist induktiivsel koormatusel nimetatakse näivvõimsuseks ja see leidub, kui korrutada mõõduriistadega mõõdetud pinge ja voolutugevus. Näivvõimsuse mõõtühikuks on voltamper (tähis: VA). 1 VA on näivvõimsus, kui pinge on 1 V ja voolutugevus 1 A. 1000 korda suurem mõõtühik on kilovoltamper (tähis: kVA).

$$1 \text{ kVA} = 1000 \text{ VA}.$$

Suhet vahelduvvoolu tegeliku võimsuse ja näivvõimsuse vahel nimetatakse võimsuse teguriks (tähis: $\cos \varphi^*$). Seega

$$\cos \varphi = \frac{\text{tegelik võimsus (W ehk kW)}}{\text{näiv võimsus (VA ehk kVA)}}.$$

Võimsuse tegur ei ole kunagi suurem kui 1 ja see on juhul, kui näivvõimsus on niisama suur kui tegelik võimsus. See juhus esineb induktsioonivabal koormatusel, s. t. hõõglampide, kütte- ja soojendusaparaatide jne. korral. Induktiivsel koormatusel on võimsuse tegur alati väiksem kui 1.

Iga mähistega elektriaparaadi või -masina võimsuse teguri võib ette arvutada või katseliselt määrata ja see märgitakse aparaadi või masina sildile. See $\cos \varphi$ väärtus on maksev täiel koormusel; osalisel koormusel on võimsuse tegur väiksem. Vahelduvvoolu mootorite võimsuse tegur oleneb nende suurusest ja ehitusviisist ja on tavaliselt 0,6—0,9.

Vahelduvvoolu tegelik võimsus leidub, kui on teada näivvõimsus (s. t. voolutugevus ja pinge) ja võimsuse tegur. Tegelik võimsus arvutatakse valemiga:

$$N = U \cdot J \cdot \cos \varphi.$$

*) loe: koosinus fii.

Tavalised voolugejad võtavad arvesse ka võimsuse teguri ja registreerivad tegeliku võimsuse poolt sooritatud elektrilise töö hulga.

Näiteid.

27. Vahelduvvoolu aparraadi voolutugevus on 15 A ja pinge 220 V. Võimsuse tegur on $\cos \varphi = 0,8$. Arvutada näiv- ja tegelik võimsus.

$$N_{\text{näiv}} = U \cdot J = 220 \cdot 15 = 3300 \text{ W} = 3,3 \text{ kW}$$

$$N_{\text{teg.}} = U \cdot J \cdot \cos \varphi = 220 \cdot 15 \cdot 0,8 = 2640 \text{ W} = 2,64 \text{ kW.}$$

24. Elektriaparaadi sildile on märgitud: $N=2 \text{ kW}$, $U=220 \text{ V}$; $\cos \varphi = 0,9$. Arvutada aparraadi voolutugevus. Võimsuse all on mõeldud tegelik võimsus.

$$N = U \cdot J \cdot \cos \varphi.$$

Selle valemi teisendamisel leidub voolutugevus

$$J = \frac{N}{U \cdot \cos \varphi} = \frac{2000}{220 \cdot 0,9} = 10,1 \text{ A.}$$

Ülesandeid.

39. Arvutada voolutugevus, kui pinge on 220 V, võimsus 10 kW ja võimsuse tegur on: a) $\cos \varphi = 0,9$; b) $\cos \varphi = 0,8$; c) $\cos \varphi = 0,6$; d) $\cos \varphi = 0,2$.

40. Arvutada tegelik võimsus, kui a) pinge on 220 V, voolutugevus on 10 A ja $\cos \varphi = 0,85$; b) $U=110 \text{ V}$, $J=8 \text{ A}$ ja $\cos \varphi = 0,6$.

102. Keerdvoolu võimsus.

Keerdvoolu korral võib voolutarvitava aparraadi mähi- sed omavahel ühendada kahel viisil — täht- või kolmnurk- lülituses.

Võimsus tähtlülituse korral.

Kuna keerdvoolu moodustab kolm ühefaasilist vahel- duvoolu, siis peab keerdvoolu võimsus olema ka kolm korda suurem kui võimsus igas üksikus faasis.

Võimsus igas üksikus faasis on (joon 110)

$$N_1 = u \cdot J \cos \varphi$$

kus u tähendab pinget iga faasi klemmidel ja J tähendab voolutugevust igas faasis.

Koguvõimsus on seega:

$$N = 3 N_1 = 3 u J \cos \varphi.$$

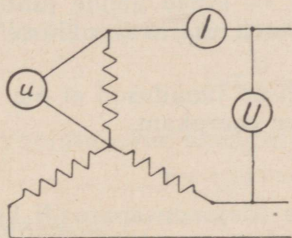
Eespool selgus, et tähtlülituse korral on voolutugevus kõikides faasides võrdne (kui kõik faasid on ühesuguste omadustega, nagu mootori mähised jm.) ja on niisama suur kui voolutugevus ühendusjuhtmetes. Kuid pinge igas faasis on väiksem pingest ühendusjuhtmete vahel ja nimelt

$$u = \frac{U}{1,73}$$

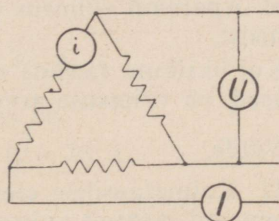
Asetades selle faasipinge suuruse võimsuse valemisse, leiame

$$N = 3 \frac{U}{1,73} \cdot J \cdot \cos \varphi$$

$$N = 1,73 U J \cdot \cos \varphi.$$



Joon. 110.



Joon. 111.

Võimsus kolmnurklülituse korral.

Kolmnurklülituse korral on kogu võimsus samuti kolm korda suurem kui võimsus üksikutes faasides.

Võimsus igas üksikus faasis on (joon. 111)

$$N_1 = U \cdot i \cdot \cos \varphi$$

kus i — voolutugevus igas faasimähises ja U — pinge faasimähise klemmidel.

Kogu võimsus on seega

$$N = 3 N_1 = 3 \cdot U \cdot i \cdot \cos \varphi.$$

Eespool selgus, et kolmnurklülituse korral on pinge faasimähise klemmidel võrdne pingega ühendusjuhtmete

vahel, kuid voolutugevus on väiksem kui ühendusjuhtmetes.

$$i = \frac{J}{1,73}$$

Asetades selle voolutugevuse väärtuse võimsuse valemisse, leiame

$$N = 3 U \cdot \frac{J}{1,73} \cdot \cos \varphi$$

$$N = 1,73 U \cdot J \cdot \cos \varphi.$$

Eeltoodud arvutustest selgub, et võimsust arvutatakse täht- ja kolmnurklülituse korral ühe ja sama valemiga:

$$N = 1,73 U \cdot J \cdot \cos \varphi$$

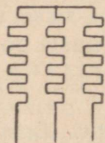
kusjuures J on voolutugevus vastava elektriaparaadi või masina ühendusjuhtmetes ja U — pinge nende juhtmete vahel. Aparaaadi võimsus aga oleneb aparaaadi mähiste lülitusviisist.

Kui üksikute faaside elektrilised omadused ei ole ühesugused, on võimsuse arvutamine keerukam.

Näide.

25. Kolmefaasilise elektrilise soojendusaparaadi kütteelement on jagatud kolme ossa. Iga osa takistus on 10Ω . Arvutada aparaaadi võimsus, kui voolu pinge on 220 V ja kütteelemendi osad on lülitatud a) tähtlülitusse ja b) kolmnurklülitusse.

a) Tähtlülitus (joon 112).



Joon. 112.

Faasipinge on

$$u = \frac{U}{1,73} = \frac{220}{1,73} = 127 \text{ V.}$$

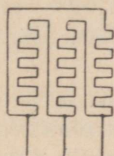
Voolutugevus igas faasis ja ühendusjuhtmes on:

$$J = \frac{u}{R} = \frac{127}{10} = 12,7 \text{ A.}$$

Võimsus

$$N = 1,73 \cdot U \cdot J \cdot \cos \varphi = 1,73 \cdot 220 \cdot 12,7 \cdot 1 = 4830 \text{ W} = 4,83 \text{ kW.}$$

b) Kolmnurklülitus (joon 113).



Joon. 113.

