ELEKTROMONTAAŽ I

ELEKTRITEOORIA
JA
MÕÕTMISTEHNIKA

A. PÕDRUS

RK

„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS“
TALLINN
1949

ELEKTROMONTAAŽ

I

ELEKTRITEOORIA JA MÕÕTMISTEHNIKA

A. PÕDRUS

Kaasa töötanud R. KULBAS

RK

„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS"

TALLINN 1949

Peatükid: A-I. Elektri üldmõisted, A-II. Magnetism ja A-IV. Elektrostaatika on täiendatud R. Kulbase poolt.

TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU

ARHIIVKOGU

EESSÕNA.

Tänapäeva elu puutub igal sammul kokku elektrotehnikaga ja selle rakendusaladega. Elektrit on rakendatud ruumide valgustamiseks, tema abil käitatakse mitmekesiseid masinaid ja aparaate koduses majapidamises, elektri abil on võimalik sidepidamine kauguste tagant. Aga ka meelelahutuse osas pakub elektri rakendamine laialdasi võimalusi helikino, ringhäälingu ja muude vahendite näol. Veel suuremaid elektrienergia koguseid vajab tööstus jõumasinate toiteks, soojendamiseks, mitmete keemiliste protsesside teostamiseks jne. Sugugi mitte väikesel määral pole elektrit rakendatud ka põllumajanduses ja muudel elualadel. Kõik see tingib laiaulatusliku elektrijaamade ja ülekandeliinide võrgu vajadust.

Seda elektrimajanduse suurt tähtsust on hinnanud Üleliiduline Kommunistlik (bolševike) Partei ja tema geniaalne looja V. I. Lenin juba ajal, mil elektrotehnika ei omanud veel kaugeltki seda tähtsust, mida ta omab tänapäeval. Varsti pärast Suurt Sotsialistlikku Oktoobrirevolutsiooni — nõukogude võimu esimesil aastail — seadis V. I. Lenin ülesande riikliku elektrifitseerimisplaani koostamiseks, mis pidi täidetama 10—20 aastaga. Tema initsiatiivil ja juhtimisel ning eesrindlike nõukogude elektroenergeetikute ja elektrotehnikute osavõtul koostati 1920. aastal kõikjal tuttavaks saanud GOELRO-plaan. See plaan nägi ette 10—15 aasta vältel rajada üle riigi 30 suurt elektrijaama koguvõimsusega 1750 tuhat kW. Ehkki see plaan kujutas endast tolleaegsel tehnika arenguastmel ennenägematult jõulist ning kiiret elektrifitseerimise projekti ja ehkki selle plaani teostamiseks puudus vajalik tehniline baas, mis tuli alles

luua, täideti ta oma põhiosas 10 aastaga. See sai võimalikuks tänu seltsimees Stalini juhtimisele ja bolševike partei poolt suunatavate töötajate masside entusiasmile.

Stalinlike viisaastakute jooksul on elektrotehnika Nõukogude Liidus arenenud hiiglasammul ja see areng toimub pidevalt. Sellele arengule on pannud aluse esiteks nende kuulsate vene teadlaste töö, kes tsaari-Venemaa poliitilisest ja majanduslikust mahajäävusest tingitud surutud õhkkonnast hoolimata suutsid luua alused reale elektrotehnika aladele, ja teiseks märksa suurem arv nõukogude teadlasi ja tehnikainimesi, kes nõukogude korra hoolitsevais ja soodustavais tingimustes on järjest laiendanud elektrotehnika teoreetilisi aluseid, on leidnud talle uusi rakendusalasid ja loonud uusi konstruktsioone, aparaate ning seadmeid. Neist uurijatest ja loojatest saab siinkohal ruumipuudusel mainida vaid üksikuid. Juba enne galvaanilise elektrivoolu tundmist tegutses staatilise elektri ja välgu uurimise alal vene füüsik M. V. Lomonossov. Elektrilise leeklahenduse (mis on saanud tuttavaks volta kaare nime all) leiutas vene füüsik V. V. Petrov. Praktilise tähtsuse sellele andis elektri-leeklambi leiutaja P. N. Jablotškov. Tänapäeva elektervalgustuses kõikjal kasutamist leidev hõõglamp on esimesena loodud A. N. Lodõgini poolt. Vene Teaduste Akadeemia liige ning Peterburi ülikooli professor E. H. Lentz teostas põhjapanevaid uurimisi elektromagnetilise induktsiooni alal (tema nime kandev reegel on üldtuntud) ja avastas elektrilise takistuse sõltuvuse temperatuurist. Mitmekülgne vene akadeemik ning omaaegne Tartu ülikooli professor B. S. Jacobi avastas galvanoplastika, ehitas esimesena elektrimasina mudeli ja ka kaugtrükkiva telegraafiaparaadi. Transformaatori leiutajaks tuleb pidada vene teadlast I. F. Ussaginit ja kolmefaasise asünkroonmootori leiutajaks M. O. Dolivo-Dobrovolskit. Üldtuntud teadlaseks elektrotehniliste mõõtühikute loomise alal on vene professor A. G. Stoletov.

Arvestades elektrotehnika suurt tähtsust tänapäeval ja elektriseadmete laialdast levikut, on nende hea tundmine ilm-

tingimata vajalik. Nende seadmete õige käsitsemine ja nende töö teoreetilise külje tundmine on endastmõistetavalt üheks tähtsamaks teguriks tööviljakuse ja töökvaliteedi tõstmisel. Seepärast osutub vajalikuks levitada elektrotehnika teadmisi töötajate massides, et anda neile tõhusat alust relvastumisel kaasaegse tehnikaga.

Käesolev raamat taotleb anda võimalikult lihtsas vormis ja konkreetsel kujul algteadmisi elektriteooriast ja elektrienergia praktilisest rakendamisest. On püütud esitada teoreetilisi aluseid seotuna praktiliste näidetega ja ülesannetega, niipalju kui seda võimaldab raamatu maht. See võimaldab lugejal mitte ainult omandada hädavajalikke teoreetilisi teadmisi, vaid ka oskust rakendada neid teadmisi lihtsamate praktiliste ülesannete lahendamisel. Nii peaks käesolev raamat andma tõhusat abi meie tööstuste töötajaile oma kvalifikatsiooni tõstmisel ja töö ratsionaliseerimisel, samuti õppivale noorsoole elektrotehniliste eriainete õppimisel.

Lühendid ja märgid.

Mõõtühikud ja nende osad		Mõisted	
Lühend	Nimetus	Leppemärk	Nimetus
V	volt	U	pinge, potentsiaalide vahe
mV	millivolt	u	pinge hetkväärtus
μV	mikrovolt	E	elektromotoorne jõud
kV	kilovolt	e	elektromotoorse jõu hetkväärtus
		ΔU	pingelang, pingemuutus
%		p	suhteline pingelang või -muutus
A	amper	J	vool
mA	milliamper	i	voolu hetkväärtus
μA	mikroamper		
kA	kiloamper		
A/cm^2	amprit ruutsentimeetrile	j	voolutihedus
A/mm^2	amprit ruutmillimeetrile		
C, As	kulon (ampersekund)	Q	elektrihulk (-laeng)
Ah	ampertund (3600 C)		
W	vatt	N	võimsus
mW	millivatt	ΔN	võimsuskadu
kW	kilovatt		
MW	megavatt		
VA	voltamper		
kVA	kilovoltamper		
mkg/s	meeterkilogr. sekundis		
HJ	hobujõud (75 mkg/s)		
W/cm^2	vatti ruutsentimeetrile	C	pinnakoormus
		φ	faasi nihkenurk
		cos φ	võimsustegur
		η	kasutegur
J, Ws	vattsekund (džaul)	A	töö, energia
Wh	vatt-tund		
kWh	kilovatt-tund		
MWh	megavatt-tund		
mkg	meeterkilogramm		
HJh	hobujõutund		
cal	kalor	Q	soojushulk
kcal	kilokalor	c	erisoojus
M	maksvell (10^{-8} Vs)	Φ	magnetvoog
G	gauss (10^{-8} Vs/cm^2)	B	väljatihedus
Oe	örsted (10/4π A/cm)	H	väljatugevus
Gb	gilbert (10/4π A)	F	magnetomotoorne jõud

Mõõtühikud ja nende osad		Mõisted	
Lühend	Nimetus	Leppemärk	Nimetus
H/cm	henri sentimeetrile	μ	magnetiline läbitavus
„	„	μ_o	vaakumi magnetiline läbitavus
—	—	μ_r	permeaablus, suhteline läbitavus
H	henri	L	induktiivsus
mH	millihenri	M	vastuinduktiivsus
μH	mikrohenri		
cm	sentimeeter (0,001 μH)		
V/cm	volti sentimeetrile	E	väljatugevus, elektriline
C/cm^2	kulonit ruutsentimeetrile	D	dielektriline nihe
F	farad	C	mahtuvus
μF	mikrofarad		
pF	pikofarad (0,9 cm)		
cm	sentimeeter (1,11 pF)		
F/cm	farad sentimeetrile	ε	dielektriline nihkekonstant
„	„	ε_o	vaakumi nihkekonstant
—	—	ε_r	dielektriku-konstant
mV/m	millivolti meetrile		
μV/m	mikrovolti meetrile		
Hz, p/s	herts, perioodi sekundis	f	sagedus
kHz	kiloherts		
MHz	megaherts		
		ω	ringsagedus ($2\pi f$) (nurkkiirus)
Ω	oom	R	tegevtakistus, elektriline
mΩ	millioom	G	juhtivus ($1/R$)
kΩ	kilo-oom	X_L	induktiivtakistus
MΩ	megoom	X_C	mahtuvustakistus
		X	ebatakistus, reaktiivtakistus
		Z	näivtakistus (impedans)
Ωmm^2/m		ϱ	eritakistus
m/Ωmm^2		λ	erijuhtivus ($1/\varrho$)
^{0}C	Celsiuse kraad	t	temperatuur
^{0}K	Kelvini kraad	T	absoluut-temperatuur ($t+273$)
		τ	ületemperatuur
		α	temperatuuritegur

Mõõtühikud ja nende osad		Mõisted	
Lühend	Nimetus	Leppemärk	Nimetus
Lm	luumen	Φ	valgusvoog (J/ω)
DLm	dekaluumen (10 Lm)		
Lx	luks	E	pinnavalgustus (Φ/S)
Sb	stilb	B	pinnaheledus (J/S)
K	küünal	J	valgusetugevus
Lmh	luumentund	Q	valgushulk (Φt)
μbar	mikrobar	p	hääle surve
W/cm^2	vatti ruutsentimeetrile	J	hääle intensiivsus
W/cm^3	vatti kuupsentimeetrile	W	hääle energiatihedus
db	detsibell	E	hääle valjus
phon	foon		
g	gramm	m	mass
kg	kilogramm	P	jõud, tung
t	tonn	G	kaal, raskus
at	atmosfäär	p	rõhk
g/cm^3	gramm kuupsentimeetris	γ	erikaal
kg/dm^3	kilogramm kuupdetsimeetris		
h	tund	t	aeg
m., min.	minut	T	periood
s, sek.	sekund		
m	meeter	l	pikkus
dm	detsimeeter	b	laius
cm	sentimeeter	h	kõrgus
mm	millimeeter	a	kaugus, vahemaa
km	kilomeeter	$D, d, \varnothing$	läbimõõt
„	toll (25,4 mm)	R, r	raadius
		λ	lainepikkus
a	aar (100 m^2)	S	pindala
ha	hektaar (100 a)	q	juhtme ristlõige
m^2	ruutmeeter		
dm^2	ruutdetsimeeter		
cm^2	ruutsentimeeter		
mm^2	ruutmillimeeter		
l	liiter (dm^3)	V	ruumala, maht
cm^3	kuupsentimeeter		
m^3	kuupmeeter		
		$\alpha, \beta, \gamma \ldots$	nurk
m/s	meetrit sekundis	v	kiirus
km/h	kilomeetrit tunnis		
m/s^2	meetrit sekundruudus	g	vabalangemise kiirendus
kg/mm^2	kilogrammi ruutmillimeetrile	σ	mehaaniline pinge

Mõõtühikud ja nende osad		Mõisted	
Lühend	Nimetus	Tähe-märk	Nimetus
kg/cm²	kilogrammi ruutsenti-meetrile		
kgm	kilogramm-meeter	M	moment (jõud × õla pikkus)
r/min.	ringi minutis	n	pöörete arv minutis

Matemaatilised märgid.

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

Kreeka tähtede hääldamine.

Suured tähed	Väikesed tähed	Häälda-mine
A	α	alfa
B	β	beeta
Γ	γ	gamma
Δ	δ	delta
E	ε	epsilon
Z	ζ	dseeta
H	η	eeta
Θ	ϑ	th eeta
I	ι	ioota
K	$\varkappa$	kappa
Λ	λ	lambda
M	μ	müü
N	ν	nüü
Ξ	ξ	ksii
O	o	omikron
Π	π	pii
P	ϱ	rho
Σ	σ	sigma
T	τ	tau
Y	υ	üpsilon
Φ	φ	fii
X	χ	khii
Ψ	ψ	psii
Ω	ω	omega

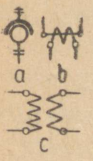
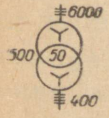
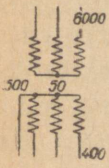
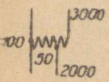
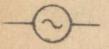
Mõõtühikute kümnendikosade ja kümnekordsete suuruste märgid.

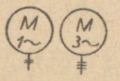
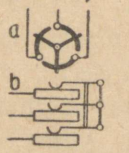
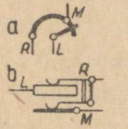
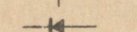
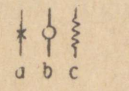
D = deka = 10^1 = 10	d = deci = 10^{-1} = 0,1
h = hekto = 10^2 = 100	c = centi = 10^{-2} = 0,01
k = kilo = 10^3 = 1 000	m = milli = 10^{-3} = 0,001
M = mega = 10^6 = 1 000 000	μ = mikro = 10^{-6} = 0,000 001
G = giga = 10^9	n = nano = 10^{-9}
T = tera = 10^{12}	p = pico = 10^{-12}

Skemaatilised leppemärgid.

Leppemärk	Nimetus
—	Alalisvool
∿ 50	Vahelduvvool, üldmärk, arv näitab sagedust
△	Kolmefaasine lülitus kolmnurgas (tekstis täht D)
Y	Kolmefaasine lülitus tähes (tekstis täht Y)
Y	Kolmefaasine lülitus tähes, väljatoodud nullpunktiga (tekstis täht Y_0)
	Juhtmeliin, üldmärk
	Juhtmeliin juhtmete arvu tähistamisega, näit.: 3 juhet
	Püsiv ühendus, näit. jootühendus
	Avatav ühendus, näit. ühendusklemm
	Libisev ühendus, näit. libistuskontakt
	Painduv juhe
	Juhtmeliinide ristumine, ühenduseta
	Juhtmeliinide hargnemine juhtivate ühenduste kaudu
	Maa, maandaja või maandus
	Tegevtakistus, tähtsusetu induktiivsuse ja mahtuvusega
	Puht-oomiline takistus

Leppemärk	Nimetus
	Induktiivsus koos oomilise takistusega, näit. mähised üldiselt, eriti mähis raudsüdamikul
	Sama mis eelmine, valiku järgi
	Induktiivsus, näit. madal- või kõrgsageduse paispoolid
	Mahtuvus, kondensaator
a b c	a) Sisseseatavus, näit. topustega b) Astmeliselt reguleeritavus c) Pidevalt reguleeritavus
a	a) Oomiline takistus, reguleeritav topustega
b	b) Induktiivne ja tegevtakistus, reguleeritav astmeliselt
c	c) Tegev- ja induktiivtakistus, reguleeritavad pidevalt
a b c d	Sulavkaitsmed: a) üldmärk b) keermekaitse c) ribakaitse d) üldmärk, pooluste arvu tähistusega, näit. 3 poolust
a b	a) Lüliti kahepooluseline, märkimiseks piltskeemil b) Sama, kuid märkimiseks lülitusskeemil
	Lüliti automaatse lülitamisega, liigvoolu-lüliti
	Ümberlüliti

Leppemärk	Nimetus
	Voltmeeter
	Ampermeeter
	Vattmeeter
	Sagedusmõõtja
	Arvesti; tähtedega tähistatakse arvestamisviis, näit. vatt-tunni arvesti
	Mõõtetrafod: Voolutransformaator: a) märkimiseks piltskeemil, b) märkimiseks lülitusskeemil
	Pingetransformaator: a) märkimiseks piltskeemil, b) ja c) märkimiseks lülitusskeemil, valiku järgi
	Keerdvoolu-transformaator 500 kVA, 6000/400 V, 50 p/s, lülitus Y/Y0 (piltskeemi märk)
	Sama mis eelmine, kuid lülitusskeemi märk
	Ühefaasine autotransformaator 100 kVA, 3000/2000 V, 50 p/s (piltskeemi märk)
	Sama mis eelmine, kuid lülitusskeemi märk
	Vahelduvvoolu-allikas

Leppemärk	Nimetus
	Pöörlev masin, üldmärk
	Alalisvoolu-masin, tähega M — mootor, tähega G — generaator
	Ühefaasine ja keerdvoolu lühisrootoriga mootorid (piltskeemi märgid)
	Keerdvoolu kontaktrõngastega asünkroonmootor ja sünkroongeneraator (piltskeemi märgid)
	Alalisvoolu-masina ergutusregulaator, a) või b) valiku järgi
	Keerdvoolu kontaktrõngastega mootori käiviti, a) või b) valiku järgi
	Alalisvoolu-masina käiviti, a) või b) valiku järgi
	Elavhõbedaaur-alaldaja
	Kuivalaldaja
	Täisperiood-kuivalaldaja (sild-lülituses)
	Elektrontoru: a) vahetu küttega, võreta b) võrega
	a) hõõglamp-tarbija b) jõutarbija, näit. mootor c) termiline tarbija

A. ESIMENE OSA.

ELEKTRITEOORIA.

