

17 10277
Deplum

KOOSTAJA-TOIMETAJA
A. PÕDRUS

Elektrantaaž

I

ELEKTRITEORIA
JA
MÕÕTMISTEHNIKA

RK

„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS“
TALLINN, 1946

Duplum

ELEKTROMONTAAŽ

ELEKTRITEOORIA JA
MÕÕTMISTEHNIKA

KOOSTANUD JA TOIMETANUD A. PÕDRUS

RK

„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS“
TALLINN 1946



14863
A-16202

Lühendid ja märgid.

Mööduühikud ja nende osad		Mõisted	
Lühend	Nimetus	Leppe- märk	Nimetus
V mV μ V kV	volt millivolt mikrovolt kilovolt	U, u E e p	pinge elektromotoorne jõud pingelang suhteline pingelang (%)
A mA μ A kA A/cm^2 A/mm^2	amper milliamper mikroamper kiloamper amprit ruutsentimeetrile amprit ruutmillimeetrile	J, i j	voolutugevus voolutihedus (A/cm^2 , A/mm^2)
C Ah	kulon (ampersekund) ampertund (3600 C)	Q	elektrihulk (-laeng)
W mW kW MW VA kVA W/cm^2 mkg/s HJ	vatt millivatt kilovatt megavatt voltamper kilovoltamper vatti ruutsentimeetrile meeterkilogr. sekundis hobujõud (75 mkg/s.)	N ΔN $\cos\varphi$ η C φ	võimsus võimsuse kadu võimsustegur kasutegur $[(N-\Delta N)/N]$ pinnakoormus (W/cm^2 , W/mm^2) faasi nihkenurk
Wh kWh MWh J cal kcal mkg HJh	vatt-tund kilovatt-tund megavatt-tund džaul (vattsekund) kalor kilokalor meeterkilogramm hobujõutund	A Q c	töö, energia soojusehulk erisoojus

Mõõduühikud ja nende osad		Mõisted	
Lühend	Nimetus	Leppe- märk	Nimetus
M G Oe	maksvell gauss örsted	Φ B H F μ	magnetvoog väljatihedus väljatugevus magnetomotoorne jõud permeaablus, läbitavus
H mH μ H cm	henri millihenri mikrohenri sentimeeter (0,001 μ H)	L	induktiivsus
V/cm C/cm ²	volti sentimeetrile kulonit ruutsentimeetrile	E ε D	elektrivälja tugevus dielektriline konstant dielektriline nihe
F μ F pF cm	farad mikrofarad pikofarad ($\mu\mu$ F) sentimeeter (1,11 pF)	C	mahtuvus
mV/m μ V/m	millivolti meetrile mikrovolti meetrile	$E H$	elektromagnetiline väli
Hz, per./s. kHz MHz	herts, perioodi sekundis kiloherts megaherts	f ω	sagedus ringsagedus ($2\pi f$)
Ω m Ω k Ω M Ω	oom millioom kilo-oom megoom	R, r ρ G σ X X_L X_C Z	takistus, elektriline eritakistus juhtivus ($1/R$) erijuhtivus ($1/\rho$) ebataakistus, reaktiiv- takistus induktiivtakistus mahtuvustakistus näivtakistus (impedans)
$^{\circ}$ C $^{\circ}$ K	Celsiuse kraad Kelvini kraad	t T α	temperatuur absoluut-temperatuur ($t+273$) temperatuuritegur

Mööduühikud ja nende osad		Mõisted	
Lühend	Nimetus	Leppe- märk	Nimetus
Lm DLm Lx Sb K	luumen dekaluumen (10 Lm) luks stilb küünal	Φ <i>E</i> <i>B</i> <i>J</i>	valgusvoog pinnavalgustus pinnahaledus valgusetugevus
μbar $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ $\mu\text{W}/\text{cm}^3$ phon bell db	mikrobar (ca $10^{-6}\text{kg}/\text{cm}^2$) mikrovatti ruutsenti- meetritele mikrovatti kuupsenti- meetritele phon bell (10 phoni) detsibell (1 phon)	<i>p</i> <i>N</i> <i>W</i> <i>b</i>	helisurve helivõimsus heli energiatihedus helitugevus
g kg t at.	gramm kilogramm tonn atmosfäär	<i>P</i> <i>G</i> <i>p</i> γ	jõud, tung kaal, raskus rõhk erikaal
h m., min. s., sek.	tund minut sekund	<i>t</i> <i>T</i>	aeg perioodi kestvus
m dm cm mm km " a m^2 dm^2 cm^2 mm^2 l cm^3 m^3	meeter detsimeeter sentimeeter millimeeter kilomeeter toll (25,4 mm) aar (100 m ²) ruutmeeter ruutdetsimeeter ruutsentimeeter ruutmillimeeter liiter (dm ³) kuupsentimeeter kuupmeeter	<i>l</i> <i>b</i> <i>h</i> <i>a</i> <i>D, d</i> \emptyset <i>R, r</i> λ <i>S</i> <i>q</i> <i>V</i> $\alpha, \beta, \gamma \dots$	pikkus laius kõrgus kaugus, vahemaa läbimõõt läbimõõt raadius lainepikkus pindala juhtme ristpindala, põik- pind ruumala, maht nurk
m/s km/h m/s^2 kg/mm^2 kg/cm^2 kgm	meetrit sekundis kilomeetrit tunnis meetrit sekundruudus kilogrammi ruutmilli- meetritele kilogrammi ruutsenti- meetritele kilogramm-meeter	<i>v</i> <i>g</i> σ <i>M</i> <i>n</i>	kiirus vabalangemise kiirendus mehaaniline pinge moment (jõud \times öla pikkus) pöörete arv minutis

Matemaatilised märgid.

Kreeka tähtede hääldamine.

Märk	Tähendus
%	protsent (sajandik)
‰	promill (tuhandik)
...	kuni, jne.
+	pluss
-	miinus
×	korda
:	jagatud
=	võrdne
≠	mittevõrdne
≈	ligikaudu (ca)
<	väiksem kui
>	suurem kui
≤	väiksem või võrdne
≥	suurem või võrdne
∞	lõpmatu
∥	paralleelne
△	kolmnurk
~	sarnane, võrdeline
×	nurk
√	juur
log	logaritm (alusel 10)
ln	naturaallogaritm (alusel e)
cos	cosinus
tg	tangens

Suured tähed	Väikesed tähed	Hääldamine
A	α	alfa
B	β	beeta
Γ	γ	gamma
Δ	δ	delta
E	ε	epsilon
Z	ζ	dseeta
H	η	eeta
Θ	θ	t(h)eeta
I	ι	ioota
K	κ	kappa
Λ	λ	lambda
M	μ	müü
N	ν	nüü
Ξ	ξ	ksii
O	ο	o mikròn
Π	π	pii
P	ρ	rho
Σ	σ	sigma
T	τ	tau
Υ	υ	üpsilon
Φ	φ	fii
X	χ	ksi
Ψ	ψ	psii
Ω	ω	omega

Mõõduühikute kümnendikosade ja kümnekordsete suuruste märgid.

D = deka = 10 ¹ = 10	d = deci = 10 ⁻¹ = 0,1
h = hekto = 10 ² = 100	c = centi = 10 ⁻² = 0,01
k = kilo = 10 ³ = 1 000	m = milli = 10 ⁻³ = 0,001
M = mega = 10 ⁶ = 1 000 000	μ = mikro = 10 ⁻⁶ = 0,000 001
G = giga = 10 ⁹	n = nano = 10 ⁻⁹
T = tera = 10 ¹²	p = pico = 10 ⁻¹²

ESIMENE OSA.

ELEKTRITEOORIA.

I. ÜLDMÕISTED.

1. Elektrilaeng.

Iga aine väikseim osake — aatom — koosneb südamikust ja selle ümber tiirlevaist elektronidest. Tavaliselt on elektronid aine aatomitega seotud, nad võivad aga ka iseseisvalt esineda; sellist vabade elektronide kogu nimetatakse elektriiks.

Vastavalt sellele, kas elektrone on kehas suhteliselt vähem või rohkem kui maas, omab keha positiivse (+) või negatiivse (—) laengu. Seega omavad elektronid negatiivse laengu. Nad ongi negatiivse laengu algosakesed.

2. Juhid ja isolaatorid.

Mõnedes ainetes liiguvad elektriosakesed hõlpsasti, teistes raskemini, kolmandais ei liigu nad peaaegu üldse. Sellele vastavalt jagunevad ained elektrijuhtideks (metallid, grafiit, tihe süsi jne.), pooljuhtideks (betoon, paekivi jne.) ning isolaatoriks (portselan, klaas, paber, õli, kummi, kiudained, lakk, vaigud jne).

3. Pinge U . Elektromotoorne jõud E . Volt V .

Mida tihedam on mingis kehas elektrilaeng, seda suurem on jõud, millega elekter püüab tungida hõredama elektrilaenguga kehadele. Seda jõudu nimetatakse potentsiaaliks. Maa-keras potentsiaal võetakse mõõtmisel nulliks, samuti nagu merepind kõrguse mõõtmisel või keskmine õhurõhk (760 mm elavhõbedasammast) üle- ja alarõhu mõõtmisel.

Pingeks nimetatakse kahe keha või keha punktide vahelist potentsiaalide vahet. Pinget võib võrrelda ülerõhuga auru-
katlas või jalgrattakummis, veepindade kõrguste vahega vesiturbiinis jne.

Elektrienergia allika klemmide vahel valitsevat potentsiaalide vahet nimetatakse klemmipingeks.

Klemmipinget kutsub esile elektrienergia allika sisemuses peituv elektromotoorne jõud.

Valemites tähistatakse pinge tähega U või u ja elektromotoorne jõud tähega E .

Potentsiaali, pinge ja elektromotoorse jõu mõõduühikuks on 1 volt (1 V).

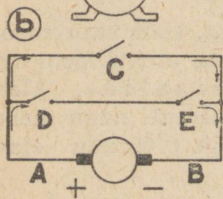
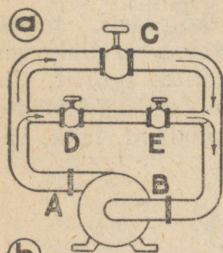
$$1 \text{ kV (kilovolt)} = 1000 \text{ V,}$$

$$1 \text{ V} = 1000 \text{ mV (millivolti).}$$

Tavaliselt esinevad pingesuurused on: välk — paarsada miljonit kuni miljard volti; laboratooriumides saavutatud — kümnekond miljonit volti; kõrgepinge magistraalliinid — 3000...380 000 V; tavalised elektriseadmed eluruumides — 110...220 V; elektrikõlistid ja telefonid — kuni 36 V; raadio vastuvõtuaparaatide antennides — mõni miljondik volti.

4. Elektrivool J . Amper A .

Kui kaks erineva potentsiaaliga keha omavahel juhtivast ainet esemega ehk juhtmega ühendada, hakkavad viimases elektriosakesed liikuma ja liiguvad seni, kuni pinge (s. o. potentsiaalide vahe) nende kehade vahel kaob. Nähtus on analoogiline auru või õhu voolamisele ülerõhu mõjul ühest kinnisest anumast teise anumasse.



Joon. 1. Elektri ja õhu ringvool.

Kestva voolu saamiseks tuleb potentsiaalide vahet pidevalt alal hoida; elektrienergia allikas (töötav dünamo, akumulatsioon jne.) tekitab pluss- ja miinus-klemmide vahel (joon. 1-b) püsiva potentsiaalide vahe — pinge. Klemmide ühendamisel juhtmega üle lülitite C või D ja E tekib elektri ringvool, elekter voolab plussklemmist läbi juhtmete miinus-klemmi ja viimasest läbi vooluallika uuesti plussklemmi. Pinge hoitakse klemmidel püsivana vooluallikas mõjuva elektromotoorse jõu toimele.

Nähtus on analoogiline õhu ringvoolule torustikus (joon. 1-a). Töötav ventilaator surub õhu torus A kokku, kuna B-s tekib hõrendus. Ventiilide C või D ja E avamisel tekib püsiv õhu ringvool.

Tervet elektrivoolu ringteed nimetatakse vooluringiks (vooluahelaks). Vooluring koosneb elektrienergia allikast, ühendusjuhtmeist ja elektrienergiat tarvitavatest aparaatidest (lambid, mootorid, küttekehad jne.). Vool lõpeb vooluringi katkemisel või elektromotoorse jõu kadumisel.

Vool on seda tugevam, mida kõrgem on pinge ja mida väiksem on vooluringi takistus.

Voolutugevuse tähiseks on valemite J või i .

Voolutugevuse mõõduühikuks on 1 amper (1 A). See on vool, mis 1 sek. jooksul eraldab 1,118 mg hõbedat hõbenitraadi vesilahusest (vt. p. 7).

$$1 \text{ kA (kiloamper)} = 1000 \text{ A,}$$

$$1 \text{ A} = 1000 \text{ mA (milliamprit).}$$

Positiivne elektrilaeng liigub vooluallika plussklemmilt läbi välise vooluahela miinusklemmi; allpool on elektrivoolu suuna all igal pool mõistetud ülaltähendatud suunda. Elektronide kui negatiivsete elektriosakeste liikumise suund on aga sellele vastupidine. Kas elektrivool koosneb ainult negatiivselt laetud elektronidest või võtavad sellest osa ka positiivse laenguga aatomi südamikud, on küsimus omaette, millel pole aga praktilist tähtsust.

Tavaliselt esinevad voolusuurused on: välk 20...60, harvem kuni 200 kA; elektrisulatusahjud kuni 50 kA; elektritriikraud 2...6 A; hõõglambid (väiksemad) 0,1...1 A; telefon mõni mA.

5. Elektrihulk Q . Kulon C.

Laengu suuruse või läbivoolanud elektrihulga (Q) mõõduühikuks on 1 kulon (C). See on elektrihulk, mis voolab läbi juhtme 1 A voolutugevuse puhul 1 sekundi vältel; s. o. kulon = ampersekund = $1 \text{ A} \times 1 \text{ sek.}$ Suuremate elektrihulkade juures tarvitatakse mõõduühikuks ampertundi (Ah), s. o. elektrihulka, mis voolab läbi juhtme üheamprise voolutugevuse puhul 1 tunni vältel.

$$1 \text{ Ah} = 3600 \text{ kulonit ehk ampersekundit.}$$

Näide: Voolutugevus 5 A, aeg 3 tundi.

$$Q = 5 \times 3 = 15 \text{ ampertundi.}$$

Elektrihulga mõõtmist kasutatakse peamiselt akumulaatorite mahtuvuse määramisel ja elektrokeemias.

6. Takistus R . Oom Ω .

Mida halvemini juhtmaterjal elektrit läbi laseb ning mida pikem ja peenem on juhe, seda suurem on selle elektriline takistus. Takistuse leppemärgiks on R või r .

Takistuse mõõduühikuks on 1 oom (Ω), missugust takistust omab ühe mm^2 ristpinnaga 106,3 cm pikkune elavhõbedasammas 0°C temperatuuri juures. 1 $\text{M}\Omega$ (megoom) = 1 000 000 Ω .

Juhtmaterjali temperatuuri tõusul takistus harilikult suureneb; ta väheneb ainult söe, elektrolüütide ja mõne metalli sulami puhul.

Takistuse pöördsuurust nimetatakse juhtivuseks (G).
Juhtivus $G = 1 : R$.

7. Elektrivoolu mõju.

Elektri voolamisega on seotud järgmised nähtused:

a) Soojenemine. Elektri voolamisel iga juhe soojeneb, ning seda enam, mida suurem on voolutugevus ja juhtme takistus.

b) Magnetväli. Elektri voolamisel tekib iga juhtme ümber magnetväli, mille tugevus on võrdeline voolutugevusega.

c) Elektrolüüs. Elektri voolamisel läbi soola-, happe- või leeliselahuse tekib nn. elektrolüüs, s. o. vedelik — elektrolüüt — laguneb oma algosadeks.

d) Valgusnähtused gaasides ja kiirgamine. Kõrgete pingete ja eriti madalate gaasirõhkude juures voolab elekter ka läbi gaaside, kusjuures viimased hakkavad helendama. Väga suure pinge ja vaakumi juures purunevad gaasiosakesed; tekivad erilised anood-, katood- ja viimaste mõjul röntgenikiired.

e) Füsioloogiline mõju. Voolu mõjul tõmbuvad lihased kramplikult kokku.

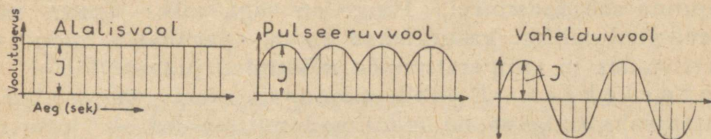
8. Vooluliigid.

Tarvitusel on järgmised vooluliigid:

a) Alalisvool. Elekter voolab püsivalt ühes suunas.

b) Pulseerivvool. Elekter voolab ühes suunas, kuid voolutugevus suureneb ja väheneb perioodiliselt, harilikult parkümmend või enam korda sekundis.

c) **Vahelduvvool.** Elekter voolab juhtmes edasi-tagasi, muutes harilikult suunda paarkümmend või enam korda sekundis.



Joon. 2. Vooluliigid.

Kaks, kolm või enam üksikut vahelduvvoolu kokkukombineeritult annavad mitmefaasiseid voolusid, milledest levinuim on kolmefaasine (keerdvool).

9. Elektri voolamine juhtmeis.

Paigalseisev — staatiline — elekter asub peamiselt juhtme välispinnal. Alalisvool läbib voolamisel kogu juhtme ristpindala ühtlaselt nagu vesi torus. Vahelduvvoolu puhul surutakse elekter omainduktsiooni (muutuvate magnetväljade) mõjul seda enam juhtme välispinnale (nn. pinna- ehk skin-efekt), mida kiirem on voolu suuna vaheldus. Harilikult tugevvoolu tehnikas kasutatava sageduse (50 per./s.) juures on see nähtus niivõrd väike (maksimaalselt mõned $\frac{0}{100}$), et seda ei arvestata (erandiks on raudjuhtmed). Kõrgesagedusega voolude juures (näit. raadiotehnikas) seevastu on vahe väga suur — juhtmeteks kasutatakse suuremate voolutugevuste juures hõbetatud torusid või läbipõimitud kiudtraati.

10. Elektrienergia saamine.

Elektrienergiat saadakse tänapäeval enamasti mehaaniliselt, elektrimasinate abil. Viimastes tekib elektromotoorne jõud E magneto-elektrilise induktsiooni tõttu juhtmete liikumisel magnetväljas. Seni on saavutatud pingeid otseselt, masinaist, kuni 35 000 V; kaudselt, üle transformaatorite, kuni 10 miljonit volti.

Teistest elektrilise energia allikaist on tarvitusel:

Galvaani elemendid. Lahjasse soola-, happe- või leeliselahusesse — elektrolüüti — asetatakse kaks erinevat metallipulka või -plaati — elektroodi. Üheks elektroodiks võib olla ka süsi. E tekib elektroodide ja elektrolüüdi vahelise keemilise protsessi tõttu. Saadav pinge on 1 kuni 4 V ühe ele-

mendi kohta. Neid kasutatakse peamiselt väikeste voolutugevuste saamiseks, side- (signalisatsiooni- ja telefoni-) tehnikas.

Termoelekter. *E* tekib kahe erineva metalli kokkupuutepinna soojendamisel. Pinge on väga väike (paar mV). Säärast vooluallikat kasutatakse harva, peamiselt mõningais mõõteriistades ja temperatuuride mõõtmise juures.

Fotoelekter. *E* tekib mõningais aineis valguse mõjul. Saavutatavaks pingeks on mõningad millivoldid — kasutamisel signaal- ja heliaparatuurides ning valguse mõõtmisel.

Hõõrd-elekter. *E* tekib kahe keha vastastikusel hõõrumisel. Annab üsna kõrgeid pingeid, kuid seejuures saadav elektrihulk on äärmiselt väike. Elektrotehnikas seda menetlust ei kasutata.

Elektrostaatiline induktsioon (influentselekter). *E* tekib naabruses asuva tugeva elektrivälja mõjul. Tehnikas kasutatakse seda menetlust väga harva.

II. ALALISVOOLU AHEL.

11. Alalisvool.

Alalisvooluks nimetatakse elektrivoolu, mille voolamise suund, pinge ja voolutugevus on ajaliselt püsivad.

Alalisvool tekib püsiva elektromotoorse jõu mõjul. Alalisvoolu allikana kasutatakse peamiselt galvaani elemente (väikeste elektrihulkade puhul) ja mehaaniliselt käitatavaid dünamomasinaid.

Elektrienergia tagavaraks kogumisel kasutatakse sekundaarelelemente, nn. **akumulaatoreid**.

Alalisvoolu-allika pooluste kindlaksmääramiseks on olemas järgmised abinõud:

Vee elektrolüüs: Juhtmete otsad asetatakse nõrka happe- või soolalahusesse. Juhtmete otstel tekivad gaasimullid; negatiivsel (s. o. vooluallika negatiivse klemmiga ühendatud juhtmel) kaks korda enam kui teisel. Pingete puhul üle 40 V lastakse vool läbi eeltakistuse (näit. elektrilambi).

Pooluse paber. Fenoõlftaleiniga immutatud kuivatuspaberit niisutatakse ja puudutatakse juhtmetega: miinusjuhtme kohal värvub paber punaseks.

Huumlamp. Kasutamisel pingete juures üle 100 V erilise proovilambi näol. Negatiivse elektroodi juures tekib gaasi helenemine, kuna plusselektroodi ümbrus jääb tumedaks.

12. Ohmi seadus.

See määrab kindlaks pinge, voolu ja takistuse vastastikused suurused. Tarvitusel kolmel kujul:

a) $J = U : R$, b) $R = U : J$, c) $U = J \cdot R$,
kus J = voolu suurus amprites (A), U = pinge voltides (V),
 R = takistuse suurus oomides (Ω).

Näide 1: Elektrivõrku, mille pinge 220 V, on ühendatud reostaat takistusega 20 oomi. Leida voolu suurus.
Vool $J = 220 : 20 = 11$ A.

Näide 2: Akumulaatori patarei klemmide vahele ühendatud reostaati läbis 0,5 A; akumulaatori patarei pinge oli seejuures 12 V. Leida reostaadi takistus.
Takistus $R = 12 : 0,5 = 24$ oomi.

Näide 3: $R = 3$ oomi; $J = 10$ amp. Leida pinge.
Pinge $U = 3 \times 10 = 30$ V.

Eritakistused.

Tabel 1.

A i n e	Eritakistus ρ (15° C juures) $\frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$	Temperatuuri tegur α (algtemperatuurile 15° C)	Erijuhtivus σ $\frac{\text{m}}{\Omega \text{ mm}^2}$
Hõbe Ag	0,016	0,0036	62
Vask (pehme) Cu	0,0175	0,004	57
Kuld Au	0,022	0,0037	45
Alumiinium Al	0,03	0,004	33
Tsink Zn	0,06	0,004	17
Nikkel Ni	0,11	0,004	9
Raud Fe (keem. puhas)	0,10	0,0048	10
Raudtraat, pehme	0,143	0,0047	7,3
Terastraat	0,17	0,0052	5,8
Tina (inglistina) Sn ..	0,14	0,0045	7
Plii (seatina) Pb	0,20	0,004	5
Pronks Cu, Sn, Al	0,02—0,05	0,005	50—20
Valgevask Cu, Zn	0,07—0,08	0,0015	14—12
Uushõbe Cu, Ni, Zn ..	0,2 —0,4	0,0003	5—2,5
Nikeliin Cu, Ni	0,35—0,45	0,0002	3—2
Manganiin Cu, Mn	0,4 —0,45	—0,00001	2,5—2
Konstantaan Cu, Ni	0,46—0,5	0,00002	2
Krupiin Fe, Ni	0,8	0,0006	1,2
Kroomnikkel	1,0	0,00025	1
Grafiit ja retortsüsi C	10—100	{ —0,0008kuni } { —0,0003 }	0,1—0,01

13. Eritakistus.

Eritakistuseks nimetatakse 1 m pikkuse ja 1 mm² ristpinnaga traadi takistuse suurust 15° C juures.

Eritakistuse suurused määratakse kindlaks mõõtmise teel.

Eritakistuse leppemärgiks on ρ (rho).

Eritakistuse pöörd suurust nimetatakse erijuhtivuseks σ .

Erijuhtivus $\sigma = 1 : \rho$.

Eritakistuse suurust mõjutab paari protsendi piires materjali ümbertöötlemise viis (valamine, valtsimine, hõõgutamine jne.).

Teiste ainete lisandused, ka vähesel määral, võivad eritakistust tunduvalt suurendada (metallidel) või vähendada (elektrolyütidel).

Isoleerainetel antakse eritakistus enamasti megoomides 1 cm³ kohta.

14. Takistuse arvutamine.

Juhtme takistus $R = \frac{\rho \cdot l}{q}$ ehk $R = \frac{l}{\sigma \cdot q}$,

kus ρ = eritakistus, l = pikkus (m), q = ristpindala (mm²), σ = erijuhtivus.

Näide: Alumiiniumtraadi $l = 120$ m, $q = 10$ mm², $R = (0,03 \times 120) : 10 = 0,36$ oomi.

Eritakistus on antud harilikult 15° C kohta, teistsuguse t juures on takistus $R_t = R_0 (1 + \alpha t)$, kus R_0 = takistus 15° C juures; t = üle- või alatemperatuur, arvates 15° C-st; α — temperatuuri tegur; viimane on enamikul metallidest 0,004 piires.

Näide 1: Vasktraadi takistus 15° C juures on 200 oomi, 100° C juures on takistus $R = 200 \times [1 + (0,004 \times 85)] = 268 \Omega$.

Näide 2: Vasktraadi takistus 90° C juures on 150 oomi. Leida takistus 140° C juures.

Lahendus: a) 15° C juures on $R = 150 : [1 + (0,004 \times 75)] = 115$ oomi.

b) 140° C juures on $R = 115 \times [1 + (0,004 \times 125)] = 173$ oomi.

15. Takistused elektrotehnikas.

Iga vooluahelasse kuuluv osa, nagu vooluallikas ise (dünamo, aku jne.) ning ühendusjuhtmed ja voolutarvitavad aparaadid (lamp, mootor, küttekeha jne), omavad eranditult teatavat takistust.

Mõnel juhul, nagu ühendusjuhtmeis ja osalt ka vooluallikas, on takistuse mõju kahjulik, tekitades pingelangu ja võimsusekaotuse, mis pärast seda püütakse viia miinimumini, kasutades võimalikult väikese eritakistusega jämedaid juhtmeid.

Seevastu paljude elektrienergiat tarvitavate aparaatide (hõõglambid, küttekehad) tööviis tugineb otseselt takistuse omadustele.

Peale takistuse kui füüsikalise omaduse nimetatakse elektrotehnikas takistuseks ka iga elektrivõimsust tarvitavat aparati.

Takistusi, mis on määratud ainuüksi voolusuure piiramiseks või reguleerimiseks, nimetatakse *resistants* (käivitid, regulaatorid jne.).

16. Võimsus *N*. Vatt *W*.

Võimsus näitab, millist tööd suudab teha masin või aparaat teatava ajaühiku jooksul. Pumpab näiteks üks pump 100 liitrit/minutis teatavale kõrgusele, teine samale kõrgusele 1000 liitrit/minutis — on teise võimsus 10 korda suurem.

Elektri võimsus võrdub pingega ja voolutugevuse korrutisega.

Võimsuse ühikuteks on $1 \text{ W (vatt)} = 1 \text{ V} \times 1 \text{ A}$

$1 \text{ kW (kilovatt)} = 1000 \text{ W}$

$1 \text{ MW (megavatt)} = 1\,000\,000 \text{ W}$

$N = U \cdot J$,

kus: *N* = võimsus vattides,

U = pingega voltides,

J = voolutugevus amprites.

Ülaltoodu selgituseks võib tuua analoogia mehaanikast: veevõimsus on seda suurem, mida suurem on veehulk (vastab voolutugevusele amprites) ja kukkumise kõrgus (vastab pingele voltides), olles võrdeline nende korrutisega.

Ülaltoodud valemi liikmete ümberasetamisel saame:

vool $J = N : U$

pinge $U = N : J$

Näide 1: Dünamo pingega 110 V, vool — 15 A. Võrku antud võimsus on $110 \text{ V} \times 15 \text{ A} = 1650 \text{ W} = 1,65 \text{ kW}$.

Näide 2: Võrku pingega 220 V seati üles kolm hõõglampi à 150 W. Kui suur on vool?

Lahendus: Vool $J = (3 \times 150) : 220 = 2,04 \text{ A}$.

Näide 3: Elektriahi võtab 110 V võrgust võimsust 1500 W. Vool $J = 1500 : 110 = 13,6 \text{ A}$.

Asetades ülaltoodud valemisse Ohmi seaduse põhjal *U* asemel $J \cdot R$ või *J* asemel $U : R$, saame

$$N = (J \cdot R) \cdot J = J^2 \cdot R \text{ ja } N = U \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}$$

17. Töö A . Kilovatt-tund kWh.

Mingi masina või aparaadi poolt antud või saadud tööhulga leidmiseks tuleb ajavahetuse vältel tehtud tööhulk, s. o. võimsus, korrutada ajaga.

$$A = N \cdot t = U \cdot J \cdot t,$$

kus A — töö, N — võimsus, U — pinge, J — vool, t — aeg.

Olenevalt sellest, kas võimsus võtta vattides, kilovattides või megavattides ja aeg sekundites või tundides, saame elektri töö vatt-sekundites, vatt-tundides, kilovatt-tundides või megavatt-tundides.

$$1 \text{ Ws (vatt-sekund)} = 1 \text{ W} \times 1 \text{ s} = 1 \text{ džaul.}$$

$$1 \text{ Wh (vatt-tund)} = 1 \text{ W} \times 1 \text{ h} = 3600 \text{ Ws.}$$

$$1 \text{ kWh (kilovatt-tund)} = 1 \text{ kW} \times 1 \text{ h} = 1000 \text{ Wh.}$$

$$1 \text{ MWh (megavatt-tund)} = 1 \text{ MW} \times 1 \text{ h} = 1000 \text{ kWh.}$$

Näide 1: 3 lampi à 60 vatti põles 150 tundi. Tarvitatud elektritööhulk $A = 3 \times 60 \times 150 = 27\,000 \text{ Wh} = 27 \text{ kWh}$.

Näide 2: Elektriahi töötab 3 tundi 220-voldisel võrgul, kusjuures voolutugevus oli 10 amprit. Töötarvitus $A = 220 \times 10 \times 3 = 6600 \text{ Wh} = 6,6 \text{ kWh}$.

18. Energia.

Energia all mõistetakse töötagavara. Energia võib ilmnedagi väga mitmesugusel kujul. Näit. soojus, elektrivool, mehaaniline liikumine jne. on energia mitmesugused liigid.

Ühte energialiiki saab muundada teistsuguseks energialiigiks. Näiteks muundub kivisöe keemiline energia koldes soojusenergiaks, katlas — rõhuenergiaks, turbiinis — mehaanilise liikumise energiak, dünamos — elektrienergiaks jne. Seejuures energia üldine hulk ei suurene ega vähene, ta muudab ainult oma kuju.

Igas liigis mõõdetakse energiat isenimelistes ühikutes; nende võrdlemiseks on toodud alljärgnev tabel:

Mehaaniline töö $1 \text{ mkg} = 9,81 \text{ Ws} = 2,35 \text{ cal.}$

„ võimsus $1 \text{ HJ} = 0,736 \text{ kW} = 176 \text{ cal/s.}$

Elektriline töö $1 \text{ kWh} = 1,36 \text{ HJh} = 367200 \text{ mkg} = 859 \text{ kcal.}$

„ võimsus $1 \text{ kW} = 1,36 \text{ HJ} = 102 \text{ mkg/s} = 0,24 \text{ kcal/s.}$

Soojuse töö $1 \text{ kcal} = 427 \text{ mkg} = 4189 \text{ Ws.}$

„ võimsus $1 \text{ kcal/s} = 5,7 \text{ HJ} = 4,19 \text{ kW.}$

19. Kasutegur.

Energia muundamisel ei muundu kogu muundatav energia soovitud liiki energiak. Näiteks 736 W elektrienergiat vastab

1 HJ mehaanilisele energiale. Tegelikult aga juhtides 736 W elektrimootoris, saame selle võlliit ainult 0,7 kuni 0,9 HJ, kuna puuduv oša, muundudes soojuseks, läheb meile kaotsi.

Suhet masinalt saadud (N_2) ja masinale antud (N_1) võimsuse (või energiahulkade) vahel nimetatakse kasuteguriks (η).

$$\eta = \frac{N_2}{N_1}$$

Kasuteguri suurus asetseb 0 ja 1 vahel. Seda väljendatakse murruna või 0/0-des, näit. $\eta = 0,785$ või $\eta = 78,5\%$.

Ligikaudsed kasutegurid üksikute masinate kohta täiskoorusel on antud alljärgnevas tabelis:

Transformaator	90—99%	Diiselmootor	30—35%
Alaldaja (elavhõbe)	80—97%	Gaasimootor	20—28%
Elektrimasin	70—95%	Auruturbiin (koos kat-	
Vesiturbiin	70—90%	laga)	17—31%
Kolvpump	80—90%	Aurumasin	9—25%
Akumulaator	65—75%	Elektrilamp	2—8%
Ratasump	60—80%		

20. Vooluallikate (elektrienergia allikate) ühendamine.

Suuremate võimsuste saamiseks võib vooluallikaid omavahel ühendada. Ühendamiseks on kolm võimalust — rööbiti, järjestikku ja segalülituses.

Galvaani elementidest või akudest koosnevat elementide rühma nimetatakse patareiks.

Allpool tähendavad:

u = ühe vooluallika, näit. galvaani elemendi pinge (V);

U = kogu rühma (patarei) pinge (V);

i = maksimaalne lubatav voolutugevus (A), mida üks vooluallikas kestvalt suudab anda;

J = kogu rühma (patarei) maksimaalne voolutugevus (A).

a) Rööbiti (paralleel-)lülitus. Kõik plussklemmid ühendatakse omavahel ja miinusklemmid omavahel (joon. 3). Seejuures peavad vooluallikad olema ühesuguse pingega.

Liitpinge (patareipinge) jääb endiseks:

$$U = u.$$

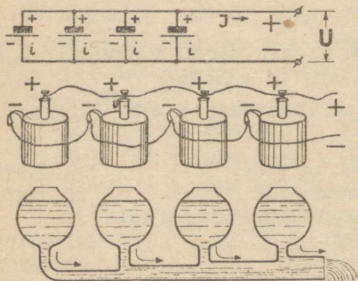
Lubatav patarei voolutugevus J on kõikide elementide lubatavate voolutugevuste summa:

$$J = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n.$$

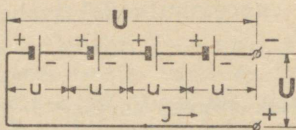
Rööbiti lülitatud vooluallikaid võib võrrelda veereservuaaridega, mis kõrvutiasetatult toidavad ühist toru (joon. 3); reservuaaride arvu suurendamisel vee voolus suureneb, kuid rõhumiskõrgus jääb endiseks.

b) Järjestikune (seerias-) lülitus.

Esimese vooluallika miinusklemm ühendatakse järgmise plussklemmiga jne. (joon. 4).



Joon. 3. Vooluallikate ühendamine rööbiti.



Joon. 4. Vooluallikate ühendamine järjestikku.



Patareipinge (U) on kõikide elementide pingete summa:

$$U = u_1 + u_2 + u_3 + \dots + u_n$$

Patarei maksimaalselt lubatav voolutugevus jääb endiseks:

$$J = i \text{ (A)}.$$

Järjestikku lülitatud vooluallikaid võib võrrelda veereservuaaridega, mis on asetatud ülestikku (joon. 4 paremal). Reservuaaride arvu suurendamisel rõhumiskõrgus suureneb.

Näide 1: Neli galvaani elementi, igaüks pingega $1,5 \text{ V}$ ja lubatava voolutugevusega 5 A , on ühendatud järjestikku. Kui suur on patarei U ning maksimaalne J ja N ?

Lahendus: Pinge $U = 4 \times 1,5 = 6 \text{ V}$;

$$\text{Vool } J = i = 5 \text{ A};$$

$$\text{Võimsus } N = 6 \times 5 = 30 \text{ W}.$$

Näide 2: Ülaloodud elemendid on ühendatud rööbiti (paralleelselt).

$$U = u = 1,5 \text{ V};$$

$$J = 4 \times 5 = 20 \text{ A};$$

$$N = 1,5 \times 20 = 30 \text{ W}.$$

c) Nelja või enama vooluallika juures võib kasutada ka segalülitust, ühendades vooluallikad rühmade kaupa järjestikku ja üksikud rühmad rööbiti, või ühendades vooluallikad rühmade kaupa rööbiti ja üksikud rühmad järjestikku.

Kasutatava lülituse iseloom oleneb voolutarvitaja iseloomust, s. o. vajalikust tööpingest ja voolusuurusest.

21. Takistuste (elektrienergia tarvitajate) ühendamine.

Takistuste ühendamiseks on olemas samuti kolm võimalust: rööbiti, järjestikune ja segalülitus.

Allpool tähendavad:

U = võrgu (vooluallika) pinge (V);

u = pinge ühe takistuse klemmidel (pingelang takistuses) (V);

J = üldine voolutugevus (A);

i = voolutugevus ühes takistuses (A);

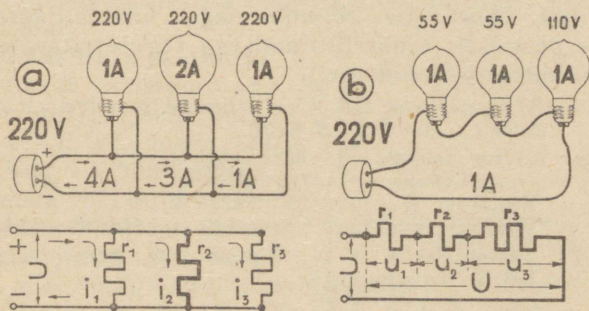
R = üldine takistus (Ω);

r = üksiktakistuse suurus (Ω);

G = üldine juhtivus;

G_1, G_2 jne. = üksikjuhtivused;

n = takistuste arv.