Voolutugevus igas faasis on

$$i = \frac{U}{R} = \frac{220}{10} = 22 \text{ A.}$$

Voolutugevus ühendusjuhtmes on

$$J = 1,73 i = 1,73 \cdot 22 = 38 \text{ A.}$$

Võimsus:

$$N = 1,73 U \cdot J \cdot \cos \varphi = 1,73 \cdot 220 \cdot 38 \cdot 1 = 14400 \text{ W} = 14,4 \text{ kW.}$$

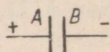
Ülesandeid.

41. Keerdvoolu mootori võimsuse tarvitus täiel koormusel on 15 kW, pingeline 220 V ja $\cos \varphi = 0,8$. Staatori mähis on tähtlülituses. Arvutada a) voolutugevus ühendusjuhtmetes ja b) voolu arve ühe kuu jooksul, kui mootor töötab päevas 8 tundi ja kilovatt-tunni hind on 15 senti.

42. Keerdvoolu generaatori mähis talub voolutugevust 30 A. Pingeline igas faasis on 220 V. Arvutada generaatori elektriline võimsus (kui $\cos \varphi = 1$), pingeline ja voolutugevus võrgujuhtmetes generaatori täiel koormatusel, kui generaatori indutseerivad mähised on ühendatud a) tähtlülituse ja b) kolmnurklülituse.

103. Mahtuvus ja kondensaator.

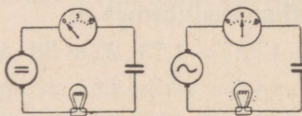
Ühendame teineteisest vähe eemal asetsevad metallplaadid A ja B (joonis 114) juhtmete kaudu alalisvoolu allikale ja katkestame siis vooluahela. Kui nüüd ühendame ühe plaadi külge traadi ja lähendame traadi teise otsa tei-



Joon. 114.

sele plaadile, tekib traadiotsa ja teise plaadi vahel väike elektrisäde. Nähtavasti on plaatidel omadus endasse elektrit koguda, kusjuures plaatide vahel on teatav pinge. Seda omadust nimetatakse **m a h t u v u s e k s** ja vastavat seadeldist **k o n d e n s a a t o r i k s**.

Kui lülitame alalisvoolu allikale järjestikku ampermeetri, kondensaatori ja hõõglambi (joon 115), ei hakka lamp hõõguma, sest alalisvool ei pääse läbi kondensaatori.



Joon. 115.

Kui aga asendame alalisvoolu allika vahelduvvoolu allikaga, hakkab lamp põlema. Seega **k o n d e n s a a t o r** laseb läbi vahelduvvoolu, kusjuures voolutugevus oleneb pingest, kondensaatori mahtuvusest, s. t. plaatide pindalast ja nende-vahelisest isoleerainest, plaatide-vahelisest kaugusest ja vahelduvvoolu sagedusest.

Mahtuvus on vastupidine nähe omainduksioonile. Induktiivsed mähised avaldavad vahelduvvoolule suuremat takistust kui alalisvoolule. Mahtuvuse korral on aga ümberpöördult: kondensaator avaldab alalisvoolule väga suurt takistust, vahelduvvool pääseb aga läbi.

Mahtuvus ja omainduksioon leiavad erilist rakendamist raadiotehnikas.

XVI. Voolu juhtimine tarvitajani.

104. Pingelangus juhtmetes.

Voolu juhtimiseks jõujaamast tarvitajateni kasutatakse peamiselt vaskjuhtmeid. Kuigi vase eritakistus on väike, esineb ka vaskjuhtmetes teatav pingelangus. Pingelanguse tõttu väheneb aga voolutugevus elektri kasutusaparaatides ja liiga suure pingelanguse korral ei anna need soovitud efekti: hõõglambid põlevad tuhmilt, mootorid ei arenda täit võimsust jne.

Pingelangus juhtmetes on teatavasti võrdeline voolutugevusega ja juhtme takistusega:

$$e = J \cdot R$$

Kuna pingelangus on paratamatu nähe, sest igal juhtmel on teatav takistus, valitakse juhtmed seda jämedamad, mida suurem on ülekantava voolu tugevus. Juhtmete jämedus arvutatakse lubatava pingelanguse järgi (tavaliselt kuni 10% pingest); liiga suure pingelanguse korral tõuseb energia kadu juhtmetes liiga kõrgeks.

Arvutuskäik on järgmine: Voolu pinge järgi määratakse juhtmetes lubatav pingelangus voltides ja ülekantava võimsuse järgi arvutatakse voolutugevus. Nende andmete järgi arvutatakse juhtmete takistus:

$$R = \frac{e}{J}$$

Juhtmete kogutakistuse ja pikkuse järgi arvutatakse juhtme ristlõike pind.

Viimasest valemist nähtub, et juhtme takistus võib olla seda suurem (s. t. juhtmed võivad olla peenemad), mida suurem on lubatav pingelangus voltides ja mida väiksem on ülekantava voolu tugevus.

Lubatav pingelangus voltides ühesuuruse protsentuaalse pingelanguse juures on aga seda suurem, mida kõrgem on voolu pinge. Kui näiteks lubatav pingelangus on 5%, siis pingelangus voltides võib olla:

110 V	juures	5,5 V
220 V	„	11 V
500 V	„	25 V jne.

Teisest küljest väheneb voolutugevus pinge suurenemisega, sest voolutugevus on pöördvõrdeline pingega ($J = \frac{U}{R}$). Olgu näiteks ülekantava elektri energia võimsus 10 kW. Voolutugevus mitmesuguste pingete korral on (alalisvool või ühefaasiline vahelduvvool):

110 V	juures	90,9 A
220 V	„	45,4 A
500 V	„	20 A jne.

Eelöeldust selgub, et juhtmete läbimõõt väheneb tunduvalt pinge suurenemisega. Väikese pinge korral poleks üldse mõeldav suurema elektrilise võimsuse ülekandmine vähegi kaugema maa peale, sest sel korral tõuseks vajalik kapital ainult juhtmete muretsemiseks hiiglasuurte summadeni.

Suured kaugemaa elektri-jõujaamad ehitatakse tavaliselt põletusaine leiukohtadesse või jõgede äärde, kus on võimalik veejõu kasutamine. Sageli on niimoodi valitud jõujaama asukoht kaugel tähtsamatest elektri kasutamiskohtadest. Voolu juhtimiseks jõujaamast tarvituskohadesse suurendatakse jõujaamas voolu pinget transformaatorite abil kuni 220 000 voldini. Säärase kõrge pinge korral on voolutugevus isegi väga suure võimsuse korral niivõrd väike, et elektrit saab juhtida sadade kilomeetrite kaugusele võrdlemisi peente juhtmete abil. Tarvituskohtades transformeeritakse pinge uuesti alla tavaliselt kasutatavaks pingeks. Kuna pinge transformeerimine on võimalik ainult vahelduva voolu juures, siis ongi see peamiseks põhjuseks, miks vahelduvvool on peagu kõikjal kõrvale tõrjunud alalisvoolu.

105. Juhtmete ristlõike pinna arvutamine.

Juhtmete ristlõike pinna arvutamine toimub eespool tundmaõpitud valemite abil. Arvutuskäik selgub järgnevast näitest.

Näide.

26. Voolu pinge on 110 V; ülekantav võimsus 10 kW, vahekaugus 50 m, lubatav pingelangus on 5%. Arvutada juhtmete jämedus alalisvoolu korral.

Lubata pingelangus $e = 110 \cdot 0,05 = 5,5 \text{ V}$.

Voolutugevus $J = \frac{N}{U} = \frac{10000}{110} = 90,9 \text{ A}$.

Juhtme takistus $R = \frac{e}{J} = \frac{5,5}{90,9} = 0,0605 \text{ } \Omega$.

Vaskjuhtme ristlõike pind

$$S = \frac{l\rho}{R} = \frac{2 \cdot 50 \cdot 0,0175}{0,0605} = 29 \text{ mm}^2.$$

Kuna 29 mm^2 juhtmeid ei valmistata, tuleb valida järgmine jämedam juhe, s. t. 35 mm^2 . Selle juhtme jämeduse korral on pingelangus muidugi väiksem kui 5%.

Ülesandeid.