I. ELEKTRI ÜLDMÕISTED.

1. Elektrilaeng.

Kõige väiksemat aine osakest — aatomit — ei peeta enam jagamatuks. On tehtud kindlaks, et aatom koosneb: a) aatomi tuumast ja b) tema ümber alaliselt tiirlevaist ja temaga seotud elektronidest. Aatomi tuum omab positiivset elektrilaengut, kuna elektronid omavad negatiivset elektrilaengut. Aatomi tuuma positiivne laeng võrdub suuruselt tema ümber tiirlevate elektronide negatiivsete laengute summaga. Need laengud on omavahel külgetõmbetungidega seotud ja tasakaalus, mille tagajärjel aatom või neist koosnev keha esineb elektriliselt neutraalsena.

Positiivselt laetuks loetakse keha, milles osa elektronidest on aatomite tuumade mõjupiirkondadest lahkunud, s. t. milles on positiivse laengu ülekaal. Negatiivselt laetuks loetakse keha, milles elektronide arv on normaalsest suurem, s. t. milles on negatiivse laengu ülekaal.

Aatomi tuumade mõjupiirkondadest lahkunud elektronid, nn. vabad elektronid, võivad teatud tingimustes hakata liikuma orienteeritult ühes suunas. Selle tulemusena tekib elektronide voolamine (elektrilaengute liikumine), mida nimetatakse elektrivooluks.

2. Juhid, pooljuhid ja isolaatorid.

Mõnedes ainetes liiguvad elektronid ühe aatomi tuuma mõjupiirkonnast teise aatomi tuuma mõjupiirkonda hõlpsasti,

teistes raskemini, kolmandais nad aga peaaegu üldse ei liigu aatomite-vahelises ruumis. See on seletatav asjaoluga, et mõne aine aatomites elektronid võivad kergesti lahkuda tuuma mõjupiirkonnast ja iseseisvalt liikuda, kuna teise aine aatomites elektronid on päris kindlalt seotud aatomi tuumaga ja ei saa selle mõjupiirkonnast lahkuda. Sellele vastavalt jagunevad ained elektrijuhtideks (metallid, grafiit, tihe süsi jne.), pooljuhtideks (betoon, paekivi jne.) ja isolaatoreiks (portselan, klaas, õli, kummi, kiudained, lakk, vaigud jne.).

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

Mida suurem on keha elektrilaeng, seda suurem on jõud, millega elekter püüab sealt tungida väiksema elektrilaenguga kehale. Seda jõudu nimetatakse potentsiaaliks. Maakera potentsiaali loetakse nulliks, samuti nagu merepinda kõrguste mõõtmisel või keskmist õhurõhku (760 mm elavhõbedasammast) üle- ja alarõhu mõõtmisel.

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

Elektrienergia allika või elektrienergia tarbija klemmide vahel valitsevat potentsiaalide vahet nimetatakse klemmipingeks.

Klemmipinget põhjustab elektrienergia allika sisemuses peituv elektromotoorne jõud.

Valemites tähistatakse pinget tähega *U* või *u* ja elektromotoorset jõudu tähega *E* või *e*.

Potentsiaali, pinge ja elektromotoorse jõu mõõtühikuks on 1 volt (1 V). 1 V suuruse kohta vt. p. A-14 ja p. A-58.

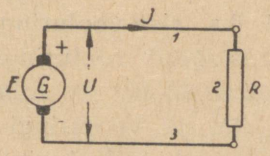
Voldist suuremate või väiksemate ühikutena on tarvitusel: 1 kV (kilovolt) = 1000 V, 1 mV (millivolt) = 0,001 V ja 1 μV (mikrovolt) = 0,000001 V; seega 1 V = 0,001 kV = = 1000 mV = 1 000 000 μV.

Tavaliselt esinevad pingeväärtused on: välgul — paarsada miljonit kuni miljard volti; laboratooriumides saavutatud —

kümmekond miljonit volti; kõrgepinge magistraalliinides — 3000 ... 380 000 V; madalpinge jaotusvõrkudes — 110 ... 440 V; tööstuste elektriseadmeis — 220 ... 750 V; eluruumide elektriseadmeis — 110 ... 220 V; tagavara-valgustuse, telefoni- ja signaalseadmeis — 12 ... 36 V; autoakumulaatoreil — 6 ... 12 V; taskulambi patareidel — 3 ... 4,5 V; kuivelementidel — 1,5 V; Westoni (normaal-) elemendil — 1,0187 ± 0,0001 V 20° C juures; raadio vastuvõtuantennides — mõni μV.

4. Elektrivool *J*. Amper A.

Ühendades elektrienergia allika (näit. galvaani elemendi, akumulaatori, generaatori) klemmid kahe juhtme abil elektrienergia tarbija (näit. elektrilambi, elektriahju, elektrimootori) klemmidega, saadakse kinnine (suletud) vooluring. Elektrienergia allika elektromotoorse jõu mõjul tekib selles vooluringis elektrivool.



Joon. 1. Elektri vooluring. *G* — elektrienergia allikas (generaator), 2 — elektrienergia tarbija (näiteks elektriahi), 1, 3 — juhtmed, *U* — klemmipinge, *J* — vool.

Vooluringi osa alates elektrienergia allika ühest klemmist läbi esimese juhtme, läbi elektrienergia tarbija, läbi teise juhtme kuni elektrienergia allika teise klemmini, nimetatakse vooluringi väliseks osaks (praktilises keeles — välis-vooluringiks). Vooluringi osa alates elektrienergia allika ühest klemmist läbi elektrienergia allika sisemuse kuni teise klemmini, nimetatakse vooluringi sisemiseks osaks (praktilises keeles — sise-vooluringiks). Kogu kinnine (suletud) vooluring koosneb seega sise-vooluringist (elektrienergia allika sees) ja välis-vooluringist (väljaspool elektrienergia allikat) (joon. 1).

Elektrivoolu suunaks loetakse kokkuleppeliselt suunda elektrienergia allika positiivselt (+) klemmilt läbi vooluringi välise osa elektrienergia allika negatiivsele (—) klemmile ja sealt läbi elektrienergia allika (vooluringi sisemise osa) tema positiivsele (+) klemmile. Elektronide liikumise suund on aga ülaltähendatud kokkuleppelisele (konventsionaalsele) voolusuunale vastupidine. Allpool on kõikjal elektrivoolu suunaks märgitud kokkuleppeline suund.

Elektrienergia allikas muundab mehaanilist, keemilist või mõnda muud energiat elektrienergiaks. Elektrienergia tarbijas aga muundub elektrienergia mõneks muuks energiaks, näit. valgusenergiaks, soojusenergiaks, mehaaniliseks energiaks jne. Elektrienergia ülekandumise ajal läbib vooluringi vool, mida põhjustab energiaallika elektromotoorne jõud. Voolu olemasolu ja seega ka energia ülekandmine vooluringis kestab seni, kuni vooluring on kinnine või kuni püsib elektrienergia allika elektromotoorne jõud.

Niihästi välis- kui ka sise-vooluring omavad elektrilist takistust, mille suurus sõltub vooluringi osade (näiteks juhtmete) materjalist ja mõõdetest (vt. p. A-9). Vooluringis oleva allika elektromotoorse jõu ja vooluringi takistuse suurustest sõltub vool (voolu tugevus) vooluringis.

Voolu tähistatakse valemites tähega J või hetkväärtuse korral tähega i.

Voolu mõõtühikuks on 1 amper (1 A). Üheampriliseks nimetatakse püsiva suurusega voolu, mis läbides hõbedanitraadi vesilahust (vt. p. A-85) eraldab sellest iga sekundi vältel 1,118 mg hõbedat.

Suurema ühikuna on kasutusel 1 kiloamper (kA), väiksemate ühikutena — 1 milliamper (mA) ja 1 mikroamper (μA). Seejuures: 1 kA = 1000 A, 1 mA = 0,001 A ja 1 μA = 0,000001 A; seega 1 A = 0,001 kA = 1000 mA = 1000000 μA.

Tavaliselt esinevad voolud on: välgul 20 ... 200 kA, keeduplaatidel 3 ... 8 A, elektri-triikraudadel 2 ... 6 A, hõõglampidel koduses majapidamises 0,1 ... 1 A, telefoniaparaadis kõnelemise ajal mõni mA, raadio vastuvõtuantennis mõni μA.

5. Elektrivoolu kaasnähtused.

Vooluga on seotud järgmised nähtused:

a) Soojenemine. Iga voolu poolt läbitav juhe soojeneb ja seda enam, mida suurem on vool ning juhtme takistus.

b) Magnetväli. Voolu poolt läbitava juhtme ümber tekib magnetväli, mille tugevus on võrdeline vooluga.

c) Elektrolüüs. Voolu poolt läbitavas soola, happe või leelise lahuses tekib nn. elektrolüüs, s. o. vedelik (elektrolüüt) laguneb oma algosadeks.

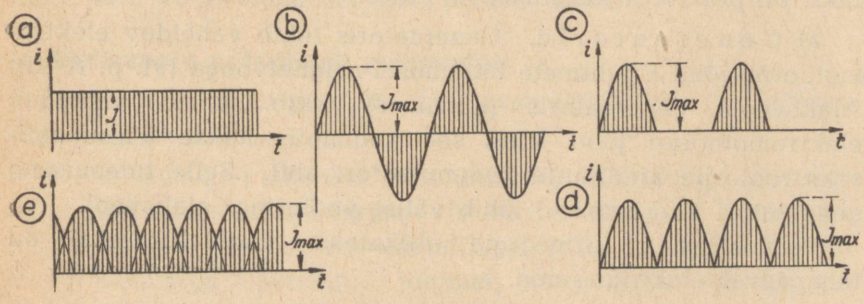
d) Valgusnähtused gaasides. Kõrge pinge ja eriti madala rõhu korral läbib vool ka gaasi, kusjuures viimane hakkab helenduma. Väga kõrge pinge ja vaakumi korral ioniseeruvad gaasiosakesed: tekivad erilised anood-, katood- ja viimaste mõjul röntgenikiired.

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

6. Vooluliigid.

Kasutusel on järgmised vooluliigid (joon. 2):

a) Alalisvool. Alalisvooluks nimetatakse püsiva suunaga ja püsiva tugevusega voolu (joon. 2 a).



Joon. 2. Vooluliigid.

b) Pulseerivvool. Vool on püsiv suunalt, kuid tugevneb ja nõrgeneb perioodiliselt (joon. 2 c, d, e).

Märkus: Praktikas nimetatakse pulseerivvoolu sageli ekslikult alalisvooluks. Lugu seisab selles, et joon. 2 a kujutatud karakteristikaga alalisvoolu on praktiliselt küllaldase täpsusega võimalik saada otseselt peamiselt primaar- või sekundaarelementidest. Nn. „alalisvoolu" generaatorist või mõnest teisest „alalisvoolu" masinast saadakse ikka pulseerivvoolu, ometi nimetatakse neid alalisvoolu masinaiks ja seda seepärast, et saadava pulseerivvoolu tugevnemine ja nõrgenemine püsib suhteliselt väikestes piirides ja voolu võib lugeda praktiliselt alalisvooluks.

c) Vahelduvvool. Vool muutub nii tugevuselt kui ka suunalt: tugevuselt suureneb ja väheneb ta perioodiliselt ja suunalt muutub igal nullväärtusele jõudmisel (joon. 2 b). Nimetatakse: a) madalsagedusvooluks (väikesagedusvooluks), kui suuna muutusi esineb 20 ... 200 (tavaliselt 100) korda sekundis, b) helisagedusvooluks — suuna muutumisel 100 ... 40 000 korda sekundis, c) kõrgsagedusvooluks (suursagedusvooluks) — suuna muutumisel enam kui 40 000 korda sekundis.

7. Elektrienergia allikad.

Elektrienergia allikatena, mida nimetatakse ka vooluallikateks, on praktikas kasutusel järgmised:

a) Generaatorid. Generaatoris tekib vahelduv elektromotoorne jõud *E* juhtmete lõikumisel magnetvooga (vt. p. A-III). Alalisvoolu generaatoris (dünamos) tekib samuti vahelduv elektromotoorne jõud, kuid see kommuteeritakse ühesuunaliseks rootorile kinnitatud kommutaatori abil. Selle tulemusena generaatori koormamisel läbib välist vooluringi alalisvool.

Peamisteks elektrienergia allikateks (vooluallikateks) on tänapäeval elektrimasinad.

b) Galvaanilised elemendid. Lahjasse soola, happe või leelise lahusesse — elektrolüüti — asetatakse kaks erinevast metallist pulka või plaati — elektroodi. Üheks elektroodiks võib olla ka süsi. *E* tekib elektroodide ja elektro-

lüüdi vahel toimuva keemilise protsessi tõttu. Saadav pinge on 1 kuni 1,5 V ühe elemendi kohta. Elemente kasutatakse peamiselt väikese võimsusega alalisvoolu saamiseks side- (signalisatsiooni- ja telefoni-) tehnikas.

c) Termoelemendid. Termoelement moodustub kahe erineva metalli kokkupuutekohas, kusjuures elektromotoorne jõud tekib selle puutekoha soojendamisel. Pinge on väga väike (mõni mV). Sääraseid vooluallikaid kasutatakse mõõteriistades, signaalseadmetes ja temperatuuri mõõtmise seadmetes.

d) Fotoelemendid. Fotoelemendi moodustavad mõne metalli ja pooljuhi kokkupuutepinnad. Elektromotoorne jõud tekib selle pinna valgustamisel. Saavutatavaks pingeks on mõningad millivoldid. Kasutamisel signaal- ja heliaparaatides ning valguse mõõtmisel.

e) Akumulaatorid. Akumulaatoreid ehk sekundaarelemente kasutatakse elektrienergia tagavaraks kogumisel. Akumulaator koosneb anumast ja tema sees asetsevaist elektroodidest ja elektrolüüdist. Elektromotoorne jõud tekib temas elektroodide ja elektrolüüdi vahel toimuva keemilise protsessi tulemusena. Akumulaatorist elektrienergia võtmisel toimuva keemilise protsessi tõttu muutub elektroodide aktiivse aine keemiline koostis. Viimase taastamine toimub akumulaatori laadimisel, s. o. voolu läbimisel vastupidises suunas.

8. Alalisvoolu polariteedi määramine.

Alalisvoolu-allika pooluste kindlaksmääramiseks on olemas järgmised abinõud:

Vee elektrolüüs. Vooluallikaga ühendatud juhtmete otsad asetatakse nõrka happe või soola lahusesse. Juhtmete otstel tekivad gaasimullid: negatiivsel (s. o. vooluallika negatiivse klemmiga ühendatud juhtmel) kaks korda rohkem kui positiivsel. 40 V-st kõrgema pinge puhul lastakse vool läbi eeltakisti (näit. elektrilambi).

Pooluse määramise paber (lakmuspaber). Fenoolftaleiniga immutatud kuivatuspaber niisutatakse ja puu-

dutatakse sellega juhtmeid: miinusjuhtme külge puutudes värvub paber punaseks.

Huumlamp. Eriline proovilamp, mida kasutatakse 100 V-st suuremate pingete korral. Negatiivse elektroodi juures tekib gaasi helenemine, kuna plusselektroodi ümbrus jääb tumedaks.

9. Takistus *R*. Oom *Ω*. Juhtivus *G*.

Mõned ained juhivad voolu hästi (hõbe, vask, alumiinium), teised halvasti (raud, teras, takistustraadid, süsi). See on seletatav asjaoluga, et elektronid põrkavad oma teekonnal kokku aine molekulidega, mille tagajärjel nende liikumine, sõltuvalt aine omadustest, on enam või vähem raskendatud. Elektrit juhtiva aine omadust raskendada elektronide liikumist nimetatakse aine elektriliseks takistuseks.

Mida suurem on juhtme aine elektriline takistus ja mida pikem ning peenem on juhe, seda suurem on ta elektriline takistus. Valemites tähistatakse elektrilist takistust tähega *R*.

Takistuse mõõtühikuks on 1 oom (*Ω*). 1 *Ω* on 106,250 cm pikkuse ja 1 mm² ristlõikega elavhõbedasamba takistus 0° C juures.

Oomi mitmekordsetest suurustest on tarvitusel: 1 MΩ (megoom) = 1 000 000 *Ω*, 1 kΩ (kilo-oom) = 1000 *Ω* ja 1 mΩ (millioom) = 0,001 *Ω*.

Elektrilise takistuse pöördvõrdelist suurust nimetatakse elektriliseks juhtivuseks, mida tähistatakse tähega *G*. Juhtivuse mõõtühikuks on 1 siimens (S), kusjuures 1 S on oomi pöördvõrdeline väärtus.

Juhtivus

$$G = \frac{1}{R}\,[\mathrm{S}].$$

Tavaliselt esinevad takistuste suurused on: elektri installatsioonijuhtmestiku ja maa vahel — 100 ... 1000 kΩ, hõõglampidel — 60 ... 3000 *Ω*, keeduplaatidel — 20 ... 80 *Ω*, triikraudadel — 100 ... 150 *Ω*, taskulambi pirnidel — 12 ... 20 *Ω*, elektri-

kõlistitel — 3 . . . 5 Ω, suurte masinate mähistel — mõni kümnendik või sajandik oomi.

10. Eritakistus ϱ. Erijuhtivus λ.

Elektrijuhtide elektriline takistus sõltub ainest. Aine elektrilist takistust määratakse teguriga, mida nimetatakse aine eritakistuseks ja mida tähistatakse tähega ϱ. Aine eritakistuseks nimetatakse selle aine 1 m pikkuse ja 1 mm² ristlõikega traadi takistust oomides 20° C juures. Eritakistuse ühikuks on $\Omega mm^2/m$.