Joon. 5. Takistuste (elektrienergia tarvitajate) ühendamine.

a) Rööbiti lülitus (joon. 5-a).

1) Pinge on kõigil takistustel võrdne: $U = u_1 = u_2 = u_3 = \dots$

2) Üldine voolutugevus: $J = i_1 + i_2 + i_3 + \dots + i_n$.

(Kirchhof'i I seadus: Juurdevoolavate voolude summa võrdub äravoolavate voolude summaga.)

3) Voolutugevus ühes takistuses $i = U : r$.

4) Üldine takistus väheneb, juhtivus suureneb

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \dots = \frac{1}{R} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3} + \dots$$

5) Erijuhtumil, kui kõik paralleelsed takistused on võrdsed, siis

$$R = r : n.$$

6) Vool hargneb paralleelharudes vastuproportsionaalselt takistuste suurustele, s. o.

$$i_1 : i_2 = r_2 : r_1.$$

b) Järjestikune (seerias-) lülitus (joon. 5-b).

1) Voolutugevus on kõigis takistustes võrdne

$$J = i_1 = i_2 = i_3 = \dots = i_n = U : R.$$

2) Üldine pingeline $U = u_1 + u_2 + u_3 + \dots + u_n$.

(Kirchhof'i II seadus: Elektromotoorsete jõudude summa ja pingelangude summad on omavahel võrdsed.)

3) Pingelang ühes takistuses

$$u = i \cdot r.$$

4) Üldine takistus suureneb

$$R = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n.$$

c) Segalülitus.

Takistuste lülitamine toimub nagu vooluallikate juures (kasutatav peamiselt ümberlülitamisega reguleeritavais reostaatides, näit. kütteaparaadid jne.).

Näide 1: Võrgupingega 110 V on lülitatud paralleelselt 4 reostaati à 20 Ω . Leida R , J ja N .

Lahendus: Üldine takistus $R = 20 : 4 = 5 \Omega$.

Voolutugevus $J = 110 : 5 = 22 \text{ A}$.

Võimsus $N = 110 \times 22 = 2420 \text{ W}$.

Voolutugevus ühes reostaadis $i = 110 : 20 = 5,5 \text{ A}$.

Näide 2: Takistused 5, 8 ja 12 oomi on ühendatud järjestikku 220 V võrgupingega.

Leida R , J , N ja U .

Lahendus: Üldine takistus $R = 5 + 8 + 12 = 25 \Omega$.

Voolutugevus $J = i = 220 : 25 = 8,8 \text{ A}$.

Võimsus $N = 220 \times 8,8 = 1936 \text{ W}$.

Pinged üksikute takistuste klemmidel:

$$u_1 = 8,8 \times 5 = 44,0 \text{ V}$$

$$u_2 = 8,8 \times 8 = 70,4 \text{ V}$$

$$u_3 = 8,8 \times 12 = 105,6 \text{ V}$$

Üldine pingeline $U = 220,0 \text{ V}$

Näide 3: Takistused 5, 8 ja 12 oomi on rööbiti 220 V võrgus. Leida R , J ja N .

Lahendus I: $i_1 = 220 : 5 = 44 \text{ A}$; $i_2 = 27,5 \text{ A}$; $i_3 = 18,3 \text{ A}$.

Üldine vool $J = 44 + 27,5 + 18,3 = 89,8 \text{ A}$ ja üldine takistus $R = 220 \text{ V} : 89,8 \text{ A} = 2,45 \Omega$.

Üldine võimsus $N = 220 \times 89,9 = 19756 \text{ W} = 19,76 \text{ kW}$.

Lahendus II: $\frac{1}{R} = \frac{1}{5} + \frac{1}{8} + \frac{1}{12} = \frac{24 + 15 + 10}{120} = \frac{49}{120}$

$R = 120 : 49 = 2,45 \Omega$.

$I = 220 : 2,45 = 89,8 \text{ A}$.

$N = U^2 : R = (220 \times 220) : 2,45 = 19,76 \text{ kW}$.

22. Pingelang.

Elektrivool juhitakse vooluallikast tarvitajani ja tagasi läbi juhtmete (joon. 6; joonisel tähendab G — vooluallikat, T — tarvitajat). Kuna juhtmed omavad teatavat takistust, tekib juhtmeis, vastavalt Ohmi seadusele (vt. p. 12 ja 21-b), pingelang voltides

$$e = J \cdot r,$$

kus J = juhtmeid läbiv vool (A) ja r = juhtmete takistus (Ω),

Et tarvitaja klemmidel valitseks vajalik pinge, peab vooluallika klemmpinge olema pingelangu võrra kõrgem.

$$U = u + (J \cdot r) = J \cdot R,$$

kus U = vooluallika klemmpinge, u = pinge tarvitaja klemmidel, R = üldine välisahela (tarvitaja + juhtmed) takistused, J ja r nagu ülal.

Iga vooluallikas eranditult omab teatavat takistust, nn. sisetakistust (r_s); selle tulemusena tekib pingelang ka vooluallikas. Tühijooksul (koormamata vooluallikas) on klemmpinge U võrdne elektromotoorse jõuga E ; koormamisel, s. o. vooluvõtmisel on klemmpinge voltides

$$U = E - (J \cdot r_s),$$

kus J — vooluallika poolt antav vool (A) ja r — vooluallika sisetakistus (Ω).

Dünamol ja akumulaatoritel on sisetakistus ja seetõttu ka pingelang võrdlemisi väikesed (tavaliselt dünamol = 1...10⁰/₀).

Lühise (lühiühenduse) korral, s. o. vooluallika klemmide ühendamisel lühikese jämeda juhtmega, mille takistus on praktiliselt null, on lühisvoolu suurus

$$J = E : r_s .$$

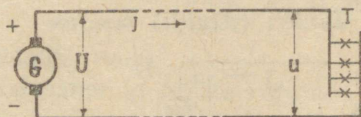
Klemmpinge langeb seejuures nullini.

Dünamol ja akul kasvab voolutugevus väikese r tõttu lühise korral niivõrd suureks, et võib muutuda nende kardetavaks. Galvaani elementidele lühiaegne lühis pole kardetav.

Näide 1: Tarvitaja pinge $u = 220$ V, vool $J = 5$ A. Juhtmed 10 mm², vasest. Liini pikkus 1 km (edasi-tagasi 2 km). Leida vooluallika klemmpinge.

Lahendus: a) Liini takistus $r = (0,0175 \times 2000) : 10 = 3,5 \Omega$.

b) Vooluallika pinge peab olema $U = 220 + (5 \times 3,5) = 237,5$ V.



Joon. 6. Ühendusjuhtmed vooluallika ja tarvitaja vahel.

Näide 2: Akumulaatorile pingega 60 V oli ühendatud lamp 40 V 100 W. Kui suur peab olema lambigajärjestikku asetatav eeltakistus, et lamp põleks normaalpingega?

Lahendus I: a) Vool $i = 100 : 40 = 2,5$ A.

b) Ülemäärane pingeline $e = 60 - 40 = 20$ V.

c) Eeltakistuse suurus $R = 20 : 2,5 = 8 \Omega$.

Lahendus II: a) $i = 100 : 40 = 2,5$ A.

b) Lambi sisetakistus $r_s = 40 : 2,5 = 16 \Omega$.

c) Üldine takistus peab olema $R = 60 : 2,5 = 24 \Omega$.

d) Eeltakistus peab olema $r = 24 - 16 = 8 \Omega$.

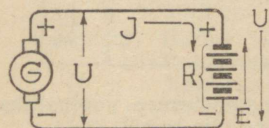
23. Tarvitaja vastuelektromotoorse jõuga.

On tarvitajas olemas sisemine, välispingele U vastu suunatud elektromotoorne jõud E (näit. laetav aku, töötav mootor jne.) (joon. 7), on voolutugevus

$$J = (U - E) : R,$$

kus R on tarvitaja sisetakistus (Ω).

24. Joule'i (džauli) seadus.



Takistuses soojuseks muutunud energiahulk on:

$$A = Nt = UJt = (JR)Jt = J^2Rt \text{ (Ws)}$$

$$\text{või } A = 0,24J^2Rt \text{ (cal)}.$$

Joon. 7. Tarvitaja vastuelektromotoorse jõuga.

Valemis on U — pingeline takistuse klemmide vahel (V); J — voolutugevus takistuses (A); R — takistuse suurus (Ω); t — aeg (s).

1 vatt-sekund (džaul) = 0,24 cal.;

1 vatt-tund = 859 cal.;

1 kWh = 859 kcal.

Märkus: kcal (kilokalor) on soojusehulk, mis on vajalik 1 liitri (kg) vee soojendamiseks 1°C võrra. 1 kcal = 1000 cal (gramm-kalorit).

III. MAGNETISM.

A. Permanent-magnetid.

25. Magnet.

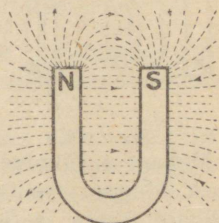
Magnetiks nimetatakse terast või rauda, millel on omadus teisi rauatükikesi külge tõmmata. Magnetiliste omadustega mineraale ja rauaühendeid leidub mitmel pool looduses, samuti valmistatakse magnetit ka teise magneti või elektrivoolu abil. Harilikult antakse magnetile hobuseraua (joon. 8), harvem sirge lati kuju.

Külgetõmbetung on rauda otstes kõige tugevam; keskel puudub see üldse.

Magnetraua otsi nimetatakse magneti poolusteks (nabadeks). Kui magnet on vabalt — pöörlevalt asetatud (näit. niidil, nõelal, ujuval korgil), siis pöörduv üks (alati sama) poolus põhja, teine lõuna poole.

Esimest nimetatakse vastavalt põhja- (N-), teist lõuna- (S-) pooluseks.

Magneetimata rauda tõmbab magnet alati külge; kahel magnetil seevastu ühenimelised, s. o. N- ja N- ning S- ja S-poolused tõukuvad teineteisest eemale, isenimelised, s. o. N ja S, tõmbavad teineteist lähemale.



Joon. 8. Magnet.

26. Magnetil jõujooned, magnetväli, -voog.

Kui magnetraua peale asetada paber ja sellele riputada rauapuru, siis asetuvad rauaosakesed täiesti korrapäraselt ümber magneti (joon. 8); magnetit ümbritsevad nagu erilised jõujooned (tungjooned), mis lähevad ühest poolusest välja, teisest sisse.

Jõujoonte suunaks on võetud väljaspool magnetit suund N—S.

Ruumi, kus on olemas magnetilisi jõujooni, nimetatakse magnetväljaks. Pooluste juures, eriti nende vahel, on väljatihedus kõige suurem. Väljatiheduse ühikuks on gauss. Väljatihedust märgitakse tähega B.

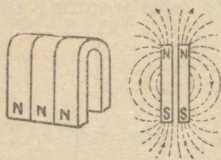
Väljatihedus korrutatud ristpindalaga moodustab magnetvoo Φ . Viimase mõõduühikuks on maksvell. Väljatiheduse suund on N-poolusest välja ning läbi ruumi S-poolusesse tagasi, kujutades endast kinnist ringi; seetõttu ei esine N- ja S-poolus kunagi üksikult; magneti poolitamisel tekib alati kaks uut, poole väiksemat magnetit.

Tegelikult näitavad jõujooned ainult mõjusuunda magnetväljas ja neid kasutatakse magnetvälja piltlikuks kujutamiseks.

27. Permanent-magnetite kasutamine.

Terasest valmistatud permanent- (kestvaid) magneteid kasutatakse nõrkade, kuid püsivate magnetväljade saamiseks.

Materjaliks on harilik (süsinik-C) teras, harvem volfram-W, kroom-Kr või koobalt-Co teras (50...60% Fe, 40% Co, 1...5% W, Kr ja C). Magneti tugevus ja püsivus on viimastel kõige suuremad. Magneetimine toimub elektrivoolu toimel.



Joon. 9.

Magnetite liitmine.

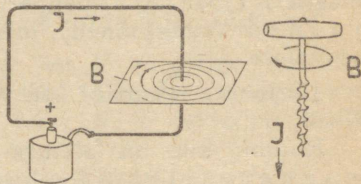
mitmest loogast; neid tuleb nii kokku panna, et kõik N-poolused jääksid ühele ja S-poolused teisele poole (joon. 9).

Tugev põrutamine ja soojenemine üle 300...400° C nõrgendab magnetit; 600...800° C juures kaotavad teras ja raud magnetilised omadused täielikult. Kasutamata seisval magnetraual on soovitatav poolused omavahel ühendada pehme rauatükiga. Suuremad magnetid koosnevad tihti mit-

B. Elektromagnetid.

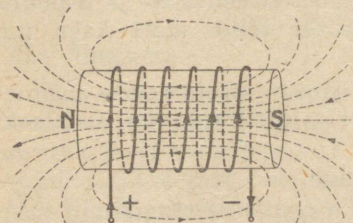
28. Solenoid.

Elektri voolamisel juhtmes tekib viimase ümber kontsentriline (ringikujuline) magnetväli (joon. 10), mille tihedus ja tugevus on võrdeline voolutugevusega. Jõujoonte suuna kindlaksmääramiseks on rida reeglaid. Üks neist, nn. korgivinnavõi kruviseadus, on näidatud joonisel 10; kui harilikku kruvi edasiliikumise suund langeb ühte elektrivoolu suunaga, siis näitab kruvi pöörlemise suund magnetiliste jõujoonte suunda.



Joon. 10. Magnetväli vooluga juhtme ümber.

Juhtmete mähkimisel keermekujuliseks pooliks — solenoidiks (joon. 11) — liituvad üksikute keerdude jõujooned; tekib vastavalt suurem ja tugevam väljatihedus ja magnetvoog. Väljatugevus H (mis on magnetvoo põhjustajaks) on säärase



Joon. 11. Solenoid.

solenoidi sees võrdeline amperkeerdudega — keerdude ja amprite arvu korrutisega. Näit. $15 \text{ A} \times 100 \text{ keerdude} = 1500 \text{ amperkeerdude}$ annab sama tugevusega väljatugevuse kui $1,5 \text{ A} \times 1000 \text{ keerdude} = 1500 \text{ amperkeerdude}$. Harilikul silindrilisel poolil on väljatugevus:

$H = (1,25 iw) : l$, kus
 i = voolutugevus (A),
 w — keerdude arv,
 l — pooli pikkus (cm).

Väljatugevuse ühikuks on örsted = 0,8 amperkeerdu cm kohta (AK/cm).

29. Magnetiline induktsioon.

Magnetvälja, näit. solenoidi, sisemusse mitmesuguseid aineid asetades, võib mõnel juhul märgata magnetvoo suurenemist või vähenemist.

Tekkiv (indutseeritud) magnetvoo tihedus ehk väljatihe-
 dus $B = \mu \cdot H$ (gaussi), kus μ (müü) on vastava aine magneti-
 line juhtivus ehk permeaablus, mis näitab, mitu korda
 indutseeritud magnetvoo tihedus (väljatihe-
 dus) on arvuliselt suurem väljatugevusest.

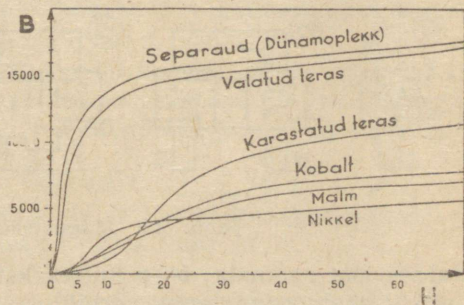
Enamikul aineist on magnetiline juhtivus (permeaablus) sama mis õhul või tühjusel, nimelt $\mu = 1$.

Diamagnetilised ained (vask, hõbe, vismut, sea-
 tina jne.) juhivad magnetvoogu halvemini kui õhk: μ on alla 1
 (tavaliselt ca 0,99 ... 1 piires).

Paramagnetilised (raud, plaatina, pallaadium, man-
 gaan jne.) juhivad magnetvoogu paremini — μ on suurem
 kui 1. Viimaste hulgas omavad eri seisukohta ferromag-
 netilised ained — raud, teras, malm, koobalt ja nikkel,
 millede μ on paarsada kuni paar tuhat (pehmel raual) korda
 suurem kui õhul. Ferromagnetilisi aineid tõmbab magnet külge,
 sest magnetväljas muutuvad nad ise magneteiks.

30. Magneetimise kõverad.

Solenoidis, kus keer-
 dude arv w on muut-
 matu suurus, on välja-
 tugevus H võrdeline
 elektri voolutugevuse-
 ga. Ferromagnetilistes
 ainetes, näit. rauas,
 kasvab indutseeritud
 magnetvoo tihedus
 ehk väljatihe-
 dus B
 algul väga ruttu ($H =$
 $= 5$ juures on B juba
 ca 10000 gaussi), voo-



Joon. 12. Magneetimise kõverad.

lutugevuse või amperkeerdude arvu suurendamisel muutub B kasvamine aeglasemaks, kuni lõpuks voolutugevuse suurendamine vähe suurendab indutseeritud magnetvoo tihedust — raud on küllastatud. Väljatugevuse H ja väljatiheduse (magnetvoo tiheduse) B vahekorda mitmesuguseil aineil näitavad joon. 12 toodud magneetamise kõverad. Küllastatud rauda kasutatakse, kui on vaja püsivat magnetvälja kõikuva pinge- ja voolutugevuse juures.

31. Remanents, hüsterees.

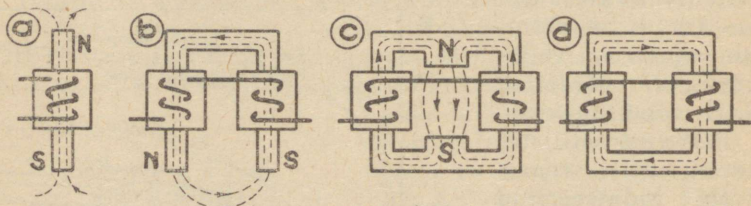
Magneetiva jõu (elektrivoolu) kadumisel jääb osa magnetilisest omadusest rauda püsima. Pehmel raual on järelejääv väljatihedus — remanents — väike. Mida süsinikurikkam ja kõvem on raud (teras), seda suurem ja püsivam on ka järelejääv väljatihedus.

Übermagneetimisel (voolu juhtimisel vastupidises suunas) läheb osa elektrienergiast kaotsi remanentsi hävitamiseks; selleks vajalikku, soojuseks muutuvat energiat nimetatakse magnetilise hüstereesi kaoks. Pehmel raual on viimane väike, terasel tunduvalt suurem.

32. Elektromagnetid tehnikas.

Asetades solenoidi sisse raudsüdamik (p. 28), saame kuni paar tuhat korda tugevama magnetvooga elektromagneti. Elektromagneteid kasutatakse, kui on vaja tugevaid või perioodiliselt mõjuvaid magneteid (elektrimasinad, magnetkraanad, signaalseadmed jne.).

Südamikuna kasutatakse alalisvoolu puhul pehmet rauda või valatud terast, harvem malmi. Tarvitatavamad südamikukujud on näidatud joon. 13. Juhtumil a katub magnetvoog kõige



Joon. 13. Magnetraua ehitus.

laialdasemat ruumala; $b-c$ juures katub kitsamat ruumala; juhtumil d asub magnetvoog tervikuna raudsüdamikus ning poolused ja väli väljaspool rauda praktiliselt puuduvad — magneti

olemasolu on märgatav ainult voolu tekkimisel ja kadumisel (vt. omainduktsioon).

Magneteid saab tekitada ka vahelduvvooluga. Viimasel juh- tumil tuleb raudsüdamik pöörivoolude vähendamiseks koos- tada värvi või paberiga isoleeritud raudplekkidest.

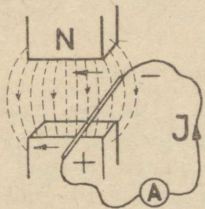
Kõrgesagedusega voolude juures ei saa kasutada raudplekki suure magnetilise hüstereesi kao tõttu.

IV. MAGNETO-ELEKTRILINE INDUKTSIOON.

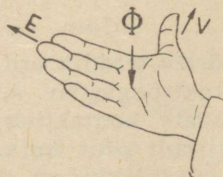
A. Induktsioon püsivas magnetväljas.

33. Elektromotoorse jõu indutseerimine.

Liigub juhe magnetväljas jõujooni või magnetvoogu risti lõigates (joon. 14), tekib temas elektromotoorne jõud E . Juhtme otsi omavahel väljaspool traadiga ühendades tekib vool J .



Joon. 14. Liikuv juhe magnetväljas.



Joon. 15. Flemmingu parema käe reegel.

E ja J suunad määratakse kindlaks Flemmingu parema käe reegli abil (joon. 15). Hoides parema käe peopesa vastu N-poolust (tähendab nii, et magnetvoog on suunatud peopesa) ja väljasirutatud pöidla juhtme liikumise (v) suunas, näitavad sõrmed E suunda.

Tekkinud E on seda suurem, mida suurem on juhtme liikumiskiirus, juhtme magnetväljas asetseva osa pikkus ja magnet- voo tihedus. Indutseeritud elektromotoorne jõud voltides on

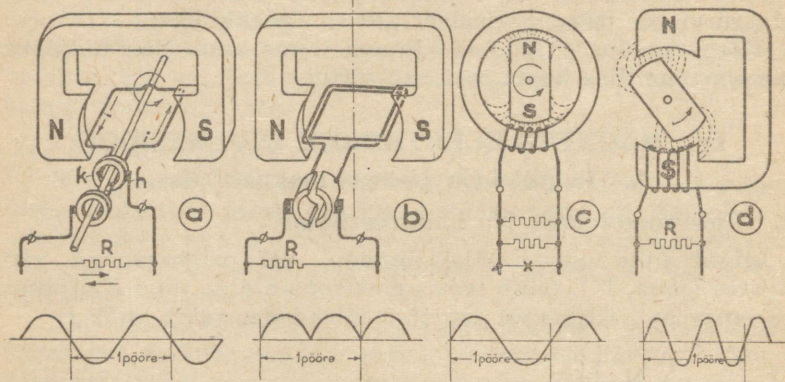
$$E = \frac{B \cdot l \cdot v}{100\,000\,000}$$

kus B — magnetvoo tihedus ehk väljatihedus (gaussides),
 l — traadi pikkus magnetväljas (cm) ja
 v — liikumiskiirus (cm/sekundis).

E tekib ka paigalseisva juhtme ning liikuva magnetvälja korral.

34. Kestva voolu saamine.

Tarvitusel on neli viisi, mis on skemaatililiselt näidatud joonisel 16.



Joon. 16. Elektrimasinate tüübid.

a) Pöörlev traadikeerd magnetväljas. Juhtme otsad on toodud kontaktrõngastele k , kust vool juhitakse välisvõrku üle paigalseisvate kontaktharjade h . Ühe keeru asemel võetakse neid harilikult suur hulk, kusjuures traat ise on mähitud isoleeritud raudplekkidest trumlile — ankrule. Annab vahelduvvoolu.

Kasutatakse väikeste (kuni 50 kW ja 500 V) vahelduvvoolu masinate, automagneetode jne. ehitamisel.

b) Alalisvoolu saamiseks tuleb paigutada kontaktrõngaste asemele kommutaator. Viimane muudab juhtmetes tekkiva vahelduvvoolu välisvõrku saates ühesuunaliseks, sest neutraaljoonel 0—0, joonisel 16-b, vaheldub nii voolu suund kui ka kommutaatori lestade (lamellide) asend.

Kahelestalise kommutaatori vool on pulseeriv; ühtlasema voolu saamiseks tuleb lestade ja sellega seoses mähiste — sektioonide — arvu suurendada paarikümne kuni paarisajani. Kasutamisel alalisvoolu dünamote ehitamisel.

c) Seisev juhe pöörlevas magnetväljas. Juhe on mähitud paigalseisvale osale — staatorile. Viimane on ehitatud pöörivoolude vähendamiseks raudplekkidest. Staatori sees pöörleb elektromagnet.

Kasutamisel suurte vahelduvvoolu masinate, harvem automagneetode ehitamisel. Pooluseid võib ka 4, 6 või rohkem olla.

d) Juhe vahelduva tugevusega (õõtsuvas) magnetväljas. Juhe ja magnet seisavad paigal. Magneti pooluste vahel pöörleb pehmest raudplekkidest rootor, mis perioodiliselt muudab magnetvoo tugevust magnetilises ringis või, piltlikult öeldes, veab jõujooned iga tiiru juures kuni pooluse ääreni endaga kaasa. Annab vahelduvvoolu. Kasutamisel automagneetodes ja kõrgesagedusega vahelduvvoolu masinates.

B. Omaiduktsioon (endainduktsioon).

35. Omaiduktsiooni mõiste.

Kui lahtine traat ühendada vooluallikaga (joon. 17-a), saavutab vool peaaegu silmapilkselt (mõne miljondiku sekundi vältel) oma täie suuruse:

$$J = U : R.$$

Kui sama traat spiraaliks kokku keerata (joon. 17-b), saavutab vool sama suuruse, kuid kasvab aeglasemalt, suurel raudsüdamikul (joon. 17-c) aga õige aeglaselt (kuni paari sekundi jooksul).

Põhjus: Voolu suurenemisel tekib juhtmete ümber magnetvoo (magnetilised jõujooned), mis paisudes omakorda juhete ennast lõikavad, indutseerides selles vastuektromotoorset jõudu E_v .

Jõujooni võib võrrelda pinguletõmmatud kummipaelaga. Voolu vähenemisel tõmbuvad nad kokku, sundides voolu edasi voolama. Järsul katkestusel tekib hetkeline, nn. omaiduktsiooni (ekstra) pinge, mis on välispingega ühesuunaline, kuid

suuruselt võib ületada selle kuni paarkümmend korda.

Üldiselt mõjub omaiduktsioon nagu inertsjõud mehaanikas — pidurdades voolu suurenemist või vähenemist (Lenzi seadus).

36. Omaiduktsiooni suurus.

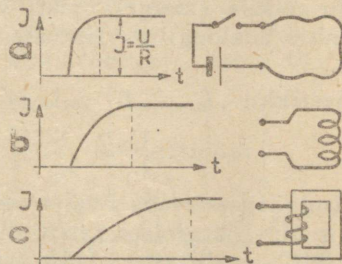
Omaiduktsiooni pinge voltides

$$E_x = (L \cdot J) : t,$$

kus L — induktiivsus (omaiduktsiooni tegur),

t — aeg (s),

J — vool (A).



Joon. 17. Omaiduktsiooni mõju.

Induktiivsuse L praktilise süsteemi mõõduühikuks on henri (H), mis on võrdne pooli induktiivsusega, milles vool, muutudes 1 A võrra sekundis, tekitab omainduktsiooni elektromotoorse jõu suurusega $E_x = 1 \text{ V}$.

1 henri = 1 000 milli-H (mH) = 1 000 000 mikro-H (μH),
1 μH = 1 000 „sentimeetrit“ („cm“).

Märkus: „cm“ ei tähenda siin mitte pikkuse, vaid induktiivsuse absoluutset mõõduühikut elektromagnetilises mõõdusüsteemis.

Pooli induktiivsuse L suurus oleneb pooli ehitusest. Induktiivsuse tõttu tekkinud E_x on seda suurem, mida kiirem on voolutugevuse muutumine. Alalisvoolu puhul tekib E_x peamiselt ainult voolu sisse- või väljalülitamisel, vahelduvvoolu puhul seevastu pidevalt, tekitades nn. faasinihet pinge ja voolu vahel.

37. Induktiivsuste liitmine.

Kui poolid pole magnetiliselt seotud, s. o. kui ühe väli ei mõju teisele (kaugel, risti või kinnise raudsüdamikuga), on liitmine analoogiline lihtsate aktiiv- (tegev-) takistuste liitmisega.

Järjestikku: $L = L_1 + L_2 + L_3 + \dots + L_n$;

$$\text{rööbiti: } \frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \dots + \frac{1}{L_n}.$$

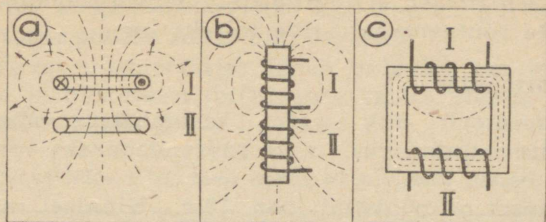
Induktiivsuvaba mähis saavutatakse, kui vool mähise ühes kihis üht-, järgmises teistpidi läbi lastakse, või kui traat „bifilaarselt“ mähitakse: kaks traati korraga vastupidisele voolusuunale. Vastupidiste amperkeerdude tõttu on resulteeriv magnetvoog ja sellega seoses ka L võrdne nulliga.

C. Vastastikune induktsioon.

38. Mõiste.

Voolab läbi traadi või mähise I (joon. 18) muutuva suurusega elektrivool, muutub ka traati ümbritseva magnetvälja tugevus võrdeliselt voolutugevusega: voolu suurenemisel laienevad jõujooned, vähenemisel — tõmbuvad kokku. Asub läheduses teine traat või mähis II (joon. 18), lõikavad esimese jõujooned ka teist, viimases indutseerides elektromotoorset jõudu E .

Esimest mähist nimetatakse primaar-, teist sekundaarmähiseks. Viimast läbib ainult osa primaarmähise



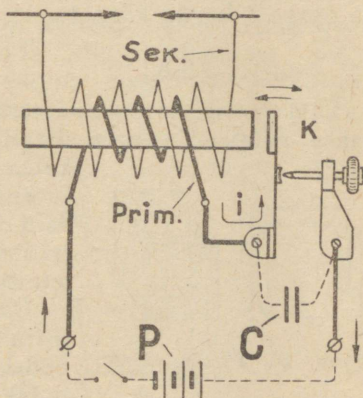
Joon. 18. Vastastikune induksioon.

magnetvoost; sidestustegur kõigub 0...1 vahel. Sidestusteguri suurendamiseks asetatakse mähised tihti ühisele raudsüdamikule (joon. 18-b ja -c).

39. Sädeinduktor alalisvoolule.

Raudsüdamikul (joon. 19) on kaks mähist isoleeritud traadist: primaar-, 50...1000 keerdu, jämedusega 0,5...3 mm, ja sekundaar-, 1000...1 000 000 keerdu, peenikesest 0,1...0,2-mm traadist. Primaarmähist toidetakse alalisvooluga, mis 15...1000 korda sekundis katkestatakse elektromagnetilise (joon. 19 -k), elektrolüütilise või pöörleva katkestaja abil. Igal sisse- ja väljalülitamisel tekib sekundaarmähises hetkeline pinge — seda kõrgem, mida enam on keerdusid ja mida kiirem on magnetvoo muutumine.

Kuna katkemisel vool kiiremini kaob, kui ta sisselülitamisel kasvab, on ka katkestamisel pinge ja säde kuni paar-kümmend korda suurem. Järsema katkestuse saamiseks ja kontaktide läbipõlemise vältimiseks on viimaste vahele lülitatud kondensaator (joon. 19-c).



Joon. 19. Sädeinduktor.

Et saavutada magnetvoo järsemat kadumist, on ka raudsüdamik lahtine, kuigi magnetvoog on seetõttu nõrgem.

Ülalkirjeldatud sädeinduktor (bobiin, Ruhmkoff'i spiraal) annab kõrge, kuid katkelise pinge; vool ja võimsus on tal väga väikesed. Kasutamisel erijuhtumeil: plahvatusmootorites süüteks, väikeste röntgeniaparatuuride toiteks jne.

40. Transformaator.

Transformaatorit ehk trafot kasutatakse vahelduvvoolu pinge suuruse muutmiseks, s. o. suurendamiseks või vähendamiseks.

Ehitusskeem on näidatud joon. 18-c. Kinnisel raudsüdamikul on kaks mähist. Ühte (primaar-) mähisesse vahelduvvoolu juhtides tekib rauas vahelduv magnetväli, mis teises (sekundaar-) mähises indutseerib vahelduvpinge.

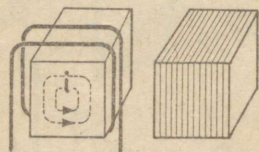
Kinnise raudsüdamiku tõttu on sidestustegur k ligi 1, s. o. primaarmähise poolt indutseeritud magnetvoog haarab ka sekundaarmähist ning seetõttu indutseeritud pinged suhtuvad teineteisesse nagu vastavad keerdude arvud.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{w_1}{w_2},$$

kus U_1 — primaarmähise pinge, U_2 — sekundaarmähise pinge, w_1 ja w_2 — vastavad keerdude arvud. Kui näiteks trafo sekundaarmähises on kerde 5 korda rohkem kui primaarmähises, on ka pinge 5 korda kõrgem.

41. Pöörivoolud.

Elektrimasinais, transformaatoris (trafodes) jne. asetatakse mähised suurte magnetvoogude saamiseks raudsüdamikele. Seejuures indutseerub elektromotoorne jõud mitte üksnes mähises, vaid ka raudsüdamikus ja teistes metallist masinaosades, kui nad asetsevad muutuva tugevusega magnetväljas.



Joon. 20. Pöörivoolud.

Ülaltähendatud elektromotoorse jõu tõttu tekkivaid voolusid nimetatakse pööris- ehk Foucault' (loe fukoq) vooludeks (joon. 20).

Pöörivoolud raiskavad energiat ja ajavad metallosad kuumaks. Selle vähendamiseks tehakse muutuvates magnetväljades asuvad osad (dünamo ankrud, alternaatori staatorid, trafo südamikud jne.) üksikutest 0,3...0,5 mm, harvem kuni 1 mm paksustest, lakiga või paberiga isoleeritud plekkidest.

Mõnikord, eriti trafodes, kasutatakse raudplekki siliitsiumi-
lisandusega (legeeritud plekk), millel magnetiline juhtivus on
umbes sama, elektriline takistus aga suurem kui harilikul plek-
kil ja seetõttu pöörisvoolud on nõrgemad.

Vahelduvas magnetväljas läheb pidevalt osa energiat pöö-
risvoolude ja hüstereesi tõttu rauas kaotsi. Nende kadude suu-
rus on antud tabelis 2.

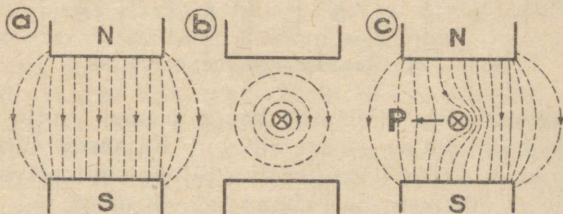
Kadu vattides 1 kg raua kohta 50 per./sek. juures. T a b e l 2.

Välja- tihedus B gaussides	Dünamoplekk			Legeeritud plekk	
	0,35 mm	0,5 mm	1 mm	0,35 mm	0,5 mm
5 000	0,7	0,84	1,87	0,35	0,58
10 000	2,36	3,05	6,8	1,24	2,0
15 000	5,3	7,4	16,5	3,0	5,0

V. VOOLUGA JUHE MAGNETVÄLJAS (ELEKTRO- DÜNAAMILISED JÕUD).

42. Liikumise tekitamine.

Kui paigalseisvasse magnetvälja asetada juhe (analoogili-
selt joon. 14) ning viimast juhtida läbi elektrivool, mõjub
juhtmele mehaaniline jõud, mis püüab teda panna liikuma
magnetvoo (magnetiliste jõujoonte) suunale risti. Voolu mõ-
jul tekib juhtme ümber magnetväli (joon. 21-b), mis koos pai-
galseisva väljaga annab resulteeriva välja (joon. 21-c). Viima-



Joon. 21. Vooluga juhe magnetväljas.

ses on jõujooned paremal pool juhet kokku surutud; püüdes
lühemaks ja sirgemaks tõmbuda, suruvad nad juhtme vasakule
(joonisel 21 liigub vool eest tahapoole; ristiga märgitakse

noole saba, punktiga — noole teravikku). Jõu P suurus oleneb voolutugevusest (J), juhtme pikkusest magnetväljas (l) ja magnetvoo tihedusest ehk väljatihedusest (B).

$$P = 10 \cdot J \cdot l \cdot B \text{ (düüni)} = \text{ca } 0,01 J \cdot l \cdot B \text{ (grammi),}$$

J — vool (A), l — juhtme pikkus (cm),

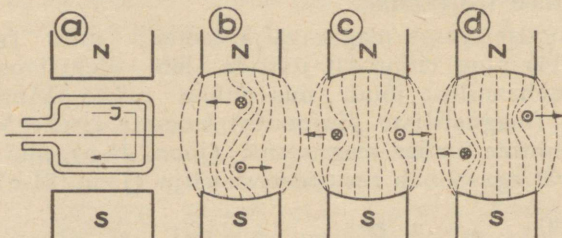
B — väljatihedus (gaussi).

Liikumise suund määratakse Flemmingu vasaku käe reeglga: hoides vasaku käe peopesa vastu N-poolust, tähendab nii, et magnetvoog on suunatud peopesa, ja väljasirutatud sõrmed voolu suunas, näitab põial liikumise suunda.

43. Traadikeerd magnetväljas.

Asetseb magnetväljas sirge juhtme asemel traadikeerd (joon. 22), saame sirgjoonelise liikumise asemel pöörlemise. Traadikeerd teeb poolpöörde ja jääb siis neutraalvöös seisma (joon. 22-c). Hoo tõttu üle neutraalvöö läinud keerule (joon. 22-d) mõjuvad elektrodünaamilised jõud liikumisele vastupidises suunas.

Selleks, et alalist pöörlemist saada, tuleb keeru asetsedes neutraalvöös, voolu suunda muuta. See saavutatakse joonisel 16-b näidatud kommutaatori abil.



Joon. 22. Traadikeerd magnetväljas.

Jõu suurendamiseks võib ühe keeru asemel võtta mitmest keerust koosneva mähise — sektsiooni. Et saada ühtlasemalt mõjuvat jõudu ja vältida vooluallika lühist neutraalvöös, võetakse lamelle ja mähiseid paarkümmend või enam.

Märkus: Pöörlemist võib seletada ka järgmiselt: - mähisel tekiavad voolu mõjul N- ja S-poolus; kuna ühenimelised poolused tõukuvad, isenimelised tõmbuvad, hakkab mähis magnetväljade vastastikusel mõjul pöörlema.

Ülaltoodud põhimõttele töötavad alalisvoolu mootorid ja elektrienergia arvestid.