43. Alalisvoolu pinge on 220 V, ülekantav võimsus 3,5 kW, vahekaugus 40 m, lubata pingelangus 10%. Arvutada vaskjuhtmete jämedus.

44. Voolu pinge on 220 V, ülekantav võimsus 1,5 kW, vahekaugus 60 m, juhtmete ristlõike pind 10 mm^2 . Arvutada pingelangus protsentides.

45. Ühe km kaugusele on vaja üle kanda alalisvoolu 10 kW. Lubatud pingelangus on 10%. Arvutada juhtmete ristlõike pind, kui voolu pinge on a) 110 V, b) 220 V ja c) 440 V.

*

Eespool näidatud viisil arvutatakse juhtmete ristlõike pind ka ühefaasilise vahelduvvoolu korral. Juhtmete jämeduse arvutamine keerdvoolu korral on pisut keerukam ja jääb siinkohal puudutamata.

106. Juhtmete kõige väiksem ristlõike pind.

Voolu toimel soojenevad kõik juhtmed, kusjuures Joule'i seaduse järgi on soojenemine võrdeline voolutugevuse teise astmega ja juhtme takistusega. Antud juhe soojeneb seega seda enam, mida suurem on voolutugevus ja mida peenem on juhe.

Juhtmes tekkinud soojus kandub edasi juhet ümbritsevasse keskkonda. Liiga suure voolutugevuse korral ei jõua juhe nii palju soojust edasi anda, kui juhtmes tekib, ja selle tagajärjel tõuseb juhtme temperatuur. Iga juhtme jämeduse

kohta võib kindlaks määrata voolutugevuse, mille ületamisel juhtme temperatuur võib tõusta säärasele kõrgusele, et see võib hädaohtlikuks saada. Sellepärast on sellekohaste normidega kindlaks määratud juhtmetes lubatud kõige suurem voolutugevus. Vaskjuhtmetes kestvalt lubatud voolutugevus on järgmine:

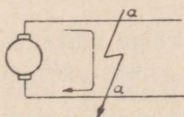
Juhtme ristlõik mm ²	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50
Voolutugevus A	14	20	25	31	43	75	100	125	160

Et juhtmed oleksid ka mehaaniliselt küllalt tugevad, on ka selles suhtes vastavate normidega kindlaks määratud kõige väiksemad lubatavad juhtmete jämedused. Järgnevalt on toodud vaskjuhtmete kõige väiksem lubatav ristlõike pind mõnedeks kasutusotstarveteks:

Juhtmed valgustusarmatuurides	0,75 mm ²
Paikselt asetatud isoleeritud juhtmed	1 mm ²
Paljasjuhtmed hoonetes ja väljas	4 mm ²
Õhuliinid juhtme kinnituspunktide vahega kuni 35 m	6 mm ²

107. Lühiühendus.

Elektriaparaatide juhtmete jämedus valitakse alati nii, et voolutugevus ei ületaks lubatud määra. Rikete korral elektriseadmes või -aparaatides võib aga voolutugevus suureneda sel määral, et see võib ohtlikuks saada.



Joon. 116.

Ohm'i seaduse järgi oleneb voolutugevus antud pinge korral vooluahela takistusest. Tavaliselt asetatakse ühe vooluahela juhtmed üksteise lähedale. Kui mingisugusel põhjusel peaksid juhtmed näiteks punktis a kokku puutuma (joon. 116), kas isolatsiooni vigastumise tõttu või mõnel

muul põhjusel, väheneb vooluahela takistus peagu nullini ja voolutugevus tõuseb väga kõrgele. Olgu näiteks vooluallika pinge 220 V ja vaskjuhtmete ristlõike pind 10 mm². Normaalselt tohib seda juhet koormata voolutugevusega mitte üle 43 A. Kui 10 m kaugusel vooluallikast puutuvad juhtmed kokku, on juhtmete takistus

$$R = \frac{\rho l}{S} = \frac{0,0175 \cdot 2 \cdot 10}{10} = 0,035 \ \Omega$$

ja voolutugevus $J = \frac{U}{R} = \frac{220}{0,025} = 6280 \text{ A.}$

Endastmõistetavalt sulavad läbi säärase suure voolutugevuse korral mitte üksi juhtmed, vaid ka generaatori mähised.

Säärast elektrijuhtmete kokkupuutumist, mis põhjustab ettenähtamatut voolutugevuse suurenemist, nimetatakse lühiühenduseks. Lühiühenduse tavalisteks põhjusteks on juhtmete isolatsiooni rikked, valelülitused, hooletus jne.

Kuigi lühiühenduse korral ei teki alati tuhandete amprite tugevusega vool, on voolutugevus alati nii suur, et juhtmete liigne soojenemine võib põhjustada tulikahju või vähemalt elektriaparaatide riknemist. Kaitseks lühiühenduse vastu kasutatakse liigvoolu kaitsmeid.

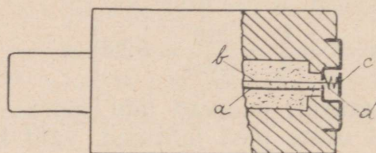
108. Kaitsmed.

Lühiühendus ja juhtmete ülekoormatus võib esineda igas elektriseadmes. Selle kahjuliku mõju luutmiseks varustatakse juhtmed kaitsmetega, millede ülesandeks on vooluahel katkestada, kui voolutugevus ületab ettenähtud määra.

Liigvoolu kaitsme tööviis põhjeneb juhtme soojenemisel voolu toimel. Kaitsmeks on kergesti sulavast metallide sulatiseist valmistatud lühike traat, mis on lülitatud vooluahelasse järjestikku. Kaitsmetraadi jämedus valitakse nii, et voolutugevuse jõudmisel teatava ülempiirini soojeneb see traadike lühikese aja vältel sulamistemperatuurini, sulab läbi ja seega katkestab vooluahela.

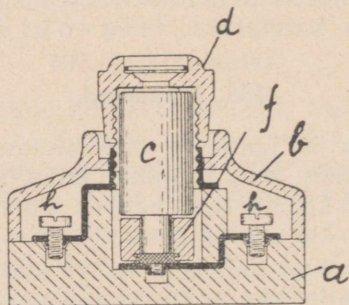
Kaitsepadruni ehk kaitsekorgi ehitus on näidatud joonisel 117. Kaitsekork koosneb portselaankestast, mille õõnsusse on asetatud sulavtraat a. Sulav-

traadi otsad on joodetud padruni jala ja otsaplaadi külge. Kaitsme läbisulamise märgatavaks tegemiseks asetatakse padrunitse sulavtraadiga a paralleelselt teine peenike traat b, mis lõpeb plaadikesega c, millele mõjub vedru d. Kaitsme tegevusesse astumisel sulavad üheaegselt läbi mõlemad traadid a ja b, kusjuures vedru d lükkab plaadikesi c pesast välja.



Joon. 117.

Kaitsekork asetatakse kaitseelementi (joon. 118) sisse. Kaitseelement koosneb portselaanalusest a ja on kaetud kaanega b. Kaitsekork c hoitakse paigal metallvoodriga portselaanist padrunitse d abil. Kaitsekorgi jalg ulatub kontaktrõnga f sisse. Juhtmed ühendatakse kruvide h külge.



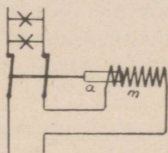
Joon. 118.

Kaitsekorke valmistatakse mitmesuguse nimesvoolu-tugevuse jaoks. Tavaliselt kasutatavad suurused on 6, 10, 15, 20 ja 25 A. Kaitsekorgi läbisulamisel tuleb see tingimata asendada uuega, sest kodusel viisil parandatud kaitsekork ei kindlusta voolu katkestamist õigel ajal.

109. Automaatkaitsmed.

Sulavkaitsmete puudumiks on asjaolu, et kaitsekork ei katkesta vooluahelat täpselt siis, kui voolutugevus ületab kaitsekorgi nimesvoolutugevust, vaid need taluvad lühiaegselt palju tugevamat voolu. Teiseks puudumiks on vajadus alati hoida kaitsekork tagavaras. Need puudumid kõrvalduvad automaatkaitsmete kasutusele võtmisel.