Aine eritakistus leitakse mõõtmise teel. Eritakistuse suurust mõjutab aine temperatuur, teiste ainete lisandid ja teataval määral ka materjali töötlemise viis (valamine, valtsimine, lõõmutamine jne.).

Eritakistuse kõrval kasutatakse veel teist tegurit ja nimelt erijuhtivust, mida tähistatakse tähega λ. Erijuhtivuseks nimetatakse eritakistuse pöördväärtust; seega $\lambda = 1/\varrho$.

Erijuhtivuse ühikuks on $m/\Omega mm^2$.

Mõningate ainete eritakistused ja erijuhtivused on toodud tabelis 1 (Elektrolüütide eritakistused vt. p. A-86).

Tabel 1.

Elektrijuhtide eritakistused, erijuhtivused ja temperatuuritegurid.

Aine nimetus	Eritakistus $\Omega mm^2/m$ ϱ_{20}	Erijuhtivus $m/\Omega mm^2$ λ_{20}	Temperatuuritegur 0 . . . 100° C α_{20}
Hõbe	0,0161	62	0,0036
Vask, mähistes .	0,01754	57	0,0039
Vask, juhtmetes	0,0179	56	0,0039
Alumiinium . .	0,0278 . . . 0,0292	36 . . . 34,2	0,0041
Tsink	0,06	16,7	0,00417
Nikkel	0,09 . . . 0,12	11 . . . 8,3	0,0044
Inglistina . . .	0,12 . . . 0,14	8,3 . . . 7,1	0,0044
Raudtraat . . .	0,12 . . . 0,14	8,3 . . . 7,1	0,0045
Terastraat . . .	0,15 . . . 0,17	6,7 . . . 5,9	0,0052
Plii (seatina) . .	0,20	5	0,0039
Elavhõbe . . .	0,958	1,04	0,00087

Aine nimetus	Eritakistus $\Omega mm^2/m$ ϱ_{20}	Erijuhtivus $m/\Omega mm^2$ λ_{20}	Temperatuuritegur 0...100° C α_{20}
Takistustraadid:			
Uushõbe	0,3	3,3	0,00036
Nikeliin	0,40 . . . 0,42	2,4	0,0001 . . . 0,0002
Manganiin . . .	0,42 . . . 0,47	2,1 . . . 2,4	0,00002 . . . 0,000006
Konstantaan . .	0,49	2	—0,000003 . . . +0,000005
Kroomnikkel . .	1,08 . . . 1,1	0,9	0,0002

11. Takistuse arvutamine.

Juhtme takistus on võrdeline juhtme pikkusega, pöördvõrdeline juhtme ristlõikega, sõltub juhtme ainest ja on arvutatav järgmiste valemite abil:

$$R = \frac{\varrho \cdot l}{q} \text{ ehk } R = \frac{l}{\lambda \cdot q},$$

kus R — juhtme takistus (Ω), ϱ — juhtme eritakistus ($\Omega mm^2/m$), λ — juhtme erijuhtivus ($m/\Omega mm^2$), l — juhtme pikkus (m), q — juhtme ristlõige (mm^2).

Tarbe korral võib nende valemite abil leida ka l, q, ϱ, λ, ja nimelt:

$$l = \frac{R \cdot q}{\varrho}, \qquad q = \frac{\varrho \cdot l}{R},$$

$$\varrho = \frac{R \cdot q}{l}, \qquad \lambda = \frac{l}{R \cdot q}.$$

Näide 1. Alumiiniumtraadi pikkus $l = 120$ m, ristlõige $q = 10$ mm^2, eritakistus $\varrho = 0{,}03$ $\Omega mm^2/m$.

Selle traadi takistus $R = \frac{\varrho \cdot l}{q} = \frac{0{,}03 \cdot 120}{10} = 0{,}36$ Ω.

Näide 2. Vasktraadist ($\lambda = 56$ m/Ωmm^2, $q = 25$ mm^2) kahejuhtmelise liini pikkus $l = 1{,}45$ km.

Liini juhtmete kogutakistus $R = \frac{2l}{\lambda \cdot q} = \frac{2 \cdot 1450}{56 \cdot 25} =$

$= 2{,}07\ \Omega$.

Näide 3. Nikeliintraadist ($\varrho = 0{,}41$ Ωmm^2/m, $d = 1{,}5$ mm) valmistatud mähise takistus $R = 230\ \Omega$. Kui suur on mähise traadi pikkus?

Traadi ristlõige $q = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 1{,}5^2}{4} = 1{,}77$ mm^2.

Traadi pikkus $l = \frac{R \cdot q}{\varrho} = \frac{230 \cdot 1{,}77}{0{,}41} = 993$ m.

Näide 4. 200 m pikkuse ja 4 mm^2 ristlõikega traadi takistus on 3 Ω. Määrata eritakistus; mis ainest võiks see traat olla?

Eritakistus $\varrho = \frac{R \cdot q}{l} = \frac{3 \cdot 4}{200} = 0{,}06$.

See traat on arvatavasti tsingist, mille $\varrho = 0{,}06$.

Elektrilise juhtivuse arvutamisel kasutatakse järgmisi valemeid:

$$G = \frac{\lambda \cdot q}{l} \text{ või } G = \frac{q}{\varrho \cdot l},$$

kus $G = \frac{1}{R}$ — juhtivus siimensites ($S = \frac{1}{\Omega}$), teised suurused samades ühikutes kui takistuse arvutamise valemeis.

12. Takistuse sõltuvus temperatuurist.

Elektriline takistus sõltub juhtme temperatuurist. Enamiku metallide takistus temperatuuri tõusuga suureneb. See on seletatav sellega, et temperatuuri tõusuga suureneb ka aine molekulide korrapäratu termiline liikumine, mis omakorda raskendab elektronide liikumist ja seega suurendab aine elektrilist takistust. Söe ja elektrolüütide takistus temperatuuri tõusuga väheneb.

Takistuse suurenemist iseloomustab nn. temperatuuritegur α, mis näitab ühe-oomilise takistuse muutumist oomides temperatuuri muutumisel 1° C võrra. Teiste sõnadega: α näitab takistuse suhtelist muutumist 1° C kohta. Temperatuuritegur α on enamikul metallidel positiivne, söel ja elektrolüütidel — negatiivne. Andmed α kohta on toodud tabelis 1.

Kuna eritakistus ϱ on tavaliselt antud 20° C juures, siis valemi $R = \frac{\varrho \cdot l}{q}$ abil saadakse juhtme takistus samuti 20° C temperatuuri juures. Juhtme takistus mingi teise temperatuuri t [° C] juures arvutatakse järgmise valemi abil:

$$R_t = R_{20°} + R_{20°} \cdot \alpha \cdot \tau = R_{20°} \cdot (1 + \alpha \cdot \tau) \ [\Omega],$$

kus $R_{20°}$ — juhtme takistus 20° C juures, α — temperatuuritegur (võib olla ka negatiivne), $\tau = t°$ C — 20° C, s. o. temperatuuri muutus (nn. üle- või alatemperatuur, mis võib olla ka negatiivne).

Ülaltoodud valemist tuletatud valemi abil võib arvutada ka juhtme temperatuuri t [° C], kui on teada mähise takistused 20° C ja otsitava temperatuuri t juures ja nimelt:

$$t = \tau + 20° = \frac{R_t - R_{20°}}{\alpha \cdot R_{20°}} + 20 \quad [°C].$$

Näide 1. Vasktraadist mähise takistus 20° C juures $R_{20°} = 200\ \Omega$.
Leida tema takistus 100° C juures.

Ületemperatuur $\tau = t° - 20° = 100 - 20 = 80°$ C.
Takistuse juurdekasv
$R_{20°} \cdot \alpha \cdot \tau = 200 \cdot 0{,}0039 \cdot 80 = 62{,}4\ \Omega$.
$R_{100°} = 200 + 62{,}4 = 262{,}4\ \Omega$ ehk teisiti $R_{100°} = R_{20°} \cdot (1 + \alpha \cdot \tau) = 200 \cdot (1 + 0{,}0039 \cdot 80) = 200 \cdot 1{,}312 = 262{,}4\ \Omega$.

Näide 2. Terastraadi takistus 70° C juures on 13 Ω. Leida takistus 45° C juures.

20° C juures on $R_{20°} = \frac{R_{70°}}{1 + \alpha \cdot \tau} = \frac{13}{1 + 0{,}0052 \cdot 50} =$

$= \frac{13}{1{,}26} = 10{,}3\ \Omega.$

45° C juures on $R_{45°} = R_{20°} \cdot (1 + \alpha \cdot \tau) =$
$= 10{,}3 \cdot (1 + 0{,}0052 \cdot 25) = 10{,}3 \cdot 1{,}13 = 11{,}6\ \Omega.$

Näide 3. Millise temperatuuri juures muutub vasktraadi takistus nulliks? Sel juhtumil tuleb arvestada vase temperatuuriteguri täpse suurusega ($\alpha = 0{,}00392$). Kuna $R_{t°} = R_{20°} \cdot (1 + \alpha \cdot \tau) = 0$, saame ümber kujundades:

$R_{20°} + R_{20°} \cdot \alpha \cdot \tau = 0, \quad R_{20°} \cdot \alpha \cdot \tau = -R_{20°},$

$\alpha \cdot \tau = -\frac{R_{20°}}{R_{20°}} = -1,$

$\tau = -\frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{0{,}00392} = -255°\ \text{C}$

ja temperatuur $t = \tau + 20 = -255 + 20 = -235°$ C.

Takistuse muutumist temperatuuri mõjul kasutatakse ka temperatuuri elektrilistes mõõteseadistes, nn. takistustermomeetrites.

13. Takistid elektrotehnikas.

Iga vooluringi kuuluv osa, näit. vooluallikas ise (dünamo, aku jt.), ühendusjuhtmed ja elektrienergiat tarbiv aparaat (lamp, mootor, küttekeha) omab teatavat takistust.

Mõnel juhtumil on näit. ühendusjuhtmete ja osalt ka vooluallika takistuse mõju kahjulik. Takistus põhjustab pingelangu ja võimsuskadu, mispärast teda püütakse viia miinimumini, kasutades võimalikult väikese eritakistusega jämedaid juhtmeid.

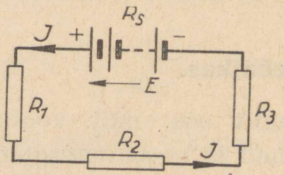
Seevastu paljude elektrienergiat tarbivate aparaatide, näit. hõõglampide ja küttekehade töötamisviis tugineb otseselt takistuse olemasolule.

Aparaati, mille töötamispõhimõte on rajatud takistuse kui füüsikalise omaduse olemasolule, nimetatakse üldiselt takistiks. Voolu piiramiseks määratud takistit nimetatakse reostaadiks. Reguleeritavaid takisteid nimetatakse, sõltuvalt konstruktsioonist: liugtakisti (liugreostaat) — liugleva kontaktiga takisti, astmetakisti — aste-astmelt pideme abil reguleeritav takisti, topptakisti — kontakttopitsaga reguleeritav takisti. Eriotstarbelised takistid on: käiviti — mootori käivitamiseks määratud takisti, reguleerkäiviti — mootori käivitamiseks ja ühtlasi tema talitlustingimuste muutmiseks määratud käiviti, pingeregulaator — elektrimasina ergutusvooluringi takistuse reguleerimiseks määratud takisti.

14. Ohmi seadus.

Ohmi seadus on elektrotehnikas tähtsaim seadus ja seob omavahel kolme põhisuurust: 1) elektromotoorset jõudu E või pinget U, 2) voolu J ja 3) takistust R. Esineb kahel kujul: a) kogu vooluringile ja b) vooluringi osale (välja arvatud osad, kus on elektromotoorne jõud — vt. p. A-15).

a) Ohmi seadus kogu vooluringile (joon. 3). Vool on võrdeline vooluringis olevate elektromotoorsete jõu-



Joon. 3. Kinnine vooluring.

dude algebralise summaga ning pöördvõrdeline vooluringi kogu takistusega (takistuste summaga):

$$J = \frac{\Sigma E}{\Sigma R},$$

kus J — vool vooluringis (A), ΣE — elektromotoorsete

jõudude summa vooluringis (V) ja ΣR — vooluringi kogutakistus (Ω). Ülaltoodud valemist järeldub, et

$$\Sigma E = J \cdot \Sigma R, \quad \Sigma R = \frac{\Sigma E}{J}.$$

Märkus. Skemaatilisel joonisel leppemärkidega kujutatud vooluringis tarbijaid ühendavad jooned ei ole juhtmed, vaid ainult abivahendid skemaatiliseks kujutamiseks. Seepärast tuleb neile vaadata kui takistuseta osale — absoluutsele juhile. Kui skemaatiliselt kujutatud vooluringis soovitakse näidata ka ühendusjuhtmete takistus, siis tuleb seda teha vastava leppemärgi abil.

Näide 1. Vooluringi (vt. joon. 3) on lülitatud patarei elektromotoorse jõuga $\Sigma E = 24$ V; vooluringi kogutakistus $\Sigma R = 3\ \Omega$ (see sisaldab kõigi vooluallikate sisetakistusi, kõiki välistakistusi, ühendusjuhtmete takistusi, ühendusklemmide takistusi ja kõiki ülemineku-takistusi).

Vooluringi läbib vool: $J = \frac{\Sigma E}{\Sigma R} = \frac{24}{3} = 8$ A.

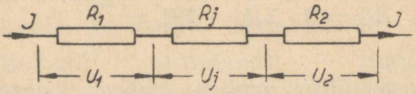
Näide 2. Vooluallikas elektromotoorse jõuga $E = 1{,}8$ V on ühendatud mingi aparaadiga. Seejuures tekib vool tugevusega $J = 2{,}5$ A. Kui suur on vooluringi kogutakistus?

$\Sigma E = E = 1{,}8$ V; $\Sigma R = \frac{\Sigma E}{J} = \frac{1{,}8}{2{,}5} = 0{,}72\ \Omega$ (mis on vooluallika, aparaadi, juhtmete, klemmide ja ülemineku-takistuste summa).

Näide 3. Vooluringi lülitatud vooluallika $E = 220$ V, tema sisetakistus $R_s = 0{,}01\ \Omega$. Leida vool J.

Seda ülesannet ei saa lahendada, sest pole antud välis-vooluringi takistust. Ohmi seaduse järgi oleks $J = \frac{E}{R_s} = \frac{220}{0{,}01} = 22\,000$ A (!), mis on õige ainult juhtumil, kui vooluallika klemmid on lühises (mis on lubamatu).

b) Ohmi seadus vooluringi osale (joon. 4). Vool vooluringi osas (aparaadis, lambis või traadis) on võrde-



Joon. 4. Vooluringi osa.

line vooluringi selles osas rakendatud pingega, nn. osapingega, ning pöördvõrdeline vooluringi sama osa (aparaadi, lambi või traadi) takistusega:

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

kus J — vool vooluringi antud osas (A), U — osapinge vooluringi samas osas (V) ja R — vooluringi antud osa takistus (Ω). Ülaltoodud valemist tuleneb, et

$$U = J \cdot R \quad \text{ja} \quad R = \frac{U}{J}.$$

Näide 4. Elektriahju klemmidel on pinge $U = 110$ V; ahju takistus $R = 22\ \Omega$. Leida vool J.

$$J = \frac{U}{R} = \frac{110}{22} = 5 \text{ A}.$$

Näide 5. Joon. 4 toodud vooluringi osade kohta on olemas järgmised andmed: esimese takisti klemmipinge $U_1 = 16$ V ja tema takistus $R_1 = 8\ \Omega$, ühendusjuhtme takistus $R_j = 0{,}03\ \Omega$ ja teise takisti klemmipinge $U_2 = 12$ V.

Nende andmete abil võib leida:
a) kogu vooluringi ja seega ka üksikuid takisteid läbivat voolu esimese takisti andmeist ja nimelt

$$J = \frac{U_1}{R_1} = \frac{16}{8} = 2 \text{ A};$$

b) ühendusjuhtmete takistuses R_j tekkivat pingelangu $U_j = J \cdot R_j = 2 \cdot 0{,}03 = 0{,}06$ V;

c) teise takisti takistuse suuruse $R_2 = \frac{U_2}{J} = \frac{12}{2} = 6\ \Omega$.

Näide 6. Korteris kasutatavat triikrauda läbib vool $J = 2$ A. Pinge elektri-jõujaamas on 235 V. Leida triikraua küttekeha takistus.

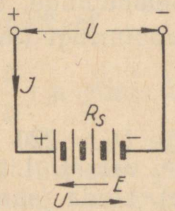
Seda ülesannet ei saa lahendada, sest pinge triikraua klemmidel pole teada: jõujaama pinge 235 V ei ole klemmipinge triikraua küttekeha klemmidel.

Ohmi seaduse abil on määratud pinge mõõtühik 1 V (vt. p. A-3): üks volt on ühe-oomilise takisti klemmidel tekkiv pinge, kui takistit läbib vool üks amper. Oom (p. A-9), amper (p. A-4) ja volt (p. A-3) on elektrotehnilised põhi-mõõtühikud.

Kui takistuse asemel on antud vooluringi juhtivus, siis Ohmi seadus omandab teistsuguse kuju ja nimelt

$$J = \Sigma E \cdot \Sigma G \quad \text{või} \quad J = U \cdot G,$$

kus J — vool (A), ΣG — vooluringi kogujuhtivus (S) ja vastavalt G — vooluringi osa juhtivus (S).



Joon. 5. Vastuelektromotoorse jõuga tarbija.

15. Vastuelektromotoorse jõuga tarbija.

On tarbijas olemas sisemine, välispingele U vastu suunatud elektromotoorne jõud E (näit. laetav aku, töötav mootor jne.) (joon. 5), siis

$$J = \frac{U - E}{R_s},$$

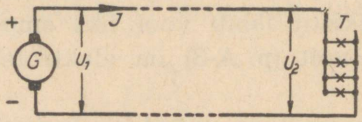
kus R_s — tarbija sisetakistus (Ω).