44. Liikumise kiirus. Vastuelektromotoorne jõud.

Voolu mõjul magnetväljas edasiliikuv juhe lõikab omakorda magnetvoogu (magnetilisi jõujooni), mistõttu selles indutseeritakse elektromotoorne jõud E (vt. p. 33). Tekkinud E on välisringis olevale pingele U vastu suunatud.

Mida suurema kiiruse saavutab juhe, seda väiksemaks jääb juhtmes voolutugevus.

$$J = (U - E) : R,$$

kus U — juhtme klemmpinge (võrgupinge) (V),

E — juhtmes indutseeritud vastuelektromotoorne jõud (V),

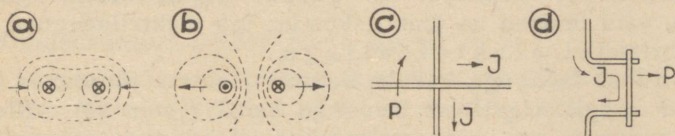
R — juhtme takistus (Ω).

Voolu vähenemisega väheneb ühtlasi aga edasitõukav jõud.

Kiiruse piiriks on olukord, kus $E = U$, sel juhtumil on $J = 0$ ja juhete edasitõukav jõud puudub. Kiiruse suurenemisel (välisjõu mõjul) üle selle piiri muutub J suund — juhe hakkab elektrienergiat andma välisringi.

45. Vooluga juhtmete vastastikune mõju.

Kaks paralleelset juhete ühesuunalise vooluga, juhtmete ümber tekkinud magnetväljade toimetel, tõmbuvad (joon. 23-a),



Joon. 23. Vooluga juhtmete vastastikune mõju.

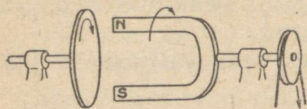
isesuunaliste vooludega — tõukuvad. Ristiasetatud juhtmed pöörduvad paralleelseks. Asetseb kaks juhete paralleelselt ja ühendatakse nad omavahel kolmandaga (joon. 23-d), püüab viimane liikuda selliselt, et voolu tee pikeneb.

Voolude juures alla 1000 A on ülaltähendatud elektrodünaamilised jõud niivõrd väikesed, et neid ei arvestata, suuremad voolutugevused (näit. lühis suurjõujaamades üle paari tuhande kW) seevastu võivad esile kutsuda üsna tunduvald mehaanilisi pingutusi ja isegi üksikosade purunemisi.

46. Juhtmete kaasatõmbamine liikuva magnetvälja poolt.

Asetseb juhe risti edasiliikuv (joon. 14, noolte suunas) magnetväljas ja on juhtme otsad väljaspool omavahel elektriliselt ühendatud, tõmbab magnetväli juhtme endaga kaasa, sest

viimases tekib vastavalt p. 33-le elektrivool (aga teises suunas kui joon. 14, kuna juhe lõikab magnetvoogu teises suunas) ning voolu mõjul omakorda liikumine vastavalt p. 42-le. Juhe liigub veidi aeglasemalt kui magnetväli, sest muidu vool ja edasilükkav jõud kaoksid. Kiiruste vahet nimetatakse libisemiseks. On juhtme otsad lahtised, tekib küll elektromotoorne jõud, mitte aga elektrivool ning liikumine.



Joon. 24. Metallseibi kaasa-vedamine magneti poolt.

Kui teljel liikuva metallketta (näiteks vasest, alumiiniumist) ette asetada pöörlev magnet (joon. 24), paneb viimane ka ketta pöörlema, või ümberpöördult: paigal seistes pidurdab see ketta pöörlemist.

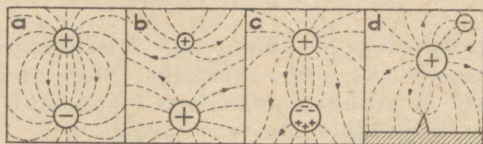
Ülaltoodud põhimõtteil töötavad enamik vahelduvvoolu mootoreid ning arvestid.

VI. ELEKTROSTAATIKA.

47. Elektriväli.

Elektrilised nähtused ei piirdu ainult elektriseeritud kehaga, vaid levivad ka ümbruskonda; iga elektrilaenguga keha on ümbritsetud elektriväljaga.

Positiivse laenguga kehalt algavad elektri jõujooned, mis lõpevad mingil negatiivse laenguga kehal (joon. 25). Elektrivälja tugevus on proportsionaalne elektripingega voltides.



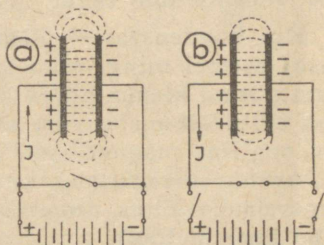
Joon. 25. Elektriväli.

Elektri jõujoonte nähtavakstegemine on võimalik vedelasse õlisse puistatud mingi kerge pulbri, näit. likopoodiumi, või kõrgete pingete puhul kergete paberiribade abil. Elektri jõujooned sarnlevad oma omadustelt väljavenitatud kummipaeltega — püüavad lühemaks ning laiemaks muutuda. Sellest tingituna: a) Staatiline (paigalseisev) elekter asub ainult juhtmete välispinnal, kogunedes peamiselt teravikesse. b) Pingete

vahe elektrodidevahelises dielektrikus on jaotatud ebäühtlaselt. c) Kaks isenimelise laenguga keha (pluss- ja miinus-) tõmbuvad, ühenimelise laenguga (+ ja + või - ja -) tõukuvad.

48. Kondensaator.

Kui vooluallika klemmidega ühendada kaks lähestikku asetatud, üksteisest isoleeritud metallplaati (joon. 26-a), kattuvad plaadid elektrilaengutega ja tekib hetkeline laadimisvool. Väikese vahemaa tõttu on plaatidevaheline elektriväli väga tugev. Seetõttu mahutab niisugune plaatide paar, nn. kondensaator, enesesse suure elektrihulga. Kahe plaadi asemel võib neid ka rohkem võtta. Kondensaatori plaate vooluallikast eraldades ja omavahel traadiga ühendades tekib viimases hetkeline tühjenemisvool (joon. 26-b).



Joon. 26. Kondensaator.

49. Kondensaatori mahtuvus C . Farad F .

Kondensaatorisse mahtuvad elektrihulgad (laengud) on seda suuremad, mida kõrgem on pinge ja mida suurem on kondensaatori mahtuvus:

$$Q = C \cdot U,$$

kus Q = elektrihulk kulonites (ampersekundites), U = pinge (V), C = kondensaatori mahtuvus (faradites).

Mahtuvus oleneb kondensaatori ehitusest, olles seda suurem, mida suurem on plaatide pindala, mida väiksem on plaatide vahemaa ning mida suurem on plaatidevahelise isoleeraine dielektriline tegur (konstant). Kondensaatori mahtuvus ei olene plaadi metalli liigist.

Mahtuvuse ühikuks on farad (F); see on niisuguse kondensaatori mahtuvus, millesse 1 voldi juures mahub 1 kulon elektrit.

1 farad (F) = 1 000 000 mikrofaraadit (μF),

1 μF = 900 000 „sentimeetrit“ („cm“),

1 „cm“ on kuuli mahtuvus, kui viimase raadius on 1 cm.

Kahest paralleelsest plaadist koosneva kondensaatori mahtuvus on:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot F}{4\pi \cdot a},$$

kus C = mahtuvus („cm“), F = ühe plaadi ühe külje pindala (cm^2), a = plaatide vahekaugus (cm), ε (epsilon) = dielektriline tegur. Mitme ülestikku laotud plaadi korral tuleb eespooltoodud valemit korrutada plaatide vahede arvuga (näit. 5 plaadi korral 4-ga).

50. Dielektriline tegur ε .

Kui kondensaatori plaatide vahele asetada õhu (või tühjuse) asemel mingi muu isoleeraine, võib mõningal juhul märgata püsiva klemmipingega korral elektrivälja tugevnemist ja sellest sõltuvalt mahtuvuse suurenemist. Nähtus on teatud piirini analoogiline magnetilisele induksioonile (vt. p. 29).

Arvu, mis näitab, mitu korda elektrivälja mingis aines on tugevam kui õhus, nimetatakse dielektriliseks teguriks (dielektriku konstandiks).

Dielektriline tegur on:

Õhul	1	Parafineeritud paberil	3—4
Paberil	1,8—2,6	Klaasil	6—7
Mineraalõlil	2—2,2	Vilgukivil	5—8

51. Kondensaatori omadused.

Kondensaator alalisvoolu läbi ei lase. Vahelduvvoolu laseb kondensaator läbi seda rohkem, mida suurem on ta mahtuvus ja voolusagedus (vt. p. 58).

Väike osa elektrienergiast muundub kondensaatori dielektrikus (plaatidevahelises isoleeraines) soojuseks. Kõige väiksemad on kaod gaasides, mispärast kaovabade kondensaatorite saamiseks (raadio võnkeringides) kasutatakse dielektrikuks õhku.

Samuti kui takistusigi, võib ka kondensaatoreid ühendada rööbiti (paralleelselt) ja järjestikku. Paralleelühenduses mahtuvus suureneb

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots,$$

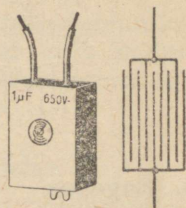
järjestikku — väheneb

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

kus C — üldine, C_1, C_2 jne. — osamahtuvused.

52. Kondensaatorid tehnikas.

Kasutamist leiavad kondensaatorid peamiselt side- ja raadio- tehnikas. Tugevvoolutehnikas harva, ainult erijuhtumel: peamiselt faaside nihkenurga kompenseerimiseks kõrgepinge toiteliinis (cos φ parandamine), nihkenurga tekitamiseks mõnedel ühefaasistel mootoritel ja pulseeruvvoolu silumiseks alaldajais. Tarvitatavad tüübid: Plokk-kondensaator — koosneb ülestikku laotud tina- ning parafineeritud paberilehtedest (joon. 27). Pöördkondensaator — ühe pooluse plaadid on kohakindlad, teisel liikuvad, võimaldades mahtuvuse pidevat muutmist.



Joon. 27. Kondensaatori ehitus.

Kondensaatorina mõjuvad ka kaablid ja väiksemal määral pikad õhuliinid. Kondensaatori suurusena on tavaliselt antud mahtvus (μF , „cm“), harvem (peamiselt tugevvoolutehnikas) ka võimsus N kilovar'ides (reaktiiv kilovoltamprites) (vt. p. 64):

$$N = \frac{C \cdot U \cdot U \cdot \omega}{1\,000\,000\,000} \text{ (kVAr)},$$

kus C — mahtvus (μF); U — pinge (V); ω — ringsagedus $2\pi f$; f — sagedus. Tavalise 50 per./s. korral $\omega = 314$.

VII. VAHELDUVVOOLU TEOORIA.

A. Ühefaasine vool.

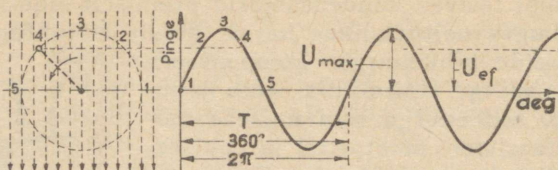
53. Vahelduvvool.

Vahelduvvooluks nimetatakse voolu, mille pinge, ja seega ka voolutugevus, muudab pidevalt oma suurust ja suunda; pinge ja voolutugevus kasvab nullist kuni teatud maksimumini ning kahaneb siis jälle nullini, korrates seejärel sama protsessi teises suunas.

Harilikult toimub see paarkümmend või enam korda sekundis. Vahelduvvoolu saavutatakse peaaegu eranditult vahelduvvoolu generaatorite (nn. alternaatorite) abil. Viimaste ehituskeem on näidatud joonisel 16-a ja -c.

Kui traadikeerud pöörlevad täiesti ühtlikus (homogeenses) magnetväljas, muutub pinge ja voolutugevus lainekujulise, nn. siinusjoone (joon. 28) järgi.

Tegelik muutumine on tihti veidi ebahühtlasem — voolukõver on moonutatud.



Joon. 28. Vahelduv pinge.

54. Sagedus.

Üheks perioodiks nimetatakse aega, mille vältel pinge või vool alates nullist omab üks kord positiivse ja üks kord negatiivse väärtuse ning muutub jälle nulliks. Periood, täpsemalt perioodi välde (kestvus), märgitakse T -ga. Perioodide arvu sekundis nimetatakse sageduseks.

Sageduse mõõduühikuna on kasutusel:

1 per./s. = 1 herts,

1 kHz (kiloherts) = 1000 per./s.

Sagedus märgitakse tähega f .

$f = 1:T$ ehk

$T = 1:f$.

Tehnikas kasutatavad sagedused on:

16 $\frac{2}{3}$ per./s. elektriraudteedel mitmes Euroopa riigis.

25 „ raudteed ja el.-võrgud, peamiselt Ameerikas.

42 „ el.-võrgud, peamiselt Skandinaavias ja Itaalias.

50 „ el.-võrgud Euroopas tavaliselt.

60 „ el.-võrgud Ameerikas tavaliselt.

Kõrgemat sagedust, 100...10 000 per./s. kasutatakse tugev-
voolutehnikas ainult erijuhtumel ja eriotstarbeks. Voolu sagedusega üle 20 000 per./s. nimetatakse kõrge- ehk suursagedus-
vooluks — kasutatakse peamiselt raadio- ja nõrkvoolutehnikas.

55. Efektiivne pinge ja efektiivvoolu tugevus.

Kuna vahelduvvoolul voolutugevus pidevalt muutub, arvutatakse tavaliselt efektiivvoolu tugevusega, s. o. voolutugevusega, mis asetseb suuruselt nulli ja maksimaal- (tipp-) suuruse vahel ning annab samasuguse hulga tööd, näit. soojust, kui võrdse tugevusega alalisvool.

Elektrivool:

$$J_{ef} = \frac{J_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{J_{max}}{1,41} = 0,71 J_{max} \quad (A).$$

Efektiivpinge (joon. 28 — U_{ef}) on see pinge, mis kutsub esile vooluahelas efektiivvoolu.

$$U_{ef} = 0,71 U_{max}.$$

Voolu ja pinge suurusena võetakse vahelduvvoolutehnikas arvesse alati efektiivsuurused, samuti näitavad kõik mõõteriistad efektiivsuurusi; tippsuurusi tuleb arvestada harva, eriujuhtumel (näit. läbilöögi pinge puhul).

56. Aktiiv- ehk tegevtaakistus vahelduvvoolu ahelas.

Kui vahelduvvoolu võrku ühendada induktiivsusevaba takistus, näit. reostaat, läbib vahelduvvool viimast nagu alalisvoolgi. Voolutugevus on vastavalt Ohmi seadusele:

$$J = U : R$$

(J ja U on efektiivsuurused). Vool muutub üheaegselt pingega. On pinge null, on ka vool null; on pinge maksimumini tõusnud, on ka voolusuurus maksimaalne; pinge ja voolu muutused ehk faasid langevad kokku.

57. Induktiivne takistus vahelduvvoolu ahelas.

Sisaldab vooluvõrku lülitatud aparaat magnetvälju (mootorid, transformaatorid jne.), esineb vahelduvvoolu puhul pidev induktiivsuse mõju, avaldades kahes nähtuses:

1) Induktiivsus mõjub nagu takistus. Induktiivse takistuse suurus:

$$X_L = 2\pi f L = 6,28 f L$$

ja vool $J = U : X_L = U : (6,28 \cdot f \cdot L)$,

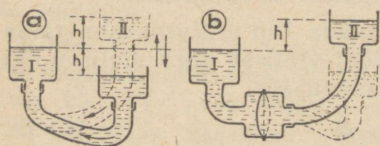
kus X_L — induktiivtakistus (Ω), f — sagedus (per./s.), L — induktiivsus (H), J — voolutugevus (A), U — pinge (V).

Induktiivsus ei takista alalisvoolu, vahelduvat aga laseb seda halvemini läbi, mida suurem on sagedus.

2) Induktiivsus tekitab pinge ja voolu vahelise nihkenurga φ (fii). Momendil, kui pingesuurus on maksimum, pole vool seda veel saavutanud ja jätkab kasvamist; on pinge langenud nullini, liigub vool veel endises suunas. Öeldakse: vool jääb pingest ajaliselt maha (põhjus vt. p. 35). Puhtinduktiivse takistuse juures jääb vool pingest maha $\frac{1}{4}$ perioodi võrra, s. o. nihkenurk $\varphi = 90^\circ$ (joon. 30-c).

Teatavat induktiivsust omab iga vahelduvvoolu aparaat ja vooluring. Otseselt kasutatakse induktiivset takistust paispooli (drosseli) näol eeltakistusena, kõrgesageduse võnkeringides jne.

Drossel kujutab mähist, mis asetseb kinnisel raudsüdamikul, kesk- ja kõrgesagedusvoolu puhul lahtisel raudsüdamikul, või on rauata. Ehitus näidatud joonisel 13 ja 17-c.



Joon. 29. Hüdrauliline mudel induktiivsuse või mahtuvuse mõjust.

Omainduktsiooni nähtuse selgitamiseks võib tuua näite mehaanikast: kui ühendada kaks nõu kummivoolikuga (joon. 29-a) ja liigutada teist nõu kiiresti üles alla, siis tekib vahelduv veevool; voolamine ei lõpe sel hetkel, kui kõrguste vahe h nulliks on muutunud, vaid hoo tõttu voolab vesi veel mõni aeg nagu vastu mägede.

58. Kondensaator vahelduvvoolu ahelas.

Alalisvool kondensaatorist läbi ei pääse, vahelduvvoolu läheb kondensaator läbi seda enam, mida suurem on ta mahtuvus ja vahelduvvoolu sagedus.

Kondensaatori mahtuvuslik takistus:

$$X_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

$$J = U : X_c = U : \frac{1}{2\pi f C} = 2\pi f C U,$$

kusjuures:

X_c — mahtuvustakistus (Ω),

f — sagedus (per./s.),

C — mahtuvus (F),

J — kondensaatorit läbiv vool (A),

U — pinge (V).

Mahtuvuse mõju võrreldes induktiivsusega on vastupidine; kuna induktiivsuse juures vool jäi maha pingest $\frac{1}{4}$ perioodi võrra, tõttab ta siin $\frac{1}{4}$ perioodi võrra ette; voolu ja pinge vahel

on nihkenurk -90° ; on pinge tippsuuruseni kasvanud, on ka kondensaator täis laetud ning vool nullini langenud ja pinge hakkab langema, hakkab vool vastupidises suunas kasvama, kondensaator tühjeneb, andes energia vooluallikasse tagasi (joon. 30-d).

Ülaltoodu selgituseks võib tuua analoogia mehaanikast: on kaks veenõu omavahel torugä ühendatud, kusjuures ühendustoru on suletud elastilise, kummist vaheseinaga (joon. 29-b) — ei lase säärane toru ühesuunalist, küll aga vahelduvat voolu läbi; seejuures ei pääse vesi otsekohe ühest nõust teise, samuti nagu elekter ei pääse otsekohe läbi kondensaatori dielektrikumi — toimub ainult veehulkade nihkumine edasi-tagasi.

59. Näivtakistus.

Sisaldab mingi aparaat korraga aktiivset ja induktiivset takistust või on mõlemad järjestikku — on üldine resulteeriv takistus, nn. näivtakistus, mõlema osataktuse geomeetiline summa, mis on alati väiksem nende aritmeetilisest summast:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

kusjuures: Z — näivtakistus (Ω), R — aktiivne ehk tegevtahtistus, X_L = induktiivtahtistus.

Ülaltoodu kehtib ka kondensaatori kohta.

On aktiivne takistus R , induktiivtahtistus X_L ja mahtuvustakistus X_C järjestikku — on näivtakistus:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2},$$

($X_L - X_C$) nimetatakse ka reaktiivtahtistuseks.

60. Vahelduvvoolu võimsus.

Aktiivkoormusel (hõõglambid, küttekedhad jne.) on vahelduvvoolu tegev võimsus sama mis alalisvoolulgi (vt. p. 16).

$$N = U \cdot J,$$

kus N — võimsus (W), U — pinge (V), J — voolutugevus (A).

Reaktiivkoormusel (mootorid, drosslid, kondensaatorid jne.) esineb faasinihe; vooluallikas saadab energiat

elektrivoolu näol aparati, kuid järgmisel hetkel saadab aparat sellest osa uuesti vooluallikasse tagasi (vt. p. 57 ja 58), ning seda suurema osa, mida suurem on nihkenurk φ . Puhtreaktiivsel koormusel on nihkenurk 90° , sel juhtumil annab aparat saadud energia $\frac{1}{4}$ perioodi hiljem tervikuna tagasi.

Vooluahelasse asetatud ampermeeter näitab ainult voolu suurust, olenemata sellest, kas voolu energia kasutatakse aparadis täielikult ära või saadetakse osaliselt vooluallikasse tagasi.

Korruptis pingest ja voolust annab pildi ainult üldisest läbi voolanud võimsusest, mida nimetatakse näivvõimsuseks ja mõõdetakse voltamprites (VA) või kilovoltamprites (kVA).

$$\text{Näivvõimsus } N_z = U \cdot J \text{ (VA).}$$

Aparadi poolt tegelikult tarvitatud tegev võimsuse (aktiivvõimsuse) määramiseks tuleb näivvõimsust korrutada veel võimsusteguriga ehk $\cos \varphi$ -ga (koosinus fii-ga).

$$\text{Tegev võimsus } N = U \cdot J \cdot \cos \varphi \text{ (W).}$$

61. Võimsustegur.

Võimsustegur $\cos \varphi$ näitab suhet vattmeetriga mõõdetava tegev võimsuse ja volt- ning ampermeetriga määratava näivvõimsuse vahel:

$$\cos \varphi = \frac{N}{U \cdot J}.$$

$\cos \varphi$ suurus asetseb 0 ja 1 vahel, olenedes elektrienergia tarvitaja iseloomust (viimase induktiivsusest või mahtuvusest).

$\cos \varphi$ suurus on:

hõõglampidel, küttekehadel ja reostaatidel u. 1

vahelduvvoolu asünkroon-mootoritel:

täiskoormusel, suurtel (100 kW)	0,85—0,9
täiskoormusel, väikestel (1 kW)	0,65—0,85
vahelduvvoolu mootoritel tühjalt	0,1 —0,5
transformaatoritel tühjalt ja drosslitel u.	0,1

Mida väiksem on $\cos \varphi$, seda suurem tuleb võrdse võimsuse juures voolutugevus; viimase suurenemisega aga suurenevad ühtlasi kaod ning pingelang; samuti tuleb alternaatorid, transformatorid ja liinid valida vastavalt voolusuurusele tugevamad, olenemata tarvitusest kW-des.

$\cos \varphi$ Nihkenurk φ°	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
Näivvool J	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Aktiivvool, $J \cdot \cos \varphi$.	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Reaktiivvool, $J \cdot \sin \varphi$	0	43	60	70	80	86	92	95	98	99	100

Näide 1: Ühefaasine alternaator andis elektrienergiat välisvõrku, kusjuures voltmeeter näitas 3150 V, ampermeeter 165 A ja vattmeeter 395 kW. Kui suur on võimsustegur?

Lahendus: a) Näivvõimsus $N = 3150 \times 165 = 519750 \text{ VA} = 519,7 \text{ kVA}$.

b) Võimsustegur $\cos \varphi = 395 : 519,7 = 0,76$.

Näide 2: Voolutugevus oli 325 A, pinge 525 V, $\cos \varphi$ -mõõtja näitas 0,85. Leida võimsus.

Lahendus: Võimsus $N = 525 \times 325 \times 0,85 = 145 \text{ kW}$.

Näide 3: Vattmeeter näitas 220 V võrgus 14 kW. Kui suur on vool, kui $\cos \varphi$ on 0,75?

Lahendus: Vool $J = \frac{14000}{220 \times 0,75} = 85 \text{ A}$.

62. Vahelduvvoolu töö (energia).

Vooluallika poolt antud või aparadi poolt tarvitatud elektrilise töö (energia) leidmiseks tuleb võimsust korrutada ajaga:

$$A = N \cdot t = U \cdot J \cdot \cos \varphi \cdot t;$$

mõõduühikud on samad mis alalisvoolulgi (vt. p. 17).

63. Vektordiagramm.

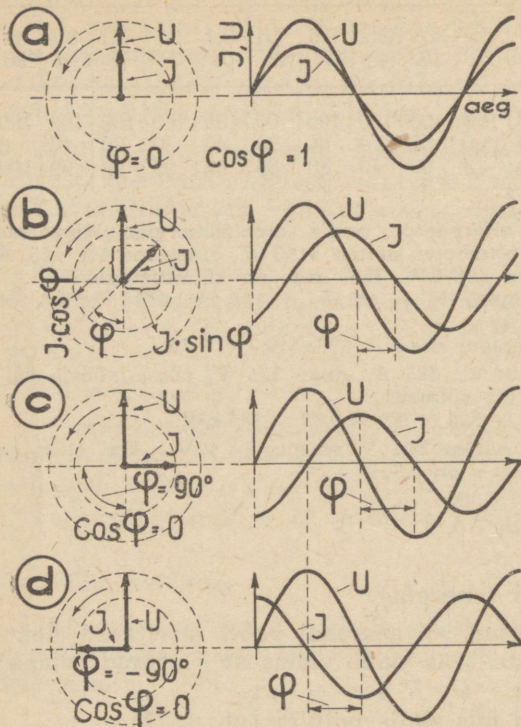
Piltlikuma ülevaate pinge ja voolu vahekorrrast annavad joonisel 30 toodud vektor- (vasakul) ja siinusoidaal-diagrammid.

Pingevektori U asend vastab elektromotoorset jõudu tekitava traadikeeru asetusele magnetväljas (joon. 28).

Traadi või viimast kujutava vektori pöörlemisel tekib laineliselt muutuv vool.

Aktiivkoormuse juures langevad U - ja J -vektorid kokku (joon. 30-a). Induktiivsel koormusel jääb vooluvektor pingest maha (joon. 30-b ja -c). Mahtuvusliku juures nihkub vool ette (joon. 30-d).

64. Reaktiiv-võimsus.



Joon. 30. Vektordiagrammid : a) aktiivse, b) osaliselt induktiivse, c) puht-induktiivse, d) mahtuvusliku koormuse juures.

Teoreetiliste arvutuste juures kujutatakse tavaliselt viimaste lihtsustamiseks, nagu koosneks vool osaliselt reaktiivsel, s. o. aktiivsel ja reaktiivsel segakoormusel (joon. 30-b) kahest osast: pingega faasis olevast komponendist — aktiiv- ehk tegevvoolust ($J \cdot \cos \varphi$) ja viimasega täisnurga all asuvast reaktiiv- ehk ebavoolust ($J \cdot \sin \varphi$).

Korrutist

$U \cdot J \cdot \sin \varphi$ nimetatakse reaktiiv- ehk ebavõimsuseks (vatita võimsus). Viimase mõõduühikuks on kas VAR (volt-amper reaktiiv) või 1000 korda suurem ühik kVAR (kilovar).

B. VÕNKERINGID.

65. Võnkering.

Võnkeringsiks nimetatakse kinnist vooluahelat, milles esineb induktiivsus (L) ja mahtvus (C) ning nende takistused (X_L ja X_C vt. p. 57 ja 58) on vooluahelas esineva oomise takistusega (R) võrreldes suhteliselt suured.

Vahelduvvoolu niisugust sagedust, mille juures võnkeringsis esinev induktiivtakistus on võrdne mahtuvustakistusega $X_L =$

$= X_c$), nimetatakse selle võnkeringi omavõnkesageduseks (f_0). Kui võnkeringis esinev oomtakistus (tegevtaakistus) on väike, nii et seda võib tähelepanemata jätta ($R \approx 0$), leitakse võnkeringi omavõnkesagedus järgmise valemi abil:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

kus f_0 — sagedus (per./s.), L — induktiivsus (H) ja C — mahtuvus (F).

Suhteliselt suure tegevtaakistuse (R) puhul kasutatakse valemit

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$$

Mahtuvus ja induktiivsus võivad asetseda vooluallikaga võrreldes järjestikku või rööbiti (paralleelselt); mõlemal juhul arvutatakse omavõnkesagedus sama valemiga.

Näide: Võnkeringis on mahtuvus $C = 2250$ „cm“ = 2500 pF = $2,5 \cdot 10^{-9}$ F; induktiivsus $L = 10^5$ „cm“ = 100 μ H = 10^{-4} H ja oomtakistus (tegevtaakistus) $R = 20 \Omega$.

Võnkeringi omavõnkesagedus (kui $R = 0$)

$f_0 = 1:2\pi\sqrt{LC} = 1:2 \cdot 3,14 \cdot \sqrt{10^{-4} \cdot 2,5 \cdot 10^{-9}} = 318471$ per./s. $\approx 318,5$ kper/s. Kui $R = 20$

$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} = \frac{1}{2 \cdot 3,14} \sqrt{\frac{1}{10^{-4} \cdot 2,5 \cdot 10^{-9}} - \frac{20^2}{4 \cdot (10^{-4})^2}} \approx 318,4$ kper/s.

66. Pingeresonants-ahel.

Asuvad mahtuvus C , induktiivsus L ja takistus R järjestikku vooluahelas (joon. 31), siis nimetatakse seda pingeresonants-ahelaks.

Pingeresonants-ahela näivtakistus (vt. p. 59):

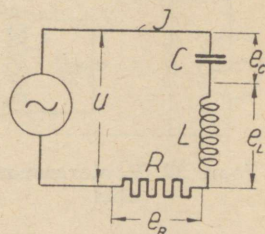
$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Voolutugevus ahelas:

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

Pingelangude suurused kondensaatori, pooli ja takistuse klemmidel on vastavalt:

$$e_c = JX_C; e_L = JX_L \text{ ja } e_R = JR.$$



Joon. 31. Pingeresonants-ahel.

Kui vooluallika poolt antava vahelduvvoolu sagedus võrdub võnkeringi omavõnkkesagedusega (vt. p. 65), nimetatakse seda vahelduvvoolu sagedust *resonants-sageduseks*.

Resonants-sageduse puhul on $X_L = X_C$ ja seega $Z = R$.

Poolis L ja kondensaatoris C esinevate kadude tõttu on $(X_L - X_C)^2$ ka resonants-sagedusel väike positiivne suurus, mille tõttu $Z > R$.

Resonants-sagedusel võib Z suurus olla väiksem X_C ja X_L suurustest, järelikult võib pingelang kondensaatori klemmidel (e_C) ja pingelang pooli klemmidel (e_L) olla palju suuremad vooluallika klemmipingest. Need pinged aga on teineteise suhtes vastufaasis (nendevaheline nihkenurk on ca 180°).

Näide: Võtame eelmises punktis toodud näite kohase võnkeringi, mille $C = 2,5 \cdot 10^{-9}$ F; $L = 10^{-4}$ H; $R = 20 \Omega$. Olgu $U = 1000$ V.

Resonants-sagedus $f = 318\,500$ per/s (Vt. p. 65).

Kuna näivtakistus Z on resonants-sagedusel ligikaudu võrdne takistusega R , on ligikaudne voolutugevus $J = U : R = 1000 : 20 = 50$ A.

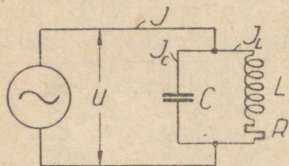
Pingelang takistuses R on ligikaudu $e_R = JR = 50 \cdot 20 = 1000$ V.

Kondensaatori ja pooli klemmide vahel esinevad pinged on võrdsed ja teineteise suhtes vastufaasis.

$e_L = e_C = J \cdot X_L = J \cdot X_C = J \cdot 2\pi fL = 50 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 318\,500 \cdot 10^{-4} = 10\,000$ V.

67. Vooluresonants-ahel.

Aruvad mahtuvus C ja induktiivsus L vooluahelas rööbiti (paralleelselt) (joon. 32), siis nimetatakse seda vooluresonants-ahelaks.



Joon. 32. Vooluresonants-ahel.

Mahtuvuse C ja induktiivsuse L poolt moodustatud võnkeringi omasageduse kohta vt. p. 65.

Praktikas pole võimalik valmistada võnkeringi, milles ei esineks tegev-takistus R . Jättes tähele panemata kondensaatoris esineva tegev-takistuse ja pooliga paralleelselt kujutatava tegev-takistuse kui pooli traadi oomtakistusega võrreldes väikese

tähtsusega suurus, võib võnkeringis esinevat tegev-takistust kujutada induktiivsusega järjestikku olevana (joon. 32-R).

Resonants-sagedusel avaldab võnkering vooluresonants-ahelas tegev-takistust, mille ligikaudne suurus

$$R_{res} = \frac{L}{CR}$$

Voolutugevus vooluallika ahelas

$$J = \frac{U}{R_{res}}$$

Voolutugevus võnkeringis on aga palju suurem ja nimelt:

$$J_L = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

Näide: $C = 2,5 \cdot 10^{-9} \text{ F}$; $L = 10^{-4} \text{ H}$; $R = 20 \Omega$; $U = 1000 \text{ V}$.

Resonantsagedus $f_0 = 318,5 \text{ kper/s}$ (vt. p. 65).

Resonantstakistus $R_{res} = L : CR = 10^{-4} : 2,5 \cdot 10^{-9} \cdot 20 = 2000 \Omega$.

Voolutugevus vooluallika ahelas $J = U : R_{res} = 1000 : 2000 = 0,5 \text{ A}$.

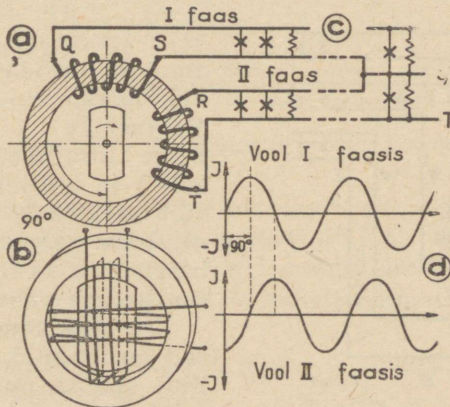
Võnkeringis resonants-sageduse puhul $X_L = X_C = 2\pi fL = 2 \cdot 3,14 \cdot 318 \cdot 500 \cdot 10^{-4} \sim 200 \Omega$.

Voolutugevus võnkeringis $J_L = J_C = U : \sqrt{R^2 + X_L^2} = 1000 / \sqrt{20^2 + 200^2} = 4,98 \text{ A}$.

C. Mitmefaasised voolud.

68. Kahefaasine vool.

Kui vahelduvvoolu masinale asetada kaks ühesugust mähist elektriliselt 90° nurga all (joon. 33), tekib mõlemas vahelduvvool, võrdse pinge ja sagedusega, kuid voolu muuted ei toimu



Joon. 33. Kahefaasine vool.

üheaegselt. On vool esimeses mähises null — on ta teises maksimaalne, ja ümberpöörduvalt. Sääraseid seotud vooluringe nimetatakse faasideks. Kahefaasisel voolul on faasidevaheline nihkenurk 90° .

Joonisel 33-a on kujutatud ülevaatlikkuse mõttes nn. ringmähis. Tegelikult kasutatakse vahelduvvoolu masinais joonisel 33-b skemaatilisel kujutatud trummelmähist, mis võimaldab mähiste ja magnetväljade paremat kasutamist.

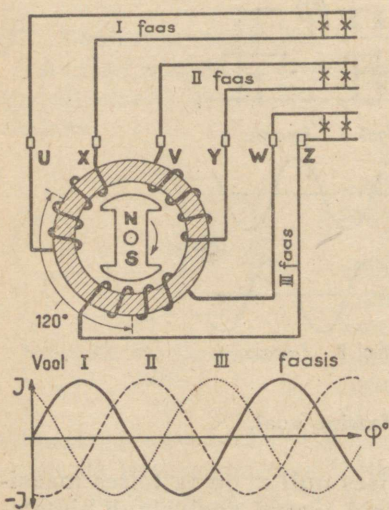
Kahefaasisest masinast väljub neli juhet. Voolu juhtimisel kaugemale võib juhtmete arvu vähendamiseks kaks juhet kokku liita — tekib liidetud kahefaasine vool (joon. 33-c).

Liitpinge kahe äärmise juhtme vahel: $U = \sqrt{2} \cdot u = 1,41 u$; liitvoolu suurus keskmises juhtmes mõlema faasi ühtlasel koormusel on $J = \sqrt{2} \cdot i = 1,41 i$, kus u ja i on ühe faasi pingeline ja vool.

Kahefaasiseid vooluvõrke enam ei ehitata.

69. Kolmefaasine vool — keerdvool.

Kahe mähise asemel võidakse masinasse asetada kolm, neli või enam mähist, sellele vastavalt saab kolme-, nelja- jne. faasist voolu. Üldisel tarvitusel on ainult kolmefaasine ehk keerdvool (joon. 34). Liitmata keerdvool omab kuus juhet; üksikuid faase kokku liites saab juhtmete arvu vähendada kuni kolmeni. Liitmise viise on kaks: täht- ja kolmnurklülitus.



Joon. 34. Kolmefaasine vool.

a) Tähtlülitus — kõik faasimähiste lõpud või algused ühendatakse omavahel kokku nn. nullpunkti. Vooluringe moodustavad kolm liinijuhet (joon. 35 RST) ja nulljuhe. Koormust võib asetada kõigi kolme liinijuhtme vahele või soovikohaselt mõne liinijuhtme ja nulljuhtme vahele.

On kõik kolm faasi ühtlaselt koormatud, siis on voolude summa null, s. o. nulljuhtmes puudub vool ja nulljuhtme võib sel juhtumil ära jätta või asendada peenemaga.

Tähtühenduse korral voolab läbi masina faasimähise niisama suur vool kui välis-

liiniski, liitpinge kahe faasi- (liini-) juhtme vahel on aga kõrgem.

$$J = i,$$

$$U = \sqrt{3} \cdot u = 1,73 u,$$

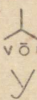

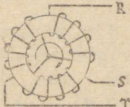
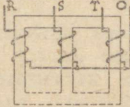

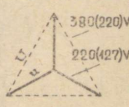


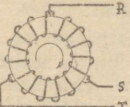
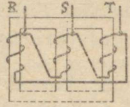
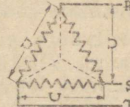
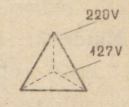
kusjuures: i on vool masina ühes faasimähises (faasivool),

J — vool liinijuhtmeis (liitvool),

u — pinge ühe faasimähise otste vahel (faasipinge),
s. o. faasijuhtme ja nulljuhtme vahel,

U — liitpinge, pinge kahe liinijuhtme vahel.

b) Kolmnurk-lülitus. Ühe mähise lõpp ühendatakse järgmise mähise algusega (joon. 35). Liitepunktidest viiakse välja kolm liinijuhet.