Elektrivoolu magnetilisele toimele rajatud automaatkaitsme tööviis on näidatud joonisel 119. Vool läbibastab elektromagneti mähist m , mille magnetijõud teatava voolutugevuse ületamisel tõuseb nii suureks, et raudsüdamik a



Joon. 119.

tõmbub mähise sisse ja sellega katkestab lüliti abil vooluahela.

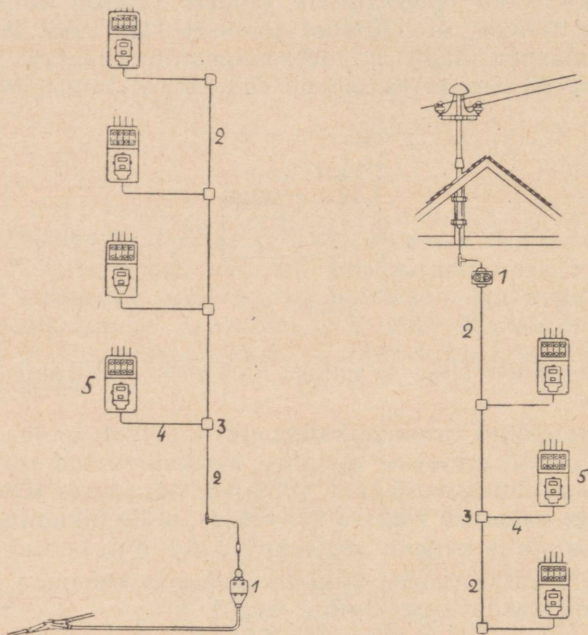
Soojuselistes automaatkaitsmetes soojeneb voolusoojuse toimeil kahest erinevast metallist kokkujoodetud riba, mis teatava voolutugevuse (s. t. soojenemise) juures kõverdub ja sellega vabastab väikese hoovakese, mille liikumine kandub vedrude ja kangide süsteemi kaudu lüliti kontaktidele.

Voolu katkestamise järel on automaatkaitsmed uuesti töövalmis käsitsi sisselülamise järgi.

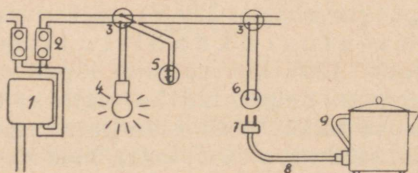
110. Voolujaotus tarvitiskohtades.

Jõujaamast või transformaatore alajaamast juhitakse tarvituspingega (tavaliselt 220 V) elektrivool õhuliinide või maalaustekaablite kaudu üksikutesse hoonetesse (joon. 120), kus välisliin lõpeb majaühenduse kastis (1), kuhu on paigutatud ka maja kaitsmed. Majaühenduse kastist läheb vool torudesse asetatud majamagistraaljuhtmetesse (2), kust hargneb magistraali harutoosidest (3) korteri magistraalliinide (4) kaudu üksikute korterite lugejateni (5).

Voolujaotus üksikutes korterites toimub järgmiselt (joon. 121): Korteri lugejast (1) läheb vool läbi korteri kaitsmete (2) harutoosidesse (3), kust juhtmed hargnevad lampi (4) ja lülitisse (5) või seinakontakti (6). Seinakontaktidest võetakse voolu kontakthargi (7) ja liiksate juhtmete (8) kaudu elektriaparaatide (9) jaoks.



Joon. 120.



Joon. 121.

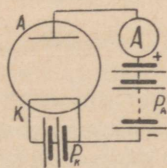
Elukorterites kasutatakse eranditult isoleeritud juhtmeid, mis asetatakse isoleertorudesse (plekiga kaetud papptorud) või tarvitatakse torutraati (ühise metallkestaga kaetud kaks või rohkem isoleeritud juhet). Niisketes ruumides kasutatakse erilisi hästi isoleeritud juhtmeid. Liiksate elektriaparaatide ühendamiseks kasutatakse eriti painduvaid juhtmeid.

XVII. Raadiotehnika algmõisted.

111. Elektrontoru.

Raadiotehnika tähtsaks vahendiks on elektrontoru, mida kasutatakse väga mitmesugusteks otstarveteks ja sellepärast on tal ka palju nimetusi, nagu raadiolamp, võimendajalamp jne.

Lihtsamal kujul moodustub elektrontoru õhutühjast klaaskestast, millesse on asetatud kaks elektroodi —



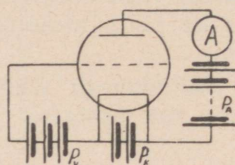
Joon. 122.

anood A ja katood K (joon.122). Katoodi võib patarei P_K voolu toimel hõõguvasse olekusse viia. Kuna katoodi hõõgniit on võrdlemisi peenike, jätkub selleks otstarbeks juba mõnevoldilisest patareist. Kui nüüd ühendame teise patarei P_A plussklemmi anoodiga ja miinusklemmi katoodiga, selgub, et patarei P_A vool läbib elektrontoru elektroodidevahelise õhuta ruumi, mis nähtub selle patarei vooluahelasse lülitatud tundlikust ampermeetrist.

Selle nähte seletuseks oletatakse, et elektronid väljuvad hõõguvalt juhtme pinnalt. Anoodil valitseva pinge tõttu liiguvad elektronid läbi õhutühja ruumi anoodile ja pääsevad sealt juhtme kaudu läbi ampermeetri patareisse tagasi. Kuna katood on ühendatud patareiga, voolab ka-

toodile pidevalt uusi elektrone ja nii toimub pidev vool läbi elektronтору. Kui aga ühendame patarei P_A miinus-klemmi anoodiga ja plussklemmi katoodiga, mingit voolu ei teki. Elektronтору tõendab seega, et elektrivoolu tõeline suund välises vooluahelas on miinus-klemmilt plussklemmidele, seega vastupidine eespool oletatud voolu suunale. Kuid voolu tõeline suund on tegelikkuses tähtsusetu ja sellepärast on elektrotehnika muudel aladel jäänud varemini oletatud voolu suuna juurde. Elektronid voolavad läbi elektronтору ainult siis, kui katood on hõõguvas olekus, sest külmast katoodist elektronid ei välju.

Voolutugevus läbi elektronтору oleneb patarei P_A pingest. Kui patarei pinge on 80 V, on voolutugevus umbes



Joon. 123.

2 mA. Pinge suurenemisel suureneb ka voolutugevus, kuid teatava pinge juures saavutab voolutugevus oma kõige suurema väärtuse, mis edaspidisel pinge tõstmisel ei suurene. Seda kõige suuremat voolutugevust nimetatakse k ü l l a s t u s v o o l u k s.

Anoodivoolu tugevust saab muuta veel teise võimaluse abil. Selleks asetatakse anoodi ja katoodi vahele kolmas elektrood, nn. v õ r e (joon. 123). Tavaliselt kasutatakse võrena traatspiraali, mis on asetatud ümber hõõgniidi. Sel korral asetseb anood silindriliselt ümber võre.

Kui võre ja katoodi vahele asetame kolmanda patarei P_v , siis nähtub, et anoodivool suureneb, kui võrega on ühendatud võrepatarei P_v pluss-klemm ehk, nagu öeldakse, kui võrel on pluss-pinge. Anoodi voolu tugevus suureneb võre pluss-pinge suurenemisega. Kui aga ühendame võrega patarei P_v miinus-klemmi — võrel on miinus-pinge —, väheneb anoodi voolu tugevus ja on seda väiksem, mida suurem on võre miinus-pinge. Teatava miinus-pinge juures katkeb vool anoodi ahelas hoopis.

Võre pinge muutmisega avaneb seega võimalus muuta voolutugevust anoodiahelas. Kui võre pinge suureneb, siis suureneb ka anoodiahelas voolutugevus, ning ümberpöörduvalt. Võre pinge muutumisel muutub seega pidevalt voolutugevus anoodiahelas ehk, nagu öeldakse, võre pinge tüürib voolutugevust anoodiahelas.

Kui asendada joonisel 122 anoodipatarei P_A vahelduvvoolu allikaga, pääseb vool läbi elektrontoru ainult siis, kui anood on pluss-pingega. Voolu suuna muutumisel, s. t. kui anood on miinus-pingega, vool läbi elektrontoru ei pääse. Seega saab kasutada elektrontoru ka voolu alaldajana, mis laseb vahelduvvoolu läbi ainult ühes suunas, muutes selle pulseerivaks alalisvooluks.