16. Pingelang juhtmetes.

Vool juhitakse vooluallikast tarbijani ja tagasi läbi juhtmete (joon. 6). Kuna juhtmed omavad teatavat takistust, siis Ohmi seaduse kohaselt (vt. p. A-14) tekib neis pingelang

$$\Delta U = J \cdot R_j \text{ [V]},$$

kus J — juhtmeid läbiv vool (A) ja R_j — juhtmete kogutakistus (Ω), s. o. kahe juhtme takistuste summa.



Joon. 6. Ühendusjuhtmed vooluallika ja tarbija vahel. G — vooluallikas, T — tarbijad.

Et tarbija klemmidel valitseks vajalik pinge, peab vooluallika klemmipinge olema juhtmete pingelangu võrra kõrgem:

$$U_1 = U_2 + \Delta U = U_2 + (J \cdot R_j) = J \cdot R,$$

kus U_1 — vooluallika klemmipinge, U_2 — pinge tarbija klemmidel, R — üldine välisvooluringi (tarbija + juhtmed) takistus, J ja R_j — nagu ülal.

Näide. Tarbija pinge $U_2 = 220$ V, vool $J = 5$ A. Juhtmed 10 mm², vasest. Liini pikkus on 1 km (edasitagasi 2 km). Leida jaama klemmipinge.

a) Liini takistus $R = \frac{\varrho \cdot l}{q} = \frac{0{,}0179 \cdot 2000}{10} = 3{,}58\ \Omega$.

b) Jaama pinge peab olema $U_1 = 220 + 5 \cdot 3{,}58 = 237{,}9$ V.

17. Võimsus *N*. Vatt W.

Võimsus näitab, kui suurt tööhulka suudab teha või kui suurt tööhulka vajab mingi masin või aparaat ajaühiku vältel. Pumpab näiteks üks pump 100 liitrit minutis teatavale kõrgusele,

teine samale kõrgusele 1000 liitrit minutis, siis on teise pumba võimsus 10 korda suurem.

Elektriline võimsus tähistatakse valemites tähega N.

Võimsus on võrdeline pinge ja voolu korrutisega, s. o.

$$N = U \cdot J,$$

kus N — teatava aparaadi võimsus (W), U — selle aparaadi pinge (V) ja J — selle aparaadi vool (A).

Võimsuse põhi-mõõtühikuks on 1 W (1 vatt), s. o. 1 V pinge ja 1 A voolu korral sooritatav töö sekundis. Suuremaks ühikuks on 1 MW (megavatt) = 1 000 000 W ja 1 kW (kilovatt) = 1000 W ning väiksemaks ühikuks 1 mW (millivatt) = = 0,001 W.

Seega 1 W = 0,000 001 MW = 0,001 kW = 1000 mW.

Ülaltoodu selgituseks olgu toodud analoogia mehaanikast: veekose võimsus on seda suurem, mida suurem on ajaühikus langeva vee hulk (vastab voolule) ja kukkumise kõrgus (vastab pingele), olles võrdeline nende korrutisega.

Võimsuse valemist tuleneb, et

$$\text{vool } J = \frac{N}{U} \text{ ja pinge } U = \frac{N}{J}.$$

Näide 1. Võrku toitva dünamo pinge on 110 V ja vool 150 A. Võrku antav võimsus $N = U \cdot J =$ $= 110 \cdot 150 = 16\,500$ W = 16,5 kW.

Näide 2. 220 V-se võrguga on paralleelselt ühendatud 3 hõõglampi à 150 W.

$$\text{Vool } J = \frac{N}{U} = \frac{3 \cdot 150}{220} = 2{,}05 \text{ A}.$$

Näide 3. Elektromagneti vool $J = 35$ A ja võimsus $N =$ = 15,4 kW.

$$\text{Tema tööpinge } U = \frac{N}{J} = \frac{15\,400}{35} = 440 \text{ V}.$$

Asetades võimsuse valemisse $N = U \cdot J$ Ohmi seaduse alusel U asemele $J \cdot R$ või J asemele $\frac{U}{R}$, saame:

$$N = J^2 \cdot R \quad \text{ja} \quad N = \frac{U^2}{R},$$

kus R — vastava tarbija takistus.

Viimased kaks valemit on rakendatavad ainult selliste tarbijate korral, mis ei oma vastutöötavat elektromotoorset jõudu. Need valemid ei ole seega rakendatavad laetavate akumulaatorite, elektrimootorite jne. võimsuse määramiseks.

Näide 4. Kui suur on 44 Ω takistusega küttekeha võimsus, kui teda läbiv vool $J = 5$ A?

$$N = J^2 \cdot R = 5^2 \cdot 44 = 1100 \text{ W}.$$

Näide 5. Kui suur on 380 V võrguga ühendatud voltmeetri võimsustarve, kui tema takistus on 13 000 Ω?

$$N = \frac{U^2}{R} = \frac{380^2}{13\,000} \approx 11{,}1 \text{ W}.$$

18. Töö *A*. Kilovatt-tund kWh.

Mingi elektrienergia allika või tarbija poolt antud või saadud tööhulga leidmiseks tuleb ajaühiku vältel tehtud töö, s. o. võimsus korrutada ajaga:

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

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

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

1 Ws	(vatt-sekund)	= 1 W · 1 s = 1 džaul.
1 Wh	(vatt-tund)	= 1 W · 1 h = 3600 Ws.
1 kWh	(kilovatt-tund)	= 1 kW · 1 h = 1000 Wh.
1 MWh	(megavatt-tund)	= 1 MW · 1 h = 1000 kWh.

Näide 1. 3 lampi à 60 vatti põles 150 tundi.
Tarvitatud töö $A = 3 \cdot 60 \cdot 150 = 27\,000$ Wh =
= 27 kWh.

Näide 2. Elektriahi töötas 3 tundi, kusjuures vool oli 10 amprit ja pinge 220 V.
Töö $A = 220 \cdot 10 \cdot 3 = 6600$ Wh = 6,6 kWh.

Töö ja võimsuse mõõtühikud on mehaanikas, elektrotehnikas ja soojustehnikas erinimelised; nende võrdlevad andmed on toodud tabeleis 2 ja 3.

Tabel 2.

Tööühikute võrdlus.

Ühik / Töö liik	mkg	HJh	Ws	kWh	cal	kcal
Mehaaniline töö	1		9,81		2,34	
Elektriline töö	367 200	1,36		1		860
Soojuslik töö	427		4190		1000	1

Tabel 3.

Võimsuse ühikute võrdlus.

Ühik / Võimsuse kuju	$\frac{\text{mkg}}{\text{s}}$	HJ	W	kW	$\frac{\text{cal}}{\text{s}}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{s}}$
Mehaaniline võimsus	75	1	736	0,736	176	
Elektriline võimsus	102	1,36	1000	1	240	0,24
Soojuslik võimsus		5,7		4,19	1000	1

19. Joule'i (džauli) seadus.

Joule'i seadus määrab soojusenergia ja elektrienergia suhet järgmiselt: voolu mõjul takistuses teatava aja vältel eralduv soojushulk on võrdeline voolu ruuduga, juhtme takistusega ja ajaga, s. o.

$$Q = 0{,}24\, J^2 \cdot R \cdot t,$$

kus Q — soojushulk (cal), J — vool takistuses (A), R — takistuse suurus (Ω), t — aeg (s).

Elektrilise ja soojusliku töö ühikute suhe on järgmine: 1 Ws = 1 J (džaul) = 0,24 cal, 1 Wh = 860 cal = 3600 J (džauli), 1 kWh = 860 kcal, 1 kcal = 4190 Ws, 1 kcal (kilokalor) = = 1000 cal (grammkalorit) = 1 liitri vee 1° C võrra soojendamiseks vajalik soojushulk (vt. ka p. A-18).

Takistuses eralduvat soojusenergiat pole võimalik alati täiel määral ära kasutada. Osa eralduvast soojusenergiast hajub kasutult, välja arvatud juhtumil, kui ta on määratud ümbruskonna õhu soojendamiseks.

Soojendusriistas kasutatava ja soojendusriistale antava soojushulga suhet väljendatakse nn. kasuteguriga (vt. ka p. A-21).

$$\eta = \frac{\text{soojendusriistas kasulikult kasutatud soojushulk}}{\text{soojendusriistale antud soojushulk}}.$$

Kasuteguri η suurus sõltub soojendusriista liigist ja ehitusest. Mingi aine temperatuuri tõstmiseks (soojendamiseks) vajalik, s. o. kasulik soojushulk Q_{kas} määratakse valemiga

$$Q_{kas} = c \cdot G \cdot (t_2 - t_1) \quad [\text{cal}],$$

kus c — aine erisoojus (cal/° C · g), mille suurus on veel — 1,0, jääl — 0,5, õhul — 0,24, raual — 0,11; G — aine kaal (g); t_2 — lõpptemperatuur (°C); t_1 — algtemperatuur (°C).

Arvesse võttes soojuse hajumist, peame soojendusriistale andma soojushulga:

$$Q = \frac{Q_{kas}}{\eta}.$$

Teades, et $J^2 \cdot R = U \cdot J = N$ (p. A-17), võib Joule'i seaduse kirjutada kujul:

$$Q = 0{,}24\, N \cdot t = 0{,}24\, U \cdot J \cdot t \quad [\text{cal}].$$

Sel kujul toodud valem on arvutamiseks rakendatav ainult selliste aparaatide juures, milledes ei esine vastutöötavat elektro-

motoorset jõudu. Seega pole ta rakendatav töötavate mootorite, laetavate akumulaatorite jne. puhul.

Näide 1. 2 liitrit 20° C vett on vaja 10 minuti vältel soojendada temperatuurini 100° C. Kui suurt võimsust selleks vajatakse ja kui palju läheb see maksma, kui 1 kWh maksab 25 kop.?

Vee soojendamiseks vajalik soojushulk
$Q_{kas} = c \cdot G \cdot (t_2 - t_1) = 1 \cdot 2000 \cdot (100 - 20) =$
$= 160\,000$ cal.

Eeldusel, et keeduriista kasutegur $\eta = 0{,}9$, on tegelikult vajalik soojushulk $Q = \frac{Q_{kas}}{\eta} = \frac{160\,000}{0{,}9} =$
$= 177\,778$ cal ja võimsus $N = \frac{Q}{0{,}24 \cdot t} = \frac{177\,778}{0{,}24 \cdot 60 \cdot 10} \approx$
≈ 1235 W. Töö $A = N \cdot t = 1235 \cdot \frac{10}{60} = 205{,}8$ Wh $\approx$
$\approx 0{,}206$ kWh. Maksumus $25 \cdot 0{,}206 = 5{,}1$ kop.

Näide 2. Kui kiiresti soojendab 24,2-oomise küttekehaga keedunõu 0,6 l vett temperatuurilt 15° C temperatuurini 80° C, kui teda läbiv vool $J = 4{,}55$ A ja keedunõu kasutegur $\eta = 0{,}83$?

Keedunõule vajalik soojushulk

$$Q = \frac{c \cdot G \cdot (t_2 - t_1)}{\eta} = \frac{1 \cdot 600 \cdot (80 - 15)}{0{,}83} \approx 47\,000 \text{ cal.}$$

Valemist $Q = 0{,}24 \cdot J^2 \cdot R \cdot t$ leiame aja

$$t = \frac{Q}{(0{,}24 \cdot J^2 \cdot R)} = \frac{47\,000}{(0{,}24 \cdot 4{,}55^2 \cdot 24{,}2)} = 391 \text{ s} =$$
$= 6$ min. 31 s.

Keedunõu tööpinge:
$U = J \cdot R = 4{,}55 \cdot 24{,}2 = 110$ V.

Keedunõu võimsus:
$N = U \cdot J. = J^2 \cdot R = 110 \cdot 4{,}55 = 4{,}55^2 \cdot 24{,}2 \approx$
≈ 500 W.

20. Energia.

Energia all mõistetakse töötagavara. Energia võib esineda väga mitmesugusel kujul; näit. soojus, elektrivool, mehaaniline liikumine on energia mitmesugused liigid.

Ühte energialiiki saab muundada teistsuguseks energialiigiks. Näiteks kivisöe keemiline energia muundub koldes soojusenergiaks, see omakorda katlas — rõhuenergiaks ning viimane turbiinis — mehaanilise liikumise energiaks. Seejuures pole aga võimalik ühe energialiigi täielik muutumine soovitavaks teiseliigiliseks energiaks, ikka muutub teatav osa esimese liigi energiast mittevajalikuks kolmandaliigiliseks energiaks, mis moodustab energiakao. Üldine energia hulk ei suurene ega vähene, ta muudab ainult oma kuju. See on määratud energia säilimise seadusega.

Energiahulka mõõdetakse töö-mõõtühikutes, näiteks mkg-des, kWh-des, kcal-tes jne.

21. Kasutegur η.

Energia muundamisel ei muundu kogu muundatav energia soovitud liiki energiaks. Kui näiteks elektrimootor võtab võrgust 736 W, mis vastab mehaanilisele energiale 1 HJ, siis tema võllilt saadakse ainult 0,7 kuni 0,9 HJ, kuna puuduv osa läheb kaotsi soojusena.

Suhet masinalt saadud (N_2) ja masinale antud (N_1) võimsuste (või vastavate tööhulkade) vahel nimetatakse kasuteguriks (vt. ka p. A-19), s. o.

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

Kasuteguri suurus võib olla 0 ja 1 vahel. Ta väljendatakse kas murruna või %-des, näit. $\eta = 0{,}785$ või $\eta = 78{,}5\%$ ($\eta\% = \eta \cdot 100$).

Ligikaudsed kasutegurid üksikute masinate kohta täiskoormusel on antud alljärgnevas tabelis:

Tabel 4.

Masinate ligikaudsed kasutegurid.

Seadise nimetus	Kasutegur η%	Seadise nimetus	Kasutegur η%
Transformaator .	90...99	Diiselmootor . .	30...35
Elavhõbedaaur-alaldaja . . .	80...97	Gaasimootor . .	20...28
Elektrimasin . .	70...95	Auruturbiin (koos katlaga) . . .	17...31
Veeturbiin . . .	70...90	Aurumasin . . .	9...25
Kolvipump . . .	80...90	Elektrilamp . .	2...8
Akumulaator . .	65...75		
Rataspump . . .	60...80		

22. Tegevtakistusega tarbijate ühendamine.

Tarbijaid saab omavahel ühendada kolmel viisil: järjestikku, paralleelselt ja segaühenduses.

Allpool tähendavad (vt. p. A-23, 24 ja 25):

U — kogupinge (V),
U_1, U_2, ... — üksiku tarbija klemmipinge (V),
J — koguvool (A),
J_1, J_2, ... — üksikut tarbijat läbiv vool (A),
R — kogutakistus (Ω),
R_1, R_2, ... — üksiku tarbija takistus (Ω),
G — kogujuhtivus (S),
G_1, G_2, ... — üksiku tarbija juhtivus (S),
n — takistuste või tarbijate arv.

Peamiseks ühendamisviisiks on paralleelühendus. Nii näiteks on hõõglambid, triikrauad ja keeduplaadid ühes korteris, mitmed korterid omavahel, kõik mootorid ühes käitises ja kogu rajoonis, ühendatud võrku paralleelselt. Energiatarbijate järjestikku ühendamist kasutatakse harvemini. Järjestikku ühendatakse näiteks näärikuuse- ja reklaam-hõõglambid, valgustushõõglambid trammides ja elektrirongides, mootor ja käiviti käivitamise vältel jt. Igasugune elektriliin on ühendatud tarbi-

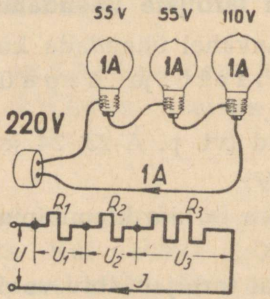
jaga järjestikku ja teda võib vaadelda samuti tarbijana, kuna tema juhtmete takistuse ületamiseks kulub teatav energia, s. o. esineb energia tarbimine.

Elektri jaotusvõrgu üksikud osad on segaühenduses: üksikud liiniosad on omavahel järjestikku- kui ka paralleelühenduses. Segaühendus esineb ka ümberlülitatavais aparaatides, näiteks elektriahjudes, -pliitides. Raadiovastuvõtjas on juba väga keerukas segaühendus.

23. Tegevtakistusega tarbijad järjestikku-ühenduses.

(Tähiste seletust vt. p. A-22.)

Tähelepanekud tarbijate järjestikku-ühenduse puhul (joon. 7):



Joon. 7. Tegevtakistusega tarbijate järjestikku-ühendus.

1) Kõiki tarbijaid läbib sama vool J.

2) Erisuuruse takistusega tarbijail on erinevad klemmipinged:

$$U_1 \neq U_2 \neq U_3 \neq \cdots .$$

3) Klemmipingete suhtelised suurused on võrdelised takistuste suhteliste suurustega:

$$U_1 : U_2 : U_3 : \cdots = R_1 : R_2 : R_3 : \cdots .$$

4) Kogupinge võrdub üksikute klemmipingete summaga:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots .$$

5) Kogutakistus võrdub üksikute takistuste summaga:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots .$$

6) Vooluringi elektrilised suurused sõltuvad vooluringi moodustavaist tarbijaist, sest ühe tarbija väljalülitamine või tema takistuse suuruse muutumine mõjutab kogu vooluringi.

7) Koguvõimsus on üksikute tarbijate võimsuste summa (see on kehtiv kõigi ühendamisviiside juures):

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + \cdots .$$

Arvutuse käik: Kogutakistus $R = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots$, vool $J = \frac{U}{R}$, üksikud klemmipinged $U_1 = J \cdot R_1$, $U_2 = J \cdot R_2$, $U_3 = J \cdot R_3$ jne.; kontrolliks $U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots$; üksikud võimsused $N_1 = U_1 \cdot J$, $N_2 = U_2 \cdot J$, $N_3 = U_3 \cdot J$ jne.; kontrolliks $N = U \cdot J = N_1 + N_2 + N_3 + \cdots$.