NIMETUS	MÄRK	LÜLITUSSKEEM			VEKTOR- DIAGRAMM
		MASINATEL	TRAFODEL	LIITSUSTATUD	
TÄHT	 või 				
KOLM- NURK (DELTA)	 või 				

Joon. 35. Kolmeefaasise voolu liitmine.

Exhibi. univ. T

Mähised moodustavad siin kinnise vooluringi; et aga kõigi kolme mähise pingete summa on alati null, ei teki mähistes omavahelist ringvoolu ja masin annab voolu ainult välisahelasse.

Koormus lülitatakse juhtmete vahele kolmnurgas või erijuh tumil, ka tähes.

Kolmnurk-ühenduse korral pinge ei muutu, liitvool (liini- vool) on suurem faasivoolust.

$$J = \sqrt{3} \cdot i = 1,73 i,$$

$$U = u.$$

Näide: Joonisel 34 toodud masina faasipinge, klemmide UX vahel, on 220 V; vool maksimaalselt 25 A. Leida liitpinge ja -vool. Kolmnurk-ühenduse korral on välisahela pinge 220 V; vool $J = 25 \times 1,73 = 43,25$ amp.

Tähtühenduse korral on välisahela pinge $U = 220 \times 1,73 = = 380$ V, voolutugevus $J = 25$ amp.

70. Keerdvoolu võimsus ja töö (energia).

Liitmata keerdvoolu korral on tegemist kolme iseseisva vahelduvvooluga; ühtlasel koormusel on üldine võimsus

$$N = 3 \cdot i \cdot u \cdot \cos \varphi.$$

Liidetud keerdvoolul

$$N = \sqrt{3} \cdot U \cdot J \cdot \cos \varphi = 3 \cdot i \cdot u \cdot \cos \varphi,$$

kusjuures: N – võimsus (W),

i – vool ühes faasimähises (A),

u – ühe faasi pinge (V),

J – liitvool liinijuhtmes (A),

U – liitpinge kahe liinijuhtme vahel (V).

Elektri töö (energia) leidmiseks tuleb üldist võimsust korrutada ajaga, analoogiliselt p. 17 toodule.

$$A = N \cdot t = \sqrt{3} \cdot U \cdot J \cdot \cos \varphi \cdot t.$$

Näide 1: Keerdvoolu liitpinge (kahe liinijuhtme vahel) $U = 500$ V.

Voolutugevus ühes juhtmes $J = 82$ amp.

Ühtlase koormuse korral kõigis faasides ja $\cos \varphi = 1$ juures (lambid koormuseks) on ülekantav võimsus

$$N = \sqrt{3} \times 500 \times 82 = 70\,930 \text{ W} = \text{ca } 71 \text{ kW},$$

olenemata vooluallika lülitusest.

Näide 2: Keerdvoolu generaatori faasipinge on 220 V, faasivool 25 amp. Võrgu $\cos \varphi$ on 1. Leida võimsus.

Kolmnurk-ühenduse korral on võimsus

$$N = \sqrt{3} \times 43,25 \text{ A} \times 220 \text{ V} = 16\,500 \text{ W} = 16,5 \text{ kW}.$$

Tähtühenduse korral on võimsus

$$N = \sqrt{3} \times 25 \text{ A} \times 380 \text{ V} = 16,5 \text{ kW}.$$

Liitmata keerdvoolu korral on võimsus

$$N = 3 \times 25 \text{ A} \times 220 \text{ V} = 16,5 \text{ kW}.$$

Näide 3: Keerdvoolu generaator andis välisvõrku 16,5 kW 4 tunni jooksul. Leida väljaantud elektri energia.

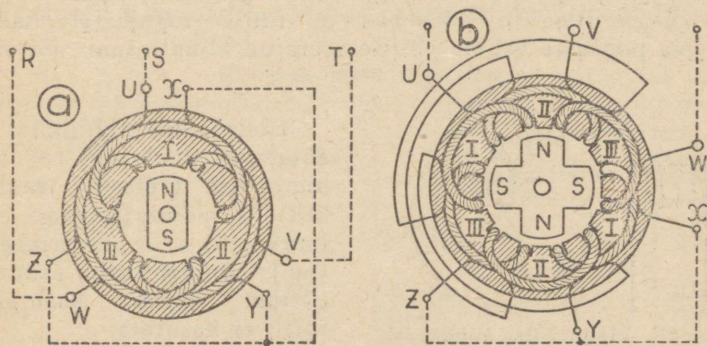
$$A = 16,5 \times 4 = 66 \text{ kWh}.$$

71. Keerlev magnetväli.

Kui joonisel 33 kujutatud kahefaasine masin ühendada kahefaasise vahelduvvoolu võrguga selliselt, et üks faas oleks ühenduses esimese, teine teise mähisega, tekib masinas keerlev magnetväli: teataval hetkel läbib vool ainult ühte mähist, indutseerides vastava asetusega magneti N- ja S-pooluse. Veerandperioodi vältel kahaneb vool esimeses mähises nullini, kasvades teises maksimumini; seetõttu nihkuvad ka magnetipoolused 90° võrra edasi. Sama kordub ka iga järgmise veerandperioodi kestel, mistõttu magnetväli teeb iga perioodi vältel ühe ringi, kuigi

raudkere ja mähised ise seisavad paigal. Keerdvoolu juures on nähe sarnane eeltooduga.

Joonistel 33, 34, 36-a kujutatud mähiste juures omab keerdväli ainult ühte pooluste-paari, tehes 50 per./s. puhul 3 000 pööret minutis. Suurendades mähiste (sektsoonide) arvu kahe-, kolme- jne. kordselt ja vähendades samal ajal viimaste sammu (vahet)



Joon. 36. Kahe- ja neljapooluseline keerdvoolu masin.

(joon. 36-b), saame kahe pooluse asemel neli, kuus jne., kusjuures pöörete arv vastavalt langeb, olles 50 per./s. juures 1 500, 1 000, 750 jne.

Kui keerdvälja asetada metalltrummel, hakkab viimane vastavalt p. 46-le väljaga kaasa pöörlema. Tähendatud nähtust kasutatakse vahelduvvoolu induktsioonmootoris.

Joonisel 36 omab iga faas pooluse kohta ainult üht sektiooni, tegelikult on viimaste arv, magnetvälja ühtlasemaks jaotamiseks, mitmekordne (sektiooni külgede arv joonisel toodud 6 ja 12 asemel on tavaliselt vähemalt 24 või 36).

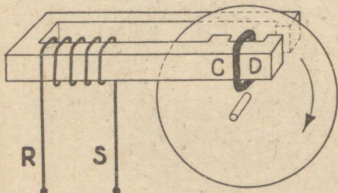
72. Keerdvälja tekitamine ühefaasise vooluga.

Keerlevaid magnetvälju tekitavad ainult mitmefaasised voolud.

Mootor töötab ka ühe faasiga, kuid ta ei lähe sel puhul ise käima. Käivitamiseks ehitatakse mootor kahefaasisena, kusjuures abifaasi lastakse vool läbi kondensaatori või drossli (vt. p. 57 ja 58). Õige pisikestes mootorites (toaventilaatorid) on abifaas lühises; mootor töötab analoogiliselt p-s 73 toodule.

73. Nihkevälili.

Kui vahelduvvoolu magnetpoolustele asetada üks või enam isoleeritud vaskrõngast (joon. 37), indutseeritakse viimaseis elektrivoolud. Tähendatud sekundaarvoolud omakorda tekitavad pooluste otsas magnetvälju, mis peavälja suhtes hilinevad kuni veerandperioodi; seetõttu saame pooluse otsas C ja D vahel magnetilise nihkevälja, mille tagajärjel hakkab pöörlema pooluste vahele võllile asetatud alumiinium- või vaskketas.



Joon. 37. Magnetilise nihkevälja tekitamine.

Ülaltoodud põhimõtet kasutatakse pisikestes reguleerimootoreis (releed, leeklambid) ja mõõteriistades (vooluarvestid, ampermeetrid jne.); jõumootorina seda meetlust väikese kasuteguri tõttu ei kasutata.

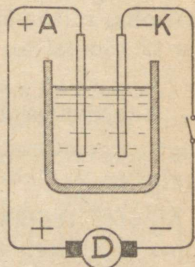
VIII. ELEKTROKEEMIA.

74. Elektrolüüs.

Kui soola, happe või leelise lahusesse vees, piirituses jne. asetada kaks elektroodi (joon. 38) ning viimaste kaudu lasta läbi lahuse alalist elektrivoolu, laguneb lahustunud aine oma algosadesse: miinuselektroodile koguneb metall või vesinik, plussile metalleid või mittemetalne jääk.

Säärast lahutusprotsessi nimetatakse elektrolüüsiks, vedelikku — elektrolüüdiks, positiivset elektroodi — anoodiks, negatiivset — katoodiks ning nõu vedeliku ja elektrodidega lahutuskärjeks või -vanniks.

Mõnikord ühinevad eraldunud ained omakorda vee või elektrodidega, tekitades nii uusi aineid. Sellist nähtust nimetatakse sekundaarprotsessiks.



Joon. 38. Elektrolüüs.

75. Elektrolüüsi seadused.

Elektrivoolu toimel eraldunud ainehulk

$$G \text{ (milligrammides)} = b \cdot t \cdot i = b \cdot Q,$$

kus t — aeg sekundites, i — voolutugevus (A), Q — elektrihulk kulonites ja b elektrokeemiline ekvivalent, s. o. ühe ampri poolt ühe sekundi kestvusel eraldatud ainehulk milligrammides.

Elektrokeemiline ekvivalent.

T a b e l 4.

Aine		b mg/As	Aine		b mg/As
K a t o o d i l			Tsink	Zn	0,338
Vesinik	H	0,0103	Vask	Cu	0,328
Hõbe	Ag	1,118	A n o o d i l		
Kuld	Au	0,681	Hapnik	O	0,082
Nikkel	Ni	0,304	Kloor	Cl	0,367
Raud	Fe	0,291	Lämmastik	N	0,048

76. Elektrolüüsi teooria.

Lahustumisel segunevad aine molekulid vedeliku omadega. Elektrolüütides lõhestab vedelik seejuures ühe osa lahustunud aine molekulidest veel kaheks osaks — iooniks, milledest üks on positiivse, teine negatiivse laenguga. Nähtust nimetatakse disotsiatsiooniks. Osa ioone ühineb kokku sattudes omavahel, samal ajal tekib ka uusi, ja üldine vahekord, disotsiatsioonikraad jääb muutmatuks, olenedes ühel ja samal lahusel ainult temperatuurist ja lahuse tihedusest.

Elektroodidevahelises elektriväljas hakkavad positiivsed ioonid külgetõmbejõu mõjul liikuma (vt. p. 47) katoodi, negatiivsed — anoodi suunas, viimaste juures neutraliseerudes ja sadenedes gaasina, vedelikuna või tahke aina.

77. Elektrolüüdi eritakistus.

Elektrolüütide eritakistus oleneb lahuse keemilisest koostisest, kontsentratsioonist ja temperatuurist — vähenedes viimase tõusmisel. Mõningate elektrolüütide eritakistus oom/cm-tes (1 cm² pinnaga elektroodid 1 cm kaugusel) 18° C juures on antud tabelis 5.

Vett kaalu %-ides	95	90	80	70	60	40	20
Lisandus %-ides	5	10	20	30	40	60	80
Väävelhape	3,8	2,5	1,5	1,3	1,5	2,7	9
Salpeeterhape	3,9	2,2	1,4	1,28	1,37	1,95	3,7
Soolhape	2,5	1,6	1,3	1,5	1,95	—	—
Harilik seebikivi	5,8	3,2	2,0	1,85	2,2	—	—
Kaalium-seebikivi	5,12	3,22	3	5	8,7	—	—
Söögisool	15	7,66	5,16	—	—	—	—
Vasevitriol	53	31	20	—	—	—	—
Salmiaak	10,6	5,6	3	—	—	—	—

Pinge kasvamisel kasvab vool võrdeliselt viimasega (joon. 39-a), kui mõned muud kõrvalmõjud, nagu polarisatsioon jne., olukorda ei muuda.

78. Elektrolüüs kuumades sulamites.

Elektrolüüs on läbiviidav mitte üksnes lahustes, vaid ka kuumades sulamites. Kui näiteks kuiv kloorina (PbCl_2) tiiglis sulaks ajada ning sulamist elektrivool läbi lasta — koguneb ühele elektrodile (tiigli põhja) sula tina.

Sulamite elektrolüüsi kasutatakse paljude metallide, nagu alumiiniumi, magneesiumi, kaaliumi jne. saavutamisel.

79. Polarisatsioon.

Vahelduvvoolule mõjub ainult elektrolüüdi takistus. Alalisvoolu puhul tuleb takistusele lisaks tihti veel vastuelektromotoorne jõud. Kui näiteks vasevitrioli lahusesse asetada plaatina- või süsielektroodid — koguneb katoodil voolu mõjul vasekiht; tekib galvaani element, mille üheks elektrodiks on vask, teiseks plaatina (süsi). Väävelhappe lahuses on elektrodideks vesiniku ja hapniku kihid elektrodidel jne. Kärg omandab poolused — polariseerub. Käрге läbiv vool $J = (U - E) : R$, kus R — takistus, U — välispinge ja E — polarisatsiooni vastuelektromotoorne jõud, harilikult 1...2,5 V.

80. Elektrolüüs tehnikas.

Tähtsamad menetlused elektrolüüsi kasutamisel on:

a) Galvanostegia — metallide katmine elektrolüütiliselt mõne teise metalli, harilikult nikli-, kulla-, hõbeda- või kroomikihiga.

b) Galvanoplastika — reljeefsete kujutuste ja koo-
piate valmistamine. Plastilisest aineksest (parafiin, gutapertš jne.)
vorm kaetakse grafiiditõlmuga ja siis metallikihiga.

c) Metallide (peamiselt vase, tsingi, inglistina ja nikli)
rafinereimine. Voolu abil kantakse puhastatav metall
anoodilt katoodile, kuna lisandid seejuures langevad põhja.

d) Mitmesuguste ainete saavutamine maakidest
ja teistest toorainetest. Toimub kas märjalt, näit. vesinikku
ja hapnikku saadakse veest, seebikivi ja kloori — söögisoo-
last jne., või kuumalt: alumiiniumi — savimullast, magneesiumi
— karnaliidist, naatriumi — kuumuses sulatatud seebikivist
jne.

81. Elektriline süntees.

Kahe aine segust elektrivoolu läbi lastes võivad need tek-
kiva kuumuse toimetel ühineda, andes nii uue aine. Kasutatakse:
kaltsium-karbiidi valmistamisel lubjast ja söest, karborundi val-
mistamisel liivast ja söest, lämmastikhappe ja salpeetri valmis-
tamisel õhust jne.

IX. ELEKTRIVOOLE DIELEKTRIKUS.

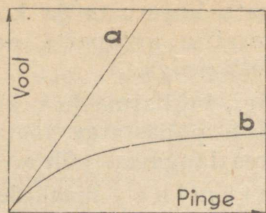
82. Sissejuhatus.

Normaalselt on gaasid peaaegu absoluutselt isolaatorid; nad
võivad aga teatavil tingimustel muutuda elektrivoolu juhtideks.
Selleks on vaja, et elektrodidevaheline ruumala oleks ionisee-
ritud, s. o. sisaldaks elektrilaengut kandvaid molekule või aato-
meid — ioone.

Ioniseerumise võivad esile kutsuda kas elektrivälja ise või
mitmesugused välised põhjused: sellele vastavalt on ka voolam-
ine kas iseseisev või mõjutatud.

83. Mõjutatud vool gaasides.

Mitmesugused välised asjaolud, nagu röntgeni-, raadiumi-
ning ultraviolettkiired, kõrge kuumus jne. võivad lõhestada üksi-
kuid gaasiaatomeid, mille tagajärjel tekivad kaks osakest —
— iooni, milledest üks (eraldunud elektron või elektronid) on
negatiivse, teine — aatomi ülejäänud osa — positiivse laen-
guga.



Joon. 39. Elektrivoolude karakteristikud.

Elektroodidevahelises elektriväljas liiguvad esimesed anoodi, teised kaatodi suunas — gaas juhib elektrit. Nähtus on ligikaudu analoogiline elektrolüüsile (vt. p. 76).

Üldiselt on selline vool väga nõrk ja piirdub milliampritega. Pinge tõstmisel ei kasva vool piiramatult, vaid saavutab piiri küllastusvoolu näol, kus kõik tekkinud ioonid lendavad elektroodideni (joon. 39-b).

84. Elektrivool vaakuumtorus.

Täielikus tühjuses puuduvad ioniseerimiseks vajalikud gaasiatomid ning ühtlasi ka juhtivus. Olukord muutub elektroodide kuumutamisel. Hõõguv keha paiskab endast välja elektrone ja on ümbritsetud elektronide (negatiivse laengu algosakeste) pilvega. Elektriväljas liiguvad elektronid katoodilt anoodile — vaakuumtoru muutub voolujuhtivaks.

On ainult üks elektrood kuum, töötab toru alaldaja-ventiilina, s. o. laseb voolu läbi ainult ühes suunas: külmast anoodist kuumale katoodile (arvestatud on nn. positiivse voolusuunaga, elektronide liikumise suund on vastupidine). Voolusuuruse piiriks on maksimaalne elektronide hulk (emissioon), mida suudab anda hõõguv keha ajahihikus. Kasutatakse hõõgkatoodiga vaakuumtorusid alaldajana ja varustatult lisaelektroodidega ka võimendajana side-, heli- ja raadiotehnikas.

85. Iseseisev elektrivool normaalrõhuga gaasides.

Elekter võib gaasi läbida humulahenduse, sädeme või leegi kujul.

a) On pinge kõrge (üle paari kV), kuid elektroodide vahemaa suur, tekib teravikel ja peenemal traatidel sinakas huulvalgus. Teravike läheduses on elektrivälja kõige tugevam (vt. p. 47) ning juhtumil, kui väljatugevus ületab teatava piiri (õhul 29,9 kV/cm), tekib gaasiosakeste lõhenemine — ioniseerumine.

Huulvahendus võib esineda koroona-nähtusena kõrgepingejuhtmeil, mis põhjustab ka energia kadu; koroona-kaotamiseks tuleb juhtmed 100 kV puhul võtta näiteks mitte alla 70 ... 95 mm². Kõrgemate pingete juures, 150 kV ülespoole, kasutatakse vase kokkuhoiu mõttes õõnsaid, torukujulisi juhtmeid.

b) On elektroodide vahemaa väiksem või pinge kõrgem — tekib säde. Tugeva vooluallika juures (suur dünamo, transformator) muutub kord läbilöönud säde püsivaks leegiks; langeb aga pinge nõrga vooluallika või suure takistuse tõttu, siis kustub säde, lüües pinge tõusmisel uuesti läbi.

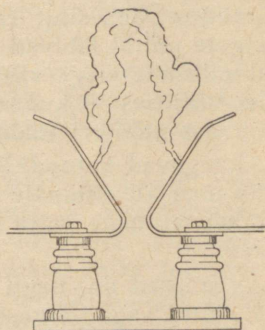
Sädeme läbilöögiks vajalik pinge oleneb elektroodide kujust ja kaugusest ning gaasi koosseisust, temperatuurist ja rõhust. Õhu kohta (normaalrõhu juures) on antud andmed järgnevas tabelis 6.

Sädepinge.

Tabel 6.

Ef. pinge [kV] Tipp- (läbilöögi-) pinge	Elektroodide vahemaa [mm]									
	0,5	1	2	4	6	10	15	20	30	50
	0,7	1,4	2,8	5,6	8,4	14	21	28	49	70
Õhus, teravike vahel	—	1	2	5	8	14	22	30	—	—
Õhus, kuulide vahel r=5mm	0,55	0,2	0,55	1,5	2	4,0	6,5	10	19	—
Õhus, plaatide vahel	—	—	—	—	2	3,5	6	8,5	15	—
Mineraalõlis, plaatide vahel	—	—	—	—	1	1,8	3	4	8	22
Portselanis, plaatide vahel	—	—	—	—	—	0,55	1	1,4	2,3	4,5
Vilgukivis, plaatide vahel	—	—	—	—	—	—	—	0,4	0,6	1,3

c) Püsiv leek (voltakaar) tekib elektroodide vahel, kui need saavad küllaldaselt energiat. Leegi süütamiseks on vaja kas eelnevat sädet, elektroodide ajutist ühendamist peene läbisulava metallkiuga või elektroodide hetkelist kokkusurumist ja järgnevat eemaletõmbamist. Leegi temperatuur on ca 3000 ... 4000° C. Leek koosneb kuumuse toimel ioniseerunud gaasist ja elektroodide materjali aurudest. Leegi alalhoiuks vajalik minimaalpinge oleneb voolu liigist, elektroodide materjalist, kaugusest ja ümbritsevast



Joon. 40. Kõrgepinge leek sarvelektroodide vahel.

õhkkonnast. Minimaalpinge (kui leegi pikkus on väga väike) on: alalisvooluga, õhus, süte vahel 39 V, vaskelektroodide vahel 24 V; vahelduvvooluga — süte vahel 21 V, metallist elektroodide vahel tavaliselt 600 ... 1000 V.

Leeki võib tekitada ka õhutühjas klaastorus, elavhõbedast elektroodide vahel.

Voolutugevus on piiratud ainuüksi vooluallika võimsusega ja toiteliini tugevusega ning võib tõusta tuhandesse ampri-tesse.

Kasutatakse elektri leeki keevitamisel, sulatusahjudes, valgustuseks ja elavhõbeda auru alaldajais.

86. Elektrivool hõredas õhkkonnas.

Gaasis leidub alati üksikuid ioone, mis elektriväljas liikuma hakkavad. Liikudes põrkavad nad vastu neutraalseid aatomeid. On tugeva küllalt tugev, lõhestub aatom kaheks uueks iooniks. Tugeva tõuke jaoks on vaja kas väga kõrget pinget või pikka teed hoovõtmiseks. Viimane on saavutatav osalise aatomite kõrvaldamisega, s. o. osalise gaasi väljapumpamisega.

Kui otstel elektroodidega varustatud klaastorus õhu tiheidust väljapumpamisega hõrendada, hakkavad gaasi osakesed ca 40 mm õhurõhu juures liikuma läbi toru helendava vööna. Voolutugevus normaalselt kasutatavais helendavates torudes on kuni mõnikümmend milliamprit, pinge — paar tuhat volti. Minimaalpinge oleneb gaasist ja katoodide materjalist: plaatina vesinikus 340 V, kaalium lämmastikus 210 V jne. On hõrendus väga suur (alla 0,01 mm), kaob huumvalgus; kõrgete pingete puhul läbivad katoodi juurest eraldunud elektronid toru katoodkiirte sirge vihuna. Viimaseid võib saavutada ka täielikus tühjuses — kuumutades katoodi. Katoodkiiri kasutatakse mõnedes mõõteriistades (näiteks katood-ostsillograafis).

Langevad katoodkiired mingile tahkele (kõvale) kehale, näiteks toru klaasseinale või selleks eraldi asetatud metallplaadile, hakkab viimane välja saatma erilisi nähtamatuid röntgeni- (x-) kiiri.

Viimased on, nagu nähtav valguski, elektromagnetilised lained, kuid väga väikese lainepikkusega. Need kiired on võimelised tungima läbi kõvade kehade, nad mõjuvad fotoplaadile ja kutsuvad mõnedes ainetes esile helkimise. Kasutamisel kindlate kehade läbivalgustamisel.

87. Elektrivool vedelikes ja tahketes dielektrikutes.

Vedelaid ja tahkeid isoleeraineid läbib elektrivool analoogiliselt gaasidele nähtamatu või huumlahendusena ja sädeme ning leegi kujul; ainult vajalikud pinged on kõrgemad.

Tahkes aines jätab säde järele augu või kanali. Viimane on tihti, näiteks portselanis, nii väike, et seda on raske märgata.

Leek tekib suure jahtumise tõttu harva, ainult väga suurte võimsuste ja pingete juures.

Läbilööki kergendavad suur kuumus ja isoleeraines leiduvad õhumullid, niiskus ning muud lisandid. Peale selle on läbilöögiks vaja veel teatud energiahulka ning aega — tihti kuni paar minutit.

X. MUUTUVAD VOOLUD.

88. Üldmõisted.

Püsivaks loetakse säärast voolu, kus voolutugevus ei muutu. Vahelduvvool loetakse püsivaks, kui tema tippsuurus on muutumatu.

Voolu sisse- ja väljalülitamised, takistuse järsk muutmine jne. muudavad elektrilist tasakaalu, tekib ajutiselt kasvav voolu suuruse muutumine kuni uue tasakaalu saavutamiseni.

89. Vooluahel ilma mahtuvuseta.

a) Alalisvool. Sisselülitamisel kasvab vool teatud aja kestvusel oma täie suuruseni (vt. p. 35). Väljalülitamisel tekib kontaktide vahel leek, kusjuures leegi tekkimist soodustab väljalülitamisel tekkiv ekstrapinge. Kontaktide kaugenemisel leek pikeneb, suureneb leegi takistus ja vool väheneb, kuni ta lõpuks katkeb.

Et leek lüliti kontakte ära ei põletaks, tehakse alalisvoolu lülitid järsk- (moment-) väljalülitamisega (vedrukontaktide abil); ekstrapinge seetõttu veidi suureneb, kuid lülitusseadisele see ei ole ohtlik.

b) Vahelduvvool. Sisselülitamisel esinevad voolu muuted on sõltuvad koormuse iseloomust ja sisselülitamise hetkest. Satutakse sisselülitamisel voolukõvera nullpunkti (s. o. aktiivkoormusel pingekõvera nullpunkti, puht induktiivsel koormusel pingekõvera tippsuurusele), ei teki mingit ekstrapinget. Vool hakkab nullist alates voolama harilikus korras. Toimub sisselülitamine voolukõvera maksimumi momendil (s. o. ajal, kus kestev vool, kui ta juba olemas oleks, omaks tipp-

suuruse), tekib, nagu alalisvooluagagi, välisvoolule vastupidine ekstrapinge, kuid pool perioodi hiljem mõlemate suunad ühtivad, mille tõttu tekib voolutõuge, mis võib ületada püsiva voolu kuni kaks korda.

Raudsüdami ke korral (näiteks trafodel) võib voolutõuget suurendada või vähendada veel eelmisel väljalülitamisel rauda jäänud remanentsmagnetism, peale selle kutsub sisselülitamisel tekkiv tugevam magnetvoog esile raua küllastumise, mis omakorda tunduvalt suurendab magnetimisvoolu, nii et esimene voolutõuge võib olla püsivast voolust 10 ja enam korda suurem.

Vastuabinõuna varustatakse suuremad lülitid eeltakistuskontaktidega.

Toimub katkestus voolu nullpunktis — leeki ei teki. Toimub katkestus voolu tippsuuruse ajal, tekib küll leek, kuid kustub $\frac{1}{4}$ perioodi hiljem. Madalpinge juures (alla 600 V) kustunud leek metallkontaktide vahel kontaktide kiire jahtumise tõttu tavaliselt ei sütti, seepärast ei vaja vahelduvvoolu madalpinge-lülitid nn. kiir-väljalülitamist. On leegi alahoidmine vajalik (kaarleek-keevitus), tuleb elektroodid katta erilise, jahtumist takistava ja leegi püsimist soodustava ainega.

Kõrgepingega tekib püsiv leek; viimase kustutamiseks on tarvitusel kiirlülitus ja leegikustutaja õli, suruõhu jne. näol.

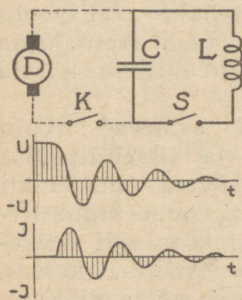
90. Vooluahel induktiivsuse ja mahtuvusega.

Kui kondensaator C (joon. 41) asetada järjestikku induktiivsust omava pooliga L , kondensaator laadida ja siis katkestada lülit K ning sisse lülitada lülit S , tekib ahelas CL elektrivoolu võnkumine. Kondensaatori tühjenemisvool tekitab poolis

magnetvälja, mis omakorda kahanedes indutseerib voolu, mis laeb kondensaatori vastupidises suunas jne.

Nõnda võngub elektrivool harilikult palju kordi edasi-tagasi. (Võnkesagedus vt. p. 65.) Võnkumine vaibub kadude tõttu võnkeringis. Kogu see nähtus kestab tavaliselt ainult mõned mikrosekundid. Nähtus on analoogiline vee võnkumisele U -kujulises torus.

On takistus võnkeringis väga suur, ei teki võnkumist — tühjenemine toimub aperioidiliselt.



Joon. 41. Võnkering.

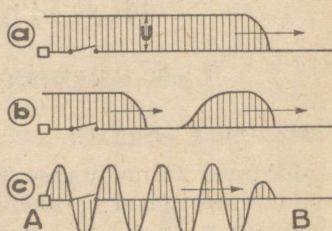
Eespool kirjeldatud võnkumisi kasutatakse peamiselt raadio-
tehnikas. Peale selle esinevad nad veel kõrgepingeliinides, teki-
tades liigpingeid.

91. Elektri levimine mööda pikki juhtmeid.

a) Alalisvool. Sisselülitamisel liigub elektripingeline ränd-
lainena mööda juhet edasi kuni lõpuni (joon. 42-a). Toimus sisse-
lülitamine katkendiliselt — tekib rida rändlaineid (joon. 42-b).
Liikumise kiirus on vaskjuhtmeis ca 170 000 km/sek.

b) Tavalise võrgusagedusega on lainepikkus $\lambda = 170\,000 : 50 \text{ per./s.} = 3400 \text{ km}$, mis ületab kõik praktikas ettetule-
vad liini pikkused; juhtmele ma-
hub ainult murdosa ühest lainest;
laine käik on analoogiline alalis-
voolu juhtumile.

c) Kõrgesagedusega liiguvad lained pidevalt, voolualli-
kast liini lõpuni (joon. 42-c), kus-
juures iga periood annab ühe laine.



Joon. 42. Elektri levimine
pikkades juhtmetes.

Vastu takistust (lahtise liini lõppu, drosslit jne.) liikunud
rändlaine pörkab tagasi, analoogiliselt veelainele, tekitades liig-
pingeid ning vahelduvvoolu puhul ka nn. seisvaid laineid.

92. Elektromagnetilised lained.

Elektrivoolu võnkumise mõjul tekivad ümbruses vahelduvad
elektri- ja magnetväljad, mis levivad ümbruskonda lainete näol
ja valguse kiirusega (300 000 km/s.). Nähtust võiks ligikaudu
võrrelda lainete tekkimisega vaikselt tiigipinnal vettevisatud
kivi mõjul.

Läbi dielektriku (õhk, portselan, tühjus jne.) liiguvad elekt-
romagnetilised lained takistamatult; suurtest metallpindadest
pörkavad nad tagasi, väiksematest libisevad mööda. Metallosa-
des nad tekitavad elektrivoolu. Elektromagnetilisi laineid kasu-
tatakse raadiotehnikas.

TEINE OSA.

MÕÕTMISTEHNKA.

I. ELEKTRIMÕÕTMISEST ÜLDISELT.

1. Mõõtmise eesmärk.

Mõõtmisi toimetatakse elektrotehnikas ühelt poolt tegevuse ratsionaliseerimiseks, rakendades näit. masinaid tööle vastavalt vajadusele ning surudes sellega alla kadusid ja kulusid; teiselt poolt rikete, nagu ülekoormuse, maaühenduse jne. kindlaksmääramiseks ning vältimiseks.

2. Mõõtmisviisid.

a) O t s e n e. Enamik mõõteriistu (amper-, volt-, vattmeetrid jne.) on varustatud osuti ja astmikuga (skaalaga); mõõdetav suurus on viimaselt otseselt loetav. Erandjuhtumel kasutatakse ka muid abinõusid, nagu numeraatorit (kWh-mõõtjad), vibree-rivaid ribasid (sagedusmõõtjad), valguskiirt jne.

b) K a u d n e. Otsitav suurus leitakse arvutuse teel; mõõdetakse näiteks voolu ja pinge suurused ning arvutatakse nende abil takistus või võimsus.

3. Mõõteriistade liigid.

Vastavalt mõõdetavale suurusele on tarvitusel järgmised mõõteriistade liigid: 1) Ampermeetrid (A). 2) Voltmeetrid (V). 3) Vattmeetrid (W). 4) Sageduse- (laine-) mõõtjad (f). 5) Võimsusteguri ($\cos \varphi$) ja reaktiivvoolu mõõtjad. 6) Oommeetrid (Ω) takistuse ja isolatsiooni mõõtmiseks. 7) Vooluarvestid energia mõõtmiseks. 8) Induktiivsusemõõtjad (L). 9) Mahtvusmõõtjad (C). 10) Mõõteriistad magnetiliste omaduste (väljatiheduse B, kadude jne.) mõõtmiseks. 11) Mõõteriistad dielektriliste omaduste mõõtmiseks. 12) Mõõteriistad optilisteks (valgustugevuse,

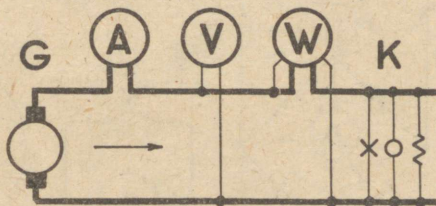
valgusvoo jne.) mõõtmiseks. 13) Mõõteriistad termilisteks mõõtmisteks.

Neist on tarvitusel: 1 ja 2 — üldiselt, 3...5 — ainult vahelduvvoolu, 6 — ajutiselt külge ühendatava kontrollaparaadina, 7 — energia müümisel ja ostmisel, 8...13 — tööde juures laboratooriumis ja proovisaalis ning erijuhtumel ka tööstustes.

II. AMPERMEETRID.

4. Ülesanne.

Ampermeetrit kasutatakse voolutugevuse mõõtmiseks. Mõõteriist lülitatakse vooluahelasse järjestikku (joon. 43-A). Vastavalt elektrilisele ja mehaanilisele ehitusele jagunevad nad allpool p. 5...25 loetletud liikidesse.



Joon. 43. Amper-, volt- ja vattmeetri lülitus.

Peale voolutugevuse otseselt mõõtmise kasutatakse tundlikke nõrkvoolu ampermeetreid erilülitustes veel mitmesugusteks teisteks mõõtmisteks, nagu voltmeetrina, oommeetrina, temperatuuride mõõtmiseks koos termoelemendiga jne. Säärased mõõteriistad omavad vastavat astmikku (eriskaalat).

Mõningate mõõtmiste juures (näit. takistuse mõõtmisel „sillega”) ei ole täpne voolusuurus amprites oluline, vaid tähtis on ainult voolu olemasolu või suuna kindlaksmääramine. Sellisel juhtumil kasutatakse galvanomeetrit — väikest ampermeetrit ilma amperskaalata, enamasti astmiku keskel asetseva nullpunktiga.

5. Pehmeraudo-ampermeeter.

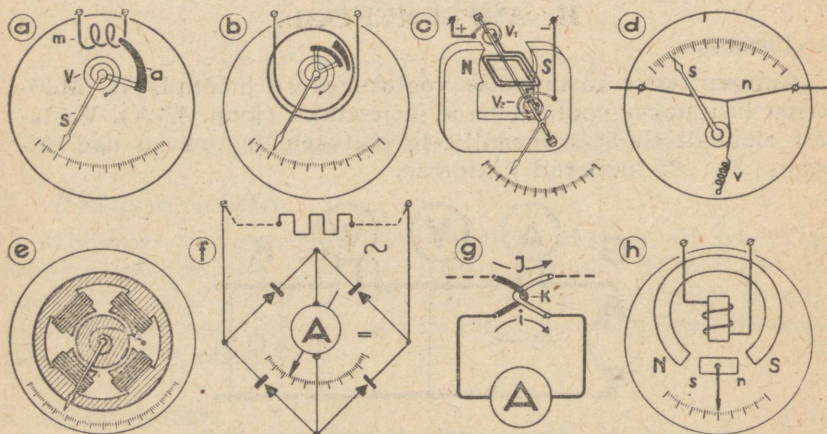
Selle mõõteriista tööviis põhjeb rautükikese liikumisnähtusel magnetväljas.

Ehituse põhimõte on näidatud joonisel 44-a. Pöördumist võimaldava telje külge on kinnitatud osut s ja rauast ankur a. Mõlemaid hoiab nullasendis spiraalvedru v. Voolu läbimisel

tõmbab solenoid (mähis) m ankrut enda sisse, ja seda enam, mida suurem on voolutugevus.

Mõnikord on solenoidisse asetatud kõrvuti kaks rauatüki-kest, kusjuures pöörlevalt asetatud rauatükk tõukub paigalseisvast rauatükikesest eemale (joon. 44-b).

Solenoidi keerdude arv on 1 kuni paarkümmend, olenevalt voolu ja vedru tugevusest.



Joon. 44. Ampermeetrite ehitus skemaatiliselt.

Omadused: kõlblik alalis- ja madalsagedusega vahelduvvoolule, kuid täpsemais riistades on astmik eraldi normitud alalis- ja vahelduvvoolule, kuna osuti hälved on veidi erinevad. Astmiku jaotus on ebäühtlane (joon. 45-a), esimene mõõtkriips on ca $\frac{1}{10}$ lõpphälbest. Täpsus on raua hüstereesi tõttu väike (vea suurus täpsemais 0,50%, tavalisis kuni 3%). Ehituselt tugev, lihtne ja odav — seetõttu levinuim.

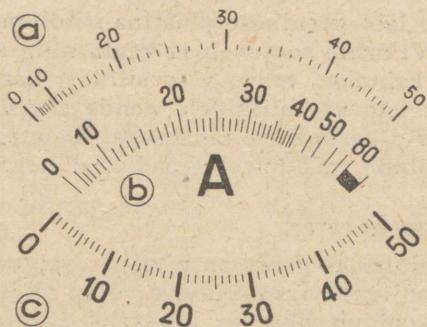
Kasutamine: Peamiselt talitusriistana (jõujaamades, töökodades), täpsed ka proovisaalis. Ehitatakse neid tavaliselt paarisaja amprini, üle selle — vt. p. 21...23.