112. Võnkeahel.

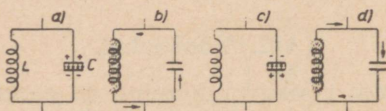
Kõige lihtsam võnkuv liikumine on pendli võnkumine, mis on silmale nähtav ja mida võib soovi korral paberile üles kirjutada, kui vedada võnkuva pendli teraviku alt läbi paberilehe.

Teine üldiselt tuntud võnkuv liikumine on õhu võnkumine, mida inimene tajub kuulmisorganite kaudu. Olenevalt õhu võnkumise iseloomust ja sagedusest eraldame mitmesuguseid hääli ja toone.

Õhu võnkumist võib kuuldavaks teha ka mitmesuguste aparaatide abil. Kui lüüa helisema helihark, tekitavad hargi võnkumised õhu võnkumisi, mis levivad igas suunas laiali. Kui esimese helihargi lähedal asetseb teine täpselt sama sugune helihark, hakkab see õhu võnkumise toimel kaasa võnkuma ja tekitab täpselt sama heli nagu esimesel helihargil. Igal kehal on teatav omavõnkesagedus, s. t. võngete arv ühes ajaühikus, mida teeb keha, kui teda võnkuma panna; näiteks igal klaverikeelel on erinev omavõnkesagedus. Kui keha omavõnkesagedus on võrdne temale mõjuva võnkesagedusega, hakkab antud keha kaasa võnkuma. Seda nähet nimetatakse *resonantsiks*. Käesoleval juhul on teise helihargi omavõnkesagedus võrdne esimese helihargi tekitatud võnkesagedusega ja selle tõttu hakkab ta kaasa võnkuma.

Raadiotehnikas kasutatakse samuti võnkumist. Kõige lihtsam elektri võnkeahel koosneb omainduktsioonimähi-

sest L ja kondensaatorist C (joon. 124). Kui ühendada kondensaatori plaadid vooluallikaga, laadub kondensaator. Vooluallika äralülitamisel on kondensaatori plaatide vahel teatav pinge (joon. 124-a) ja see pinge tekitab nõrga voolu joonisel 124-b näidatud suunas (või vastupidises suunas, see pole oluline). See vool tekitab mähises L magnetvälja, mille jõujooned kaovad kondensaatori tühjendusvoolu lõppemisel. Magnetijõujoonte kadumisel indutseerub aga mähises L elektromotoorne jõud, mille tekitatud vool on suunatud kondensaatori tühjendusvoolu suunas ja seega laeb kondensaatori uuesti, kuid vastupidiselt (joon. 124-c), ja nüüd mõjub kondensaatori plaatide vahel jällegi teatav pinge, mille suurus on küll väiksem endisest. See pinge



Joon. 124.

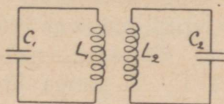
kutsub esile voolu joonisel 124-d näidatud suunas, kusjuures omainduktsioonimähise tekitatud elektromotoorse jõu toimele laadub kondensaator uuesti joonisel 124-a näidatud viisil jne. Nii võngub elekter võnkeahelas edasi ja tagasi, kusjuures mitmesuguste kadude tõttu (ahela takistus jne.) võnkuva voolu tugevus iga perioodiga järjest kahaneb, kuni lõpuks kaob, samuti nagu väheneb vabalt ülesriputatud pendli võnke amplituud õhu hõõrumiste tõttu. Seesugust väheneva võnkeamplituudiga võnkumist nimetatakse s u m b u v a k s v õ n k u m i s e k s.

Elektri võnkumise tekitamiseks on seega vajalik võnkeahelasse juhtida üheks hetkeks elektrivoolu, et kondensaatorit laadida. Iga võnkeahela omavõngete sagedus ja kestus oleneb võnkeahela elektrilistest omadustest — takistusest, induktiivsusest ja mahtuvusest.

113. Elektri võnkeahelate sidestamine.

Samuti nagu helihark paneb helisema teise lähedal asetseva helihargi, nii saab ka elektri võnkumisi kanda üle ühest võnkeahelast teise.

Võnkeahelate sidestamine toimub mitmel viisil. Joonisel 125 on näidatud induktiivne sidestus. Esimese võnkeahela moodustavad omainduktsioonimähis L_1 ja kondensaator C_1 , teise ahela vastavalt L_2 ja C_2 . Kui vool läbib mähist L_1 , indutseerub ka mähises L_2 elektrivool ja see hakkab võnkuma teises võnkeahelas.

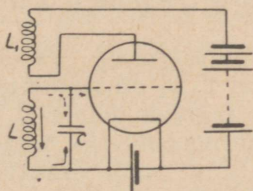


Joon. 125.

114. Sumbumata võnked.

Eespool oli selgitatud sumbuvate võngete tekitamine võnkeahelas. Sumbuvaid võnkeid kasutati raadiotehnikas selle algastmel. Tänapäeval on sumbuvate võngete asemele astunud s u m b u m a t a v õ n k e d. Sumbumata võnked erinevad sumbuvatest võngetest sellega, et nende võnkumise amplituud ei muutu.

Sumbumata võngete tekitamiseks kasutatakse elektrontroru. Võnkeahel, s. t. paralleelselt lülitatud kondensaator C ja induktioonimähis L ühendatakse elektrontroru võrega ja hõõgniidiga (joon. 126). Anoodi ahelasse on ase-



Joon. 126.

tatud peale patarei veel teine induktioonimähis L_1 . Mähised L ja L_1 on asetatud teineteise kõrvale, nii et ühte mähist läbistav vool mõjutab ka teise ahelasse asetatud mähist.

Hõõgniidi patarei sisselülitamise järel tekib anoodi ahelas vool läbi elektrontroru ja mähise L_1 . Mähist L_1 läbistav vool indutseerib mähises L vastupidi suunatud voolu. Seega on võre ja hõõgniidi vahel teatav pinge ja,

kuna vool on suunatud hõõgniidi poole, peab võrel seega olema pluss-pinge. Võre pluss-pinge aga suurendab voolutugevust anoodi ahelas.

Anoodi voolutugevuse suurenemisega indutseerub mähises L lisapinge, võre pluss-pinge suureneb veelgi ja anoodiahelas voolutugevus suureneb samuti. Nii suureneb voolutugevus anoodiahelas kuni küllastusvooluni.

Kui anoodiahela voolutugevus on suurenenud kõige suurema väärtuseni — küllastusvooluni, ei muutu enam voolutugevus mähises L_1 ja seega lõpeb ka voolu indutseerumine mähises L . Nüüd hakkavad kondensaatori alumisele plaadile ja hõõgniidile kogunenud elektronid mähise L kaudu tagasi voolama ja suunduvad võrele ning kondensaatori ülemisele plaadile, võre pluss-pinge väheneb ja selle tagajärjel väheneb voolutugevus anoodiahelas. Mähise L_1 voolutugevuse nõrgenemisel indutseerub mähises L vool, mis on suunatud võre poole, ja tekitab võrel miinus-pinge, mis vähendab anoodiahela voolutugevust veelgi, kuni see lõpuks kaob hoopis. Ühtlasi aga laadus kondensaator vastupidiselt ja nüüd tekitab kondensaator uuesti voolu võre poolt hõõgniidile, võre miinus-pinge väheneb ja anoodiahelas tekib vool, mis läbib ka mähist L_1 . See vool indutseerib mähises L voolu, mis suurendab anoodiahela voolutugevust jne. Nii tekib anoodiahelas pulseeriv alalisvool, kuna võnkeahelas tekib vahelduvvool, mis voolab perioodiliselt kord ühes, kord vastupidises suunas.

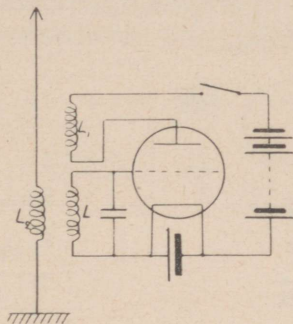
Võnkeahelas indutseerunud vahelduvvoolu sagedus on kondensaatori C ja omainduktsioonipooli L elektrilistest omadustest; sagedus võib olla miljon ja isegi rohkem hertsi. Sageduse muutmiseks muudetakse võnkeahela elektrilisi omadusi, s. t. pooli induktiivsuse suurust või kondensaatori mahtuvust.