Näide 1. Tarbijad takistusega 5, 8 ja 12 Ω on ühendatud 220 V võrguga järjestikku. Leida R, J, U_1, U_2, U_3, N_1, N_2, N_3, N.

Kogutakistus $R = R_1 + R_2 + R_3 = 5 + 8 + 12 = 25\ \Omega$.

Vool $J = \frac{U}{R} = \frac{220}{25} = 8{,}8$ A.

Pinged üksikute tarbijate klemmidel:

$U_1 = J \cdot R_1 = 8{,}8 \cdot 5 = 44{,}0$ V
$U_2 = J \cdot R_2 = 8{,}8 \cdot 8 = 70{,}4$ V
$U_3 = J \cdot R_3 = 8{,}8 \cdot 12 = 105{,}6$ V

Kogupinge $U = 220{,}0$ V

Üksikud võimsused:

$N_1 = U_1 \cdot J = 44{,}0 \cdot 8{,}8 = 387{,}2$ W
$N_2 = U_2 \cdot J = 70{,}4 \cdot 8{,}8 = 619{,}52$ W
$N_3 = U_3 \cdot J = 105{,}6 \cdot 8{,}8 = 929{,}28$ W

$N = U \cdot J = 220 \cdot 8{,}8 = 1936$ W

Näide 2. Kui suur peaks olema eeltakistus 120 V, 350 W triikraual, et teda võiks ühendada 220 V võrguga?

Triikrauaga järjestikku ühendatavas eeltakistis peab tekkima pingelang $U_2 = U - U_1 = 220 - 120 = 100$ V.

Vool triikrauas $J = \frac{N}{U} = \frac{350}{120} \approx 2{,}92$ A.

Eeltakistuse suurus $R_2 = \frac{U_2}{J} = \frac{100}{2{,}92} \approx 34{,}2\ \Omega$.

Erijuhtumil, kui kõik n tarbijat omavad võrdset takistust, on arvutuse käik lihtsam:

$$R = n \cdot R_1 \quad \text{ja} \quad U_t = \frac{U}{n}.$$

Näide 3. 12 ühesuuruse takistusega tarbijat on ühendatud 60 V võrguga järjestikku ja neid läbiv vool on 3 A. Leida R_1, U_t, N.

Kogutakistus $R = \frac{U}{J} = \frac{60}{3} = 20\ \Omega$.

Üksiku tarbija takistus $R_1 = \frac{R}{n} = \frac{20}{12} = 1{,}67\ \Omega$.

Üksiku tarbija klemmipinge $U_t = \frac{U}{n} = J \cdot R_1 =$

$= \frac{60}{12} = 3 \cdot 1{,}67 = 5$ V.

Üksiku tarbija võimsus $N_1 = U_t \cdot J = J^2 \cdot R =$
$= 5 \cdot 3 = 3^2 \cdot 1{,}67 = 15$ W.
Koguvõimsus $N = U \cdot J = n \cdot N_1 = 60 \cdot 3 = 12 \cdot 15 =$
$= 180$ W.

24. Tegevtakistusega tarbijad paralleelühenduses.

(Tähiste seletust vt. p. A-22.)

Tähelepanekuid tarbijate paralleelühenduse puhul (joon. 8):

1) Kõigil tarbijail on ühesugune pinge U.
2) Erisuuruse takistusega tarbijais on vool erinev:

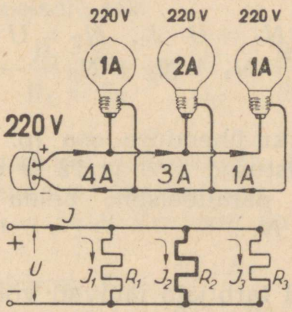
$$J_1 \neq J_2 \neq J_3 \neq \cdots .$$

3) Tarbijaid läbivad voolud on pöördvõrdelised tarbijate takistuse suurusega:

$$J_1 : J_2 : J_3 : \cdots = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3} : \cdots .$$

4) Koguvool võrdub üksikute tarbijate voolude summaga:

$$J = J_1 + J_2 + J_3 + \cdots .$$



Joon. 8. Tegevtakistusega tarbijad paralleelühenduses.

5) Kogutakistuse pöördväärtus võrdub üksikute takistuste pöördväärtuste summaga:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots ;$$

kogutakistus on alati väiksem kõige väiksemast takistusest.

6) Kogujuhtivus võrdub üksikute tarbijate juhtivuse summaga:

$$G = G_1 + G_2 + G_3 + \cdots .$$

7) Tarbijad on üksteisest sõltumatud, sest ühe tarbija väljalülitamine või tema takistuse muutumine ei mõjuta teisi tarbijaid.

Arvutuse käik: Kogutakistuse pöördväärtus

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots .$$

Kuna eriti suurte takistuste puhul arvutamine pöördvõrdeliste suurustega on tülikas, siis võib selle arvutuskäigu ära jätta ja arvutada kohe üksikute tarbijate voolud $J_1 = \frac{U}{R_1}$, $J_2 = \frac{U}{R_2}$, $J_3 = \frac{U}{R_3}$ jne., koguvool $J = J_1 + J_2 + J_3 + \cdots$. Nüüd võib leida kogutakistus (kui seda pole varem tehtud): $R = \frac{U}{J}$. Üksikud võimsused on $N_1 = U \cdot J_1$, $N_2 = U \cdot J_2$, $N_3 = U \cdot J_3$ jne. Kontrollida $N = U \cdot J = N_1 + N_2 + N_3 + \cdots$.

Näide 1. Järjestikku-ühenduse osa (p. A-23) näites 1 toodud takistused 5, 8 ja 12 Ω on ühendatud 220 V võrguga paralleelselt. Leida J_1, J_2, J_3, J, R, N_1, N_2, N_3, N.

Üksikuid tarbijaid läbivad voolud:

$$J_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{220}{5} = 44{,}0 \text{ A}$$

$$J_2 = \frac{U}{R_2} = \frac{220}{8} = 27{,}5 \text{ A}$$

$$J_3 = \frac{U}{R_3} = \frac{220}{12} \approx 18{,}3 \text{ A}$$

Koguvool $J = J_1 + J_2 + J_3 \approx 89{,}8$ A

Kogutakistus $R = \frac{U}{J} = \frac{220}{89{,}8} = 2{,}45\ \Omega$.

Seda võib leida ka teisiti:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{5} + \frac{1}{8} + \frac{1}{12} = \frac{49}{120};$$

$$R = \frac{120}{49} \approx 2{,}45\ \Omega.$$

Üksikute tarbijate võimsused:

$$N_1 = U \cdot J_1 = 220 \cdot 44 = 9\,680 \text{ W}$$
$$N_2 = U \cdot J_2 = 220 \cdot 27{,}5 = 6\,050 \text{ W}$$
$$N_3 = U \cdot J_3 = 220 \cdot 18{,}3 = 4\,026 \text{ W}$$

$$N = U \cdot J = 220 \cdot 89{,}8 = 19\,756 \text{ W}$$

Erijuhtumil, kui kaks erisuuruse takistusega tarbijat on ühendatud paralleelselt, siis

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad \text{ja} \quad \frac{J_1}{J_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$

Näide 2. Kaks tarbijat takistusega $R_1 = 3\ \Omega$ ja $R_2 = 7\ \Omega$ on ühendatud paralleelselt. Esimest tarbijat läbiv vool $J_1 = 14$ A. Kui suur on R ja J_2?

$$\text{Kogutakistus } R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{3 \cdot 7}{3 + 7} = \frac{21}{10} = 2{,}1\ \Omega.$$

$$\text{Teist tarbijat läbiv vool } J_2 = J_1 \cdot \frac{R_1}{R_2} = 14 \cdot \frac{3}{7} = 6 \text{ A}.$$

Erijuhtumil, kui kolm isesuuruse takistusega tarbijat on ühendatud paralleelselt, siis

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3}.$$

Näide 3. Paralleelselt on ühendatud kolm takistit 3, 7 ja 5 Ω. Kui suur on kogutakistus?

$$\text{Kogutakistus } R = \frac{3 \cdot 7 \cdot 5}{3 \cdot 7 + 7 \cdot 5 + 3 \cdot 5} = \frac{105}{71} \approx$$

$\approx 1{,}48\ \Omega$.

Erijuhtumil, kui kõigi n tarbija takistused on võrdsed, siis on arvutuse käik lihtsam:

$$J_t = \frac{U}{R_t} = \frac{J}{n} \quad \text{ja} \quad R = \frac{R_t}{n}.$$

Näide 4. 25 ühesuurust takistust on ühendatud 15 V võrguga paralleelselt. Iga tarbija takistus $R_t = 7{,}5\ \Omega$. Leida J_t, R, N.

Üksikut tarbijat läbiv vool $J_t = \frac{U}{R_t} = \frac{15}{7{,}5} = 2$ A.

Koguvool $J = n \cdot J_t = 25 \cdot 2 = 50$ A.

Kogutakistus $R = \frac{R_t}{n} = \frac{U}{J} = \frac{7{,}5}{25} = \frac{15}{50} = 0{,}3\ \Omega$.

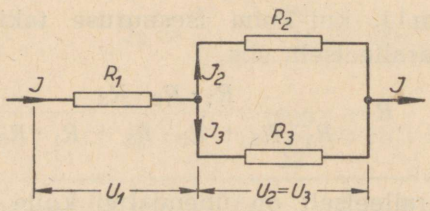
Üksikute tarbijate võimsus $N_t = U \cdot J_t = J_t^2 \cdot R_t = 15 \cdot 2 = 2^2 \cdot 7{,}5 = 30$ W.

Koguvõimsus $N = U \cdot J = n \cdot N_t = 15 \cdot 50 = 25 \cdot 30 = 750$ W.

25. Tegevtakistusega tarbijad segaühenduses.

(Tähiste seletust vt. p. A-22.)

Segaühenduses on üksikud tarbijad omavahel ühendatud osalt paralleelselt ja osalt järjestikku. Segaühendus võib omada vägagi keerukat kuju. Tema elektrilised suurused on arvutatavad üksikute osade kaupa kas järjestikku- või paralleelühenduse valemite abil. Segaühenduse kaks põhivormi on näidatud joon. 9 ja 10.



Joon. 9. Tegevtakistusega tarbijad segaühenduses.

Joon. 9 toodud segaühenduse elektrilised suurused on arvutatavad järgmiselt: esmalt leitakse teise ja kolmanda tarbija takistuste R_2 ja R_3 summa, s. o. $R_{2,3} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}$, siis kogutakistus $R = R_1 + R_{2,3}$, koguvool $J = \frac{U}{R}$, osapinged $U_1 = J \cdot R_1$ ja $U_2 = U_3 = J \cdot R_{2,3}$, voolud $J_2 = \frac{U_2}{R_2}$ ja $J_3 = \frac{U_2}{R_3}$.

Näide 1. Joon. 9 kohaselt $R_1 = 2{,}6\ \Omega$, $R_2 = 6\ \Omega$, $R_3 = 4\ \Omega$, $U = 40$ V.

$$R_{2,3} = \frac{6 \cdot 4}{6 + 4} = \frac{24}{10} = 2{,}4\ \Omega.$$

$$R = R_1 + R_{2,3} = 2{,}6 + 2{,}4 = 5\ \Omega.$$

$$J = \frac{U}{R} = \frac{40}{5} = 8\ \text{A}.$$

$$U_1 = J \cdot R_1 = 8 \cdot 2{,}6 = 20{,}8\ \text{V}.$$

$$U_2 = U_3 = J \cdot R_{2,3} = 8 \cdot 2{,}4 = 19{,}2\ \text{V}.$$

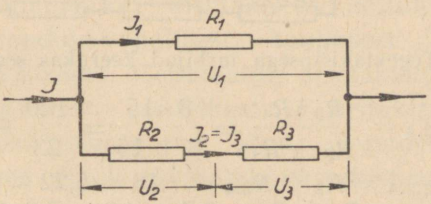
$$U = J \cdot R = 8 \cdot 5 = 40\ \text{V}.$$

$$J_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{19{,}2}{6} = 3{,}2\ \text{A}.$$

$$J_3 = \frac{U_2}{R_3} = \frac{U_3}{R_3} = \frac{19{,}2}{4} = 4{,}8\ \text{A}.$$

$$J = J_2 + J_3 = 3{,}2 + 4{,}8 = 8\ \text{A}.$$

Joon. 10 toodud segaühenduses on elektrilised suurused arvutatavad järgmiselt: esmalt leitakse teise ja kolmanda tar-



Joon. 10. Tegevtakistusega tarbijad segaühenduses.

bija takistuste R_2 ja R_3 summa $R_{2,3} = R_2 + R_3$, siis kogutakistus $R = \frac{R_1 \cdot R_{2,3}}{R_1 + R_{2,3}}$, voolud $J_1 = \frac{U}{R_1}$ ja $J_2 = J_3 = \frac{U}{R_{2,3}}$, koguvool $J = J_1 + J_2$, osapinged $U_2 = J_2 \cdot R_2$ ja $U_3 = J_2 \cdot R_3$.

Näide 2. Joon. 10 kohaselt: $R_1 = 2\ \Omega$, $R_2 = 5\ \Omega$, $R_3 = 3\ \Omega$, $U = 32$ V.

$$R_{2,3} = R_2 + R_3 = 5 + 3 = 8\ \Omega.$$

$$R = \frac{2 \cdot 8}{2 + 8} = \frac{16}{10} = 1{,}6\ \Omega.$$

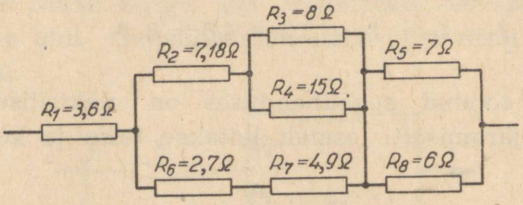
$$J_1 = \frac{U}{R_1} = \frac{32}{2} = 16\ \text{A}.$$

$$J_2 = J_3 = \frac{U}{R_{2,3}} = \frac{32}{8} = 4\ \text{A}.$$

$$J = \frac{U}{R} = \frac{32}{1{,}6} = 20\ \text{A}.$$

$$U_2 = J_2 \cdot R_2 = 4 \cdot 5 = 20\ \text{V}.$$
$$U_3 = J_2 \cdot R_3 = 4 \cdot 3 = 12\ \text{V}.$$
$$U = U_2 + U_3 = 20 + 12 = 32\ \text{V}.$$

Näide 3. Joon. 11 on toodud segaühenduse skeem. Leida kogutakistus R.



Joon. 11. Tegevtakistusega tarbijad keerukas segaühenduses.

$$R_{3,4} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = \frac{8 \cdot 15}{8 + 15} = \frac{120}{23} \approx 5{,}22\ \Omega.$$
$$R_{2,3,4} = R_2 + R_{3,4} = 7{,}18 + 5{,}22 \approx 12{,}4\ \Omega.$$
$$R_{6,7} = R_6 + R_7 = 2{,}7 + 4{,}9 = 7{,}6\ \Omega.$$
$$R_{2,3,4,6,7} = \frac{R_{2,3,4} \cdot R_{6,7}}{R_{2,3,4} + R_{6,7}} = \frac{12{,}4 \cdot 7{,}6}{12{,}4 + 7{,}6} \approx 4{,}71\ \Omega.$$
$$R_{5,8} = \frac{R_5 \cdot R_8}{R_5 + R_8} = \frac{7 \cdot 6}{7 + 6} = \frac{42}{13} \approx 3{,}23\ \Omega.$$
$$R = R_1 + R_{2,3,4,6,7} + R_{5,8} = 3{,}6 + 4{,}71 + 3{,}23 \approx$$
$$\approx 11{,}54\ \Omega.$$

26. Vooluallika (elektrienergia allika) põhiomadused.

Praktikas esinevatest vooluallikatest — elektrienergia allikatest — võib nimetada: galvaani elemente ja patareisid, alalisvoolu generaatoreid (dünamoid), vahelduvvoolu generaatoreid (alternaatoreid), telefoni induktoreid, automagneetosid jt. Harvemini esinevad termoelemendid (termopaarid) ja fotoelemendid. Vooluallikate hulka võib lugeda ka nn. sekundaarseid vooluallikaid, näiteks akumulaatori elemente ja patareisid, transformaatori sekundaarmähiseid jt.

Vooluallika elektromotoorne jõud E sõltub mitmest tegurist. Galvaani (keemilise) elemendi või akumulaatori elektromotoorne jõud sõltub elektroodide ja elektrolüüdi keemilisest koostisest. Generaatori elektromotoorne jõud sõltub magnetvoo suurusest ja generaatori pöörlemise kiirusest. Termoelemendi elektromotoorne jõud sõltub kasutatavaist aineist ja jootekoha temperatuurist. Igal juhtumil elektromotoorse jõu suurus ei sõltu vooluallika suurusest.

Vooluallika sisetakistus R_s on arvutatav tavaliste elektrilise takistuse arvutamise valemite abil ja sõltub elektrit juhtiva aine pikkusest, ristlõikest ja eritakistusest. Galvaani elemendi või akumulaatori sisetakistus sõltub elektroodide pindadest, elektroodide-vahelisest kaugusest ja peamiselt elektrolüüdi eritakistusest. Generaatori sisetakistus sõltub selle mähise traadi pikkusest, ristlõikest ja eritakistusest, milles indutseeritakse elektromotoorne jõud. Termoelemendi sisetakistus sõltub tema ribade ja jootekoha takistusest.