6. Pöördpool-ampermeeter.

Ehitus: tugevate magnetipooluste N ja S vahel asetseval teljel (joon. 44-c) on alumiiniumist raam peenest traadist mähisega. Mähist läbib vool läbi vedrude V_1 ja V_2 ; viimased hoiavad ühtlasi osuti nullasendis. Voolu mõjul pöörduv mähis (vedrusid pingutades) seda enam, mida suurem on voolutugevus. Magnetvälja ühtlasemaks jaotamiseks ja õhuvahe lühendamiseks

asetatakse pooluste vahele, pöörleva mähise keskele, veel paigalseisev rauast silinder.

Omadused: osutihälbe suund on oleb voolu suunast, seetõttu mõõteriist on kõlblik ainult alalisvoolule. Skaala on ühtlase jaotusega (joon. 45-c). Täpsus ja tundlikkus äärmiselt suur; neid mõõteriistu saab ehitada veega 0,1% ja voolutugevuse jaoks (lõpphälbega) minimaalselt kuni 0,0001 mA. Maksimaalne voolutugevus on tavaliselt 10 mA, suuremate voolutugevuste korral kasutatakse šunte (vt. p. 22).



Joon. 45. Ampermeetri astmikud (skaalad).

Kasutamine: a) laboratooriumides, b) talitusriistana ühenduses šundiga, c) juhtumil, kui on vajalik teada voolu suunda (aku laadimisel jne.). Skaala nullpunkt — äärel või keskel.

Tavaliselt kasutatakse ülalkirjeldatud tüüpi ampermeetreid, erijuhtumel ka alljärgnevaid.

7. Pöördpool-ampermeeter alaldajaga.

Vahelduvvool muundatakse alalisvooluks (pulseeruvvooluks) ning lastakse selliselt läbi pöördpool-milliampermeetri. Paremused: a) suure tundlikkuse tõttu võimaldab see mõõteriist ka nõrkade vahelduvvoolude mõõtmist; b) ühenduses šuntide ja eeltakistustega võimaldab mõõta igasuguseid voolutugevusi nii alalis- kui ka vahelduvvoolul. Voolu liigi muutmiseks kasutatakse tavaliselt kuivalaldajaid sildlülituses (joon. 44-f).

8. Pöördpool-ampermeeter termomuundajaga.

Vahelduvvoolu poolt juhtmes tekitatud soojus mõjub termoelemendile; viimases soojuse mõjul tekkinud nõrk alalisvool lastakse läbi tundliku pöördpool-ampermeetri.

Need mõõteriistad on ehituselt mitmesugused. Üks tundlikumaid — nn. termorist-muundajaga mõõteriist on toodud joon. 44-g. Mõõdetav vool J tekitab kontaktpunktis K soojenemise, viimane omakorda tekitab termoelemendina töötavas juhtmetepaaris alalisvoolu i . Suurema tundlikkuse saavutamiseks asetatakse termorist õhutühja klaastorusse. Kasutatakse kõrgesagedusvoolude mõõtmisteks alates 1 mA.

9. Kuumustraata-ampermeeter.

Vool lastakse läbi peenikese plaatina-iriidiumsulamist traadi n (joon. 44-d). Viimane soojeneb ja venib ning sellest tingitud suurenev lõdve kantakse vedru v ja silindri kaasabil osutile s . Kõlblik igasugustele vooluliikidele nende sagedusest olenemata. Tundlik, kuid keskpärase täpsusega. Kasutamisel peamiselt kõrgesagedusvoolude mõõtmisel (raadio, diatermia).

10. Bimetall-ampermeeter.

Mõõteriista oluliseks osaks on nikli- ja valgevaseriba kokkuneeditult, mis soojeneb viimast läbiva voolu mõjul. Et vask paisub enam, siis kooldub ribapaar kõveraks, lükates osutit edasi. Väga aeglane, lühiaegsetele voolutõugetele ei reageeri. Kasutatakse ülekoormuste mõõtmiseks, tihti ühenduses signaalkontakti või kaasaveetava osutiga, — kõige suurema voolutugevuse märkimiseks teatavas ajavahemikus (vt. p. 25-e) jne.

11. Elektrodünaamiline ampermeeter.

Ehitus nagu elektrodünaamilisel vattmeetril (joon. 52), kuid mõlemad mähised kas järjestikku- (kuni 1 A) või paralleellülituses (kuni paarsada A). Kõlblik sama astmikuga nii alalisele kui ka madalsagedusega vahelduvvoolule. Astmik ebaühtlase jaotusega. Täpsus suur (viga umbes 0,2%). Kasutatakse laboratooriumides; talitusriistana aga harvem, viimasel juhtumil on mõõdusüsteem võõrastest magnetväljadest hoidumiseks raudkapselduses ja mõnikord veel raudsüdamikuga (ferrodünaamilised riistad).

12. Induktsioon- (Ferraris'e) ampermeeter.

Kõlblik ainult vahelduvvoolule. Töötab p. 66-ndas kirjeldatud magnetilise nihkevälja põhimõttel (joon. 44-e). Alumiiniumtrumblile (või -kettale) mõjub kaasakiskuvalt keerlev (või edasi-

nihkuv) magnetväli. Trumlit hoiab tašakaalus vedru. Pöördejõud suur; täpsuselt võrdne, kuid hinnalt kallim pehmeraud-riistadest. Kasutatakse harva — peamiselt registreerivate või suure astmikuga riistade juures.

13. Polariseeritud pehmeraud-ampermeeter.

Ehitus: permanentmagneti poolused NS hoiavad rauatükki s n „magnetvedruna“ nullseisundis (joon. 44-h); viimast mõjutab elektromagnet. Hälbe suund on voolu suunast. Kõlblik ainult alalisvoolule. Täpsus väga väike. Kasutatakse peamiselt autodel, ± skaalaga.

14. Mõõtmise täpsus.

Vastavalt täpsusele jagunevad ampermeetrid järgmistesse klassidesse: klass 0,2, 0,5, 1,0, 1,5 ja 2,5; kusjuures täpsusklassi tähistav arv näitab ühtlasi maksimaalset vea % täishälvel; näit. mõõteriistadel täpsusklassist 0,5 ei tohi viga täishälbel suurem olla kui ± 0,5%.

Klass 0,2 ja 0,5 on peenmõõteriistad, laboratooriumi jaoks, need on kallid ja õrnad; 1,0...2,5 on talitusriistad.

15. Ülekoormatavus.

Täpsed riistad (klass 0,2 ja 0,5) peavad kestvalt taluma nimivoolutugevust (täishälvet), harilikud talitusriistad (klass 1...2,5) kestvalt 1,2-kordset ja tõukeliselt 10-kordset nimivoolutugevust. Mootorite jaoks määratud ampermeetrid on varustatud tihti 1,5...3-kordselt ülekoormatava astmikuga (joon. 45-b).

Mõnikord varustatakse mõõteriist sisseehitatud sulavkaitsmega.

16. Isolatsioon ja pinged.

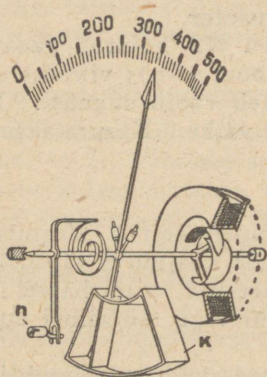
Isolatsioon valitakse vastavalt võrgupingele. Normaalselt valmistatakse ampermeetrid järgmiste pingete jaoks.

Maksimaalne tööpinge *	Proovipinged [kV]	Tähistusmärgi skaalal	
		Vana	Uus
0—40	0,5	Must täht	Must täht
40—100	1	Pruun „	—
100—650	2	Punane „	Must täht, arvuga 2
650—1000	3	Sinine „	„ „ „ 3
1000—1500	5	Roheline „	„ „ „ 5
1500—3000	10	—	„ „ „ 10

* Juhtme ja kere (korpuse) vahel.

17. Mõõtesüsteemi laagrid.

Enamasti toetub mõõteriista osuti teravikkudega telg poleeritud kividele, näit. safiirile, rubiinile, granaadile jne. (joon. 46).



Joon. 46. Mõõtesüsteemi laagrid.

lugemist; selle vältimiseks varustatakse mõõteriistad summutiga. Summuti tüübid: a) õhuga — teljega ühenduses olev tiib liigub poolkinnises karbis (joon. 46-k); b) magnetiline — alumiiniumketas liigub magnetipooluste vahel.

Pöörlev süsteem tasakaalustatakse raskuste või spiraalvedrudega. Täpsed (vahest ka talitus-) riistad on varustatud väljaspoolse kruviga osuti nullseisundisse viimiseks (joon. 46-n). Kantavad mõõteriistad on mõnikord varustatud osuti „areteerijaga“, mis takistab pöörleva osa liikumist ja pörumist transpordil.

18. Summuti.

Voolu sisselülitamisel kõiguks vabalt asetatud osut tüki aega edasi-tagasi (erandiks on bimetalldriist), takistades hälbe

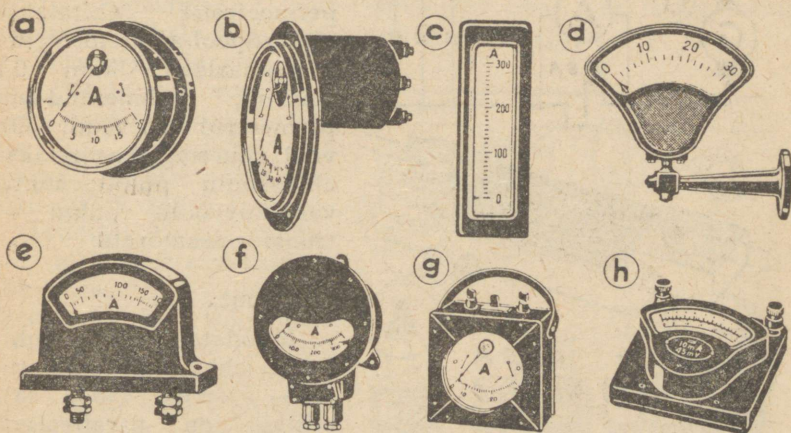
19. Osut ja astmik (skaala).

Talitusmõõteriistadel tehakse osut odakujuline, lai, eemalt silmapaistev, täpseil laboratooriumiriistadel serviti asetatud noa kujuline. Astmik on esimestel harv-, viimastel peenjaotusega. Et vältida paralaksist (viltusest vaatamisest) tingitud viga, asetatakse täpsete riistade astmiku alla peegel; vaatamise suund on õige, kui osut ja ta peegelpilt on kohastikku. Astmiku suund on normaalselt vasakult paremale (joon. 45) või alt üles.

20. Väliskesta (kere, korpuse) ehitus.

Vastavalt välisele kujule on tarvitusel peamiselt järgmised, joonisel 47 näidatud ampermeetri tüübid.

A. Kohtkindlaks asetuseks — lülituskilpidele, pultidele, konsoolidele jne.



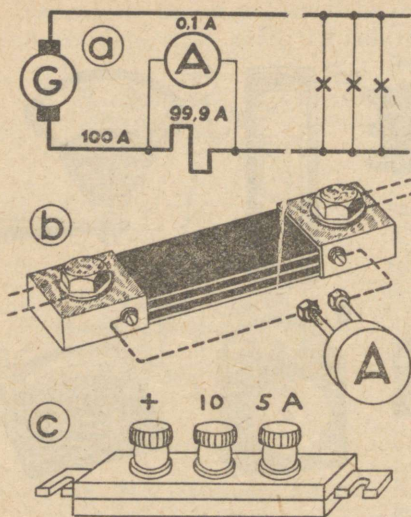
Joon. 47. Ampermeetri tüübid.

a) Ümmargune, plekk-kerega, kinnitamiseks lülituskilbile. Kõige levinum tüüp. Sokli (alumise ringi) läbimõõt harilikult 135, 185, 225 mm. Ühenduspoldid tavaliselt taga. Harvem ehitatakse väline kest ka kandiliseks. Pleki asemel kasutatakse mõnikord ka isoleerainet. b) Sama esiringiga, lülituskilbi sisse asetamiseks. c) „Profiilkuju“, tasapinnalise või kumera skaalaga. Skaala asetus on püsti või põigiti. Kasutatakse vähese ruumi korral. d) Sektorikujuline, väga suure skaalaga; kasutatakse suure vaatekauguse puhul, enamikus konsoolile või sambale asetatult. e) Malmkestas — lülituskastidele asetamiseks; pritsveekindel ehitusviis. f) Sama, pressveekindel (laevadel, kaevandustes jne.). Ampermeetri normaalasend on püstine, mõnikord ka viltune (pultidel) või lamav.

B. K a n t a v a d, kergeks ümberpaigutamiseks ühest kohast teise.

g) Montaaži juures kasutamiseks — lihtsa tugeva ehitusega. h) Laboratooriumis — täpsemad, õrnamad.

21. Suure voolutugevuse mõõtmine.



Joon. 48. Šunt.

Ampermeetriks on pöördpool-, harva ka elektrodünaamiline või kuumustraatiivriist; pehmeraudriist ei kõlba — on ebatäpne. Väiksemal talitusriistadel (tavaliselt alla 100 A) asetseb šunt sees, suuremal eraldi.

Šundid ehitatakse normaalselt 60- ja 150-mV pingelanguga nimi-(täis-)voolu juures. Normida võib šunte ka mõõteriistast lahus.

Ühendusjuhtmete ristpind $1 \dots 6 \text{ mm}^2$, pikkus $2 \times 1 \dots 10 \text{ m}$. Täpsetes riistades või suurte pikkuste juures tuleb kasutada ühendusjuhtmeid, mis on normitud koos ampermeetriga; harilike lülituskilbi riistade juures võib ühendusjuhtmete takistust ka mitte arvestada.

Laboratooriumiriistadel on harilikult mitu vahetatavat šunti (joon. 48-c), vastavalt voolu tugevusele. Tavaliselt valmistatakse šunt aineksest, mille takistus ei muutu temperatuuri tõusuga (manganiin, konstantaan).

Tugevvoolutehnikas tavaliselt kasutatavaist ampermeetrist ehitatakse pöördpool-ampermeetrid maksimaalselt kuni 0,1 amprini, pehmeraud-ampermeetrid 300 A-ni. On vool suurem, kasutatakse alalisvoolu puhul šunte, vahelduvvoolu puhul — transformaatoreid.

22. Šunt.

Mõõdetav vool juhitakse läbi teatava takistuse — šundi (joon. 48), millega on paralleelselt kasutatav ampermeeter. Suurem osa voolust läbib šundi, ampermeetrit ainult väike osa (näit. $1/10$, $1/50$, $1/100$ jne.) kogu voolust.

23. Voolutransformaator.

Voolutransformaatori (voolutrafo, voolureduktori) abil mõõtes juhitakse vool ampermeetrisse üle transformaatori. Trafo primaarmähist läbib mõõdetav vool, sekundaarmähise klemmide vahele lülitatakse ampermeeter (joon. 49).

Primaarmähis ehitatakse p. 24 toodud voolusuuruste jaoks, sekundaarmähis 5 A (harva ka 1 A) jaoks. (Trafo ülekanne näit. 100/5, 200/5 jne. A).

Joonisel 49 on näidatud: a) voolutrafo ehituse põhimõte; b) — lülitusskeem; c) — lülituspilt (s. o. lülitusskeem lihtsusstatud kujul); d) voolutrafo 10/5 A, pingele 15 000 V; e) sama 100/5 A 1 000 V; f) sama, laboratoorseks otstarbeks, kuid mitmesuguseile voolupiirkondadele, kusjuures suuremate voolude puhul, üle 100 A, mõõdetav vool juhitakse isoleeritud juhtmega läbi trafo keres oleva ava, vastavalt voolu suurusele üks (suure voolu korral) või enam korda.

Voolutrafosid võib kasutada ka nimipingest madalamate pingete juures, näiteks 15-kV-list 6 või 3 kV juures.

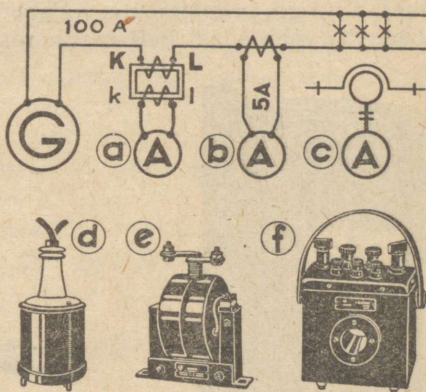
Mõõteriistade puudumisel tuleb töötava voolutrafo sekundaarmähise otsad ühendada lühisesse (vt. p. 106).

24. Mõõdupiirkond.

Kohtkindlad ampermeetrid ehitatakse ühe mõõdupiirkonnaga. Tugevvoolutehnikas kasutatakse normaalselt alljärgnevaid suurusi:

5 10 20 30 50 75 100 150 200 300
(400) 500 (600) (800) 1 000 1 500 2 000 3 000 A jne.

Kantavad ehitatakse mitme mõõdupiirkonnaga, näiteks 5/10 või 5/10/20 A. Suurem mitmekesisus saavutatakse: a) alalisvoolul pöördpool-ampermeetriga ühenduses ümbervahetatavate

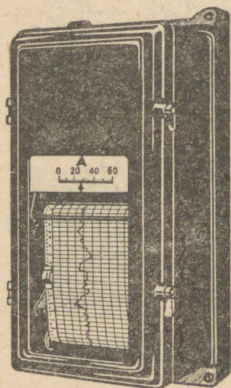


Joon. 49. Voolutransformaatorid.

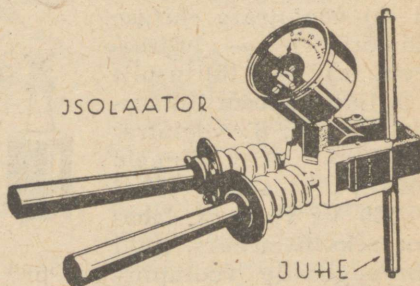
šuntidega; b) vahelduvvoolul üle 5 A ümberlülitatavate voolutransformaatoritega, alla 5 A pöördpool-ampermeetriga seoses alaldaja ja šuntidega.

25. Ampermeetrid eriotstarbeiks.

a) Registreerivad (joon. 50). Kirjutavad näitamise (osutihälbe) tindiga paberiribale. Paberi kiirus 3—240 mm tunnis. Pabeririba veab edasi kellamehhanism.



Joon. 50. Registreeriv ampermeeter.



Joon. 51. Ampertangid.

b) Ampertangid (joon. 51), ühenduses ampermeetriga. Voolutransformaator asetatakse tangide kujuliselt ümber juhtme. Võimaldab mõõtmist ilma juhtme läbilõikamiseta. Kasutatav ainult vahelduvvoolu mõõtmisel. Üle 50 A pehmeraud-ampermeeter, alla selle alaldajaga pöördpool-ampermeeter.

c) Kontaktampermeeter. Teataval, näiteks maksimaalsel voolutugevusel ühendab osuti signaal- või abivooluringi. Vähe tarvitusel, sest parema kontakti ja töökindluse mõttes on vastavad releed soovitamamad.

d) Ettelükatud osutiga, mootorite käivitusvoolu mõõtmiseks.

e) Kaasaveetava osutiga, ülekoormuse märkimiseks. Mõõtemehhanismiga ühendatud peaosut lükkab abiosutit edasi; peaosuti tagasiminekul jääb abiosut suurima voolutugevuse peale seisma. Mehhanism harilikult bimetallist.

26. Normimine.

Kontrollitav ampermeeter lülitatakse täpse ampermeetriga järjestikku. Reostaadi abil muudetakse ampermeetreid läbiva voolu tugevust ja võrreldakse mõlema hälbeid. Ebatäpse näitamise korral: a) märgitakse õiged hälbed eritabelis või graafikus; b) tehakse uus astmik; c) muudetakse hälvet. Hälbe muutmiseks võib näit. sisešundi takistust ribade külgejootmise või tákete sissesaaqimiseqa muuta jne. Pöördpool-mõõteriistad on hálbe muutmiseks mõnikord varustatud erilise reguleeritava magnet-šundiga.

Pöördpool-süsteemi puhul võib normida šunti ja ampermeetrit eraldi, elektrodünaamilistel ja kuumustraatriistadel harilikult koos.

Täpsete, normaalampermeetrite normimine toimub elektro-lüütiliselt („voltameetriga“ ehk kulonmeetriga) või normaalelemendi ja takistuse abil.

III. VOLTMEETRID.

27. Ülesanne.

Voltmeetreid kasutatakse pinge mõõtmiseks voltides (V), millivoltides (mV) või kilovoltides (kV). Lülitatakse võrguga, aparaadi klemmidega või mõõdetava vooluallikaga paralleelselt (joon. 43, V). Kõrgepinge juures toimub pinge mõõtmine pinge-transformaatori kaudu.

28. Pehmeraud-voltmeeter.

Ehitus- ja töötamisviis samad mis ampermeetril (vt. p. 5), ainult magnetmähises on paari jämedast traadist keeru asemel paar tuhat peenikesest traadist keerdu. Suure sisetakistuse tõttu on läbiminev voolutugevus väga väike ning mõõteriista võib otsekohe kahe pooluse vahele ühendada. Läbimineva voolu tugevus on võrdeline pingega, ning astmikule on märgitud pinge suurus.

29. Pöördpool-voltmeeter.

Ehitus täpselt sarnane ampermeetri omaga (vt. p. 6), kuid mõõtesüsteemiga on lülitatud järjestikku teatav, tavaliselt paari või rohkema tuhande oomine eeltakistus; viimane on harilikult

ehitatud mõõteriista sisse, suurte pingete korral (üle 500 V) ja laboratooriumi-riistadel ka eraldi.

Ühte ja sama pöördpool-mõõteriista võib kasutada ühenduses šuntidega ampermeetrina ja ühenduses eeltakistusega voltmeetrina.

30. Kuumustraata-, elektrodünaamiline ja induktsioon-voltmeeter.

Ehitus ja omadused sarnased vastavate milliampermeetritega, kusjuures mõõteriist on varustatud voltastmikuga ja esimesel kahel eeltakistusega, viimasel peenema ja rohkema keerdudega mähisega.

31. Elektrostaatiline voltmeeter.

Osutile mõjub kahe või enama plaadi omavaheline külgetõmbe- või tõukumisjõud elektrivälja mõjul. Kasutamisel harva ja kõrgemate, tavaliselt üle 1000 V pingete juures; voolutarvitus praktiliselt null.

32. Ehitus ja täpsus.

Väliskesta ehituse, osuti, astmiku, laagrite, summuti ja täpsuse kohta on kehtiv ampermeetrite kohta öeldu.

33. Mõõdupiirkond.

Kohtkindlad voltmeetrid ehitatakse ühe mõõdupiirkonnaga, tugevvoolule harilikult: 140, 260, 500, 650, 900 ja 1500 V, vastavalt võrgupingetele 110, 220, 380 V jne. Mõnikord on astmik lühendatud; näiteks 0...260 V asemel 180...260 V.

Kantavaid laboratooriumi mõõteriistu ehitatakse ümberlülitatavate mähiste või eeltakistustega, mitmes mõõdu-ulatuses, näiteks: 0,06...15...150...300...750 V.

IV. VATTMEETER.

34. Vattmeetri ülesanne.

Vattmeetreid kasutatakse võimsuse mõõtmiseks vattides (W), kilovattides (kW) või megavattides (MW).

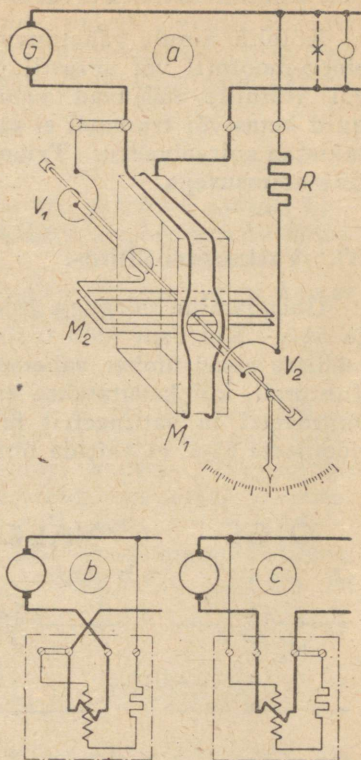
Alalisvoolu juures pole vattmeetrid tingimata vajalikud, sest võimsust võib arvutada lihtsa valemiga $N = U \cdot J$, kus $N =$ võimsus (W), $U =$ pinge (V), $J =$ voolutugevus (A). Sama valem on kehtiv ka ühefaasise vahelduvvoolu juures, kui koormus on induktiivsuvaba (lambid, küttekehad). Induktiivsel koormusel (mootorid, paispoolid ehk drosslid, kondensaatorid) on üleantav võimsus (näivvõimsus) võrdse U ja J juures väiksem:

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

kusjuures võimsustegur $\cos \varphi$ (koosinus fii) on 0 ja 1 vahel. Tegevvõimsust mõõdetakse vattmeetriga.

35. Dünaamiline vattmeeter.

Elektrodünaamilise vattmeetri ehitus on näidatud joonisel 52. Jämedast traadist paigalseisva mähise M_1 (voolumähis) magnetväljas asetseb teljel olev mähis M_2 (pingemähis); viimase ehitus on sarnane pöördpool-mõõteriista omaga. Voolumähis läbib mõõdetav vool, kuna pingemähis ühendatakse mõõdetava pingega, tavaliselt üle eeltakistuse R (joon 52-a). Mähiste M_1 ja M_2 magnetväljade vastastikusel mõjutusel pöörduvad mähise M_2 vedrusid pingutades seda enam, mida suurem on U , J ja võimsustegur. Skaala jaotus on ühtlane. Kõlblik ühe ja sama skaalaga alalis- ja vahelduvvoolule. Talitusriistades on mõõtesüsteem ümbritsetud rauaga (ferrodünaamiline), mistõttu pöördejõud suureneb, kuid täpsus väheneb.



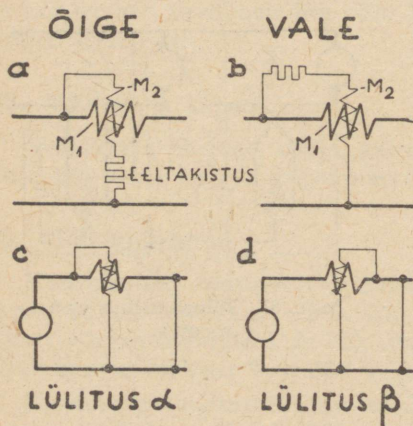
Joon. 52. Dünaamiline vattmeeter.

36. Induksioon- (Ferraris'e) vattmeeter.

Kõlblik ainult vahelduvvoolule. Tööviis sama mis induktsoon-mootoril või arvestil (vt. p. 66): teljele asetatud kettale või trumlile mõjuvad voolu- ja pingemähise magnetväljad, kuid ketas või trummel ei saa vabalt pöörelda — tema liikumist takistab spiraalvedru. Trumli või ketta pöördeulatus on võrdeline võimsusega.

37. Vattmeetri lülitus.

Ühendamine võrguga toimub vastavalt joonistele 43, 52, 53 ja 54-a. Kui osut lööb tagurpidi välja, tuleb pinge- või voolumähiste otsad ümber vahetada vastavalt joonisele 52-b või 52-c. Juhtumil, kui kasutatakse eraldi eeltakistust, tuleb see asetada vattmeetri ja vattmeetril mitteläbiva juhtme vahele, vastavalt joonisele 53-a, et vältida ohtlikku kõrgepinget M_1 ja M_2 vahel.



Joon. 53. Vattmeetri lülitus.

tarvitaja võimsuse mõõtmisel tarvitada väikeste võimsuste puhul lülitust α . Vooluallika (generaatori) võimsuse mõõtmisel on olukord vastupidine ja seal on õigem lülitus β . Suuremate (üle paarisaja vati) võimsuste mõõtmisel ei ole oluline pingemähise lülitamise moodus.

Vattmeetri pingemähist võib vastavalt joonisele 53 lülitada enne (lülitus α) või pärast (lülitus β) vattmeetri voolumähist; kumbki lülitus pole päris õige, sest nii voolu- kui ka pingemähises tekib teatud võimsuskadu. Voolutarvitaja võimsuse mõõtmisel vattmeetrilt loetud võimsus on õigest võimsusest suurem: lülitus α puhul — voolumähise kao võrra, lülitus β puhul — pingemähise kao võrra. Et voolumähise kadu on tavaliselt tublisti väiksem pingemähise kaost, tuleb voolu-

Võimalike vigade vältimiseks tuleb veel vattmeetritele juurde-
toodavad voolujuhtmed suurte voolude puhul asetada kõrvuti
võimalikult lähestikku ja rauata elektrodünaamiliste riistadega
möötmisel mööteriistad asetada umbes 0,75 m kaugusele ükstei-
sest.

38. Ehitus.

Väliskesta (kere), mehhanismi laagrite, astmiku, samuti üle-
koormatavuse ja täpsuse suhtes on kehtiv ampermeetrite kohta
öeldu.

Normaalselt asetseb nullpunkt astmiku alguses; soovi korral
(kui energia suund on vahelduv) ka keskel.

39. Mõõdu-ulatus.

Lülituskilbi vattmeetrid ehitatakse 5 A ja 110, 220, 380 ja
500 V jaoks, suurema voolutugevuse korral mõõdetav vool juhi-
takse vattmeetrisse voolutransformaatori kaudu. Kõrgepingel
korral kasutatakse pingetransformaatoreid, kusjuures vattmee-
ter ise on ehitatud 5 A ja 100 või 110 V jaoks.

Kantavad vattmeetrid ehitatakse tihti 2—3 ümberlülitatava
voolu- ja pingepiirkonnaga, näit. 25/50 A, 5/10/20 A,
110/220/440 V jne.

40. Keerdvoolu võimsuse mõõtmine.

Keerdvoolu võimsus vattides on $N = \sqrt{3} \cdot U \cdot J \cdot \cos \varphi$
 $= 3 \cdot u \cdot J \cdot \cos \varphi$,

kus: u = pinge voltides faasi- ja nulljuhtme (maa) vahel, nn.
faasipinge;

U = pinge kahe faasi juhtme (väliste traatide) vahel, nn.
liitpinge;

J = voolutugevus ühes juhtmes;

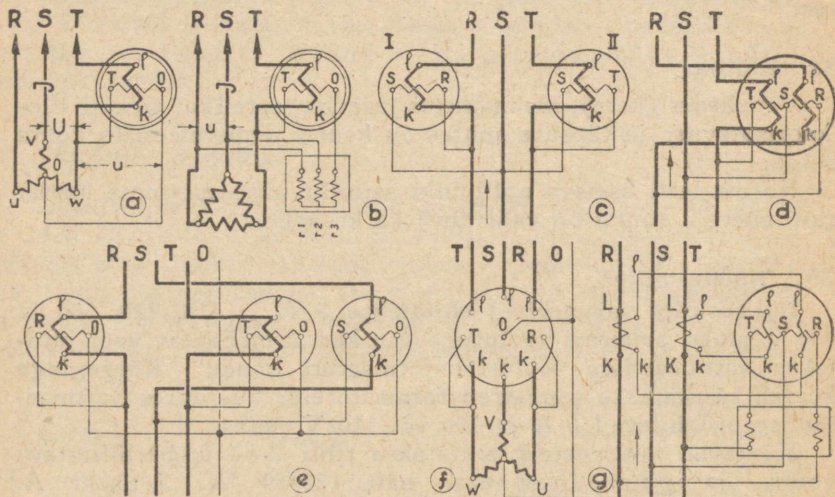
$\cos \varphi$ = võimsustegur.

Vattmeetri lülitused on näidatud joonisel 54.

a) Ühtlaselt koormatud faasid (näit. mootorid), nullpunkt
kättesaadav. Mõõdetakse ainult ühe faasi võimsust. Kasuta-
takse kas ühefaasist vattmeetrit, kusjuures lugemit korrutatakse
3-ga, või erilist keerdvoolu vattmeetrit, mille astmikult loetakse
kogu keerdvoolu võimsus.

b) Ühtlaselt koormatud faasid nulljuhtmeta. Nullpunkt
saavutatakse kunstlikult, eeltakistuse abil, kusjuures $r_1 = r_2 =$
 $= r_3 + r_p$, kus r_p = vattmeetri pingemähise takistus.

c) Ebauhtlase koormusega faasid, nulljuhtmeta. Mõõtmise toimub kahe ühefaasise vattmeetriga (Aroni-lülitus). Mõlema hälbed liidetakse. On $\cos \varphi$ üle 0,5 (täiskoormusel mootorid, lambid, küttereostaadid), on hälve alati positiivne; kui



Joon. 54. Keerdvoolu-vattmeetrite lülitus.

$\cos \varphi$ on alla 0,5 (mootorid ja transformatorid tühijooksul), on esimese (olenedes faaside järjekorrast) hälve negatiivne (lööb tagurpidi välja); pinge- või voolumähise otsad ümber vahetada ning esimese hälve teisest maha arvata.

d) Sama — kuid kaks vattmeetrit on asetatud ühisesse kesta ja mõjutavad üht osutit; astmikult on loetav keerdvoolu koguvõimsus.

e) Ebauhtlase koormusega faasid nulljuhtmega. Mõõtmine toimub kolme ühefaasise vattmeetriga. Hälbed liidetakse.

f) Sama — kuid kolm vattmeetrit on ühises kestas ja astmikult on loetav keerdvoolu koguvõimsus.

Märkus: Voolude juures üle 5 A kasutatakse tavaliselt voolutransformaatorit (joon. 54-g). Pingemähis tuleb viimasel juhtumil ühendada alati sama faasiga, milles on voolumähis.

41. Võimsuse mõõtmine kWh-arvesti (vooluarvesti) abil.

Aeglaselt (veerand või enam tunni vältel) muutuva koormuse puhul (linnad, alevikud jne.) võib kindlaks määrata keskmist

võimsust, märkides kWh-arvesti numeraatori seisu iga $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ või 1 tunni järel.

Näide: Numeraatori algseis — 3762 kWh, seis $\frac{1}{2}$ tundi hiljem — 3765 kWh. Keskmise võimsus $\frac{1}{2}$ tunni vältel:

$$N = (3765 - 3762) \times 2 = 6 \text{ kW.}$$

Momendil olemasolevat võimsust võib ligikaudselt kindlaks määrata nn. arvesti konstandi (vt. p. 94) ja stopperi või sekundikella abil. Arvesti poolt registreeritav võimsus on:

$$N = \frac{3600 \cdot n}{K \cdot t},$$

kus: n = loetud ketta pöörete arv;

t = aeg (sek.), mille vältel n loetud;

K = arvesti konstant.

Näide: Vooluarvesti ketas tegi 40 pööret 53 sek. vältel; arvesti konstant 1 kWh = 1200 pööret. Võimsus:

$$N = \frac{3600 \times 40}{1200 \times 53} = 2,26 \text{ kW.}$$

V. TAKISTUSTE MÕÖTMINE.

A. Mõõtmisviisid.

42. Volt- ja ampermeetriga.

Vool lastakse läbi mõõdetava takistuse. Pinge U mõõdetakse voltides ja voolutugevus J amprites (joon. 55-a). Ohmi seaduse põhjal on otsitav takistus oomides: $R_x = U : J$.

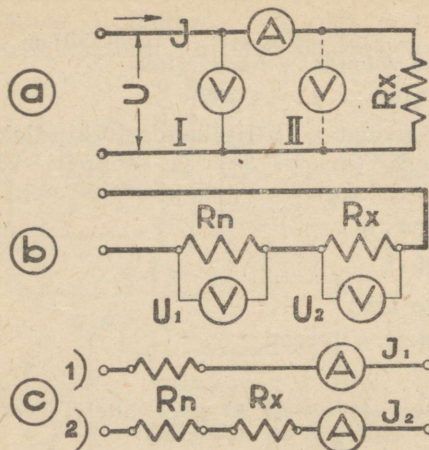
Voltmeetrit võib lülitada enne (joon. 55-a I) või pärast (joon. 55-a II) ampermeetrit. Esimesel juhtumil mõõdetav vool on õige, kuna mõõdetav pinge on takistuse klemmipingest suurem pingelange võrra ampermeetris; teisel juhtumil on mõõdetav pinge õige, kuid mõõdetav vool on voltmeetri voolu võrra takistuse voolust suurem.

Et takistuse mõõtmisel saada väiksemaid vigu, on kasulikum tarvitada:

lülitust I — kui mõõdetav takistus on suur (võrreldes ampermeetri sisetakistusega), ja

lülitust II — kui mõõdetav takistus on väike (võrreldes voltmeetri sisetakistusega).

43. Normaaltakistuse ja voltmeetriga.



Joon. 55. Kaudne takistuste mõõtmine.

Tuntud normaaltakistus R_n ja tundmatu R_x lülitatakse järjestikku (joon. 55-b). Mõlemast lastakse vool läbi. Mõõdetakse pinget takistuste klemmidel.

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_n}{R_x} \text{ ja } R_x = R_n \cdot \frac{U_2}{U_1}.$$

Kasutatakse ainult väikeste takistuste mõõtmisel, kui J on küllalt suur.

44. Normaaltakistuse ja ampermeetriga.

Vool lastakse kord üksnes läbi R_n -i ja teine kord läbi $R_n + R_x$ (joon. 55-c). Mõõdetakse voolutugevused J_1 ja J_2 .

$$\frac{J_1}{J_2} = \frac{R_n + R_x}{R_n} \text{ ja } R_x = R_n \cdot \left(\frac{J_1}{J_2} - 1 \right)$$

Kasutatakse suurte takistuste mõõtmiseks.