115. Elektromagnetilised lained ja raadiotelegraaf.

Kui asetame mähise L kõrvale veel kolmanda mähise L_2 ja ühendame selle ühe otsa maaga ja teise otsa isoleeritult õhku riputatud traadiga, nn. a n t e n n i g a (joon. 127), siis moodustub teine võnkeahel, mis koosneb omainduktsioonimähisest L_2 ja kondensaatorist, mille üheks plaadiks on maapind, teiseks aga antenn. Induktiivse sidestuse tõttu

tekivad teises võnkeahelas samasugused elektrivõnked nagu elektrontoru võreahelas.

Anoodiahela lüliti allavajutamisel tekib seega antenniahelas kõrgesagedusvool, kusjuures antenniahelas olevad elektronid esimese poolperioodi jooksul voolavad antenni, et järgmise poolperioodi jooksul maasse voolata jne. See antenniahelas voolav kõrgesagedusvool aga tekitab ruumis elektromagnetilisi laineid, mis levivad val-



Joon. 127.

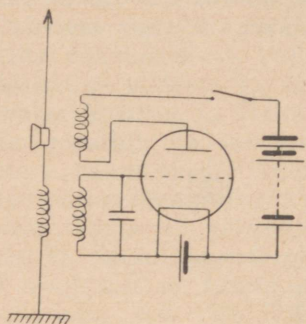
guse kiirusega, s. t. 300 000 000 meetrit sekundis. Laine pikkus on pöördvõrdeline teda tekitava kõrgesagedusvoolu sagedusega.

Raadiotelegraferimisel vajutatakse anoodahelasse asetatud lüliti alla pikemaks ja lühemaks ajaks, samuti nagu Morse'i aparaadiga telegraferimisel. Sellega tekitatakse ruumis rida pikemaid ja lühemaid elektromagnetilisi laineid, mis muudetakse vastuvõtteaparaadis pikemateks ja lühemateks helisignaalideks. Iga raadiosaatja töötab erineval lainepikkusel ja vastuvõtteaparaat tuleb häälestada sellele lainepikkusele.

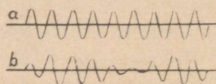
116. Ringhäälingu saatja.

Eespool kirjeldatud saateaparatuuriga saab edasi anda pikemaid või lühemaid elektromagnetiliste lainete seeriaid, kusjuures laine amplituud ei muutu. Kõnede ja muusika ülekandmiseks muudetakse elektromagnetiliste lainete amplituudi vastavalt helilainetele. See on võimalik mitmel

viisil, näiteks lülitades saateparaadi antenni-ahelasse mikrofoni (joon. 128). Saatejaama töötamisel läbib antenni alaliselt kõrgesagedusvool (joon. 129-a). Kui kõnelemisel või muusikariistade tekitatud õhulained satuvad mikrofoni membraanile, hakkab membraan võnkuma, mikrofoni takistus muutub kooskõlas õhuvõnkumistega ja ühes sellega



Joon. 128.



Joon. 129.

muutub ka antenniahela kõrgesagedusvoolu amplituud (joon. 129-b). Säärast kõrgesagedusvoolu amplituudi muutmist nimetatakse *m o d u l e e r i m i s e k s*. Moduleeritud kõrgesagedusvool tekitab ka ruumis muutuva võnkeamplituudiga elektromagnetilisi laineid.

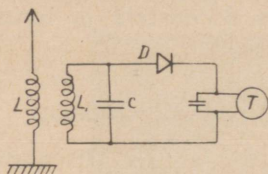
117. Raadiovastuvõtja.

Samuti nagu helihark või klaverikeel hakkab õhuvõnkumistega kaasa võnkuma ja tekitab häält, kui õhuvõnked on resonantsis helihargi või klaverikeele omavõngete arvuga, nii tekivad ka elektrivõnkeahelas elektri võnked, kui ahela omavõngete sagedus on resonantsis elektromagnetiliste lainete võnkesagedusega. Elektromagnetiliste lainete vastuvõtmisel peab vastuvõtteparaadi antenniahela omavõngete sagedus olema niisama suur, kui on elektromagnetilistel lainetel. Seda saavutatakse võnkeahela omainduktsiooni või mahtuvuse või nende mõlemate omaduste muutmisega.

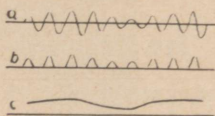
Üks lihtsamaid vastuvõtteparaate on näidatud skeemiliselt joonisel 130.

Antenni võnkeahel koosneb antennist, omainduktsiooni-
poolist L ja maaühendusest. Pooliga L on sidestatud teine
pool L_1 , millele on lülitatud paralleelselt kondensaatoreid C .
Elektromagnetilised lained indutseerivad antenniahelas
nõrga kõrgesagedusvoolu, mis omakorda indutseerib voolu
ahelas L_1C . Nende võngete kuuldavaks tegemiseks ühen-
datakse võnkeahelaga detektor D ja telefon T ,
millele on paralleelselt lülitatud kondensaatoreid.

Antennis indutseerunud kõrgesagedusvool tekitab ka
telefoniahelas samasuguseid elektrivõnkeid (joon. 131-a).



Joon. 130.



Joon. 131.

Kuna selle voolu sagedus on väga suur, ei jõuaks telefoni
membraan nii kiiresti kaasa võnkuda ja telefonis ei kuuleks
mingit häält. Sellepärast lülitatakse telefoniahelasse detek-
tor, milledest lihtsaimad on teatavad kristallid. Detektoril
on omadus vahelduvvoolu läbi lasta ainult teatud suunas,
s. t. igast perioodist ainult poole perioodi. Seega pääsevad
telefoni ühesuunalised voolu impulsid (joon. 131-b), mis
mõjuvad nagu muutuva tugevusega vool (joon. 131-c). See
vool paneb telefoni membraani võnkuma ja nii kordab
vastuvõtteaparaadi telefon saatejaama mikrofoni räägitud
sõnad või muusikapalad.

Antennis vastuvõetud energia hulka saab vastuvõtte-
aparaadis elektronitorude abil võimendada, kusjuures
antennis indutseerunud nõrka kõrgesagedusvoolu kasuta-
takse vastuvõtukoha vooluallikast võetava elektrivoolu
tüürimiseks vastuvõetava elektromagnetilise laine rütmis.
Niimoodi saab vastuvõetud väga nõrka voolutugevust või-
mendada tarbe korral mitmes astmes, nii et saadakse küllalt
tugev vool suure võimsusega valjuhääldajate tegevusse
rakendamiseks. Valjuhääldaja tööviis on samane telefoni
tööviisiga.

XVIII. Elektrivoolu ohtlikkus.

118. Elektrivoolu ohtlik toime.

Elekter on tänapäeval tehnikas kui ka igapäevases elus asendamatu energiaallikas. Samuti nagu iga teinegi energia kuju (soojus, aur jne.), nii võib ka elektrivool oskamatul käsitlemisel ohtlikuks saada ja õnnetusi põhjustada, kõnelemata elektriaparaatide riknemisest.

Elektrivool võib ohtlikuks saada peamiselt kahel viisil: põhjustades tulikahju või tuues inimestele ja loomadele raskeid ja isegi surmavaid vigastusi.

119. Elektrivool tulikahju põhjustajana.

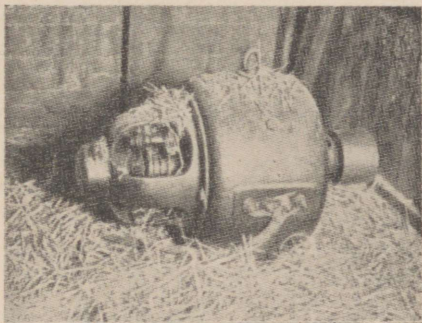
Teatavasti soojeneb voolu toimel elektriseadme iga voolu juhtiv osa. Kuid normaalse voolutugevuse juures ei ole see ohtlik, sest aparaatide ja juhtmete valmistamisel on see soojenemine arvesse võetud.