Vooluallika sisetakistuse hulka tuleb arvata ka tema sisemiste ühendusjuhtmete, ühendusribade ja muude osade takistused kuni vooluallika klemmideni, näiteks elemendis elektroodide takistus ja üleminekutakistus elektroodilt elektrolüüti, alalisvoolu generaatoris mähiste ühendusklemmide, harjade ja kommutaatori takistused ning üleminekutakistus harjadelt kommutaatorile.

Vooluallika sisetakistus (R_s) on võimsal generaatoril mõni tuhandik oomi, keskmisel generaatoril mõni kümnendik oomi, galvaani ja akumulaatori elemendil sõltuvalt suurusest 0,1 . . . 3 Ω ja üsna väikesel vooluallikal, näiteks anoodpatareil, 1 . . . 100 Ω.

Vooluallikat iseloomustab nimipinge, nimivool, nimivõimsus ja nimimahtuvus, viimane ainult galvaani ja sekundaarelementidel.

Vooluallika nimivool, s. o. normaalne koormusvool, on tavaliselt märgitud vooluallika sildil. Keemiliste vooluallikate juures sõltub nimivool voolutihedusest elektroodil (A/dm²) ja seega elektroodide pindala suurusest. Generaatorite nimivool sõltub voolutihedusest mähistes (A/mm²), millele panevad piiri masinale lubatavad soojenemistingimused.

Vooluallika nimivõimsuse all tuleb mõista seda võimsust, mida vooluallikas suudab anda nimipinge juures, soojenemata üle lubatava piiri.

Galvaani elementide ja akumulaatorite juures tuleb tegelda veel vooluallika mahtuvusega, mida tavaliselt märgitakse tähega C ja mõõdetakse ampertundides (Ah). Neis vooluallikates peituv elektrienergia hulk on piiratud ja sõltub keemiliste ainete hulgast või teiste sõnadega — elektroodide massist.

27. Vooluallika elektromotoorne jõud, pingelang ja pinge.

Vooluallika sisetakistuse R_s tõttu tekib vooluallika koormamisel koormusvoolu J mõjul vooluallika sees pingelang, mida nimetatakse pingelanguks vooluallikas:

$$\Delta U_s = J \cdot R_s.$$

Vastavalt sellele pingelang vooluallikas on võrdeline vooluallika sisetakistuse ja koormusvooluga. Jõudeolekul (koormamata olekus) on pingelang vooluallikas võrdne nulliga, sest $J = 0$.

Vooluallikal tuleb eraldi vaadelda: tema elektromotoorset jõudu E, s. o. potentsiaalide vahet, mis tekib

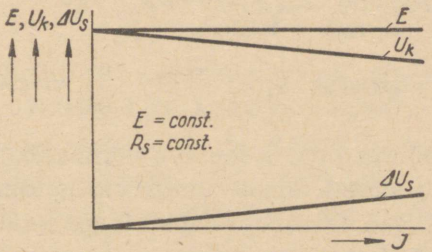
vooluallikas tema elektromotoorsete omaduste tõttu (näiteks elemendi elektroodide ja elektrolüüdi vahel, generaatori mähises, termoelemendi liitekohas jne.) ja tema klemmipinget U_k, s. o. potentsiaalide vahet vooluallika välisklemmidel (joon. 12); mõlemaid mõõdetakse voltides (V), kuid vooluallikas esineva sise-pingelangu tõttu pole nad alati võrdsed.

Jõudeolekul vooluallika klemmipinge on võrdne tema elektromotoorse jõuga, s. o. $U = E$, sest pingelang $\Delta U_s = 0$.

Koormamisel vooluallika klemmipinge väheneb, võrreldes elektromotoorse jõuga, pingelangu ΔU_s võrra koormusvoolu mõjul:

$$U_k = E - \Delta U_s = E - J \cdot R_s.$$

Seega koormatud vooluallika klemmipinge U_k on alati väiksem tema elektromotoorsest jõust E. Mida suurem on koormusvool, seda suurem on pingelang vooluallikas ja seda väiksem on vooluallika klemmipinge.



Joon. 12. Vooluallika elektromotoorse jõu, klemmipinge ja pingelangu sõltuvus koormusvoolust.

Sellest järgneb, et $E = U_k + \Delta U_s$ ja $\Delta U_s = E - U$.

Eeldusel, et vooluallika elektromotoorne jõud ja sisetakistus on püsivad suurused, võib E, U_k ja ΔU_s sõltuvust koormusvoolust J graafiliselt näidata joon. 12 abil.

Näide 1. Tina-akumulaatori elektromotoorne jõud $E = 2$ V, tema sisetakistus $R_s = 0{,}02\ \Omega$ ja ta on koormatud vooluga $J = 5$ A. Kui suur on selles akumulaatoris pingelang ja klemmipinge?

Pingelang $\Delta U_s = J \cdot R_s = 5 \cdot 0{,}02 = 0{,}1$ V.
Klemmipinge $U_k = E - \Delta U_s = 2 - 0{,}1 = 1{,}9$ V.

Näide 2. Kui suur oleks eelmises näites toodud akumulaatori klemmipinge, kui ta oleks koormatud vooluga 15 A?

Pingelang $\Delta U_s = J \cdot R_s = 15 \cdot 0{,}02 = 0{,}3$ V.
Klemmipinge $U_k = E - \Delta U_s = 2 - 0{,}3 = 1{,}7$ V.

Näide 3. Generaatori klemmipinge $U_k = 440$ V, koormusvool $J = 46$ A ja sisetakistus $R_s = 0{,}5\ \Omega$. Kui suur on selle generaatori elektromotoorne jõud?

Pingelang $\Delta U_s = J \cdot R_s = 46 \cdot 0{,}5 = 23$ V.
Elektromotoorne jõud $E = U_k + \Delta U_s = 440 + 23 = 463$ V.

Näide 4. Vooluallikas on koormatud 40 mA-ga, tema elektromotoorne jõud $E = 120$ V ja klemmipinge $U_k = 114$ V. Kui suur on sisetakistus R_s?

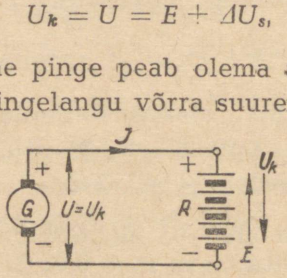
Pingelang $\Delta U_s = E - U_k = 120 - 114 = 6$ V.
$J = 40$ mA $= 0{,}04$ A.

Sisetakistus $R_s = \dfrac{\Delta U}{J} = \dfrac{6}{0{,}04} = 150\ \Omega.$

Siinkohal tuleb mainida, et laetava vooluallika — aku — laadimisel peab voolu suund temas olema vastupidine. See on võimalik ainult siis, kui laadiva vooluallikaga (näit. dünamoga — joon. 13) ühendatud aku klemmidel on klemmipinge

$$U_k = U = E + \Delta U_s,$$

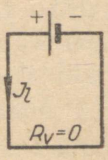
s. t. klemmidevaheline pinge peab olema aku elektromotoorsest jõust akus esineva pingelangu võrra suurem.



Joon. 13. Vooluallikas (aku) laadimisel.

Näide 5. Akumulaator, mille elektromotoorne jõud $E = 1{,}3$ V ja sisetakistus $R_s = 0{,}04\ \Omega$, laetakse vooluga $J = 10$ A. Kui suur peab olema klemmipinge laadimisel?
Pingelang akus $\Delta U_s = J \cdot R_s = 10 \cdot 0{,}04 = 0{,}4$ V.
Klemmipinge $U = E + \Delta U_s = 1{,}3 + 0{,}4 = 1{,}7$ V.

Erinev olukord on vooluallika lühistatud seisukorras (joon. 14). Sel korral väli-vooluringi takistus $R_v = 0$ ja voolu-



Joon. 14. Vooluallikas lühises.

allika sees tekib väga suur lühisvool. Viimane arvutatakse Ohmi seaduse kohaselt

$$J_l = \frac{E}{R_s}\ [\mathrm{A}],$$

kus E — vooluallika elektromotoorne jõud (V) ja R_s — vooluallika sisetakistus (Ω). Andes sellele avaldisele teise kuju $E = J_l \cdot R_s$ ja teiselt poolt määrates vooluallika pingelangu $\Delta U_s = J_l \cdot R_s$ näeme, et pingelang vooluallikas ja elektromotoorne jõud on võrdsed. Sel korral klemmipinge $U_k = E - \Delta U_s = 0$.

Kokkuvõte:

Jõudeolekus	$J = 0$,	$\Delta U_s = 0$,	$U_k = E$.
Koormamisel	$J =$ norm.,	$\Delta U_s = J \cdot R_s$,	$U_k < E$, $U_k = E - \Delta U_s$.
Lühise korral	$J =$ väga suur,	$\Delta U_s = J \cdot R_s \neq E$,	$U_k = 0$.

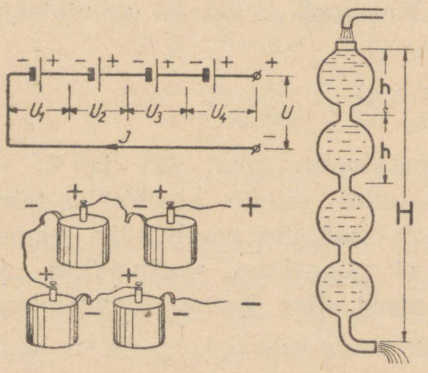
28. Vooluallikad järjestikku-ühenduses.

Suuremate pingete, voolude ja võimsuste saamiseks ühendatakse üksikuid vooluallikaid omavahel rühmadesse. Galvaani või akumulaatori elementidest koosnevat rühma nimetatakse patareiks.

Vooluallikate omavaheline ühendamine võib toimuda kolmel viisil: järjestikku, paralleelselt ja segaühenduses.

Allpool tähendavad (vt. ka p. A-29 ja 30):

$E_1, E_2, \ldots$ — üksiku vooluallika elektromotoorne jõud (V),
E_p — patarei (vooluallikate rühma) elektromotoorne jõud (V),
$J_1, J_2, \ldots$ — üksiku vooluallika vool (A),
J — patarei (vooluallikate rühma) vool (A),
$R_{s1}, R_{s2}, \ldots$ — üksiku vooluallika sisetakistus (Ω),
R_p — patarei (vooluallikate rühma) sisetakistus (Ω),
C — üksiku elemendi mahtuvus (Ah),
ΣC — patarei mahtuvus (Ah),
R_v — välistakistus (Ω).



Joon. 15. Vooluallikad järjestikkuühenduses.

Vooluallikate järjestikku-ühenduse teostamiseks ühendatakse esimese vooluallika miinusklemm teise vooluallika plussklemmiga, teise vooluallika miinusklemm kolmanda vooluallika plussklemmiga jne. (vt. joon. 15). Vooluallikate järjekord pole seejuures tähtis.

Järjestikku ühendatud vooluallikatega patarei elektromotoorne jõud võrdub üksikute vooluallikate elektromotoorsete jõudude summaga, s. o.

$$E_p = E_1 + E_2 + E_3 + \cdots + E_n.$$

Patarei sisetakistus võrdub üksikute vooluallikate sisetakistuste summaga, nagu tavaliselt takistite järjestikku ühendamisel, see on

$$R_p = R_{s1} + R_{s2} + R_{s3} + \cdots + R_{sn}.$$

Koormatud patarei voolu arvutamisel tuleb patarei elektromotoorne jõud jagada patarei sise- ja välistakistuse summaga:

$$J = \frac{E_p}{R_p + R_v}.$$

Vool J on muidugi ühine kõigile vooluallikatele, sest kogu patareid läbib üks ning sama vool.

Näide 1. Kolm elementi, milledel $E_1 = 1{,}5$ V, $E_2 = 2$ V, $E_3 = 1{,}1$ V ja $R_{s1} = 0{,}15\ \Omega$, $R_{s2} = 0{,}05\ \Omega$, $R_{s3} = 0{,}25\ \Omega$, on ühendatud järjestikku ja ühendatud välistakistusega $R_v = 1{,}85\ \Omega$. Leida vooluringis tekkiv vool J.

Patarei elektromotoorne jõud $E_p = E_1 + E_2 + E_3 = 1{,}5 + 2 + 1{,}1 = 4{,}6$ V.
Patarei sisetakistus $R_p = R_{s1} + R_{s2} + R_{s3} = 0{,}15 + 0{,}05 + 0{,}25 = 0{,}45\ \Omega$.
Vooluringi kogutakistus $R_p + R_v = 0{,}45 + 1{,}85 = 2{,}3\ \Omega$.
Vooluringi läbiv vool $J = \frac{E_p}{R_p + R_v} = \frac{4{,}6}{2{,}3} = 2$ A.

Patarei klemmipinge U_p leidmiseks tuleb patarei elektromotoorsest jõust E_p lahutada patareis tekkiv sise-pingelang ΔU_p, s. o.

$$U_p = E_p - \Delta U_p, \quad \text{kus } \Delta U_p = J \cdot R_p.$$

Näide 2. Leida eelmises näites toodud patarei klemmipinge.

Patarei elektromotoorne jõud $E_p = 4{,}6$ V.
Patarei sisetakistus $R_p = 0{,}45\ \Omega$.
Patarei vool $J = 2$ A.
Patarei sise-pingelang $\Delta U_p = J \cdot R_p = 2 \cdot 0{,}45 = 0{,}9$ V.
Patarei klemmipinge $U_p = E_p - \Delta U_p = 4{,}6 - 0{,}9 = 3{,}7$ V.

See patarei klemmipinge võrdub pingelanguga välistakistuse R_v klemmidel siis, kui ühendusjuhtmete takistus on võrdne nulliga. Kui ühendusjuhtmed on lühikesed ja jämedad, s. o. kui nende takistus on praktiliselt tähtsusetu, võrreldes välise

koormustakisti takistusega, siis võib teostada veel kontrollimist:

$$U_v = J \cdot R_v = 2 \cdot 1{,}85 = 3{,}7 \text{ V}.$$

Erijuhtumil, kui kõik vooluallikad on ühesugused, siis

$$E_p = n \cdot E \quad \text{ja} \quad R_p = n \cdot R_s,$$

kus n — järjestikku ühendatud vooluallikate arv.

Näide 3. Taskulambi patarei koosneb ühesugustest järjestikku ühendatud elementidest, millede $E = 1{,}5$ V ja $R_s = 0{,}8\ \Omega$. Kui suur on taskulambi patarei elektromotoorne jõud E_p ja sisetakistus R_p?

Patarei elektromotoorne jõud $E_p = n \cdot E = 3 \cdot 1{,}5 = 4{,}5$ V ja tema sisetakistus $R_p = n \cdot R_s = 3 \cdot 0{,}8 = 2{,}4\ \Omega$.

Vooluallikad ühendatakse järjestikku suurema pinge saamiseks, näit. taskulambi patareis või anoodpatareis. Järjestikku ühendatud vooluallikaid võib võrrelda veereservuaaridega, mis on asetatud ülestikku (joon. 15 paremal). Reservuaaride arvu suurendamisel suureneb rõhk alumises avauses.

Järjestikku võib ühendada mitmesuguseid vooluallikaid, kuid koormata tohib neid ainult nii suure vooluga, mida kannatab kõige nõrgem vooluallikas.

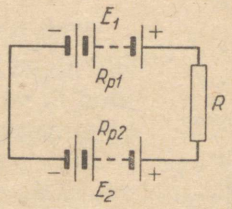
Ühesuguse mahtuvusega vooluallikate ühendamisel patareiks on patarei mahtuvus võrdne üksiku vooluallika mahtuvusega, s. o.

$$\Sigma C = C_1 = C_2 = C_3 = \cdots .$$

Isesuguse mahtuvusega elemente patareiks ühendada pole mõtet, sest väiksema mahtuvusega element tühjeneb enne teisi ja muudab kogu patarei töötamiskõlbmatuks.

Järjestikku ühendatud vooluallikatega patarei võimsus võrdub üksikute vooluallikate võimsuste summaga (see on kehtiv ka teiste ühendamisviiside puhul).

Isesugune on olukord, kui üks või osa vooluallikaid on ühendatud vooluringi vastupidiselt. Joonisel 16 on vooluringi



Joon. 16. Vooluring vastupidiselt ühendatud vooluallikatega.

ühendatud patarei E_1, takisti R ja vastupidiselt esimesele patareile patarei E_2. Sel juhtumil vooluringi kogu elektromotoorne jõud

$$\Sigma E = E_1 - E_2 .$$

Näide 4. Olgu joon. 16 näidatud vooluringis patarei $E_1 = 18$ V ($R_{p1} = 0{,}7\ \Omega$), takistus $R = 0{,}5\ \Omega$ ja patarei $E_2 = 6$ V ($R_{p2} = 0{,}3\ \Omega$).

Vooluringis mõjuv elektromotoorne jõud $\Sigma E = E_1 - E_2 = 18 - 6 = 12$ V.

Vooluringi kogutakistus $\Sigma R = R_{p1} + R + R_{p2} = 0{,}7 + 0{,}5 + 0{,}3 = 1{,}5\ \Omega$.

Vool $J = \frac{\Sigma E}{\Sigma R} = \frac{12}{1{,}5} = 8$ A.

Esimese patarei klemmipinge $U_{p1} = E_1 - \Delta U_{p1} = 18 - 8 \cdot 0{,}7 = 18 - 5{,}6 = 12{,}4$ V.

Teise patarei klemmipinge $U_{p2} = E_2 + \Delta U_{p2} = 6 + 8 \cdot 0{,}3 = 6 + 2{,}4 = 8{,}4$ V.

Klemmipinge takisti R klemmidel $U_R = J \cdot R = 8 \cdot 0{,}5 = 4$ V.

Kontroll:

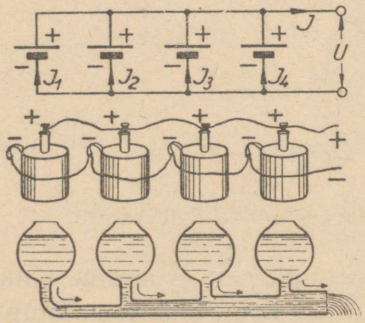
$\Delta U_{p1} + \Delta U_{p2} + U_R = E$; $5{,}6 + 2{,}4 + 4 = 12$ V.