45. Wheatston'i (I. uitstoni) sild.

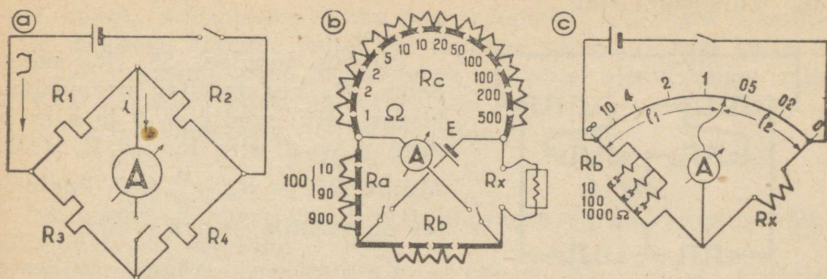
a) Lülitus näidatud joonisel 56-a. Kui vool i galvanomeetris A on null, siis $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$ ja $R_4 = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_3$.

Tarvitusel kahel allpoolkirjeldatud kujul:

b) Wheatston'i sild topptakistusega (joon. 56-b).

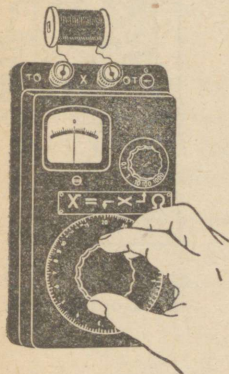
R_x = mõõdetav takistus; R_a ja R_b = ballasttakistused, võetult ümmarguselt 1, 10, 100, 1000 jne. oomi.

R_c — muudetav; muutmine toimub topiste väljavõtmisega (takistus suureneb) või sisseasetamisega, kuni galvanomeetri



Joon. 56. Wheatston'i sild.

osut jääb nullile püsima. Sel juhtumil $R_x = R_c \cdot \frac{R_b}{R_a}$.



Joon. 57. Wheatston'i sild.

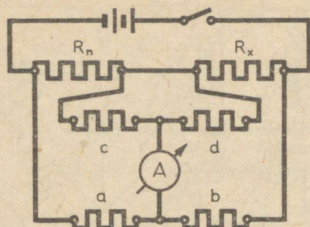
Mõõtmise tulemus on seda täpsem, mida võrdsemad on kõik neli takistust.

c) Wheatston'i sild kontaktraadiga — nn. traatsild (joon. 56-c). Ballasttakistuse asemel kalibreeritud traat; kuna viimasel R on võrdeline pikkusega, on $R_x = R_b \frac{l_2}{l_1}$.

Selline sild, kus ühte kesta on kokku monteeritud vooluallikas, galvanomeeter, muudetav takistus ja kontaktraat, on toodud joonisel 57; vastavalt valitud muudetavale takistusele (0,1, 1, 10, 100, 1000 Ω), on R_x kas otseselt äraloetav, või 0,1-, 10- jne. kordne, võrreldes astmiku lugemiga. Täpsus väiksem, kuid töökiirus suurem kui eelmistel.

Märkus: Tehniliseks mõõdu-ulatuseks Wheatston'i sillal on 0,05 Ω kuni 1 M Ω ; väiksemate takistuste juures on see mõõteriist ebatäpne, suuremate puhul vajab liiga kõrget pinget. Kui R_x evib elektromotoorset jõudu (elektrolüüt, termoelement jne.), tuleb alalisvoolu asemel kasutada vahelduvvoolu ja galvanomeetri asemel telefoni. Suure U ja väikese R puhul ettevaatust, et galvanomeetri hälve algul poleks liiga tugev, mis võiks vigastada galvanomeetrit.

46. Thomson'i sild.



Joon. 58. Thomson'i sild.

Lülitus joonisel 58. R_x mõõdetav, R_n reguleeritav normaaltakistus. Kui vool $i = 0$ ja $a = b$ ning $c = d$, siis $R_x = R_n$ (Ω). Muidu $R_x = R_n \cdot \frac{b}{a}$ (Ω), kusjuures on vajalik, et $a:b = c:d$.

Kasutatakse väga väikeste ($0 \dots 1 \Omega$) takistuste mõõtmiseks.

47. Oommeeter ristpooliga.

Lülitusskeem on näidatud joonisel 59. Terasmagneti pooluste N—S vahel asetsevad ühisel teljel kaks ristiasetatud pooli; neist saab I voolu üle tuntud takistuse R_n , II üle mõõdetava R_x ; kumbi pool püüab osutit pöörata vastupidises suunas, häälve oleneb ainult R_x ja R_n suhtest; mõõdetava takistuse suurus on astmikult otseselt loetav. U kõikumised mõju ei avalda. Vooluta olekus osutil kindlat seisukohta pole. Eksituste vältimiseks varustatakse pöörlev süsteem mõnikord nõrga vedruga, mis vooluta oleku puhul tõmbab osuti nullasendisse. Vooluallikas on galvaani element, induktor või ka alalisvooluvõrk.

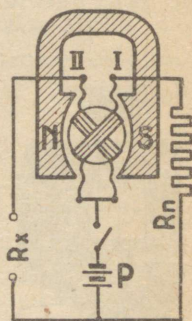
Enamlevinud suurused:

Mõõdupiirkond	0,001 ... 1 Ω ;	pinge	2 V,
„	1 ... 1 000 Ω ;	„	4 V,
„	0,05 ... 50 M Ω ;	„	500 V,
„	0,1 ... 100 M Ω ;	„	1000 V.

B. Isolatsiooni mõõtmine.

48. Isolatsioon.

Isolatsiooniks nimetatakse lühidalt isolatsiooni takistust kahe juhtme või juhtme ja maa vahel. Et isolatsiooni takistus ka parima materjali ja töö juures pole lõpmata suur, siis voolab osa elektrit alati läbi isolatsiooni. Tähen datud vool nor-



Joon. 59. Ristpool-oommeeter.

mide kohaselt ei tohi olla suurem kui 1 mA iga elektriseadme osa kohta, kusjuures seadme osaks loetakse osa kahe üksteisele järgneva kaitsme vahel või lõpposa pärast viimast kaitsset. Sellele vastavalt peab isolatsiooni takistus olema mitte alla 1000 Ω iga voldi kohta või vähemalt:

0,11	megoomi	110 V	võrgupinge	juures,
0,22	"	220 V	"	"
0,38	"	380 V	"	" jne.

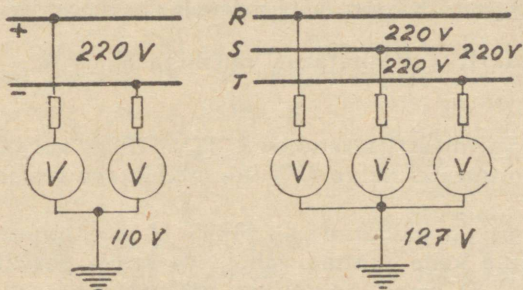
Suurema, mitmest haruliinist koosneva võrgu takistus võib olla vastavalt väiksem.

Isolatsiooni suurus on muutuv; näiteks õhuliinides: kuivalt hea, uduga halb, uuel krohvalusel tööl halb, hiljem kuivades parem, tallides uuel hea, hiljem võib halveneda jne., mistõttu pole isolatsiooni mõõtmisel saadud arvud kindlad ja püsivad suurused, vaid näitavad isolatsiooni väärtust mõõtmise momendil.

Kõrgepingeseadmes on isolatsiooni kõrval tähtis veel läbilöögi (proovi) pinge kahe juhtme või juhtme ja maa vahel.

49. Isolatsiooni kontroll maandatud voltmeetriga.

Lülitusskeem joonisel 60. Töötamise põhimõtte analoogiline p. 43-le. Annab ligikaudse ülevaate töötava võrgu isolatsiooni seisukorrast juhtmete ja maa vahel. Normaalselt näitab alalis-



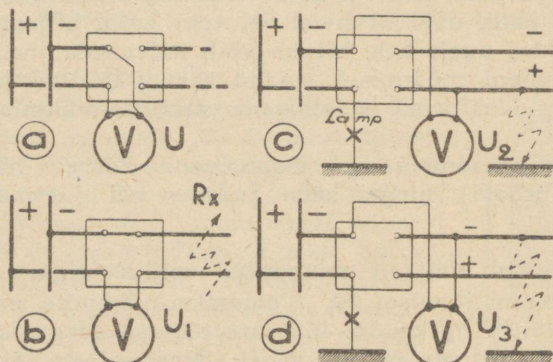
Joon. 60. Isolatsiooni kontroll.

voolul $1/2$, keerdvoolul $1/\sqrt{3}$ võrgupingest; vea korral väheneb vastava voltmeetri väljalöök, kuna teistel tõuseb. Kasutada võib lihtsat pehmeraud-voltmeetril; ümberlülitati kasutamisel saab läbi ka ühe voltmeetriga. Kõrgepinge korral tuleb voltmeetrid lülitada üle pingetrafode (vt. p. 108).

50. Isolatsiooni mõõtmise voltmeetriga.

Kui voltmeetriga järjestikku lülitada mingi väline takistus R_x , siis väheneb voltmeetri läbiv voolutugevus ja osuti hälve seda enam, mida suurem on R_x .

Kui näiteks voltmeetri sisetakistus $R_v = 30\,000$ oomi ja R_x samuti $30\,000$ oomi, siis langeb voltmeetri hälve poole võrra (näit. 220 V-lt 110 V-le). Töötamise põhimõtte vastab p. 44-le, kusjuures milliampermeetriks on voltmeeter ja normaaltakistuseks voltmeetri enda sisetakistus, mis täpsemal laboratooriumi-riistadel harilikult märgitakse skaalal.



Joon. 61. Isolatsiooni mõõtmise voltmeetriga.

$$\begin{aligned} \text{Otsitav takistus arvutatakse valemiga } R_x &= R_v \cdot \left(\frac{U}{u} - 1 \right) = \\ &= R_v \frac{U - u}{u}, \end{aligned}$$

kus: R_v = voltmeetri sisetakistus (Ω); U = võrgu pinge (V), u — sama voltmeetri hälve (V) üle mõõdetava isolatsiooni mõõtes.

Joonisel 61 on näidatud: a) pinge U mõõtmine, b) isolatsiooni mõõtmine kahe juhtme vahel, c) sama, positiivse juhtme ja maa vahel, d) sama, negatiivse juhtme ja maa vahel.

Märkus: Voltmeeter peab olema suure sisetakistusega, näiteks pöördpool-riist.

See viis on kasutatav ainult alalisvoolu võrkudes.

Näide: $R_v = 50\,000$ oomi, $U = 225$ V, $u_1 = 15$ V, $u_2 = 20$ V (vt. joon. 61-b ja c). Isolatsiooni takistus kahe juhtme vahel on: $R = 50\,000 \times (225 - 15) : 15 = 700\,000$ oomi; takistus + juhtme ja maa vahel $R = 50\,000 \times (225 - 20) : 20 = 512\,500$ oomi.

51. Pöördpool-oommeeter üldiselt.

Teatud püsiva mõõdupinge, näit. 110, 220, 250 V jne. jaoks võib voltmeetrile (vt. p. 50) voltskaala kõrvale märkida ka vastav oomskaala, nii et takistuse suurus on otse astmikult loetav; kuid hälve on õige ainult seni, kuni mõõtmine toimub pingega, millise jaoks oomskaala tehtud, s. o. pingega, mille line on voltskaalal kohastikku oomskaala nulljaotisega (joon. 62). Vooluallikana kasutatakse galvaani patareid (vahest erilise muundajaga) või induktorit, harvem võrgupinget.



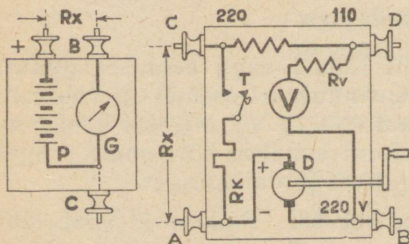
Joon. 62. Oommeetri skaala.

52. Oommeeter patareiga.

Koosneb galvanomeetrist G , mille skaalal on jaotus oomides, ja kuivpatareist P (joon. 63). Mõõdetava takistuse R_x suurus on skaalalt loetav. Pinge mõõtmiseks on veel klemm C . Täpsus ja mõõdupiir väike; kasutatakse jämedate isolatsioonivigade, pinge katkestuste, maaihenduse jne. määramiseks, peamiselt nõrkvoolutehnikas.

53. Oommeeter vântinduktoriga (megger, megoommeeter).

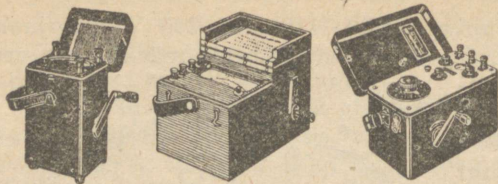
Tööviis vastab p. 50 ja 51. Üks lülitusskeemidest on näitena toodud joonisel 64. V = täpne pöördpool-galvanomeeter



Joon. 63 ja 64. Oommeeter patareija vântinduktoriga.

tihti puudub), R_x = mõõdetav takistus (isolatsioon).

Algul mõõdetakse induktori pinget: lülit T surutakse alla ning induktorit vändatakse sellise kiirusega (umbes 3 tiiru/sek.),



Joon. 65. Joon. 66. Joon. 67.
Väntinduktor isolatsiooni mõõtmiseks ja
maaühenduse mõõtja.

ning pingete endi mõõtmiseks omab eespoolkirjeldatud väntinduktor veel klemmid *D* ja *B*.

Väline kuju näidatud joonisel 65 ja 66. Enamtarvitatavad suurused:

Mõõdupiir ca	10—20 M Ω ,	induktori pinge	110 V
„	20—50 M Ω ,	„	220 või 250 V
„	40—100 M Ω ,	„	440 või 500 V
„	100—200 M Ω ,	„	1000 V.

Mõnikord on induktor varustatud tsentrifugaal-päästikuga, mis õigete tiirude juures areteerib osuti — viimane jääb seisma õigele hälbele. Täpsemate mõõtmiste ja kõrgemate induktori-pingete juures kasutatakse vahel ka ristpool-oommeetrit (vt. p. 47).

54. Oommeeter vibraator-muundajaga.

Ehitus ja tööviis on üldiselt samad nagu eelmises punktis kirjeldatud oommeetril, kuid väntinduktori asemel on vooluallikaks 1 kuni 2 taskulambi patareid (4...8 V), milliste vool muudetakse pulseerivvooluks, transformeeritakse kõrgemale pingele ja siis alaldatakse, saades 220...1000 V alalispinget.

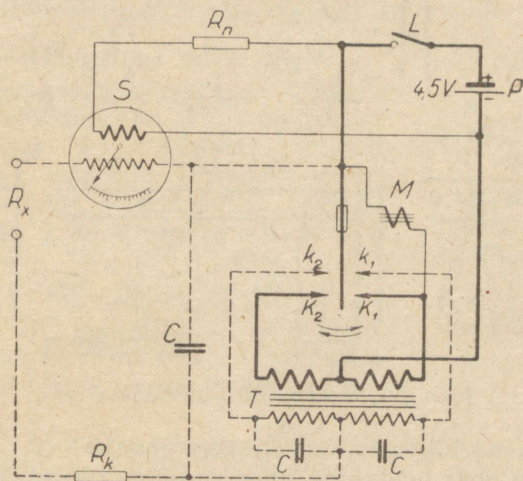
Ehitusviis on näidatud joonisel 68. Patarei *P* vool läbib magnetmähise *M* ja transformaatori *T* primaarmähise parempoolse osa. Elektromagnet *M* tõmbab ankru *A* enda külge, mille tõttu vool üle kontakti *K*₁ pääseb otseselt trafo nimetatud mähisesse. Seetõttu satub aga *M* mähis lühisesse, külgetõmbejõud kaob ja ankur tagasi liikudes paiskub vastu kontakti *K*₂, mille tõttu vool läbib trafo primaarmähise vasaku poole.

et osut näitab 0 oomi (220 V); seejärel lastakse lülit lahti ning endise kiirusega edasi vändates loetakse astmikult mõõdetav takistus.

Isolatsiooni mõõtmiseks 110 V alalisvoolu võrgupingega

Nõnda tekitatud pulseerivvool transformeeritakse trafo T sekundaarmähises kõrgepingelisemaks ja alaldatakse alaldusvibraatoriga, milline õõtsub kontaktide k_1, k_2 vahel koos eelkirjeldatud katkestusvibraatoriga.

Saadud pulseerivoolu silumiseks on vooluahelasse asetatud kondensaator C .



Joon. 68. Oommeeter vibraator-muundajaga.
 S — ristpool-oommeeter; R_n — oommeetri eeltakistus; R_k — kaitsetakistus; R_x — mõõdetav takistus.

55. Juhtnöörid isolatsiooni mõõtmiseks.

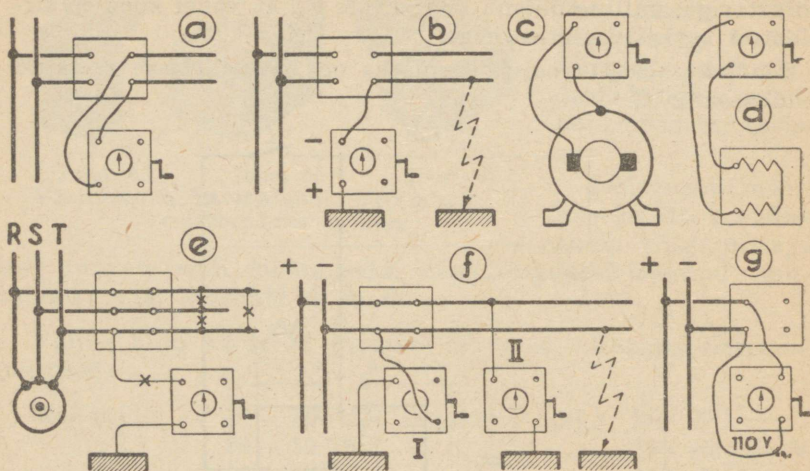
a) Isolatsiooni takistus kahe juhtme, samuti üksikute juhtmete ja maa vahel (erand: maandatud nulljuhtmed) peab vastama p. 48-le.

b) Mõõtmist madalpinge tugevvoluseadmeis teostatakse pingega mitte alla 100 V, kuid soovitavalt võrgupingega või pingega 1000 V.

c) Soovitav on tarvitada alalisvoolu, vahelduvvoolule mõjuvad segavalt mahtuvusvoolud; kõrgemate (üle 500 V) pingete juures ei tohi ka alalisvoolu pinge olla liiga pulseeriv.

d) Mõõtmine toimub tavaliselt väntinduktoriga, mõnikord (alalisvoolul) ka võrgupinge abil.

e) Mõõtmist toimetatakse tavaliselt mittetöötavais liinides, mõnikord ka tööajal.



Joon. 69. Mõõtmised väntinduktoriga.

Tarvitatavad lülitused on näidatud joonisel 69.

a) Isolatsiooni mõõtmine kahe vooluta juhtme vahel. Kõik liiniosad, kaitsmed, lülitid jne. tuleb sisse lülitada. Kõik tarvitajad, aparaadid jne. lahutada (lambid välja keerata, arvesti pingepoolid eraldada jne.).

b) Isolatsiooni mõõtmine vooluta juhtme ja maa vahel. Soovitav maandada induktori plusspoolus (metalloosakeste liikumine elektrolüüsi mõjul negatiivsele poolusele võimaldab mõnikord väikeste vigade kergemat avastamist).

Maanduseks viiakse traat veetoru või maasse ulatuva raudkonstruktsiooni jne. külge.

c) Isolatsiooni mõõtmine ja kereühenduse kindlaksmääramine masinail ja aparaatidel.

d) Juhtmete proovimine: katkestuste kindlaksmääramine aparaatides.

e) Isolatsiooni mõõtmine töötaval vahelduvvoolu võrgul induktori pingega; viimane ei või olla madalam kui võrgupinge. Annab ainult terve võrgu (2—3 juhet) ühise takistuse maa suhtes. Nulljuhtmega võrkudes ei saa antud moodust kasutada.

f) Isolatsiooni mõõtmine töötaval alalisvoolu võrgul juhtme (I negatiivse, II positiivse) ja maa vahel võrgupingega. Annab isolatsiooni terve võrgu kohta. Võrgu pinge peab vastama oomaskaalale (vt. p. 50); tarbe korral ümber arvutada (p. 50).

g) Pinge mõõtmine (ainult alalisvoolul).

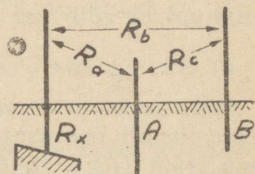
h) Isolatsiooni mõõtmine alalisvoolu võrgupingega, mitte-töötavais liiniosades, toimub analoogiliselt p. 50.

56. Maandustakistuse mõõtmine.

Piksekaitsmete, kõrgepinge maandajate jne. maaühenduse takistuse (maandustakistuse) R_x mõõtmine toimub Wheatston'i silla abil vahelduva vooluga (alalisvoolul polarisatsioon segab). Mõõtmiseks kaks abielektroodi A ja B (joon. 70).

$$R_x = (R_a + R_b - R_c) : 2.$$

Eriline sild maaühenduste mõõtmiseks on näidatud joonisel 67 — otsitav takistus on loetav otse astmikult.

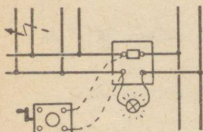


Joon. 70. Maandustakistuse mõõtmine.

C. Isolatsioonirikete leidmine.

57. Siseinstallatsioonid.

Puudulik isolatsioon on enamasti tingitud üksikuist vigaseist kohtadest. Vea leidmiseks proovitakse seadet vältinduktoriga, haruliinisid ükshaaval eraldades (näiteks harutoosides ühendusi lahti võttes), kuni viga kaob (või ümberpöördukt). Induktor lülitatakse nüüd vigase haru peale ning eespoolkirjelatud viisil tehakse vea asukoht lõplikult kindlaks. Lülitaid tarbe korral mitmes seisangus proovida. Lühise korral (kaitsepadrunite läbipõlemine) võib oommeetri asemel kasutada proovilampi (joon. 71). Lamp põleb, kuni lühis olemas (aparaadid peavad olema seejuures välja lülitatud). Enamasti on vea allikaiks laearmatuurid, lambipesad, seinakontaktid, harukarbid ja krohvialuse seadise korral seintesse löödud naelad.



Joon. 71. Isolatsioonirikete leidmine.

58. Õhuvõrgud.

Vea leidmine on analoogiline eespooltoodule. Soovitav on suuremate (alevi, linna jne.) võrkude ehitamisel liinidesse ase-

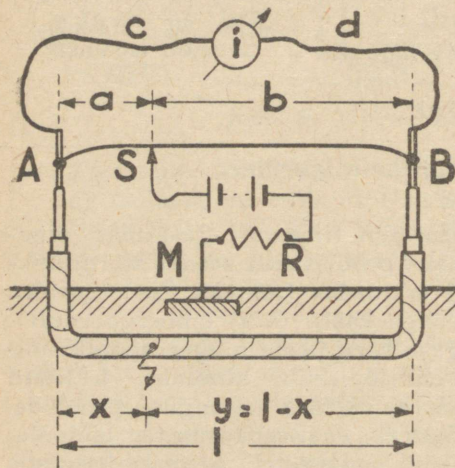
tada lahtuskohad lahklülitite või postikaitsmete näol. Raudliinides hakkab maaühenduse korral vastav post tihti undama; heli kandub piki liini paarisaja m kaugusele.

59. Kaabelliin.

Sagedamini esinevaks rikkeks on maaühendus, harvem lühis kahe soone vahel. Vea asukohta määramiseks on olemas erilised mõõteriistad, mis töötavad Wheatston'i silla printsiibil; nende puudumisel võib vea asukohta määrata ka allpooltoodud viisil.

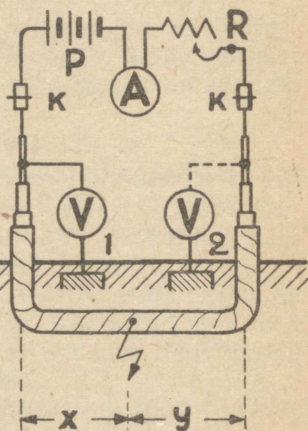
a) Silla meetod.

Lülitusskeem joonisel 72. Kaabli otste *AB* vahele tõmmatakse kaabli asetusplaani järgi kaabli kohale ühtlase jämedusega traat (näit. raudtraat, läbimõõduga 2—3 mm). Voolualli-



Joon. 72.

Kaabli rikke leidmine.



Joon. 73.

kaks on patarei või alalisvoolu võrk; voolutugevuse piiramiseks tarbe korral takistus *R*. Kui $i = 0$, siis $a:b = x:y = x:(l-x)$ ning kontakt *s* asetseb otse kaabli maaühenduse kohal. Maaühenduse *M* asukoht, samuti *c—d* pikkus ja jämedus pole tähtsad. Kontaktid *A* ja *B* tuleb korralikult kinni joota. Kasutusel lühikeste kaabelliinide puhul.

b) Pingelangu meetod.

Lülitus joonisel 73. Kaablist lastakse läbi maast hästi isoleeritud akupatarei P abil tugev vool. Kaabli otstel pinged mõõdetakse. Maaühenduse kaugus x arvutatakse võrrandiga $x : y = U_1 : U_2$.

Voltmeeter peab olema tundlik ja suure sisetakistusega (vähemalt $300 \times$ kaabli viga); R = reguleertakistus, k — kaitsmed. Soovitav on teha kaks mõõtmist, vastupidiste voolusuundadega, arvutades mõlemast keskmist. Tagasijuhtmeks võib kasutada teist, tervet kaabliisoot.

60. Lühis kaabelliinis.

Vigase koha leidmiseks üks soontest maandatakse, teisel soonel määratakse kaugus p. 59 kirjeldatud viisil. Enamasti on rikkekohtadeks kaabli muhvid või kohad, kus tehakse kanalisatsioonitöid.

VI. ENERGIA MÕÖTMINE.

A. Sissejuhatus.

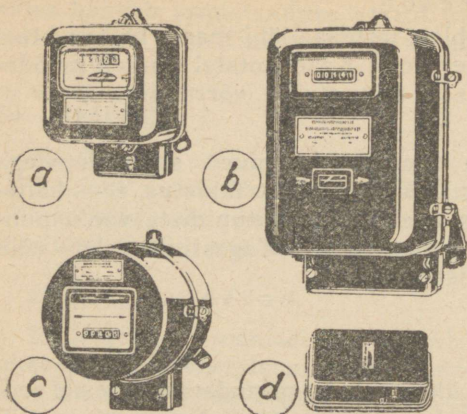
61. Arvestite tüübid.

Arvestit (kWh-arvestit, vooluarvestit) kasutatakse elektrienergia hulga mõõtmiseks kWh-des, peamiselt elektrienergia ostu-müügi juures.

Vastavalt vooluliigile ja töötamisviisile jagunevad arvestid järgmistesse gruppidesse:

- 1) Vahelduvvoolu arvestid:
 - a) ühefaasisele voolule,
 - b) kolmejuhtmelisele keerdvoolule,
 - c) neljajuhtmelisele keerdvoolule.

- 2) Alalisvoolu arvestid:
 - d) ampertunni-arvestid, pöörleva ankruga,
 - e) vatt-tunniarvestid, „ „
 - f) „ ostsilleeriva ankruga,
 - g) pendelarvestid,
 - h) elektrolüütilised arvestid.



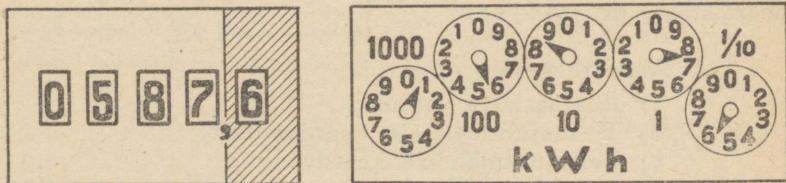
Joon. 74. kWh-arvestid.

Mootorarvestite väline ehitus on näidatud joonisel 74 a, b, c.

62. Numeraator.

Tavaliselt kasutatakse numeraatorit hüppavate numbritega (joon. 75, vasakul); erandjuhtumel (laboratooriumiriistades) ka osutitega (joon. 75, paremal). Mõõdetava energia hulka näitab vahe numeraatori alg- ja lõppseisu vahel.

- Näide: 1) Seis kuu algul 572,7 kWh, lõpul 587,6 kWh; tarvitus kuu vältel $587,6 - 572,7 = 14,9$ kWh.
 2) Seis kuu algul 99 875, lõpul 100 046 kWh; tarvitus $100\ 046 - 99\ 875 = 171$ kWh.



Joon. 75. Arvesti numeraatorid.

Arvud pärast koma võetakse arvesse harilikult ainult esimesel ja viimasel lugemisel (lõpparve tegemisel). Koma asukoht oleneb arvesti suurusest. Numeraatori läbijooksu aeg, s. o. üleviskumine uuesti nullile, on täiel koormusel 750—8000 tundi.

Tarvitusel on ülaltooduist peamiselt p. ä—e tähendatud nn. „mootorarvestid“, kus voolu mõjul pannakse pöörlema vertikaalsel teljel asetsev ankur (joon. 77, 82 ja 85). Pöörete arv, mis on võrdeline vatt-tundidega või amper-tundidega, kantakse tigu- ja hammasrattaste abil üle numeraatorile.

63. Vool. Pinge. Ülekoormatavus.

Vooluarvestid ehitatakse alljärgnevaile voolutugevusile: (3), 5, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1 000 A jne. kuni 10 000 A.

Vahelduvvoolu arvestid ehitatakse otsesele lülitamisele kuni 100 A, üle selle kasutatakse 5 A arvestit ühes voolutrafodega.

Iga arvesti peab normide kohaselt taluma ülekoormust:

5—30-amprine: 2 min. 100⁰/₀; 2 tundi 50⁰/₀.

50—10 000-amprine: 2 min. 50⁰/₀; 2 tundi 25⁰/₀.

Tööpinge — vastavalt normaalseile võrgupingeile, proovipinge alalisvoolul 1 000 V, vahelduval — 2 000 V.

64. Täpsus. Viga.

Vooluarvestid nagu iga mõõteriist ei registreeri elektrienergiat päris täpselt; näitab ta rohkem, on viga positiivne, näitab vähem — negatiivne. Vea suurus, s. o. kõrvalekaldumine õigest näitamisest ühele või teisele poole ei tohi arvesti normimisel või kordaseadmisel suurem olla kui allpool märgitud:

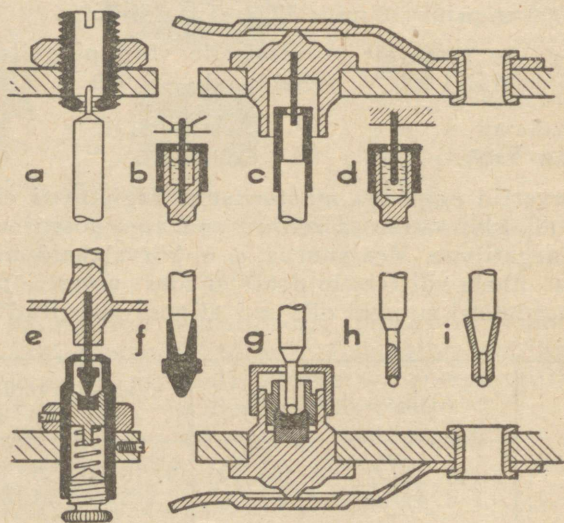
	Alalisvoolu arvesti							Vahelduvvoolu arvesti cos φ = 1 juures						
	5	10	20	50	75	100	125	5	10	20	50	75	100	125
Koormus % . . .	5	10	20	50	75	100	125	5	10	20	50	75	100	125
Vea % ± . . .	9	6	4,5	3,6	3,4	3,3	5,8	7	5	4	3,4	3,3	3,2	5,8

Vea suurus on muutuv, olenedes koormusest. Enamasti on weaköverikul joonisel 80 ja 84 toodud kuju. Töötaval arvestil võib aja vältel viga mõnikord suureneda. Vooluhinna arvutamisel ei võeta seda nn. käibeveiga tagantjärele harilikult arvesse, kui viimane ei ületa normimisviga kahekordselt.

65. Laagrid.

Laagrite ehitus on näidatud joonisel 76. Ülemine ehitatakse tapplaagrina (a, b) või nõellaagrina (c, d) õlikambriga või ilma; kohale kinnitatakse neid keermestikuga (a) või vedruklambri (c).

Alumine laager (joon. 76-e, g) koosneb õõnsaks poleeritud rubiinkivist, mis on asetatud vaskpuksi abil juhthülssi, tihti vtruvvalt. Kivil pöörleb terastelje tapp. Viimane on enamasti vahetatav kas tervikuna (e, f) või vahetatakse ainult kuuli. Kuuli hoiab kohal vaskhülss (i) või magneeditud telje ots (h). Laagrid töötavad kuivalt või õlitatult. Õlitada 2—5 a. tagant erilise puhta, happe- ja vaiguvaba ning mitteauruva õliga.



Joon. 76. Arvesti laagrid.

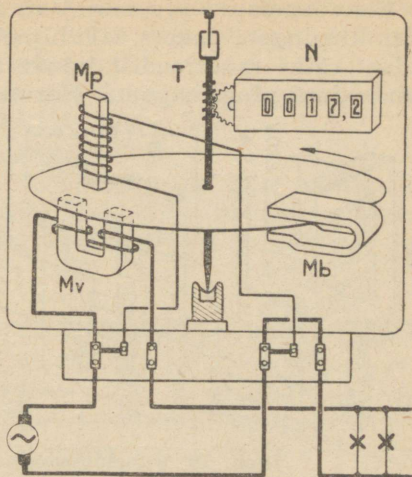
B. Ühefaasised vahelduvvoolu arvestid.

(Induktsioonarvestid.)

66. Tööviis.

Tööviisilt sarnane induktsioonmootoriga. Ehituskeem näidatud joonisel 77. Alumiiniumkettale mõjuvad voolumagnet M_v (2—20 keerdu) ja pingemagnet M_p (5 000—10 000 keerdu).

Mõlemas tekivad vahelduvad magnetväljad, kuid viimases hilineb välja tekimine omainduktsiooni tõttu ligi 90° ($\frac{1}{4}$ perioodi) võrra, mistõttu saavutatakse kestvalt ühe poole alt teiseni nihkuv magnetväli, mis veab ketta (selles elektrilisi voolusi indutseerides) endaga kaasa, pannes viimase pöörlema. Kombinatsiooni voolu- ja pingemagnetist nimetatakse ajursüsteemiks. Pöörete reguleerimiseks on pidurmagnet M_b . Pöörlemise kiirus on võrdeline koormusega $= U \cdot J \cdot \cos \varphi$. Ketta pöörlemine kantakse tigratta T abil numeraatorile N . Ketta poolt tehtud pöörete arv on võrdeline arvestist läbi juhitud energiahulgaga.



Joon. 77. Vahelduvvoolu arvesti ehitusskeem.

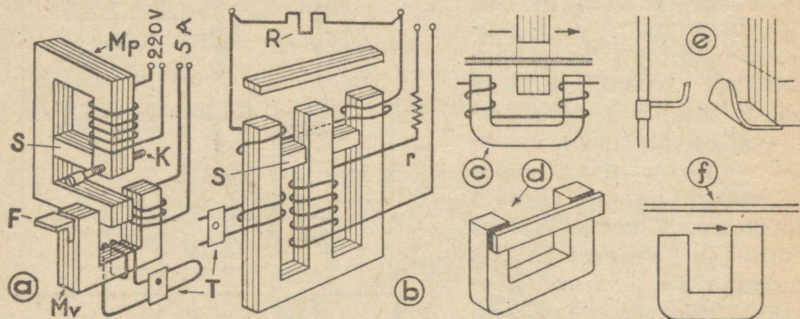
67. Ajursüsteemi ehitus.

Enamtarvitatuimad ehitusviisid on näidatud joonisel 78-a ja 78-b. Magnetväljade M_v ja M_p vahelise nihkenurga täpseks väljareguleerimiseks kasutatakse: magnetilist šunti s , eeltakistust r (pingeahelas), lühiühenduses sekundaarmähist T või šunti R vooluahelas.

Voolumagnet, tekitades koos pingemagnetiga ajurjõudu, mõjub samal ajal ühtlasi pidurdavalt, see on eriti tunduv suure koormuse ajal. Voolumagneti pidurdava mõju kompenseerimiseks kasutatakse asümmeetrilist asetust (joon. c), magnetilist šunti (joon. d) või ebahühtlast õhuvahet (joon. f).

Pidurdavalt mõjub ka laagrite hõõrdumine, milline nähtus on eriti tunduv väikesel koormusel; selle nähtuse kompenseerimiseks vajaliku lisajõu saavutamiseks asetatakse pingemähise raudsüdamikule külge rauatükike asümmeetriliselt (rohkem ühele poole), reguleeritava kruvi K (joonisel 78-a), riivi jne. näol.

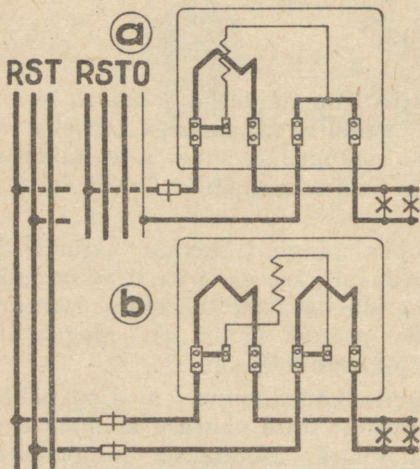
Ülaltähendatud jõu mõjul võib ketas ka tühjalt pöörelda, eriti ülepingete juures. Tühijooksu takistamiseks on magnetpidur: väike raudtraadist lipuke telje küljes (joon. 78-e), mida hoiab kinni pingemagnet. Harvem kasutatakse auku või peale-



Joon. 78. Vahelduvvoolu ajursüsteemi ehitisi.

kleebitud rauakübet kettal. Pinge all oleva koormamata arvesti ketas liigub pikkamööda edasi kuni pidurduspunktini; viimane on ketta esiküljel märgitud värvilise laiguga.

68. Kasutamine ja lülitused.



Joon. 79. Ühefaasise arvesti ühendamine võrguga.

Arvesti ühendamine võrguga on näidatud joonisel 77 ja 79. Harilikult kasutatakse ühefaasist arvestit ühe voolumähisega (joon. 79-a). Üks ja sama arvesti on kõlblik ühte viisi ühendamiseks kolmejuhtmelses 220 V, kui ka neljajuhtmelses 380/220 V võrgus; viimases ainult faasi- ja nulljuhtme vahelistele tarvitajaile.