Liigne soojenemine ja seega tuleoht võib esineda elektriseadme ülekoormusel või riknemisel. Liigset soojenemist saab luuta kaitsmetega, mis automaatselt katkestavad vooluahela teatava voolutugevuse ületamisel. Sellest järgneb nõue, et kaitsmed olgu alati korras, neid ei tohi asendada ettenähtust tugevamatega ja ärgu kunagi kasutatagu parandatud kaitsmeid, millede tegevusse astumine õigel ajal on kahtlane.

Olenevalt elektriseadme kasutuskohast (niiskus, tuleohtlikud ained, tolm, sööbivad gaasid ja aurud jne.), tuleb seadme ehitamisel valida sääraseid materjalid ja aparaadid, mis antud töötingimustes oleksid küllaldaselt vastupidavad ega rikneks ning mille kasutamisel esinevad nähted ei saaks ohtlikuks. Näiteks voolu katkestamisel tekib lüliti kontaktide vahel väike säde; samuti tekivad sädemed mootori kommutaatori või kontaktrõngaste ja harjade vahel. Sellepärast nõuavad elektriseadmete ehituseeskirjad, et neis ruumes, kus olenevalt töötingimustest hoitakse kergesti tuldvõtvaid aineid, tuleb kasutada täiesti kinnisi elektriaparaate ja -mootoreid. Joonisel 132 on näidatud üks säärane tuleohtu võimalus: lahtine mootor on kattunud õlgedega, mis kergesti võivad süttida.

Elektriaparaate ja -materjale valmistatakse igasuguste töötingimuste jaoks ja elektriseadme ehitajal tarvitseb ainult valida kohased materjalid ja aparaadid ning need nõuete kohaselt üles seada. Õnnetuste luutmiseks tuleb elektriseadme ehitamine usaldada ainult selle tööala asjatundjale, jättes kõrvale muud kaalutlused.

Tuleohtu luutmiseks peab elektriseade alati korras ja puhas olema, isolatsioon olgu igal pool terve jne. Tähelepanu tuleb pöörata ka kõikidele klemmidele, et juhtmed oleksid alati kindlalt ja hästi nende külge kinnitatud. See nõue on tingitud sellest, et halva kontakti korral (juhe on



Joon. 132.

klemmi külge lõdvalt kinnitatud, kontaktpinnad pole puhtad, kaitsekork pole kaitseelemendi põhjani keeratud jne.) suureneb sellel kohal üleminekutakistus. Selle tõttu esineb halva kontakti korral liigne soojenemine, kuigi voolutugevus on normaalsetes piirides.

Elektriaparaadid võivad põhjustada tulikahju ka kaudselt, kui jätta näiteks elektrisoojuselised aparaadid järelevalveta voolu alla (elektritriikraud, elektrikeedunõud jne.). Ka elektri-hõõglamp võib põhjustada tulikahju, kui lambi pirn kattub kergesti süttiva tolmuga või kattes pirni paberiga. Lambi armatuuride kasutamine pole seega mitte üksi tarvilik valguse parema jagamise mõttes.

Kuigi tulikahju võimalusi elektriseadmes on rohkesti, saab neid siiski täielikult kõrvaldada korralikult ja eeskirjade kohaselt ehitatud elektriseadme teadliku käsitamise juures.

120. Elektrivoolu ohtlikkus inimesele.

Inimese keha juhib elektrivoolu. Kehaosade ja voolujuhtme kokkupuutumisel läbib inimese keha elektrivool, mis suundub maasse või vooluahela teise juhtmesse, kui inimene puutub samaaegselt ka teise juhtme vastu. Inimese keha läbistav vool halvab siseelundite tegevust ja sellega võib põhjustada surma. Uurimused tõendavad, et surmav voolutugevus on olnud isegi ainult 0,1 A, kuid juba voolutugevus 0,025 A põhjustab halvatuse.

Inimese keha läbistava voolu tugevus oleneb samuti Ohm'i seaduse põhjal pingest ja takistusest. Elektrilöökide korral on aga õnneks vooluahela takistus läbi inimese keha võrdlemisi suur. Pinge all oleva juhtme, masina või aparaaadi osa külge puutumisel koosneb see takistus inimese keha takistusest ja lisataktistusest. Lisataktistus moodustub üleminekutaktistusest pinge all oleva voolujuhtme ja kehaosa (harilikult käe) vahel ning üleminekutaktistusest keha ja maa vahel (jalatsite takistus, põranda takistus jne.).

Inimese keha takistus on umbkaudu 500 oomi. Lisataktistus on aga hulga suurem ja selle suurus oleneb mitmest tegurist, nagu puute pindalast (puude ühe sõrmega või kogu käega), puutesurve, naha seisukorrast (märg või higine nahk juhib elektrit paremini kui kuiv puhas nahk), jalatsitest (palja jalu niiskel põrandal seistes on takistus märksa väiksem kui kuivades saabastes), üleminekutaktistusest põranda ja maa vahel jne. Eelöeldust järgneb, et elektri-jaotusvõrkudes tavaliselt kasutatavate pingete puhul (110—380 V) inimese keha ja üleminekutaktistus ei paku veel mingit kaitset elektrilöökide vastu, sest keha läbiva voolu tugevus ei olene ainuüksi pingest, vaid sõltub suurel määral muudest, sageli juhuslikest teguritest. Seetõttu on kõik tugevvoolu seadmetes harilikult kasutatavad pinged elule ohtlikud, eriti aga siis, kui pinge all olevad osad on niisketes ruumides.

Eluohtlike õnnetusi elektriseadmetes saab luuta kahel viisil. Selleks tuleb eeskätt kasutada nõuetekohaseid materjale ja aparate ning ehitada kogu seade eeskirjade kohaselt. Joonisel 133 on näidatud elektrilöögi võimalus eeskirjade vastase käsilambi (harilik lambipesa) käeshoidmisel ja samaaegsel kraani avamisel teise käega (veetorus-tik on hea maandus). Ka joonisel 132 näidatud elektrimoo-

torilt saab kergesti elektrilööki, sest selle klemmilaud on kinni katmata.

Kuid ka kõige eeskujulikumalt ehitatud elektriseadmes võivad esineda rikked ja mehaanilised vigastused, millede tagajärjel võivad sattuda pinge alla need seadme osad, mis tavaliselt on pingevabad. Sellisel juhul on nende osade



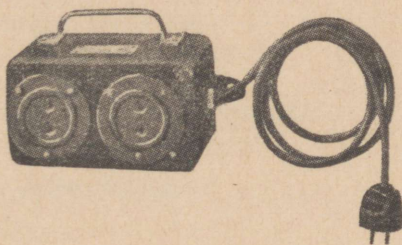
Joon. 133.

vahel teatav pinge, nn. külgepuutepinge, mille tõttu juhuslikul külgepuutumisel neile osadele läbib inimese keha elektrivool, mis võib ohtlikuks saada.

Kaitset külgepuutepinge vastu teostatakse mitmel viisil, ja nimelt isoleerimise, madalpinge, maandamise, nullimise ja kaitselülitite abil.

Isoleerimine seisab selles, et aparaatide käepidemed, kestad jne. valmistatakse isoleerainest või valmistatakse põrandad isoleerivast materjalist.

Madalpingeline vool, pingega alla 60 V, on inimesele igal juhul ohutu. Sellist madalpingelist voolu saadakse erilistest transformaatoritest (joon. 134) või akudest



Joon. 134.

ning seda kasutatakse käsilampide toitmiseks (näiteks katelde puhastamisel) jne.

M a a n d a m i n e seisneb selles, et need seadme osad, millel võib tekkida külgepuutepinge, ühendatakse voolujuhtivalt maaga.

Nulljuhtmega jaotusvõrkudes võib kaitstavad seadme osad ühendada maa asemel ka nulljuhtmega. Seda kaitseviisi nim. n u l l i m i s e k s.

K a i t s e l ü l i t i t e tööviis põhjeneb sellel, et tavaliselt vooluta aparaatide või masinate osade pinge alla sattumisel juhitakse neist vool maasse läbi erilise elektromagnetilisel toimel töötava kaitseüliti. Külgepuutepinge tekkimisel katkestab kaitseüliti kohe voolu riknenud aparaati või masinasse.

Sisukord.