29. Vooluallikad paralleelühenduses.

(Tähiste seletust vt. p. A-28.)

Paralleelselt võib ühendada ainult võrdse elektromotoorse jõuga vooluallikaid; mahtuvused ja nimivoolud võivad olla erinevad.

Vooluallikate paralleelühenduse teostamiseks ühendatakse omavahel kõigi vooluallikate plussklemmid ja eraldi nendest miinusklemmid (joon. 17).



Joon. 17. Vooluallikad paralleelühenduses.

Paralleelselt ühendatud vooluallikatega patarei elektromotoorne jõud E_p võrdub üksikute vooluallikate elektromotoorse jõuga, s. o.

$$E_p = E_1 = E_2 = E_3 = \cdots = E_n.$$

Seega vooluallikate paralleelsel ühendamisel patareiks elektromotoorne jõud (või klemmipinge) e i s u u r e n e.

Patarei sisetakistus R_p arvutatakse valemiga

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_{s1}} + \frac{1}{R_{s2}} + \frac{1}{R_{s3}} + \cdots + \frac{1}{R_{sn}}.$$

Näide 1. Kolm elementi elektromotoorse jõuga $E_1 = E_2 = E_3 = 1{,}5$ V ja takistusega $R_{s1} = 0{,}3\ \Omega$, $R_{s2} = 0{,}5\ \Omega$, $R_{s3} = 0{,}4\ \Omega$ on ühendatud paralleelselt. Leida E_p ja R_p.

Patarei elektromotoorne jõud $E_p = E = 1{,}5$ V.
Patarei sisetakistus:

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_{s1}} + \frac{1}{R_{s2}} + \frac{1}{R_{s3}} = \frac{1}{0{,}3} + \frac{1}{0{,}5} + \frac{1}{0{,}4} = \frac{47}{6};$$

$$R_p = \frac{6}{47} \approx 0{,}128\ \Omega.$$

E r i j u h t u m i l, kui kõik vooluallikad on ühesugused, siis

$$R_p = \frac{R_s}{n},$$

kus n — paralleelselt ühendatud vooluallikate arv.

Näide 2. Seitse ühesugust elementi sisetakistusega $R_s = 0{,}14\ \Omega$ on ühendatud paralleelselt. Leida patarei sisetakistus R_p.

$$R_p = \frac{R_s}{n} = \frac{0{,}14}{7} = 0{,}02\ \Omega.$$

Patarei voolu ja klemmipinge arvutamine toimub nagu järjestikku-ühenduse korral. Vool jaguneb aga patareis üksikute elementide vahel pöördvõrdeliselt nende sisetakistusega.

Vooluallikate paralleelset ühendamist kasutatakse **suurema voolu** (ja ühtlasi ka suurema võimsuse) saamiseks. Näiteks on elektri-jõujaamades kõik generaatorid ühendatud paralleelselt. Paralleelselt ühendatud vooluallikaid võib võrrelda veereservuaaridega, mis kõrvuti asetatult toidavad ühist toru (joon. 17 all). Reservuaaride arvu suurendamisel vee voolus suureneb, kuid rõhk jääb endiseks.

Paralleelselt võib ühendada erineva suurusega vooluallikaid tingimusel, kui nende elektromotoorsed jõud on võrdsed. Sel juhtumil lubatav koormusvool J on üksikute vooluallikate lubatavate koormusvoolude summa, s. o.

$$J = J_1 + J_2 + J_3 + \cdots + J_n.$$

Patarei mahtuvus ΣC on üksikute vooluallikate mahtuvuste summa, s. o.

$$\Sigma C = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots .$$

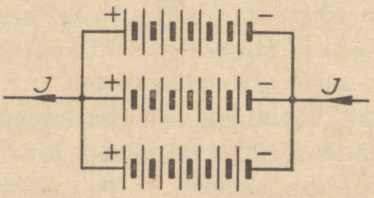
Näide 3. Neli akupatareid võrdse elektromotoorse jõuga $E = 12$ V, nimivooluga $J_1 = 10$ A, $J_2 = 45$ A, $J_3 = 25$ A ja $J_4 = 70$ A ning mahtuvustega $C_1 = 80$ Ah, $C_2 = 350$ Ah, $C_3 = 250$ Ah ja $C_4 = 600$ Ah, on ühendatud paralleelselt.
Sellist kokkuühendatud patareid võib koormata vooluga
$J = J_1 + J_2 + J_3 + J_4 = 10 + 45 + 25 + 70 = 150$ A.
Kõik neli patareid kokku omavad mahtuvust
$\Sigma C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 = 80 + 350 + 250 + 600 = 1280$ Ah.

30. Vooluallikad segaühenduses.

(Tähiste seletust vt. p. A-28.)

Vooluallikate segaühendust kasutatakse juhtumeil, kui ühteaegu soovitakse saada kõrgemat pinget ja tugevamat voolu. Kasutatakse ainult galvaani või akumulaatori elementide puhul. Masinad ühendatakse segaühendusse ainult kolmejuhtmelise süsteemi korral (vt. Elektromontaaž II, ptk. VIII).

Segaühenduse teostamiseks ühendatakse vooluallikad võrdseteks rühmadeks (patareideks) järjestikku ja üksikud rühmad (patareid) omavahel paralleelselt (joon. 18).



Joon. 18. Vooluallikad segaühenduses.

Sellises segaühenduses olevate vooluallikate üldine elektromotoorne jõud võrdub ühte rühma järjestikku ühendatud elementide elektromotoorsete jõudude summaga ja lubatav vool võrdub paralleelselt ühendatud rühmade (patareide) lubatavate voolude summaga.

Näide. 24 elementi on ühendatud segaühendusse: 4 paralleelset rühma à 6 elementi järjestikku. Iga elemendi $E = 2$ V, $R_s = 0{,}1\ \Omega$, nimivool $J_n = 10$ A.

Patarei elektromotoorne jõud $E_p = n \cdot E = 6 \cdot 2 = 12$ V.

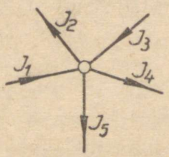
Lubatav nimi-koormusvool $J = 4 \cdot 10 = 40$ A.

Patarei sisetakistus $R_p = \frac{R_s \cdot n}{4} = \frac{0{,}1 \cdot 6}{4} = \frac{0{,}6}{4} = 0{,}15\ \Omega$.

31. Kirchhoffi seadused.

Kaks Kirchhoffi seadust määravad kindlaks voolude ja pingete jagunemise vooluringide üksikutes osades.

1. Esimene Kirchhoffi seadus (joon. 19): igas hargnemispunktis juurdevoolavate voolude summa võrdub äravoolavate voolude summaga (vt. ka p. A-24).



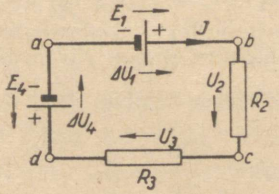
Joon. 19. Esimese Kirchhoffi seaduse selgituseks.

Näiteks joonisel 19:

$$J_1 + J_3 = J_2 + J_4 + J_5 \text{ ehk } \Sigma J = 0.$$

Näide 1. Joon. 19 kohaselt olgu $J_1 = 45$ A, $J_2 = 15$ A, $J_3 = 35$ A, $J_5 = 25$ A. Leida J_4.
Vool $J_4 = (J_1 + J_3) - (J_2 + J_5) = (45 + 35) - (15 + 25) = 40$ A.
Kontroll: $\Sigma J = J_1 + J_2 + J_3 + J_4 + J_5 = 45 + (-15) + 35 + (-40) + (-25) = 0$.

2. Teine Kirchhoffi seadus (joon. 20): kinnises vooluringis elektromotoorsete jõudude



Joon. 20. Teise Kirchhoffi seaduse selgituseks.

algebraline summa võrdub pingelangude (osapingete) algebralise summaga:

$$\Sigma E = \Sigma(J \cdot R).$$

Näide 2. Olgu joon. 20 kohaselt $E_1 = 50$ V, $\Delta U_1 = 2$ V, $U_2 = \Delta U_2 = 14$ V, $E_4 = 20$ V, $\Delta U_4 = 4$ V. Leida U_3.

Kuna esimese patarei E_1 on suurem kui teise patarei E_4, siis on voolu suund vooluringis päripäevane. Valime päripäevase vooluringi jälgimise ringkäigu, mille puhul

$E_1 + (-E_4) = \Delta U_1 + U_2 + U_3 + \Delta U_4$. Siit $U_3 = [E_1 + (-E_4)] - (\Delta U_1 + U_2 + \Delta U_4) = (50 - 20) - (2 + 14 + 4) = 10$ V.

Vooluringi osa *bcd* osapinge $U_{bcd} = U_2 + U_3 = 14 + 10 = 24$ V. Patarei klemmipinge määramiseks lahutatakse tema elektromotoorsest jõust E viimasega samasuunalise voolu puhul sisetakistuses tekkinud pingelang. Kuna teises patareis tekkiva pingelangu suund on vastupidine patarei elektromotoorse jõu suunaga, siis tuleb pingelang liita patarei E-ga. Seega patareide klemmipinged või vastavad osapinged vooluringis on:

$U_1 = U_{ab} = E_1 - \Delta U_1 = 50 - 2 = 48$ V ja $U_4 = U_{da} = E_4 + \Delta U_4 = 20 + 4 = 24$ V.

Osapinge osas *bcda*:

$U_{bcda} = U_1 = U_2 + U_3 + U_4 = 14 + 10 + 24 = 48$ V

ja osapinge osas *abcd*:

$U_{abcd} = U_4 = U_1 - U_2 - U_3 = 48 - 14 - 10 = 24$ V.

Näide 3. 60 V akumulaatorpatareiga soovitakse ühendada 40 V, 100 W lamp. Kui suur peab olema lambiga järjestikku asetatav eeltakistus, et lamp põleks normaalpingega?

a) Vool $J = \frac{100}{40} = 2{,}5$ A.

Ülemäärane pinge $\Delta U = 60 - 40 = 20$ V.

Eeltakistuse suurus $R_e = \frac{20}{2{,}5} = 8\ \Omega$.

b) Vool $J = \frac{100}{40} = 2{,}5$ A.

Lambi sisetakistus $R_s = \frac{40}{2{,}5} = 16\ \Omega$.

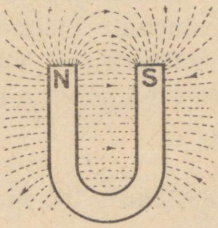
Üldine takistus peab olema $R = \frac{60}{2{,}5} = 24\ \Omega$.

Eeltakistus peab olema $R_e = 24 - 16 = 8\ \Omega$.

II. MAGNETISM.

32. Magneti põhiomadused.

Permanent- (püsiv-) magnetiks nimetatakse terast või metalli sulamit, millel on omadus rauatükikesi külge tõmmata. Samasugune omadus on ka elektromagnetitel. Magnetiliste omadustega mineraale ja rauaühendeid leidub ka looduses. Tehnikas kasutatavaid permanent-magneteid valmistatakse terasest või mitmesuguste metallide sulameist, kusjuures neid tuleb elektrivoolu või teise magneti abil magnetiseerida. Magnetile antakse hobuseraua (joon. 21), sirge lati või mõni muu vajalik kuju.



Joon. 21. Magnet.

Magnetiliste omaduste ilmnemise nähtus põhineb nn. magnetilisel molekulaarteoorial: magnetiliste ainete molekulid moodustavad väikesi nn. molekulaarmagneteid, mis aine magneetimata oleku puhul asetsevad korrapäratult. Aine magnetilise oleku puhul on need molekulaarmagnetid asetatud korrapäraselt ja ühesuunaliselt ridadesse ning moodustavad magneti otstel nn. poolused.

Kui magnet on asetatud vabalt, näit. pöörduvalt niidil, nõelal või ujuval korgil, siis pöördub üks (alati sama) poolus põhja, teine lõuna suunas. Esimest poolust nimetatakse vastavalt põhja- (N), teist lõuna- (S) pooluseks.

Kahel magnetil samanimelised, s. o. N ja N ning S ja S poolused tõukavad teineteist eemale, isenimelised, s. o. N ja S, tõmbavad teineteist lähemale. Külgetõmbejõud on kõige tugevam magneti otstel; keskel puudub see üldse.

Magneti poolitamisel saame kaks uut magnetit. Poolitatud osades jääb magnetvälja suund endiseks. Kumbki osa omab ühes otsas endist poolust, lõigatud otsas — vastupidist poolust.

33. Magnetväli, magnetjõujooned.

Magnetit ümbritsevas ruumis, samuti ka magneti enda sees valitseb nn. magnetväli. Seda magnetvälja kujutatakse piltlikult magnetjõujoontega (joon. 21, 23), mis alati moodustavad kinnisi ringe. Magnetvälja olemasolu väljaspool magnetit saab kindlaks teha magneti kohale asetatud paberilehele puistatud rauapuru raputamisel. Rauapuru osakesed asetuvad täiesti korrapäraselt ümber magneti (joon. 21).

Väljaspool magnetit esinevate magnetjõujoonte suundi märgitakse kokkuleppeliselt väljuvatena magneti N poolusest ja sisenevatena S poolusesse. Magneti sees on see suund järelikult vastupidine.

34. Väljatugevus H. Väljatihedus B. Magnetvoog Φ.

Magnetvälja iseloomustavate suuruste hulka kuuluvad:

a) magnetiline väljatugevus H (väljatugevus, magneetimis-eriergutus), mis on magnetvälja põhjustavaks algjõuks ning mida tekitatakse tavaliselt elektrivoolu abil;

b) magnetiline väljatihedus B (väljatihedus, välja intensiivsus, varemalt ka induktsioon), mis lõppsaadusena saadakse väljatugevuse H mõjul ja mis määrab magnetväljas tekkivate mehaaniliste jõudude suurusi;

c) magnetvoog Φ, mida piltlikul kujutusel moodustavad kõik magnetist väljuvad magnetjõujooned.

Väljatihedust B magnetvälja mingis kohas iseloomustab piltlikult kujutatud magnetjõujoonte tihedus selles kohas. Magneti pooluste vahel, eriti magnetis endas, on väljatihedus kõige suurem. Magnetjõujoonte siht määrab mõjuva jõu sihi.

Vahe tegemine magnetvälja põhjustava väljatugevuse H ja väljatiheduse B vahel on tingitud asjaolust, et teatud väljatugevuse H mõjul võib tekkida mitmesugune väljatihedus B

sõltuvalt magnetväljas asetseva aine omadustest. Säärast nähtust nimetatakse magnetiliseks induktsiooniks (vt. p. A-36).

Väljatugevuse H mõõtühikuks on 1 örsted (1 Oe), kusjuures 1 Oe = 0,8 AK/cm (amperkeerdu cm kohta) või 1 Oe = = 0,8 A/cm (amprit cm kohta).

Väljatiheduse B mõõtühikuks on 1 gauss (1 G), kusjuures 1 G = 10^{-8} Vs/cm^2 (voltsekundit ruutsentimeetri kohta).

Magnetvoo Φ suurust määratakse väljatiheduse B ja magnetvälja suunaga risti oleva pinna S korrutisena ning tema mõõtühikuks on 1 maksvell (1 M), kusjuures 1 M = = 10^{-8} Vs. Seega

$$\Phi = B \cdot S,$$

kus Φ — magnetvoog (M), B — väljatihedus (G) ja S — magnetvoo ristpind (cm^2). Sellest valemist tuleneb, et

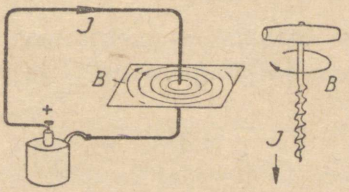
$$B = \frac{\Phi}{S} \quad \text{ja} \quad S = \frac{\Phi}{B}.$$

Näide: Magnetvoog Φ = 260 000 M läbib pindala S = 20 cm^2.

$$\text{Väljatihedus: } B = \frac{\Phi}{S} = \frac{260\,000}{20} = 13\,000 \text{ G}.$$

35. Solenoid. Elektromagnet.

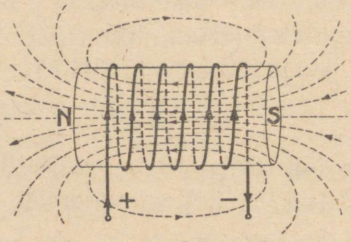
Elektri voolamisel juhtmes tekib viimase ümber kontsentriline (ringikujuline) magnetväli (joon. 22), mille väljatugevus on



Joon. 22. Magnetväli vooluga juhtme ümber.

võrdeline vooluga. Magnetvälja suuna kindlaksmääramiseks on rida reegleid. Üks neist, nn. korgivinna- või kruvireegel, on näidatud joonisel 22: kui kruvi edasiliikumise suund langeb ühte voolu suunaga, siis kruvi pöörlemise suund näitab magnetvälja suunda.

Keermekujuliselt keritud õhksüdamikuga mähises — solenoidis (joon. 23) — liituvad üksikute keerdude magnetväljad ühiseks väljaks. Tekib vastavalt suurem väljatugevus ja magnetväli. Väljatugevus H (mis on magnetvoo põhjustajaks) säärase solenoidi sees sõltub voolust ja keerdude arvust ning on võrdeline amperkeerdudega — amprite ja keerdude korrutisega. Näit. 15 A · 100 keerdu = 1500 amperkeerdu annab



Joon. 23. Solenoid.

samasuure väljatugevuse kui 1,5 A · 1000 keerdu = 1500 amperkeerdu. Harilikul õhksüdamikuga silindrilisel poolil on väljatugevus

$$H = \frac{1{,}25\ J \cdot w}{l}\ [\mathrm{Oe}] = \frac{J \cdot w}{l}\ [\mathrm{AK/cm}],$$

kus J — vool poolis (A), w — pooli keerdude arv, l — pooli pikkus (cm).