Nulljuhtmega võrkudes tuleb faasijuhe viia vasakpoolsesse klemmide paari, s. o. voolumähise kaudu, kuna arvesti muidu maaühenduse korral valesti võib näidata.

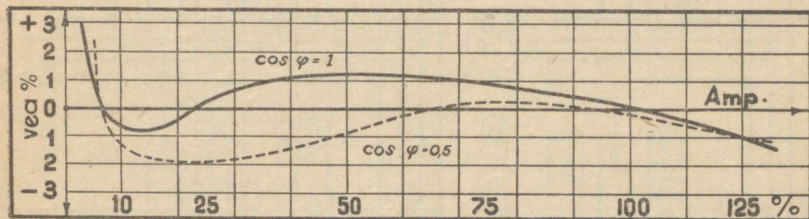
Ketta pöörlemissuund on arvestil märgitud noolega, normaalselt vasakult paremale. Pöörleb ketas vale suunas, on voolumähisesse minevad otsad ära vahetatud.

Erandjuhtumel kasutatakse mõnikord nulljuhtmeta võrkudes ka arvestit kahe voolumähisega (joon. 79-b).

69. Tehnilised andmed ja omadused.

Ehitatakse 5—100 A-ni ja 650 voldini; üle selle kasutatakse 5 A \times 100 V (või 110 V) arvestit mõõdutransformaatoritega.

Käimaminek: 0,3—0,5⁰/₀-lisel koormusel (5 A arvestil 3—5 vatiga).



Joon. 80. Vahelduvvoolu kWh-arvesti veakõverik.

Omatarvitus pingemähises (tühi jooksu kadu) 0,5—1 W;
voolumähises 0,7—1,5 W.

Ankrukaal: 10—30 g.

Pöörlemise kiirus täiskoormusel 45—65 pöör./min.

Pöördemoment 3—7 gcm.

Normaalne veakõverik vastavalt joonisele 80.

Netokaal 1—2 kg.

Keerdvoolu võrkudes kasutatakse ühefaasist kWh-arvestit tavaliselt kuni 10 A-ni.

C. Keerdvoolu arvestid.

70. Ehitus ja lülitused.

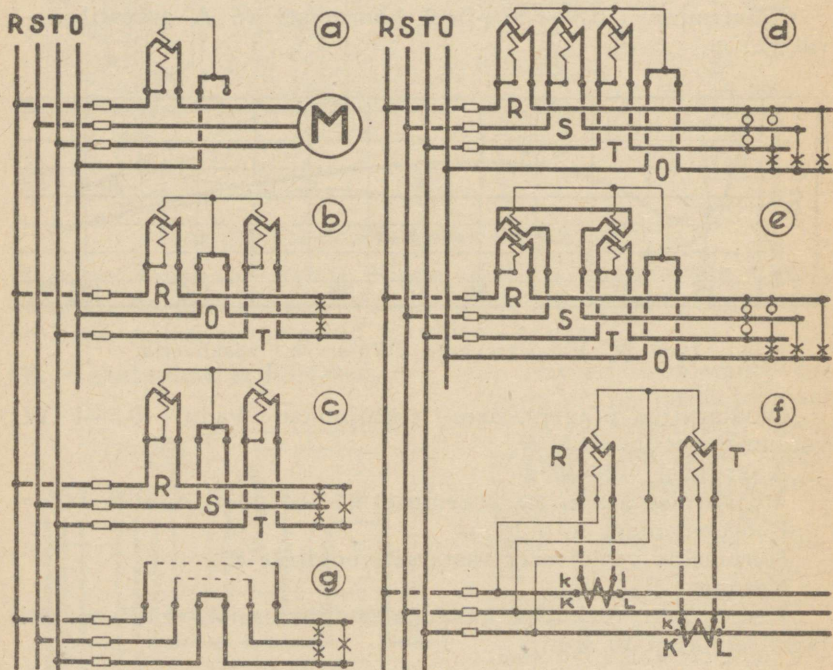
Tööviis sama mis ühefaasisel, kuid ühises kestas mõjuvad ühise telje ja numeraatori peale 2...3 ajursüsteemi.

Tarvitatavad lülitused näidatud joon. 81.

a) Keerdvoolu kWh arvesti ühe ajursüsteemiga. Ühtlaselt koormatud faasid, nullpunkt kättesaadav (neljajuhtmehelised — tähtlülitusega võrgud) (vt. p. 71).

Tarvitatakse harva, erandjuhtumel, kuna kirjeldatud arvesti võimaldab vooluvõtmist kahe teise faasijuhtme vahel registreerimatult.

b) Osaline keerdvoolu arvesti (kahefaasine). Tarvitusel nulljuhtmega võrkudes, kui on sisse viidud ainult 2 faasi ja nulljuhe; ehitatakse pingele $2 \times 220/380 \text{ V}$; vähe tarvitusel.



Joon. 81. Keerdvoolu arvesti lülitusi.

c) Kolmejuhtmeline keerdvoolu arvesti (kahe ajursüsteemiga, Aron'i lülitus). Erineb eelmisest numeraatori ülekande ja pinge poolest. Ehitatakse pingele $3 \times 220 \text{ V}$, $3 \times 380 \text{ V}$, $3 \times 500 \text{ V}$, üle selle on $3 \times 100 \text{ V}$ arvesti ühes mõõdutrafodega. Kasutatav igasugusele, ka ebäühtlasele koormusele, kuid neljajuhtmelistes võrkudes ainult faasidevahelistele tarvitajaile (mootorid, ahjud jne.).

Märkus: Vanemail tüüpidel olid mõnikord kõik sisse- ja väljaviimisklemmid kõrvuti (joon. 81-g).

d) Neljajuhtmeline keerdvoolu arvesti (kolme ajursüsteemiga — universaalarvesti). Ehitatakse harilikult pingele $3 \times 380/220$ V. Kasutatav neljajuhtmelistes võrkudes igasuguse (ka faasi- ja nulljuhtmevahelise) koormuse arvestamiseks.

e) Sama — kahe pinge- ja kolme voolumähisega. Ehitatakse mõne firma poolt eelmises punktis toodu asemel. Arvestab igasugust koormust, kui pinged üksikuis faasides ei erine.

f) Voolude juures üle 100 A kasutatakse 3×5 A arvestit ühenduses voolutransformaatoritega.

Mis järjekorras faasid arvesti klemmidesse viiakse (s. o. kas R, S või T esimese klemmi alla), ei ole oluline, kuid sissetulevad ja väljuvad juhtmed tuleb ühendada vastavalt arvesti kaanel olevale (vt. joonis 81) skeemile (s. o. vooluallikast tulevad juhtmed vasakpoolsetesse, edasiminevad parempoolsetesse klemmidesse); vastasel korral arvesti võib registreerida rohkem või vähem, võib seisma jääda või pöörelda tagurpidi.

71. Keerdvoolu mõõtmine ühefaasiste arvestitega.

P. 70-c all toodud keerdvoolu arvesti asemel võib tarvitada ka kahte ühefaasist arvestit, milliste lugemid liidetakse (vt. p. 40-c); kogu energia $A = A_1 + A_2$.

$\cos \varphi = 0,5$ juures esimene arvesti seisab ($A_1 = 0$), alla 0,5 puhul on esimese lugem negatiivne — ketas pöörleb tagurpidi, numeraatori seis väheneb ja tuleb teisest lahutada:

$$A = (-A_1) + A_2 = A_2 - A_1.$$

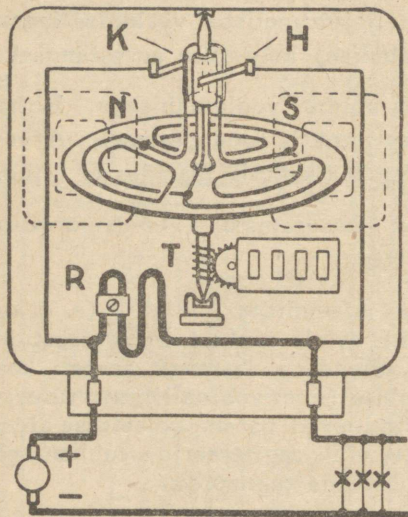
A_1 ja A_2 suhe annab ühtlasi ülevaate $\cos \varphi$ keskmisest suurusest (vt. p. 85).

P. 70-d all toodud keerdvoolu arvesti asemel võib kasutada ka kolme ühefaasist arvestit, mille juures kõikide lugemid on positiivsed ja tulevad liita.

D. Alalisvoolu ampertunni arvestid.

(Magnetomotoorsed arvestid.)

72. Tööviis.



Joon. 82.

Alalisvoolu ampertunni arvesti ehituskeem.

Tööviis on analoogiline alalisvoolumootorile, kusjuures magnetvoog tekitatakse terasmagnetite abil. Ehituskeem näidatud joonisel 82.

Permanentmagnetite *N* ja *S* vahel (joonisel on viimased märgitud ülevaatlikkuse mõttes punktiiris), püstteljel, asetseb pöörlev ankur.

Ankruks on alumiiniumseib või trummel, millele on ühtlaselt paigutatud kolm mähisesektsiooni. Viimastest lastakse läbi osa mõõdetavast voolust üle 3 lestaga (lamelliga) kommutaatori *K* ning harjade *H*. Terasmagneti välja ja mähiste voolude

poolt tekitatud magnetvälja vastastikusel mõjutusel hakkab ankur pöörlema, kusjuures pöörlemine on võrdeline voolutugevusega. Pöörlemine kantakse tiguratta *T* abil üle numeraatorile.

Harilikult läbib ankrut ainult väike osa voolust, sest ankur on lülitatud paralleelselt reguleeritavale šundile *R*. Hõõrumise kompenseerimine on odavuse ja lihtsuse mõttes tavaliselt jäetud ära. Harva, erandjuhtumel, saavutatakse viimane liikuvate harjade ja viltuselt asetatud kommutaatori lestadega.

73. Kasutamine ja lülitused.

Ühendamine võrguga toimub vastavalt joonisele 83.

Sissetulev juhe viiakse kas vasakusse või parempoolsesse

klemmi vastavalt sellele, kas arvesti on lülitatud + - või - - juhtmesse; valesti ühendamisel pöörleb ketas tagurpidi.

Arvesti registreerib ainult ampertunde (Ah), kuid aluseks võttes teatud võrgupinget (110, 220 V), normitakse harilikult kWh-des. Pinge tõustes üle normaalse suuruse näitab arvesti vähem, langemisel — rohkem kui kWh tegelikult on läbi läinud.

110 V Ah-arvestit võib kasutada ka 220-V võrgus — korrutades näidatud arvu 2-ga.

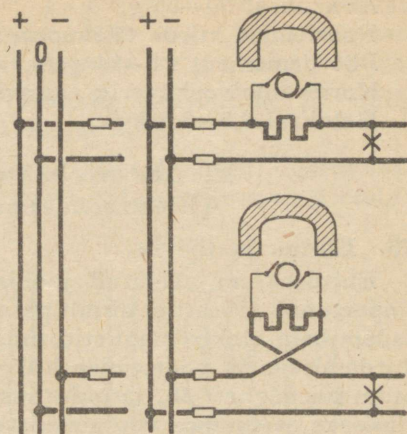
Kasutatakse väiksemate, peamiselt valgustusseadmete juures. Levinuim alalisvoolu arvesti tüüp.

74. Tehnilised andmed.

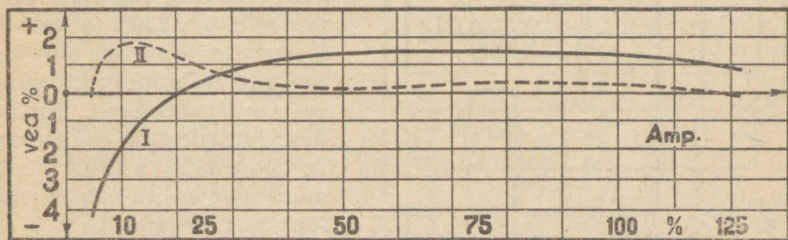
Ehitatakse kuni 550 V-ni ja 1 200 A-ni; 3—100 A-ni sisse ehitatud, suuremate voolude korral ka (alates 20 A) eraldi asetatud šundiga.

Käimaminek ca 1%-lisel koormusel.

Omatarvitus: Pingelang väiksemal (alla 10 A) 1—1,5 V, s. o. võimsuse kadu 1—1,5 W iga ampri kohta, suurematel 0,7—1 V. Tühijooksukadu puudub.



Joon. 83. Ampertunni arvesti lülitus.



Joon. 84. Ampertunni arvesti veakõverik.

I — ilma hõõrdumiskompensatorita, II — ühes hõõrdumiskompensatoriga.

Ankrukaal 50—80 g.

Pöörlemise kiirus täiskoormusel 60—150 p./min.

Pöördemoment 11—15 gcm.

Normaalne veakõverik vastavalt joonisele 84.

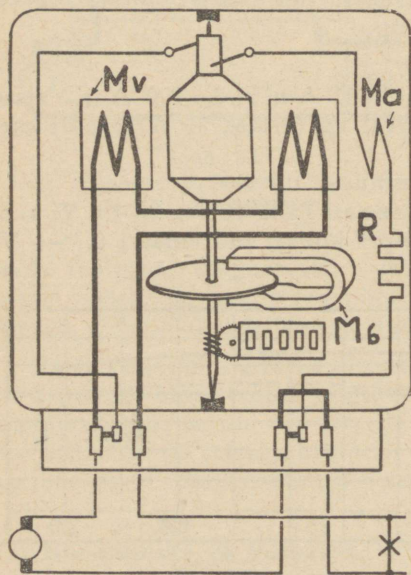
Netokaal 2,5—3,5 kg.

E. Alalisvoolu vatt-tunni arvestid.

(Elektrodünaamilised arvestid).

75. Ehitus ja tööviis.

Ehitusskeem näidatud joonisel 85. Tööviisilt analoogiline ampertunni arvestile, ainult permanentmagnetite asemel on raudsüdamiketa elektromagnetid, nn. voolumähised M_v . Ankru pidurdamiseks ja pöörlemise kiiruse reguleerimiseks omab eraldi pidurdusmagneti M_b ja pidurdusketta. Hõõrdumise kompenseerimiseks asetatakse voolumähiste kõrvale nn. abimähis M_a . Et viimane tühijooksu ei tekitaks, on pidurduskettale kinnitatud väike rautükike või kasutatakse pidurdamiseks eraldi elektromagnetit, ühenduses võlli külge asetatud lipukesega (joon. 78-e).



Joon. 85. Alalisvoolu vatt-tunni arvesti ehitusskeem.

76. Kasutamine ja lülitus.

Vatt-tunni arvesteid kasutatakse suuremate koormuste puhul. Tarvitatavad lülitused ja ühendamine võrguga on näidatud joonisel 85.

a) Kahejuhtmeline. Ehitatakse normaalselt pingele 110, 220 ja 440 V. Kasutatav ühtviisi nii kahe- kui ka kolmejuhtmelistes (nulljuhtmega) võrkudes. Nulljuhtme paigutuse ja pöördsuuna ning selle muutmise kohta kehtib eespool p. 67 öeldu.

b) Kolmejuhtmeline — pingemähis on lülitatud kahe peajuhtme vahele.

Ehitatakse normaalselt pingele 2×110 ja 2×220 V. Näitab õigesti igasugusel koormusel, kuid ainult seni, kuni mõlemad peajuhtmed on pinge all ja pinge mõlemal võrgupoolel ühtlane.

c) Sama — pingemähis on lülitatud peajuhtme ja nulljuhtme vahele. Omadused samad mis eelmisel.

d) Sama — kahe pingemähisega. Näitab õigesti igasugusel koormusel ja pingel. Väga vähe tarvitusel — selle asemel eraldi kaks kahejuhtmelist arvestit.

Mis järjekorras poolused mõõtjasse viia, s. o. kas + või — esimese klemmi alla, pole oluline.

77. Tehnilised andmed ja omadused.

Ehitatakse kuni 1500 V-ni ja 10 000 A-ni; 100 A-st ülespoole tavaliselt eraldi asetatud šundiga.

Käimaminek $0,8-1\%$ lisel koormusel.

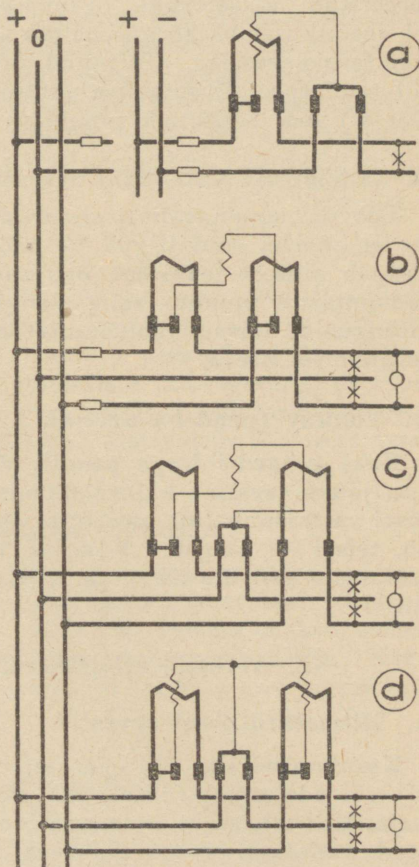
Omatarvitus: Ankrus (tühijooksukadu) $0,01-0,02$ A, s. o. $1-2$ W iga 100 V kohta; voolumähises väiksemail ($5-50$ A) ca $8-12$ W, suuremail — kuni 50 W.

Ankru kaal $100-180$ g.

Pöörlemise kiirus täiskoormusel $50-70$ pöör./min.

Pöördemoment $6-7$ gcm.

Netokaal väiksemail (alla 200 A) $4-6$ kg.



Joon. 86. Alalisvoolu vatt-tunni arvesti lülitus.

F. Alalisvoolu arvestid eriehitusega.

78. Elektrolüütiline ampertunni arvesti.

Põhjened elektrolüüsi seadusel: Voolu mõjul eraldatud aine hulk on võrdeline ampertundidega.

Lülitus analoogiline magnetomotoorsele ampertunni arvestile (joon. 83), selle erandiga, et ankur asemel on üle eeltakistuse ühendatud elektrolüütikärg.

Mõõtkärg — täielikult kinnine klaasnõu, elektroodide ja kalibreeritud klaastoruga. Viimasesse kogunenud elavhõbeda- või vesinikusamba kõrgus näitab ampertunde. Välimuselt sarnane termomeetriga. Täitunud mõõtetoru tühjendatakse ümberkallutamiseega. Kasutamise suhtes kehtib p. 73 öeldu. Mõõte- (kärje-) vool 1—20 mA, pingelang — 0,5 V.

79. Ostsilleeriv vatt-tunni arvesti.

Tööviis nagu tavalisel elektrodünaamilisel arvestil, kuid ankur ei pöörle, vaid liigub $\frac{1}{4}$ pöörde viisi edasi-tagasi. Ankur koosneb ainsast mähisest, mis saab voolu läbi traatspiraalide. Kommutaator puudub, selle asemel on kontaktreled, mis lõppseisangus lülitavad voolusuuna ümber ja numeraatori edasi. Kasutamisel harva.

80. Võnkuv (pendel-) arvesti.

Kaks pingemähisega pendlit võnguvad voolumähiste kohal. Ajurijõuks tavaline kellamehhanism. Polaarsus esimesel ühe-, teisel vastassuunaline, mistõttu võnkesagedus ühel vooluga tõuseb, teisel — langeb. Võngete vahe kantakse planetaar-hammasarataste abil üle numeraatorile. Tundlik ja täpne riist, kuid kallis.

G. Arvestid eriotstarveteks ja eritariifidele.

81. Mitmetariifilised arvestid.

Kasutamisel siis, kui energiat teatud kellaajal kallimalt (õhtul) või odavamalt (öösel) müüakse. Ehitus täpselt sama mis ühetariifilistel, ainult numeraatoreid on 2 või 3. Kindlaksmääratud vaheaegadel on pöörleva süsteemiga ühendatud vastav numeraator, näiteks: kella 23—7 num. 1 (odav tariif), kl. 7—16 num. 2 (keskm. tariif), kl. 16—23 num. 3 (kallis tariif).

Hammasrataste ümberlülitamine toimub tavaliselt sisseehitatud rele ja eraldi asetatud (ka mitme arvesti jaoks ühise) kontaktkella (ajanäitaja) abil. Ehitatakse igasugustele vooluliikidele.

82. Rabatt-arvestid.

Kantav arvesti, mida saab asetada iga seinakontakti juures peaarvesti ja kasutusaparaadi vahele. Kasutatakse siis, kui on olemas erilised odavamad tariifid tööstuslikuks või majapidamise otstarbeks, kuid ei taheta installeerida eraldi kohtkindlat tööstusarvestit ja liine. Rabatt-arvesti lugemit arvestatakse eritariifi järgi, pea- ja rabatt-arvesti poolt registreeritud arvude vahet — valgustariifiga. Käimaminek toimub alles teatud koormuse, näit. 200 W juures, et vältida rabatt-arvesti kasutamist laualampide jne. juures. Arvesti ehitatakse ampertunni- ja ühefaasise 3...10-A arvestina.

83. Tippkoormuse arvesti.

Hakkab arvestama teataval koormusel, näit. 200 W juures; ei registreeri sel juhul aga tervet tarvitust, vaid ainult üle 200 W tõusvat osa; 500 W ja 2 tunni juures näit. $(500-200) \times \times 2 = 600 \text{ Wh}$. Kasutatakse astmeliste ja segatariifide juures, tihti seoses teise, tavalise peaarvestiga: põhitarvitus arvestatakse paušaal- või ühe tariifiga, ületarvitus — teise tariifiga.

84. Arvesti maksimaalse koormuse näitajaga.

Näitab arvestamise perioodi kestel ettetulnud teatavat aega (10, 15, 30, 60 min.) kestnud maksimaalset koormust. Enamik tüüpe on varustatud osutiga, mis jääb seisma maksimaalsete kW-de peale, ja numeraatoriga, mis registreerib kWh. Kasutatakse põhimaksutariifi juures või kui voolu hinna juures võetakse arvesse koormuse ühtlus.

85. Arvesti vahelduvale energiasuunale.

Kui tavalises arvestis energia suund muutub, siis hakkab arvesti ketas liikuma tagurpidi ning numeraatori seis väheneb.

Kui on vaja registreerida energiat kahes suunas (näiteks oma jõujaamaga tööstus, mis võrgust energiat kord võtab ja

teinekord energiat võrku saadab), kasutatakse tavalisi arvesteid, mis on varustatud tagasijooksu piduriga. Arvestid on ühendatud võrku järjestikku, kuid teisel on sisenevad juhtmed ümber vahetatud. Nendest arvestitest registreerib üks võrgust võetud, teine võrku saadetud elektrienergiat.

86. Voolutarvituse kestuse arvesti (ajalugeja).

Näitab sisselülitamise kestust tundides. Ehitatakse: a) alalis- ja vahelduvvoolule, kellamehhanismi ja elektromagnetilise päästikuga; b) ainult vahelduvvoolule ferraris-süsteemilise mootoriga, harvemini ka sünkroonmootoriga.

87. Arvestid rahakasseerimise automaadiga.

Harilik arvesti, mis on ühendatud rahaautomaadiga; võimaldab teatava raha sissepanemisel teatava hulga energia võtmist, summa lõppemisel katkestab voolu.

88. Reaktiiv- ja näivvõimsuse arvestid.

Vajalikud ainult vahelduvvoolu võrkudes. Kasutatakse harva, suurtarvitajate juures, kui tahetakse arvesse võtta liine, trafosid jne. koormavat reaktiivvõimsust (ebavõimsust).

89. Voolutugevuse-piirajad.

Kasutamisel paušaaltariifi juures. Katkestavad vooluringi, kui vool ületab lubatud maksimumi. Töötavad elektromagnetilisel või soojuse mõjul deformeeruva metallriba põhimõttel. Ehitus joonisel 74-d.

H. Vooluarvesti käsitus.

90. Arvesti silt.

Iga arvesti sildil peab normide kohaselt olema märgitud: firma nimi, arvesti number, voolu liik, pinge ja voolu suurus, sagedus ning arvesti konstant (vt. p. 94).

91. Arvesti suuruse valik.

Arvesti valida nii, et ta nimivool vastaks ligikaudu täiskoor-muse voolule.

Näiteks: 380 V, 10 HP mootoril on vool 15...16 A. Arvesti võtta mitte alla 3×15 A ja mitte üle 3×75 A. Ülekoormusel võib (vt. p. 63) arvesti läbi põleda, väga väikesel koormusel ta näitab aga valesti või jääb seisma.

92. Arvesti monteerimine.

Arvesti tuleb asetada vertikaalselt, kas otse seinale või eraldi alusele, ning kohta, kus ei ole karta põrutusi ega lööke (näiteks ustega). Ruum olgu võimalikult puhas ja kuiv.

Kõrgus: u. 2 m põrandast.

Ühendada vastavalt lülituskeemile; lülituskeem on tavaliselt antud ka klemmlaua kaane siseküljel (joon. 79, 81, 83 ja 86).

Peale kohalemonteerimist koormusega kontrollida, kas ketas pöörleb õigesti.

93. Korrastus.

Aeg-ajalt, soovitav 2—4 a. järel, tuleb arvesti puhastada, õlitada, üle normida ja tarbe korral järele reguleerida ning varustada uue laagrikivi ja tapiga.

Laagreid ja tappe õlitatakse erilise puhta, vaigu- ja happitava ning mitteauruva, -oksüdeeriva või -pakseneva vedela õliga. Õlitamine toimub terava tiku või laiakslöödud traadi kaasabil ja õli tuleb panna võimalikult vähe — et ei esineks tilkumist. Laagrikivi jaoks kasutatakse vahel ka erilist määrdesalvi. Tiguga ja hammasrattad töötavad kuivalt.

Alalisvoolu arvestil on õrnemaks ja tundlikumaks osaks kommutaator ühes harjadega. Kommutaator tuleb puhastamiseks üle hõõruda paari mm laiuse puhta linase riide või seemisnaha ribaga; kui see ei aita (põlenud plekid), siis klaaspaberi ribaga. Kommutaatorit õliste või rasvaste näppudega mitte puudutada.

94. Normimine.

Normimine on arvesti võrdlemine teiste, õigesti näitavate aparaatidega. Arvesti sildil märgitud konstant K on õieti numeraatori konstant ja näitab, mitu pööret peab arvesti ketas (ankur) tegema selleks, et numeraatori rullid liiguksid edasi ühe kWh võrra. Seega konstant näitab ketta ja numeraatori vaheliste hammasratasüste ülekannet, näiteks: 1 kWh = 2500 kettapööret (või 1 Wh = 2,5 kettapööret).

Mõnikord on arvesti konstant väljendatud ka teisiti, näit.: 1 pööre = 0,4 Wh.

Suuruselt on arvesti konstant:

ühefaasistel vahelduvvoolu ja väikestel alalisvoolu arvestitel	1000—10 000
keerdvoolu ja suuremail alalisvoolu arvestitel	50— 1 500
kõrgepinge arvestil	1— 200

Tegelikult aga arvesti ketta pöörete arv ühe kWh kohta pole täpselt võrdne konstandiga K ; arvesti ketas pöörleb kiiremini või aeglasemalt (vt. p. 64) ja teeb ühe kWh kohta mitte K , vaid C pööret. C võib olla suurem või väiksem K -st.

Normimiseks on kolm võimalust:

1) Vattmeetri ja stopperiga: Kontrolliks asetatakse vattmeeter ja proovitav arvesti järjestikku. Reostaadi abil neid koormatakse teatava püsiva võimsusega (harilikult 100, 50 ja 10⁰/₀ nimikoormusest). Stopperi abil määratakse aeg t (mitte alla 1 min.), mis arvesti vajab n pöörete-arvu tegemiseks.

$$C = \frac{3\,600\,000 \cdot n}{N \cdot t} \quad (\text{pööret/kWh}).$$

Arvesti viga: $F = C - K$ (\pm pööret/kWh),

kus: C — tegelik ketta pöörete arv ühe kWh kohta;

K — tarvilik ketta pöörete arv ühe kWh kohta (arvesti konstant);

n — loetud kettapöörete arv;

t — aeg, mille vältel n loetud (sek.);

N — arvesti koormus (W).

$$\text{Arvesti viga } (\% \text{-des}) = \frac{C-K}{K} \cdot 100 (\% \text{-des}).$$

Näide: Ühefaasine arvesti (5 A, 220 V, 50 per./sek., 1 kWh = 3800 pööret) kontrollimisel 150 W-ga tegi 8 pööret 48 sek. vältel.

$$C = \frac{3\,600\,000 \cdot 8}{150 \cdot 48} = 4000 \text{ pööret/kWh, kuid tarvilik on } 3800 \text{ pööret/kWh.}$$

$$\text{Arvesti viga: } C - K = 4000 - 3800 = +200 \text{ pööret ühe kWh kohta ehk } (\% \text{-des}): \frac{200}{3\,800} \cdot 100 = +5,26\%.$$

On vahelduvvoolu arvestil ette näha induktiivkoormust, tuleb teda kontrollida veel $\cos \varphi = 0,5$ juures; $\cos \varphi = 0$ juures ketas peab seisma või nõrgalt ette jooksma.

Alalisvoolul kasutatakse vattmeetri asemel amper- ja voltmeetri.

2) Normimisarvestiga: Eriline täpne arvesti, mis võimaldab silmapilkset käivitamist ja seismajätmist. Skaalal on märgitud kWh-de asemel pöörete arv. Asetatakse proovitava järjestikku, lastes viimast teha 10...20 pööret, ja võrreldakse mõlema pöörete arvu.

$$\text{Viga } F = \left(\frac{n \cdot b}{m \cdot K} - 1 \right) \cdot 100 \text{ } \%,$$

kus K — konstant, n — pöörete arv proovitava arvestil; b ja m — samad normimisarvestil.

3) Täpse arvestiga: Kontrollitav arvesti asetatakse teise, täpse arvestiga järjestikku ja lastakse käia päev või paar. Näitamise vahe on viga.

Võimaldab normida korruga kuni 30 arvestit, kuid sel juhutamil tuleb lülitada vatt-tunni arvestil voolumähised järjestikku ja pingemähised eraldi paralleelselt — pingelangu mõju kõrvaldamiseks.

95. Arvestite viga.

I tunnus: Arvesti seisab.

Põhjus: 1) Pingemähis on läbi põlenud. 2) Ankur on kinni jäänud.

Abistamine: 1) Lambi või induktoriga proovida; uus mähis panna. 2) Käitsi ringi ajades kontrollida, telg õiendada või numeraator uuendada.

II tunnus: Arvesti jookseb tühjalt.

Põhjus: Koormamata arvesti ketas võib hõõrdumiskompensaatori (vt. p. 67 ja 75) mõjul tühjalt pöörelda, kui:

- 1) pinge on liiga kõrge,
- 2) pinge ettejooks on liiga tugevaks reguleeritud,
- 3) tühijooksu (käimamineku) pidurdus on liiga nõrk.

Abistamine: 1—3) Koormus kõrvaldada, ketast jälgida; ei jää ketas pidurduspunktil seisma, siis tuleb telje küljes asetsevat pidurduslipukest (joon. 78-e) el.-magnetile lähemale painutada, nii et käimaminek toimuks ca 0,5—1% -sel koormusel. Tarbe korral hõõrdumis-kompensaatori nihutamiseega ketta ettejooksu nõrgendada (ülemäärasel nõrgendamisel näitab arvesti väikesel koormusel vähem; vt. tunnus IV — 2 ja 3). Erandjuhtumil kleepida rauakübe seibile piduriks.

III tunnus: Arvesti ei lähe väikesel koormusel käima või näitab vähem.

Põhjus: 1) Kivi on katki või laagrid kulunud. 2) Pidurdus on liiga tugev.

Abistamine: 1) Katkine kivi (märkab terava nõelaga urgitesedes) uuendada. 2) Talitada vastupidiselt p. II-le.

IV tunnus: Arvesti valetab väikesel (5—10⁰/₀-sel) koormusel.

Abistamine: 1) Laagri kivi (kui see katki) ühes tapiga uuendada; 2) vahelduvvoolu arvestil p. 67 tähendatud hõõrdumiskompensaatorit (kruvi, riiv) reguleerida, kuni arvesti tühjana nõrgalt ette jookseb; 3) alalisvoolu Wh-arvestil abimähist (joon. 85-Ma) nihutada voolumähisele lähemale või kaugemale; 4) ampertunni arvestil, hõõrdumiskompenseerimisega, harjasid vedru painutamise piki kommutaatorit edasi nihutada. Harilikel ampertunni arvestitel, hõõrdumiskompensaatorita, viga ei ole reguleeritav.

V tunnus: Arvesti valetab suurel (10—100⁰/₀-sel) koormusel.

Abistamine: 1) Vatt-tunni arvestil (alalis- ja vahelduvvoolul) pidurdusmagnetit nihutada; erandjuhtumil vahelduvvoolul voolumagnet kettale lähemale või magnetilist šunti (raudplekki) nihutada. 2) Ampertunni arvestil šundi takistust reguleeritava klemmi nihutamise muuta.

VII. MÕÖTERIISTAD ERIOTSTARVETEKS.

96. Sageduse mõõtmine.

a) Tahhomeetriga: Mõõdetakse alternaatori või sünkroonmootori pöörete arv minutis n ; sagedus f (per./sek.) = $= (p \cdot n) : 60$,

p — masina pooluste paaride arv.

Näide: 6 poolust (3 paari); 1100 p./min.; $f = 55$ per./sek.

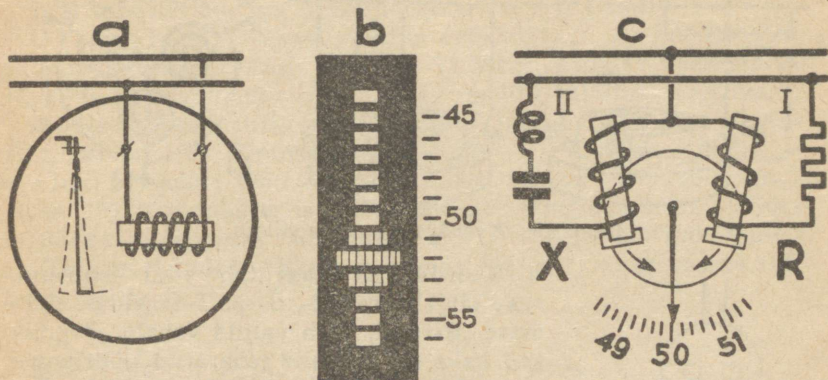
b) Sagedusmõõtja vibreerivate keeltega (joon. 87 a ja b):

Elektromagneti ees reas on mitmesuguse pikkusega teraskeeled (-vedrud). Resonantsi tõttu hakkab võnkuma see keel, mille sagedus vastab elektrivoolu sagedusele. Ehitatakse 100... 500 V ja 10... 500 per./s. jaoks.

c) Sagedusmõõtja osutiga:

Ekstsentrilisele alumiiniumkettale mõjuvad vastupidises suunas kaks elektromagnetit; neist saab I voolu üle aktiiv-, II üle

reaktiivtakistuse; sageduse f muutmisel muutub ka reaktiivtakistuse suurus ja ühtlasi magnet II-se tugevus ning osuti hälve.



Joon. 87. Sagedusmõõtjad.

97. Võimsusteguri ($\cos \varphi$) mõõtmine.

Väikestes valgustusvõrkudes on $\cos \varphi = 1$; selle mõõtmine ei ole vajalik. Laialdastes võrkudes võib $\cos \varphi$ induktiivse (mootorid jne.) või, harvem, mahtuvusliku (kõrgepingekaablid) koormuse tõttu olla piirides $\cos \varphi = 0,6 \dots 0,9$. Võrdse tegev võimsuse juures [kW-des] suureneb vool amprites, viimasega ühtlasi aga liini ja alternaatori kaod ning pingelang liinis. Võimsustegurit tuleb kontrollida ning tarbe korral parandada kondensaatorite või üleergutatud sünkroonmasinate abil.

Mõõtmine toimub:

a) Kaudselt: Vatt-, volt- ja ampermeetriga. Mõõdetakse võimsus N vattides, pinge U voltides ja vool J amprites. Ühefaasisel voolul

$$\cos \varphi = \frac{N}{U \cdot J}$$

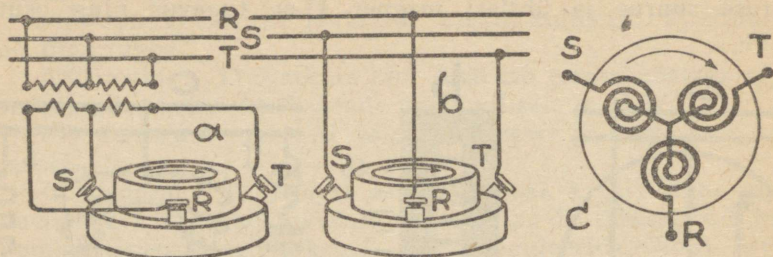
keerdvoolul

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

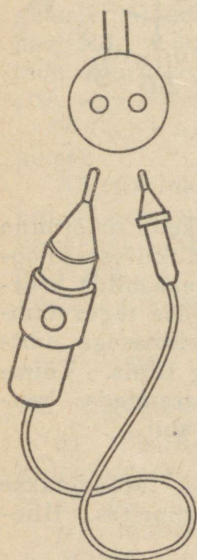
b) Võimsusteguri mõõtjaga: $\cos \varphi$ on otse loetav astmikult. Mõõteriist koosneb, nagu vattmeetergi, voolu ja pinge vooluringidest, ainult siselülitus on teistsugune.

Märkus: Mõnikord, väiksemas seadmes, mõõdetakse $\cos \varphi$ asemel ka reaktiivvoolu — reaktiiv-kW-des või -amprites.

98. Keerdvoolu-suunanäitaja.



Joon. 88. Keerdvoolu-suunanäitaja.



Joon. 89. Proovilamp.

Keerdvoolul saavutab vool tippvoolu järjekorras R-, S- ja T-faasides. Esimese, R-faasi, võib valida vabalt, järgmised kaks on aga siis määratud pöördsuunaga. Viimase kindlaksmääramiseks kasutatakse keerdvoolu-suunanäitajat.

Suunanäitajad töötavad tavaliselt kas induksiooni- või faasinihke põhimõttel. Esimese ehitusskeem on näidatud joonisel 88-c. Kolme tähte ühendatud elektromagneti kohal asetseb pöörlev alumiiniumketas, mille pöördsuund näitab faaside järjekorda.