	Lk.
Eessõna	3
I. Vooluahel. Elemendid. Voolu toime.	
1. Vee ringvool looduses	5
2. Elektri vooluahel	5
3. Galvaani elemendid	7
4. Voolu suund	9
5. Elektrivoolu toime	9
6. Voolutugevus ja selle mõõtmine	10
II. Takistus.	
7. Takistus. Juhid ja isolaatorid	10
8. Juhtivus	12
9. Eritakistus ja erijuhtivus. Juhtmed	12
10. Juhtme takistuse arvutamine	14
11. Takistuse olenevus temperatuurist	15
12. Reostaadid	16
13. Takistuse mõõtmine	17
III. Elektrivoolu keemiline toime.	
14. Elektrolüüs	18
15. Elektrolüüsi kasutamine	18
16. Vooluallika pooluste määramine	20
17. Faraday seadus	20
18. Amper — voolutugevuse mõõtühik	21
19. Elektrolüüsil eralduv aine hulk	22
IV. Elektrivoolu soojuseline toime.	
20. Voolusoojus	23
21. Hõõglamp	25

	Lk.
22. Soojendusaparaadid	26
23. Kuumtraat-ampermeeter	27
24. Termoelekter	28
 V. Elektromotoorne jõud ja pinge.	
25. Elektromotoorne jõud	29
26. Pinge. Volt	29
27. Ohm'i seadus	30
28. Pinge mõõtmise. Voltmeeter	31
29. Ohm'i seaduse katseline kontrollimine	32
30. Pingelangus	34
31. Vooluallika klemmiping	35
32. Vooluallikate lülitused	36
33. Elektriaparaatide nimespinge	37
 VI. Elektri töö ja võimsus.	
34. Elektri võimsus	38
35. Elektrilise ja mehaanilise võimsuse suhe.	41
36. Elektri töö	41
 VII. Takistuste lülitusviisid	
37. Elektriaparaatide lülitusviisid	43
38. Järjestikku-lülitus	43
39. Paralleellülitus	47
40. Segalülitus	49
 VIII. Elektrivoolu magnetiline toime.	
41. Magnet	51
42. Magnetipoolused	52
43. Molekulaarmagnetid	53
44. Hüsteresis	54
45. Magnetiväli	55
46. Maakera magnetiväli	57
47. Voolu toime magnetnõelale. Galvanomeeter	57
48. Elektrivoolu magnetiväli	58
49. Elektromagnet	60
50. Pehmerauast volt- ja ampermeeter	60
51. Elektrikõlistaja	65

52. Telegraaf	66
53. Telefon	67

IX. Elektrivoolu indutseerimine.

54. Elektromagnetiline induksioon	69
55. Indutseeritud elektromotoorse jõu suurus ja suund	70
56. Vahelduvvool	71
57. Vahelduvvoolu sagedus ja pinge	73
58. Vahelduvvoolu sageduse arvestamine	75
59. Pöörivvoolud	76

X. Alalisvoolu generaatorid.

60. Alalisvoolu generaatori tööviis	77
61. Alalisvoolu generaatori indutseeriv mähis	78
62. Generaatori magnetsüsteem	79
63. Generaatori ankur	79
64. Dünamoelektriline printsip	80
65. Generaatorite lülitusviisid	81
66. Haruvoolu generaatori pinge reguleerimine	82

XI. Akumulaatorid.

67. Akumulaatori otstarve ja tööviis	82
68. Tinaakumulaator	83
69. Aku mahtuvus	85
70. Leelis- ehk raudnikkel-aku	86
71. Aku patarei	87

XII. Alalisvoolu mootorid.

72. Magneti toime voolujuhtmele	87
73. Alalisvoolu mootori ehitusviis	88
74. Mootori voolutugevus	88
75. Alalisvoolu mootori tiirude arv ja selle reguleerimine	89
76. Alalisvoolu mootorite lülitusviisid	91
77. Alalisvoolu mootori käivitamine	91
78. Alalisvoolu mootori tiirlemise suuna muutmine	92
79. Alalisvoolu mootorite hooldamine	92
80. Alalisvoolu mootorite rikkeid	94
81. Pöördkatsa ampermeeter ja voltmeeter	95

XIII. Vahelduvvoolu allikad.

82. Vahelduvvoolu generaator	96
83. Vahelduvvoolu generaatori indutseeriv mähis	97
84. Keerdvoolu generaator	98
85. Kolmefaasilise voolu lülitusviisid	100
86. Elektroinduktsioon	102
87. Transformaator	104
88. Transformaatori ehitus	105

XIV. Vahelduvvoolu mootorid.

89. Keerlev magnetiväli	107
90. Lühiühendusrootoriga keerdvoolu mootor	109
91. Lühiühendusrootoriga mootori käivitamine	110
92. Kontaktrõngastega mootor	111
93. Asünkroonmootori tiirude reguleerimine	112
94. Asünkroonmootori tiirlemise suuna muutmine	113
95. Universaalmootorid	113
96. Keerdvoolu mootorite hooldamine	113
97. Keerdvoolu mootorite rikkeid	113
98. Voolulugeja	114

XV. Vahelduvvoolu takistus ja võimsus.

99. Vahelduvvoolu takistus ja võimsus	115
100. Omaiduktsioon	115
101. Vahelduvvoolu võimsus	117
102. Keerdvoolu võimsus	120
103. Mahtuvus ja kondensaator	124

XVI. Voolu juhtimine tarvitajani.

104. Pingelangus juhtmetes	125
105. Juhtmete ristlõike pinna arvutamine	126
106. Juhtmete kõige väiksem ristlõike pind	127
107. Lühiühendus	128
108. Kaitsmed	129
109. Automaatkaitsmed	131
110. Voolujaotus tarvituskohtades	131

XVII. Raadiotehnika algmõisted.

111. Elektrontoru	133
112. Võnkeahel	135
113. Elektri võnkeahelate sidestamine	136
114. Sumbumata võnked	137
115. Elektromagnetilised lained ja raadiotelegraaf	138
116. Ringhäälingu saatja	139
117. Raadiovastuvõtja	140

XVIII. Elektrivoolu ohtlikkus.

118. Elektrivoolu ohtlik toime.	142
119. Elektrivool tulikahju põhjustajana	142
120. Elektrivoolu ohtlikkus inimesele	144

Kirjastus K.-Ü. „OSKUSRAAMATU” väljaandel

on ilmunud:

Ins. R. Rava. „**Tehniline füüsika**“. Koostatud tööstuslike koolide õppekava kohaselt ja haridusmin. poolt kasutamiseks lubatud. Hind kr. 2.—.

Ins. K. Andessaar. „**Plahvatusmootorid ja nende abimehhanismid**“. Käsitleb iga liiki mootoreid, eriti diisel- ja laevamootoreid, kütta-aineid, määrdõlisisid, mootorite hooldamist ja parandustöid. Haridusmin. poolt kasutamiseks lubatud tööstuslike koolides ja autojuhtide ning motoristide kursustel. Hind kr. 4.—.

J. Salm, H. Pöder ja O. Lippmaa. „**Kingsepa ja pealsetegija käsiraamat**“. Esimene eestikeelne teos sel alal. Koostatud tegeliku elu vajaduste ja meistrite ning õppinud tööliste eksamikava nõudele vastavalt. Haridusmin. poolt lubatud tarvitusele võtta tööstuslikes õppeasutistes õppe- ning käsiraamatuna. Hind kr. 3.—.

H. Paris. „**Materjaliõpetus I**“. Käsitleb naiskutsekoolide õppekavade kohaselt kõikide kiudainete tundmist, tekstiilsaaduste valmistamise ja apretuurtöid. Haridusmin. poolt lubatud tarvitusele võtta õperaamatuna kutsekoolides. Hädavajalik käsiraamat ka meistrite ning õppinud tööliste eksamile ketruse, kudumise, rõivaõmblemise jne. tööaladel. Hind kr. 2.50.

H. Paris. „**Materjaliõpetus II**“. Selles käsitletakse eririideliike, paelu, pitse jne. ning teisi õmblemise abimaterjale. Hind kr. 1.50.

Meistrite ja õppinud tööliste kutseeksami kavad.

Raamatud on saadaval igas paremas raamatukaupluses. Hinnamaksjale posti jooksvale arvele nr. 879 saadetakse raamatud kuludeta kätte.

Kirjastus K.-Ü. „OSKUSRAAMAT”

Tallinn, Kaupmehe 5, tel. 421-25.

Hind kr. 2.—