Vajalik õige RST suuna määramiseks kõrgepinge-arvestitel, majaühenduskaardes, mootoreil jne.

99. Proovilamp.

Väike huumlamp bakeliitkestas (joon. 89). Hakkab helkima ühendamisel kahe pooluse (faasi) või pooluse ja maa vahele (suure tundlikkuse tõttu piisab viimasel juhtumil ühest otsast käega kinnivõtmisest — isegi isoleeralusel, näit. kummi-kalossides).

Alalisvoolul määrab proovilamp ka poolused (helgib ainult miinuselektrood). Sisetakistus ca 100 000 oomi. Üks ja sama lamp on kõlblik ühtviisi pingele 110-st (alalisvoolul 130) kuni 750 voldini.

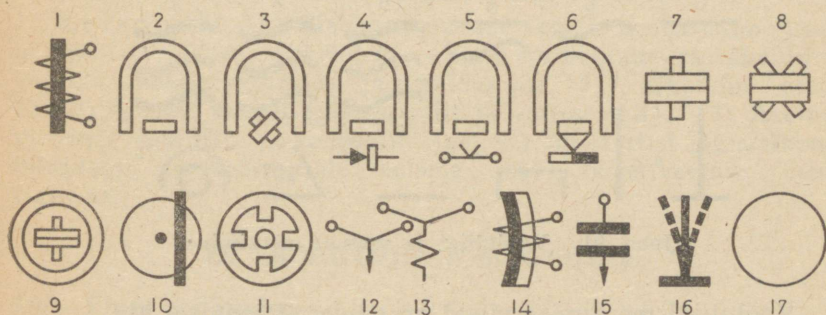
Hädavajalik abinõu installatsioonitööde juures.

VIII. MÕÕTERIISTADE PEALKIRJAD JA MÄRGID.

100. Vajalikud pealkirjad.

Igal mõõteriistal on normide kohaselt märgitud:

Üldiselt: 1) Firma nimetus (või märk). 2) Seeria- (järjekorra-) number (ainult täpseil). 3) Mõõdupiir. 4) Täpsusklass (E, F, G, H või 0/0-des jne.). 5) Voolu liik (alaline, keerdvool). 6) Mõõtesüsteemi ehitus (pehmeraud- jne.). 7) Asetus (püst, viltu, lamav). 8) Proovipinge voltides. 9) Vahelduvvoolul — sagedus; viimane võib ära jääda, kui see on 15...60 per./s. piires. 10) Kui mõõteriist on määratud ühendamiseks mõõte-
trafodega — viimaste ülekanne (näit. 10/5 A; 6 000/100 V jne.). 11) Talitusriistadel rohkem kui kahe klemmi puhul vastav lülitusskeem.



Joon. 90. Mõõtesüsteemi märgid.

Täpseil ampermeetreil: 12) Alalisel: pingelang mV-des; vahelduval: sisetakistus ja induktiivsus 50 per./s. juures.

Täpseil voltmeetreil: 13) Sisetakistus.

Vattmeetreil: 14) Nimipinge. 15) Nimi-voolutugevus.

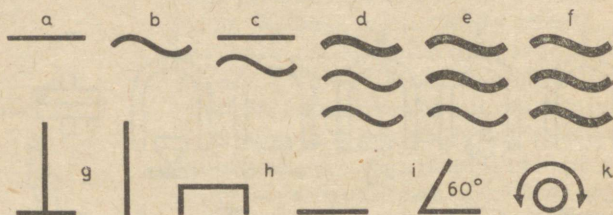
Šuntidel: 1) Firma nimetus. 2) Seerianumber (täpseil). Vahetatavail veel: 3) Täpsusklass. 4) Šundi voolutugevus. 5) Aparaaadi voolutugevus (kui see on üle 0,10/0). 6) Nimi-pingelang (mV).

Eeltakistustel: 1) Firma nimetus. 2) Seerianumber. 3) Aparaaadi mõõdupiir antud takistuse juures. 4) Täpsusklass. 5) Sisetakistus (ainult täpseil, vahetatavail). 6) Proovipinge. 7) Tarbe korral lülitusskeem.

101. Märgid.

Mitmed iseloomustavad andmed on mõõteriista skaalal tähistatud märkidega, nagu näidatud joonisel 90:

1) Pehmeraud-mõõteriist. 2) Pöördpool-mõõteriist. 3) Sama ristpooliga. 4) Sama kuivalaldajaga (vahelduvvoolule). 5 ja 6) Sama termomuundajaga (termoelemendiga) uues (vasakul) ja vanas kujutusviisis. 7) Elektrodünaamiline mõõteriist. 8) Sama ristpooliga. 9) Sama raudkapselduse ja südamikuga (ferrodünaamiline). 10 ja 11) Induktsioon-(ferraris-) mõõteriist uues (vasakul) ja vanas kujutusviisis. 12 ja 13) Kuumustraata-mõõteriist uues (vasakul) ja vanas kujutusviisis. 14) Bimetall-mõõteriist. 15) Elektrostaatiline mõõteriist. 16) Vibratsioon-mõõteriist. 17) Märk raudkapselduse tähistamiseks.



Joon. 91. Vooluliigi ja asetuse märkimine.

Vooluliigi märkimise viisid on näidatud joonisel 91:

a) Alalis-, b) vahelduv- (ühefaasisele) voolule. c) Alalis- ja vahelduvvoolule. d) Keerdvoolule ühe mõõtesüsteemiga (kolmejuhtmeline, ühtlaselt koormatud faasidega). e) Keerdvoolule, kahe mõõtesüsteemiga (ebaühtlaselt koormatud faasidega). f) Keerdvoolule, kolme mõõtesüsteemiga (nulljuhtmega ja ebaühtlaselt koormatud faasidega).

Vooluliigi tähistamiseks kasutatakse inglise ja ameerika riistadel ka tähti: DC — alalisvool ja AC — vahelduvvool.

Asetuse märkimiseks kasutatakse joonisel 91 toodud märke: g) püstiseisev — uus (vasakul) ja vana märkimisviis, h) lamav — uus (vasakul) ja vana märkimisviis, i) viltune.

Osuti nullpunkti asetamise kruvi märk on näidatud joonisel 91-k.

Töö- ja proovipinge märkimiseks kasutatakse skaalal p. 16 kirjeldatud märke.

102. Mõõteriista tellimine.

Mõõteriista tellimisel tuleb üles anda: 1) Nimetus (A-, V-, W-meeter jne.). 2) Mõõdupiir — skaala nimiväärtus (näit. 260 V, 50 A jne.). 3) Võrgupinge. 4) Vooluliik, sagedus. 5) Täpsus või otstarve. 6) Kere ehitus ja mõõdud (näit.: plekist ümarmargune $d = 185$ mm — asetuseks lülituskilbile). 7) Keerdvoolu vattmeetritel koormuse liik (ühtlane, ebahütlane) ja soovitav maksimaalne voolutugevus.

Erijuhtumeil üles anda: 8) Kui mõõteriist on määratud lahus tellitud šundi jaoks — viimase voolutugevus ja pingelang (näit. $60 \text{ mV} \times 1000 \text{ A}$). Täpseil mõõteriistadel soovi korral ka ühendusjuhtmete pikkus — viimaste takistus võetakse normimisel arvesse. 9) Kui mõõteriist on määratud lahus tellitud trafole — viimase ülekanne (näit. $6000/100 \text{ V}$).

Eri soovil: 10) Ülekoormatavuse skaala, anormaalne skaala (näit. $9 \dots 90 \text{ A}$), kahekordne skaala eraldi alalis- ja vahelduvvoolule, skaala voltides ja oomides jne. 11) Ühendus eest. 12) Nullpunkt keskel (pöördpoolil ja vattmeetril). 13) Asetus viltuselt (puldil), — konsoolile jne. 14) Mõõteriist signaalkontaktidega, tippkoormusele seisma jääva kaasaveetava osutiga jne.

IX. KÕRGEPINGE MÕÖTMINE.

103. Pinge mõõtmine.

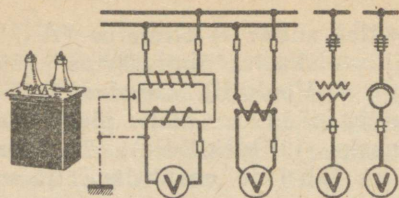
Vahelduvvoolul pingega üle 1000 V ühendatakse voltmeeter üle erilise pingetransformaatori. Voltmeetri skaala jaotus on tehtud vastavalt võrgupingele, kuid mehhanism ainult 100 (või 110) V jaoks.

Alalisvoolu puhul on kolm võimalust:

- 1) Voltmeeter, eeltakistusega, kasutatav ca 15 kV -ni.
- 2) Elektrostaatile voltmeeter.
- 3) Mõõtmine toimub vahelduvvooluga, kasutatav juhtumil, kui alaline kõrgepinge saadakse, nagu enamasti, alaldajast.

104. Pingetransformaator.

Pingetransformaator (pingetrafo, pingereduktor, pingemuutja) kujutab endast harilikku väikest transformaatorit, kuid täpse ülekanne ja väikese magnetilise küllastusega. Ehitus- ja lülituskeem on näidatud joonisel 92.



Joom. 92.
Pingetransformaator.

Pinge primaar-poolel:
nimi-võrgupinge 1, 3, 6,
10, 15 kV jne.

Pinge sekundaar-pool-
el: 100 V (harvem 110 V
või 100/110 V).

Liigpinge (ülepinge):
Pingetrafo talub kestvalt
kuni 20% -seid pingekõi-
kumisi, näit. 3 000/100-V
trafol võib tööpinge tõus-
ta 3 600/120 voldini.

Isolatsioon: Madalamail pingel õhk või isoleermass, kõrge-
mail (alates 5 kV) pingel õli. Õli-isolatsiooniga trafod tuleb
kohale monteerida püstasendis, kuvisolatsiooniga trafode juu-
res ei ole asend oluline.

Isolatsiooni ja dielektriku tugevuse määrab nimi- ja proovi-
pinge.

Võimsus: Igale trafole on märgitud tema nimi- ja maksi-
maalvõimsus, näit. 30/200 VA. Esimene näitab, milleni võib
teda koormata, ilma et täpsus langeks alla ettenähtud % (vt.
p. 110); teine näitab maksimaalset koormust, ilma et trafo soo-
jeneks ohtliku temperatuurini.

Pingetrafole võib lülitada paralleelselt mitu mõõteriista
(voltmeetri, vattmeetri ja arvesti pingemähised jne.). Trafo
valida nii, et tema võimsus ületaks mõõteriistade tarvituse (vt.
p. 111) summa.

Normitud nimivõimsused on: ühefaasistel 5, 10, 15, 30, 45,
60, 90, 120, 150, 180, 240, 300, 450, 600 VA. Kolme faasistel kolm
korda suuremad.

Ülevoolu vältimiseks asetatakse kõrgepinge poolele kõrge-
pinge torukaitsmed, madalpinge poolele — harilikud (näit. dia-
zed) madalpingekaitsmed (maandatud juhe jääb kaitsmata).

105. Voolutugevuse mõõtmine.

Isolatsiooni poolest ampermeetrid ehitatakse tavaliselt töö-
pingele kuni 1 500 V. Kõrgema pingel korral on kaks võimalust:

a) Mõõdetav vool lastakse otse läbi ampermeetri, kuid vii-
mane asetatakse kõrgepingeisolaatorile. Ampermeetri kere tuleb
ühe vooluklemmiga nähtavalt ühendada ja juhusliku külgepuu-

tumise eest kaitsta, sest ta on pingele all; kere tuleb väk-noolega tähistada.

b) Ampermeeter lülitatakse vooluringi kaudselt üle p. 23 ja 106 kirjeldatud voolutransformaatori.

106. Voolutransformaator.

Voolutransformaatori (voolutrafo, voolureduktori, voolumuutja) primaarmähisest lastakse läbi mõõdetav vool, kuna mõõteriistad lülitatakse sekundaarmähisesse. Ehitus- ja lülitusskeem vastavalt joonisele 49. Kõrgemate pingete jaoks ehitatakse voolutrafo peamiselt püüt- (joon. 49-d) või läbiviik-isolaatori kujulised. Viimased paigutatakse mõnikord teiste aparaatide, näit. õlilülitite külge.

Voolu ülekanne: Primaar-poolel 5, 10, 20 jne. (vt. p. 24); sekundaar-poolel 5 A, erandjuhtumil (väga pikkade ühendusliinide korral) ka 1 A.

Ülevool: Iga voolutrafo peab taluma kestvalt 20% ja lühiajaliselt paarikümnekordset ülevoolu. On viimased suuremad (suurjaamade vahenditus läheduses), tuleb see tellimises eraldi tähendada. Harilikult on trafote märgitud voolusuurus kA-des, millist trafo talub 1 sek. vältel ilma ohtliku soojenemiseta (kA therm.) ja ilma mehaanilise ülepingsutusega (kA dyn.).

Isolatsioon ja proovipinged: nagu pingetransformaatoril.

Võimsus: Trafote võib järjestikku (joon. 93) ühendada mitu mõõteriista: ampermeetri, vattmeetri ja arvesti voolumähised, releed jne. Mida suurem on välisahela takistus, seda suurem on transformaatori koormus; on sekundaarmähise otsad lahti, s. o. takistus lõpmatu suur, puuduvad sekundaarahela poolt tekitatavad vastuamperkeerud; seetõttu võib primaarmähise poolt tekitatav magnetvoog ja väljatihedus niivõrd suurenedada, et trafo raudsüdamik kuumeneb üle lubatava piiri. Igale trafote on märgitud oomides välistakistuse nimi- ja maksimaalsuurused (näit. 0,2/10Ω). Esimene näitab, milleni võib trafote koormata, ilma et täpsus langeks alla p. 110 märgitud %-i, teine koormust 10%-se vea juures. Trafo tuleb valida nii, et mõõteriista ja ühendusjuhtmete kogutakistus ei ületaks lubatud nimitakistust. Mõnikord on võimsus antud ka vattides või voltamprites; N (vattides) = $J^2 R$, kus J on sekundaarvool (A) ja R välisahela takistus (Ω). Normitud nimitakistused on: 0,2, 0,6 ja 1,2 oomi.

Mõnikord, eriti suuremate võimsuste korral, ehitatakse voolutrafo ka kahe või rohkema sekundaarmähisega — eraldi mõõteriistadele ja eraldi releedele.

Töötava voolutrafo otsi, vastandina pingetrafole, ei või kunagi ühendamata (lahti) jätta; mõõteriistade puudumisel ühendada need lühisesse, muidu transformator kuumeneb ning võib suurte voolude juures tekitada sekundaarpoolel hädaohtlikult kõrge pinge. Voolutrafo sekundaarringi mitte asetada kaitsmeid!

107. Võimsuse ja energia mõõtmine.

Mõõtmine toimub vastavalt joonistel 52, 54, 79 ja 81 toodud skeemidele, selle erandiga, et vool ja pinge ei lasta mõõteriista mitte otseselt, vaid kaudselt, üle mõõtetrafode. Mõõteriista läbib ainult sekundaarvool.

Skaala jaotused võivad olla:

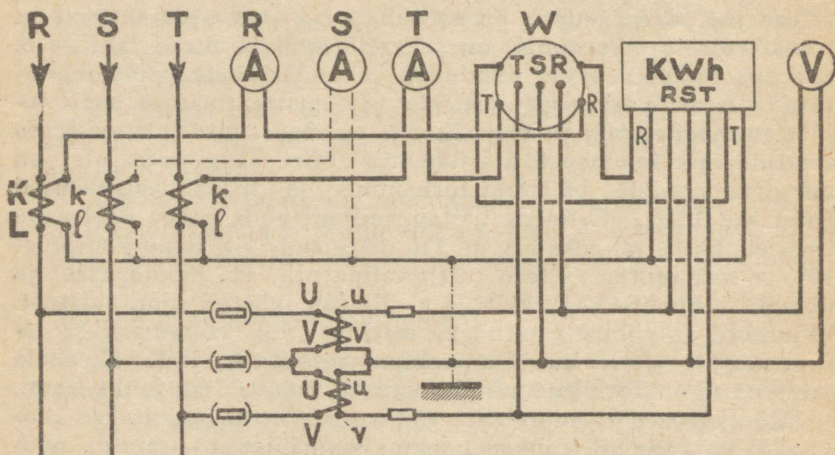
1) Vastavalt primaarvoolule, s. o. võimsus on otseselt loetav astmikult. Säärasel juhtumil on mõõteriista skaalal või sildil märgitud trafode ülekanne (näit. 100/5 A ja 3 000/100 V). 2) Vastavalt 5 A-le ja 100 voldile. Sel juhtumil tuleb hälvet korrutada pinge- ja voolutrafode ülekandega (näit. 100/5 A ja 3 000/100 V juures 20 ja 30-ga).

Esimene on kasutusel peamiselt talitus-, teine laboratooriumitüüpide juures.

108. Keerdvoolu mõõtmine.

Mõõteriistade lülitamist keerdvooluvõrku näitab joon. 93.

a) Pingetrafo: Vattmeetri ja voolumõõtja jaoks kasu-



Joon. 93. Kõrgepinge-keerdvoolu mõõtmine.

tatakse harilikult kahte ühefaasist pingetrafot V-lülituses (joon. 93 ja 94-a).

On vaja mõõta pingeid kõige kolme faasi ja maa vahel, ühendatakse kolm samasugust tähte (joon. 94-b).

Kahe või kolme üksiku ühefaasise pingetrafo asemel võib kasutada ka ühte kolmefaasist. Vajatakse pinget ainult vattmeetri, vooluarvesti jne. toiteks või pinge mõõtmiseks faaside vahel — võib tähendatud trafo olla kolme südamikuga; on vaja mõõta pinget ka faaside ja maa vahel — tuleb kolmefaasine trafo võtta viie südamikuga või kasutada kolme ühefaasist. Mõõteriistad jäävad kõigil ülaltähendatud juhtumel samadeks.

b) **Voolutrafod:** Vattmeetri ja vooluarvesti jaoks kaks voolutrafot. Soovitakse voolu mõõta täpselt, kõiges 3-es faasis, tuleb kasutada kolme voolutrafot (joon. 93 punktiiris).

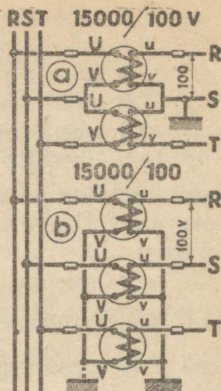
Ühendused tuleb teha täpselt skeemi järgi. Faaside või juhtmete järjekorra vahetamisel arvesti kas käib tagurpidi, seisab või valetab, kusjuures vea $\%$ oleneb $\cos \varphi$ -st. Sama nähtus esineb ka pingetrafoade kaitsmete läbipõlemisel.

109. Maandus.

Mõõtetrafode kered tuleb alati maandada. Samuti tuleb maandada sekundaarmähise üks poolus, kas otseselt või üle läbilöögikaitsme. Täht- ja V-lülituse juures maandatakse nullpunkt. Kõrgepingetuhtneil maandatakse ainult tähesühendatud pingetrafoade nullpunkt, ja ainult juhtumil, kui soovitakse kontrollida pinget (isolatsiooni) juhtmete ja maa vahel (joon. 94-b). Maanduseks on vaskjuhe ristpinnaga 16 mm^2 või raudjuhe ristpinnaga 50 mm^2 .

110. Täpsus.

Vastavalt täpsusele jagunevad mõõtetrafod alljärgnevasse klassidesse:



Joon. 94. Pingetransformaatorite lülitus keerdvooluvõrgus.

- kl. 0,2 täpseiks mõõtmisteks laboratooriumides,
- „ 0,5 mõõtmiseks laboratooriumis ja proovisaalis täpse arvestiga,
- „ 1,0 mõõtmiseks tavalise arvestiga,
- „ 3,0 ampermeetreile, releedele,
- „ 10 lihtsaile ülevoolureleedele.

Klassi number näitab lubatud maksimaalset vea $\frac{0}{0}$ -i 1... $\frac{1}{4}$ -koormusel. Ülekoormusel, samuti väiksemal koormusel, vea $\frac{0}{0}$ -tõuseb.

111. Mõõteriistade energiatarvitus.

a) Pingemähises:

Voltmeeter, pehmeraud-, läbimõõduga	
135—185 mm	5—10 VA
Voltmeeter, üle 225 mm ja registreeriv	10—25 „
Vattmeeter, ferrodünaamiline, ühes faasis	2—6 „
Arvesti, ühes faasis	0,8—1,6 „
Relee, nullpinge-, maaühenduse-	6—12 „

b) Voolumähises:

Ampermeeter, pehmeraud-, 135—225 mm	1,5—2,5 „
„ registreeriv	7,5 „
Vattmeeter, ferrodünaamiline, ühes faasis	3—4 „
Arvesti ühes faasis	1,5—2 „
Relee, kiir-, ülevoolu- ,	5 „
„ aeg-piduriga	15 „
Ühendusjuhtmed, 2,5 mm ² , 1 m kohta	0,2 „

112. Energia mõõtmine transformaatori alajaamas.

Kõrgepinge jaotusvõrkudes toimub energia müük tihti transformaatori alajaamades. Energia mõõtmiseks on sel juhtumil kolm viisi:

a) Kõrgepingepoolel, vastavalt p. 108. See meetod on ehituselt kulukas, nõuab suhteliselt palju ruumi ja suuremat oskust ülesseadmisel; pingeahela kaitsmete läbipõlemisel mõõteriistad näitavad valesti. Kasutatakse suuremate võimsuste juures, tavaliselt 100 kW-ist ülespoole, võimsustel alla 100 kW on madalpingepoolel mõõtmine soovitatavam.

b) Madalpingepoolel, tavalise kWh-arvestiga. Transformaatori kaod arvestatakse eraldi juurde.

Näide: 20-kW transformaatore-alajaamal:

1) Energiat tarvitatud arvesti järgi	2252 kWh
2) Tühijooksu- (rauas) kaod kuu vältel	
210 W×720 tundi =	151 „
2) Koormus-(vases-)kaod $2252 \times 1\%$	22 „

Kokku kuu vältel 2425 kWh

Transformaatori kadude andmed saab vastavaist tabeleist, firmalt või mõõtmisega.

Kui alajaam töötab vaheaegadega (näiteks tööstused ööseks väljalülitatava transformatoriga), tuleb üles seada p. 86 kirjeldatud eriline ühefaasine arvesti, mis loetleb töötunde (ajalugeja).

c) Mõõtmine osaliselt kõrgepinge poolel: voolutrafo kõrgepinge poolel, pingega võetakse jõutrafo madalpinge klemmidelt. Vähemsoovitav kui eelmine moodus, kuna viga on pingelang ja faasi nihkenurga tõttu suurem.

113. Mõõtetrafode pealkirjad.

Mõõtetrafol on normide kohaselt märgitud:

1) Firma nimetus või märk. 2) Järjekorra number. 3) Nimi- ja proovipingega (näit. 20/64 kV). 4) Sagedus. 5) Täpsusklass (näit. kl. 0,5). 6) Soovi korral tüüp ja ehitus.

Lisaks sellele on märgitud:

Voolutrafol:

7) Nimivoolu tugevus primaar- ja sekundaarahelas (näit. 20/5 A). 8) Maksimaalne voolutugevus (näit. 1,5 kA therm.). 9) Nominaalne ja maksimaalne lubatud välistakistus (näit. 0,2/10 oomi).

Pingetrafol:

10) Ülekanne — primaar- ja sekundaarpinge (näit. 15 000/100 V). 11) Võimsus, nimi- ja maksimaalne.

ELEKTRIMAJANDUSE PERSPEKTIIVIDEST.

NSV Liidu rahvamajanduse taastamise ja arendamise viie aasta plaani seaduses 1946.—1950. a. kohta on toodangu ja kapitali ehituse suurendamise kavast elektrofiteerimise alal peale muu ette nähtud forsseerida elektriijaamade taastamist ja ehitamist nõnda, et elektriijaamade võimsuse kasv jõuaks ette teiste tööstusharude taastamisest ja arendamisest. Luua energiasüsteemides alaline võimsuse reserv, mis kindlustab elektrienergia kõrge kvaliteedi, ära hoides elektriijaamade töötamist ette-

nähtust madalama sagedusega. Kindlaks määrata elektrienergia toodang 1950. aastaks 70% võrra suuremana kui 1940. aastal. Taastada täielikult elektrijaamad okupatsiooni all olnud rajoonides ja lasta kõigis NSV Liidu elektrijaamades viisaastaku jooksul käiku 11 700 000 kilovatti, viies elektrijaamade kindlaksmääratud võimsuse 1950. aastal 22 400 000 kilovattini. Arendada hüdroelektriijaamade ehitamist, kindlustades hüdroelektrienergia erikaalu igakülgset tõstmist elektrienergia tootmise alal rahvamajanduses. Arendada laialdaselt töid kohaliku tähtsusega hüdroelektriijaamade taastamise ja ehitamise alal, kasutades selleks ära esmajoones olemasolevad paisud. Kindlustada 1 000 000-kilovattilise võimsuse rakendamine väikestes hüdroelektriijaamades. Taastada Tallinna soojus-elektrijaam ja elektrivõrk. Kindlustada individuaalse automatiseeritud elektrilise transmissiooni laialdast rakendamist tööstuses ja teostada järk-järgult üleminek elektritransmissioonidele, mis on töömasinate täidesaatvate mehhanismidega orgaaniliselt seotud. Laiendada elektritehnoloogia rakendamist kergete ja värviliste metallide, legeeritud terase ja keemiasaaduste tootmisel ning metalli ümbertöötamisel. Tööstuse edasise elektrifitseerimise kõrval üle minna raudteetranspordi ja põllumajanduse laiaulatuslikumale elektrifitseerimisele. Kindlustada maal massilist väikeste hüdroelektriijaamade, tuulejaamade ja soojus-elektriijaamade ehitamist lokomobiil- ja gaasigeneraatormootoritega. Võtta laialdaselt tarvitusele elektriijaamades uusimat energeetikatehnikat — rakendada kõrge survega ja kõrge temperatuuriga auru, uusimaid soojusturbiine ja kõige uuemat tüüpi katlaid, generaatoreid ja kõrgepingelist aparatuuri. Arendada laialdaselt elektriijaamade ja elektrivõrkude tootmisprotsesside automatiseerimise töid.

Plaani liiduvabariikide rahvamajanduse taastamise ja arendamise puutuv osas on ette nähtud kinnitada Eesti NSV 1950. a. elektrienergia tootmisplaan 395 000 kWh ulatuses. Taastada ja tegevusse rakendada elektrijaamu koguvõimsusega 92 000 kW. Taastada elektrimootorite tehas ning palju teisi tehaseid, vabrikuid ja tööstusi. Ehitada ja tegevusse rakendada põlevkivist gaasi tootmise tehased, mis kõik on suuremal või väiksemal määral varustatud elektriseadmetega. Samuti vajavad elektriseadmeid ka põllu- ja karjamajandus, taastatavad kultuuri- ja tervishoiuasutised ning taastatavad linnad, asulad ja elamud.

Seega seab NSV Liidu rahvamajanduse taastamise ja arendamise viie aasta plaan elektrimajanduse arendamisele grandioossed ülesanded, suured nõuded ning avarad võimalused.

S I S U K O R D.

	Lk.
Lühendid ja märgid	3
Matemaatilised märgid	6
Kreeka tähtede hääldamine	6
Mõõduühikute kümnendikosade ja kümnekordsete suuruste märgid	6
 ESIMENE OSA. ELEKTRITEOORIA.	
I. Üldmõisted	7
1. Elektrilaeng. 2. Juhtmed ja isolaatorid. 3. Pinge U. Elektromotoorne jõud E. Volt V. 4. Elektrivool J. Amper A. 5. Elektri- hulk Q. Kulon C. 6. Takistus R. Oom Ω . 7. Elektrivoolu mõju. 8. Vooluliigid. 9. Elektri voolamine juhtmeis. 10. Elektrienergia saamine.	
II. Alalisvoolu ahel	12
11. Alalisvool. 12. Oomi seadus. 13. Eritakistus. 14. Takistuse arvutamine. 15. Takistused elektrotehnikas. 16. Võimsus N. Vatt W. 17. Töö A. Kilovatt-tund kWh. 18. Energia. 19. Kasu- tegur. 20. Vooluallikate (elektrienergia allikate) ühendamine. 21. Takistuste (voolutarvitajate) ühendamine. 22. Pingelang. 23. Voolutarvitaja vastuelektromotoorse jõuga. 24. Joule'i (džauli) seadus.	
III. Magnetism	22
A. Permanent-magnetid. 25. Magnet. 26. Magneti jõujooned, magnetväli, -voog. 27. Per- manent-magnetite kasutamine.	
B. Elektromagnetid. 28. Solenoid. 29. Magnetiline induksioon. 30. Magneetamise kõverad. 31. Remanents, hüsterees. 32. Elektromagnetid tehnikas.	
IV. Magneto-elektriline induksioon	27
A. Induksioon püsivas magnetväljas. 33. Elektri indutseerimine. 34. Kestva voolu saamine.	
B. Omainduksioon (endainduktsioon). 35. Omainduksiooni mõiste. 36. Omainduksiooni suurus. 37. Induktiivsuste liitmine.	
C. Vastastikune induksioon. 38. Mõiste. 39. Sädeinduktor alalisvoolule. 40. Transformaator. 41. Pöörivoolud.	

V. Vooluga juhe magnetväljas (elektrodünaamilised jõud)	33
42. Liikumise tekitamine. 43. Traadikeerd magnetväljas. 44. Liikumise kiirus. Vastuelektromotoorne jõud. 45. Vooluga juhtmete vastastikune mõju. 46. Juhtmete kaasatõmbamine liikuva magnetvälja poolt.	
VI. Elektrostaatika	36
47. Elektriväli. 48. Kondensaator. 49. Kondensaatori mahtuvus C. Farad F. 50. Dielektriline juht. 51. Kondensaatori omadused. 52. Kondensaatorid tehnikas.	
VII. Vahelduvvoolu teooria	39
A. Ühefaasine vool.	
53. Vahelduvvool. 54. Sagedus. 55. Efektiivne pingeline ja efektiivvoolu tugevus. 56. Aktiiv- ehk tegevtahtistus vahelduvvoolu ahelas. 57. Induktiivne tahtistus vahelduvvoolu ahelas. 58. Kondensaator vahelduvvoolu ahelas. 59. Näivtahtistus. 60. Vahelduvvoolu võimsus. 61. Võimsustegur. 62. Vahelduvvoolu töö (energia). 63. Vektordiagramm. 64. Reaktiiv-võimsus.	
B. Vönkeringid.	
65. Vönkering. 66. Pingeresonants-ahel. 67. Vooluresonants-ahel.	
C. Mitmeefaasised voolud.	
68. Kahefaasine vool. 69. Kolmeefaasine vool — keerdvool. 70. Keerdvoolu võimsus ja töö (energia). 71. Keerlev magnetväli. 72. Keerdvälja tekitamine ühefaasise vooluga. 73. Nihkevälgi.	
VIII. Elektrokeemia	54
74. Elektrolüüs. 75. Elektrolüüsi seadused. 76. Elektrolüüsi teooria. 77. Elektrolüüdi eritahtistus. 78. Elektrolüüs kuumades sulamites. 79. Polarisaatsioon. 80. Elektrolüüs tehnikas. 81. Elektriline süntees.	
IX. Elektrivool dielektrikus	57
82. Sissejuhatus. 83. Mõjutatud vool gaasides. 84. Elektrivool vaakuumtorus. 85. Iseseisev elektrivool normaalrõhuga gaasides. 86. Elektrivool hõredas õhkkonnas. 87. Elektrivool vedelikes ja tahketes dielektrikes.	
X. Muutuvad voolud	61
88. Üldmõistest. 89. Vooluahel mahtuvuseta. 90. Vooluahel induktiivsuse ja mahtuvusega. 91. Elektri levimine mööda pikki juhtmeid. 92. Elektromagnetilised lainet.	

TEINE OSA. MÕÖTMISTEHNKA.

I. Elektrimõõtmisest üldiselt	64
1. Mõõtmise eesmärk. 2. Mõõtmisviisid. 3. Mõõteriistade liigid.	

II. Ampermeetrid.

4. Ülesanne. 5. Pehmeraudo-ampermeeter. 6. Pöördpool-ampermeeter. 7. Pöördpool-ampermeeter aladajaga. 8. Pöördpool-ampermeeter termomuundajaga. 9. Kuumustraato-ampermeeter. 10. Bimetall-ampermeeter. 11. Elektrodünaamiline ampermeeter.

12. Induktsioon- (Ferraris'e) ampermeeter. 13. Polariseeritud pehmeraud-ampermeeter. 14. Mõõtmise täpsus. 15. Ülekoormatavus. 16. Isolatsioon ja pinged. 17. Mõõtesüsteemi laagrid. 18. Summuti. 19. Osuti ja astmik (skaala). 20. Väliskesta (kere, korpuse) ehitus. 21. Suure voolutugevuse mõõtmine. 22. Sünt. 23. Voolutransformaator. 24. Mõõdupiirkond. 25. Ampermeetrid eriotstarbeks. 26. Normimine.

III. Voltmeetrid 75

27. Ülesanne. 28. Pehmeraud-voltmeeter. 29. Pöördpool-voltmeeter. 30. Kuumustraaf-, elektrodünaamiline ja induktsioon-voltmeeter. 31. Elektrostaatiline voltmeeter. 32. Ehitus ja täpsus. 33. Mõõdupiirkond.

IV. Vattmeeter 76

34. Vattmeetri ülesanne. 35. Dünaamiline vattmeeter. 36. Induktsioon- (Ferraris'e) vattmeeter. 37. Vattmeetri lülitus. 38. Ehitus. 39. Mõõduulatus. 40. Keerdvoolu võimsuse mõõtmine. 41. Võimsuse mõõtmine kWh-arvesti (vooluarvesti) abil.

V. Takistuste mõõtmine 81

A. Mõõtmisviisid.
 42. Volt- ja ampermeetriga. 43. Normaaltakistuse ja voltmeetriga. 44. Normaaltakistuse ja ampermeetriga. 45. Wheatstoni (uiststoni) sild. 46. Thomsoni sild. 47. Oommeeter ristpooliga.
 B. Isolatsiooni mõõtmine.
 48. Isolatsioon. 49. Isolatsiooni kontroll maandatud voltmeetriga. 50. Isolatsiooni mõõtmine voltmeetriga. 51. Pöördpool-oommeeter üldiselt. 52. Oommeeter patareiga. 53. Oommeeter väntinduktoriga (megger, megoommeeter). 54. Oommeeter vibraator-muundajaga. 55. Juhtnöörid isolatsiooni mõõtmiseks. 56. Maandustakistuse mõõtmine.
 C. Isolatsioonirikete leidmine.
 57. Siseinstallatsioonid. 58. Ohuvõrgud. 59. Kaabelliin. 60. Lühis kaabelliinis.

VI. Energia mõõtmine 93

A. Sissejuhatus.
 61. Arvestite tüübid. 62. Numeratuur. 63. Vool. Pinged. Ülekoormatavus. 64. Täpsus. Viga. 65. Laagrid.
 B. Ühefaasised vahelduvvoolu arvestid.
 66. Tööviis. 67. Ajarsüsteemi ehitus. 68. Kasutamine ja lülitused. 69. Tehnilised andmed ja omadused.
 C. Keerdvoolu arvestid.
 70. Ehitus ja lülitused. 71. Keerdvoolu mõõtmine ühefaasiste arvestitega.
 D. Alalisvoolu ampertunni arvestid.
 72. Tööviis. 73. Kasutamine ja lülitused. 74. Tehnilised andmed.
 E. Alalisvoolu vatt-tunni arvestid.
 75. Ehitus ja tööviis. 76. Kasutamine ja lülitus. 77. Tehnilised andmed ja omadused.
 F. Alalisvoolu arvestid eriehitusega.

78. Elektrolüütiline ampertunni arvesti. 79. Ostsilleeriv vatt-tunni arvesti. 80. Võnkuv (pendel-) arvesti.

G. Arvestid eriotstarveteks ja eritariifidele.

81. Mitmetariifilised arvestid. 82. Rabatt-arvestid. 83. Tippkoormuse arvesti. 84. Arvesti maksimaalse koormuse näitajaga. 85. Arvesti vahelduvale energia suunale. 86. Voolutarvituse kestuse arvesti (ajalugeja). 87. Arvestid rahakasseerimise automaadiga. 88. Reaktiiv- ja näivvõimsuse arvestid. 89. Voolutugevuse-piirajad.

H. Vooluarvesti käsitus.

90. Arvesti silt. 91. Arvesti suuruse valik. 92. Arvesti monteerimine. 93. Korrastus. 94. Normimine. 95. Arvestite vigu.

VII. Mõõteriistad eriotstarveteks 112

96. Sageduse mõõtmine. 97. Võimsusteguri ($\cos \varphi$) mõõtmine. 98. Keerdvoolu suuna-näitaja. 99. Proovilamp.

VIII. Mõõteriistade pealkirjad ja märgid 115

100. Vajalikud pealkirjad. 101. Märgid. 102. Mõõteriista tellimine.

IX. Kõrgepinge mõõtmine 117

103. Pinge mõõtmine. 104. Pingetransformaator. 105. Voolutugevuse mõõtmine. 106. Voolutransformaator. 107. Võimsuse ja energia mõõtmine. 108. Keerdvoolu mõõtmine. 109. Maandus. 110. Täpsus. 111. Mõõteriistade energiatarvitus. 112. Energia mõõtmine transformaatori alajaamas. 113. Mõõtetrafode pealkirjad.

Elektrimaanduse perspektiividest 128

Vastutav toimetaja A. Põdrus.

Ladumisele antud 19. V 1946. Trükkimisele antud 15. X 1946. Trükiarv 2800 eks. Paber 56×79, 1/16. Trükipoognaid 8. Trükitähti trükipoognas 42944. Arvutuspoognaid 9,3. MB 06372. Tellimise nr. 1364. Trükikoda „Tartu Kommunist“, Tartu, Ülikooli 21/23.

На эстонском языке.

A. Пыдрус. Теория электричества и техника измерений.

RBL. 7.—

A-16202
A

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00541057 8