Raudsüdamikuga mähisel — elektromagnetil — väljatihedus B on μ korda suurem väljatugevusest H ja valem omab järgmist kuju:

$$B = \mu \cdot \frac{1{,}25\ J \cdot w}{l}\ [\mathrm{G}].$$

36. Magnetiline läbitavus μ. Suhteline läbitavus μ_r. Magneetimiskõverad.

Asetades magnetvälja (näit. konstantse vooluga solenoidi sisemusse) mitmesuguseid aineid, võib märgata magnetvälja tiheduse suurenemist või vähenemist. Järelikult sõltub magnetvälja tihedus ka selle keskkonna omadustest, milles magnet-

väli asub. Seda keskkonna omadust nimetatakse keskkonda moodustava aine **magnetiliseks läbitavuseks** (magnetiliseks erijuhtivuseks) ja märgitakse tähega μ. Magnetiline läbitavus

$$\mu = \frac{B}{H} \text{ [H/cm]}.$$

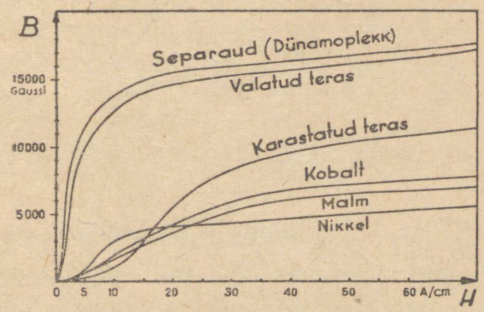
Vaakumi ja praktiliselt ka õhu magnetiline läbitavus

$$\mu_0 = 0{,}4\,\pi\,10^{-8} = 1{,}256 \cdot 10^{-8} \text{ H/cm}.$$

Läbitavust tavaliselt ei väljendata absoluutväärtusena, vaid suhtearvuna vaakumi läbitavuse μ_0 kaudu; seda nimetatakse **suhteliseks läbitavuseks** ehk permeaabluseks, kusjuures suhteline läbitavus

$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}.$$

Järelikult suhteline läbitavus näitab, mitu korda on magnetvälja keskkonda moodustava aine läbitavus suurem (või väiksem) vaakumi läbitavusest.



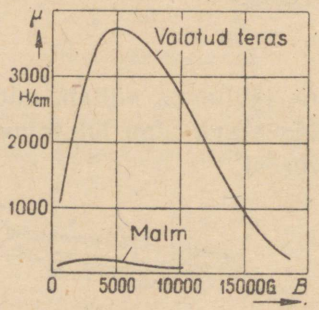
Joon. 24. Väljatiheduse B sõltuvus väljatugevusest H.

Diamagnetilised ained (näit. vask, hõbe, vismut, plii jt.) juhivad magnetvoogu halvemini kui õhk: μ_r on alla 1 (tavaliselt ca 0,999 ... 1,0 piirides).

Paramagnetilised ained (õhk, alumiinium, plaatina, pallaadium, mangaan jt.) juhivad magnetvoogu paremini — μ_r on väga vähe suurem kui 1, praktiliselt $\mu_r = 1$.

Ferromagnetilistel ainetel — raual, terasel, malmil, koobaltil ja niklil — on μ_r mõni sada kuni mõni tuhat korda (pehmel raual) suurem kui õhul. Ferromagnetilisi aineid tõmbab magnet külge, sest magnetväljas muutuvad nad ise magneteiks.

Konstantse keerdude arvuga solenoidis on väljatugevus H võrdeline elektrivooluga J, kuid südamikus tekkiv väljatihedus B ei ole võrdeline ja sõltub südamiku ainest. B sõltuvust väljatugevusest H mitmesuguseil aineil näitavad joon. 24 toodud nn. magneetimiskõverad. Ferromagnetilistes ainetes, näit. rauas, kasvab väljatihedus B algul väga ruttu (H = 5 juures on B juba



Joon. 25. Läbitavuse μ sõltuvus väljatihedusest B.

ca 10 000 gaussi). Voolu või amperkeerdude arvu suurenemisel muutub B kasvamine aeglasemaks, kuni lõpuks voolu suurenemine vähe suurendab väljatihedust — raud on küllastatud, s. o. kõik molekulaarmagnetid on asetunud korrapäraselt. Küllastatud rauaga magneteid kasutatakse püsiva magnetvälja saamiseks kõikuva pinge ja voolu korral.

Raua magnetiline läbitavus ei ole püsiv suurus: ta sõltub raua koostisest, väljatihedusest (joon. 25), eelnenud magnetilisest seisukorrast ja temperatuurist.

37. Remanents B_r. Koertsitiivjõud H_c. Hüstereesikadu.

Magneetiva jõu (elektrivoolu) lõppemisel säilib rauas ja terases osa magnetilisist omadustest. Pehmel raual on järelejääv väljatihedus väike, terasel aga suurem ja säilivam. Jäävat väljatihedust nimetatakse remanentsiks (jäävmagnetismiks) (B_r).

Terase või raua ümbermagneetimiseks on vaja tekitada vastusuunalist väljatugevust, mis kõrvaldaks terases või rauas järelejäänud väljatiheduse (remanentsi). Seda väljatugevust nimetatakse koertsitiivjõuks (demagneetivaks jõuks) (H_c).

Remanents ja koertsitiivjõud väljendavad magneeditava materjali magnetilisi omadusi. Mida suuremad nad on, seda suurem on magneetimiseks kasutatava energia kulu.

Materjali (terase, raua jt.) ümbermagneetimisel läheb osa elektrienergiat kaotsi (muutub magneeditavas materjalis soojuseks) remanentsi ja koertsitiivjõu tõttu. Korduval ümbermagneetimisel, nagu see esineb vahelduvvoolu puhul, on see elektrienergia kadu küllaltki suur, mistõttu sellega tuleb arvestada. Seda kadu nimetatakse hüstereesikaoks. Pehmel raual on hüstereesikadu väike, terasel tunduvalt suurem. Samuti sõltub hüstereesikadu väljatiheduse B suurusest, ümbermagneetimise kiirusest (vahelduvvoolu sagedusest) ja raua kogusest.

38. Permanentmagnetite kasutamine.

Permanentmagneteid kasutatakse püsivate magnetväljade saamiseks. Nende materjaliks on mitmesugused eriterased või metallide sulamid ja nende magneetimist teostatakse tavaliselt elektrivoolu abil.

Magnetite headust määravad peamiselt nende remanentsi B_r ja koertsitiivjõu H_c suurused. Nende kahe suuruse korrutist nimetatakse ka magneti headuse numbriliseks näitajaks.

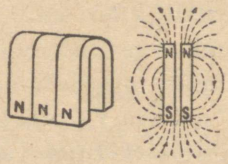
Järgnevas tabelis 5 on toodud mõningate magnetite remanentsi ja koertsitiivjõu ligikaudsed suurused.

Tabel 5.

Magnetite headust iseloomustavate suuruste väärtusi.

Magneti materjali nimetus	Remanents B_r (gaussides)	Koertsitiivjõud H_c (örstedites)	$(H \cdot B)_{max}$
Kroom magnetteras	63	9 000	295 000
Volfram magnetteras	70	10 000	320 000
Koobalt (36%) magnetteras . . .	210	9 000	930 000
Co-Ni-Cu sulam	440	5 300	993 000
Koobalt-molübdeen magnetteras . .	245	10 300	1 100 000
Al-Ni-Co magnetteras	700	5 200	1 250 000

Tugev põrutamine ja soojenemine üle 300 . . . 400° C nõrgendab magneti tugevust; 600 . . . 800° C juures kaovad terase ja raua magnetilised omadused täielikult. Kasutamata seisval magnetil on soovitav poolused omavahel ühendada pehme rauatükiga.



Joon. 26. Magnetite liitmine.

Tugevama magnetvälja saavutamiseks koostatakse tihti mitu nõrgemat magnetit. Need magnetid tuleb nii kokku panna, et kõik N poolused jääksid ühele ja S poolused teisele poole (joon. 26).

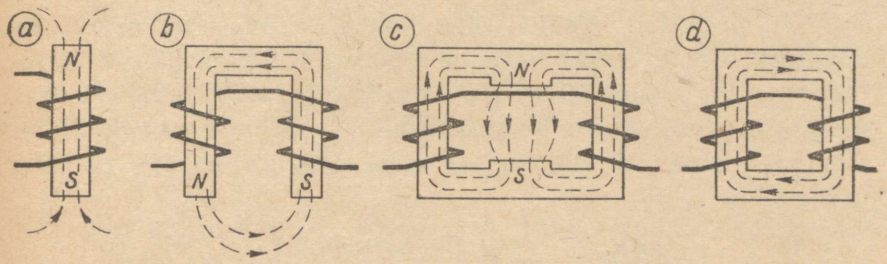
39. Elektromagnetid tehnikas.

Elektromagneteid kasutatakse siis, kui on vaja tugevaid, reguleeritavaid või perioodiliselt muutuva väljasuunaga magneteid (elektrimasinais, magnetkraanades, signaalseadmeis jne.).

Alalisvoolu elektromagnetites kasutatakse südamikuna pehmet rauda või terasvalu, harvemini malmi. Kasutatavamad

südamikukujud on näidatud joon. 27. Juhtumil a katab magnetvoog kõige laialdasemat ruumala, juhtumeil b ja c kitsamat ruumala, juhtumil d — magnetvoog asub 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 juhtumil tuleb raudsüdamik pöörisvoolude (vt. p. A-50) vähendamiseks koostada lakiga või paberiga isoleeritud raudplekkidest.



Joon. 27. Magnetite südamike kujud.

Kõrgsageduslike vahelduvvoolude puhul ei saa kasutada raudplekki suure hüstereesikao tõttu.

Elektromagnetid on sageli kasutusel tõstekraanadel, elektripiduritel. Magneti tõstejõud P sõltub väljatihedusest ja magneti pooluste pindalast. Ta on arvutatav järgmise valemiga:

$$P \approx \left(\frac{B}{5000}\right)^2 \cdot S,$$

kus P — magneti tõstejõud (kg), B — väljatihedus (G) ja S — magneti kõigi pooluste pindalade summa (cm^2).

Näide. Kui suur on kahepooluselise magneti tõstejõud P, kui väljatihedus $B = 15\,000$ G ja ühe pooluse pinna mõõdud on $40 \cdot 50$ mm?

Ühe pooluse pindala on $4 \cdot 5 = 20$ cm^2.
Magneti tõstejõud

$$P \approx \left(\frac{B}{5000}\right)^2 \cdot S = \left(\frac{15000}{5000}\right)^2 \cdot 2 \cdot 20 = 360 \text{ kg}.$$

40. Magnetringi amperkeerdude arvutamine.

Tavaliselt on magnetringi südamiku materjali, kuju ja mõõtude ning nõutava (soovitava) magnetvoo Φ kohta andmed antud. Tuleb leida vajalik amperkeerdude arv AK, et selle abil saada nõutavat magnetvoogu Φ või väljatihedust B, kusjuures $B = \frac{\Phi}{S}$ (vt. p. A-34).

Ferromagnetilises aines teatava väljatiheduse tekitamiseks vajalike amperkeerdude arvutamine toimub magneetimiskõverate abil (vt. p. A-36). Teatud aine kohta kehtivast magneetimiskõverast leiame antud väljatiheduse B korral vajaliku väljatugevuse H (magneetiva jõu) amperkeerdudes sellest ainest magnetringi osa ühe cm pikkuse kohta — AK/cm. Vajalik üldine amperkeerdude arv AK on siis selle magnetringi osa pikkuse korda suurem, s. o.

$$AK = \frac{\text{AK}}{\text{cm}} \cdot l \text{ [amperkeerdu]},$$

kus l — vastavast ainest magnetringi pikkus (cm).

Tabelis 6 on toodud väljatugevuse H $\left(\frac{\text{AK}}{\text{cm}}\right)$ ligikaudsed väärtused mõningate rauasortide kohta (vt. ka joon. 24).

Tabel 6.

Ligikaudseid andmeid väljatugevuse H kohta mõningail rauasortidel.

Nõutav väljatihedus B (gaussi)	Vajalik amperkeerdude arv cm kohta H (AK/cm)		
	Malm	Dünamoplekk ja terasvalu	Tugevasti legeeritud plekk
2 000	8	1,0	1,0
4 000	13	1,2	1,2
6 000	23	1,6	1,6
8 000	47	2,2	2,2
10 000	100	3,0	3,5
12 000	200	4,7	7,5
14 000	420	9,4	25
16 000	—	34	83
18 000	—	120	220
20 000	—	300	1100
22 000	—	1250	—

Amperkeerdude arvutamine magnetringi õhuosa kohta toimub valemi järgi:

$$AK_{õ} = 0{,}8B \cdot l_{õ} \text{ [amperkeerdu]},$$

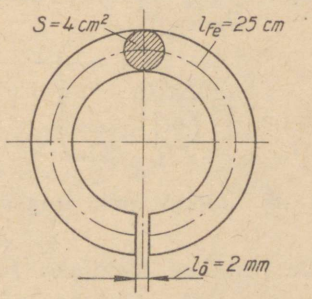
kus B — väljatihedus (G) ja $l_{õ}$ — magnetringi õhupilu, õhuvahe pikkus (cm).

Vajalik amperkeerdude arv magnetringis on õhust keskkonna korral suurem kui mõne teistsuguse keskkonna korral magnetilise läbitavuse μ_r korda.

Erinevaist keskkondadest moodustuvas magnetringis on üldine amperkeerdude arv ΣAK võrdne üksikute erinevate keskkondade kohta vajalike amperkeerdude summaga. Näiteks rauaga ja õhupiluga magnetringi korral

$$\Sigma AK = AK_{Fe} + AK_{õ}.$$

Kui konstruktiivsel põhjusel on elektromagneti mähise keerdude arv w ette määratud, siis vool $J = \frac{AK}{w}$. On aga määratud vool J, siis keerdude arv $w = \frac{AK}{J}$.



Joon. 28. Terasvalust rõngas (näite juurde).

Näide. Joon. 28 toodud terasvalust rõnga sees ja õhupilus tuleb tekitada magnetvoog $\Phi = 24\,000$ M. Leida ΣAK.

Väljatihedus rõngas ja õhupilus:

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{24\,000}{4} = 6000 \text{ G}.$$

a) Tabelist 6 leiame raudrõngas vajaliku B tekitamiseks vastava amperkeerdude arvu AK/cm = 1,6. Seega

$$AK_{Fe} = \frac{\text{AK}}{\text{cm}} \cdot l_{Fe} = 1{,}6 \cdot 25 = 40 \text{ amperkeerdu}.$$

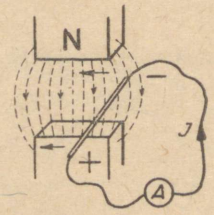
b) Vajalik amperkeerdude arv õhupilu kohta
$AK_{õ} = 0{,}8B \cdot l_{õ} = 0{,}8 \cdot 6000 \cdot 0{,}2 = 960$ amperkeerdu.

c) Vajalik üldine amperkeerdude arv
$\Sigma AK = AK_{Fe} + AK_{õ} = 40 + 960 = 1000$ amperkeerdu.

III. INDUKTSIOON.

41. Elektromotoorse jõu indutseerimine.

Kui juhe liigub magnetväljas seda lõigates (joon. 29), siis tekib temas elektromotoorne jõud E. Kui ühendada juhtme otsad väljaspool magnetvälja traadiga, tekib selles elektromotoorse jõu E mõjul vool J.



Joon. 29. Liikuv juhe magnetväljas.

E ja J suunad määratakse kindlaks Flemmingu parema käe reegli abil (joon. 30). Kui hoida parema käe peopesa vastu N poolust (tähendab nii, et magnetvoog on suunatud peopessa) ja kõrvalepööratud pöial juhtme liikumise (v) suunas, siis sõrmed näitavad indutseeritud elektromotoorse jõu ja voolu suunda.

Indutseeritud E on seda suurem, mida suurem on juhtme liikumiskiirus, magnetväljas asetseva juhtmeosa pikkus ja magnetvälja tihedus. Indutseeritud elektromotoorne jõud

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

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

E tekib ka paigalseisva juhtme ning liikuva magnetvälja puhul.

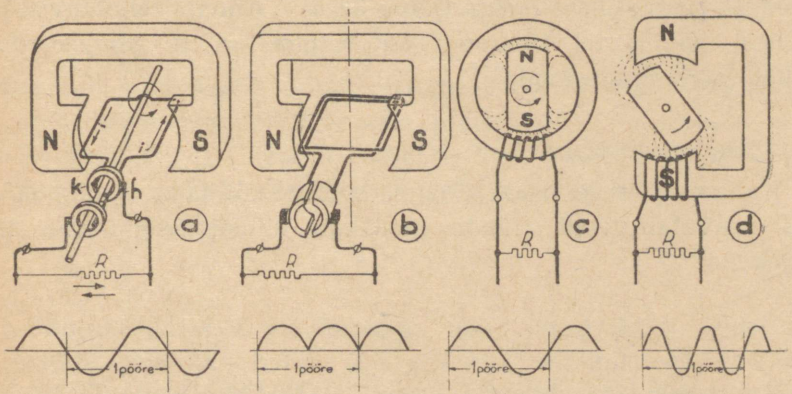


Joon. 30. Flemmingu parema käe reegel.

42. Kestva voolu saamine.

Kasutusel on neli viisi, mis on skemaatiliselt näidatud joonisel 31.

a) Pöörlev traadikeerd magnetväljas (joon. 31 a). Juhtme otsad on toodud kontaktrõngastele k, kust vool juhitakse välisvõrku paigalseisvate kontaktharjade h kaudu. Ühe



Joon. 31. Elektrimasinate põhimõttelised tüübid.

keeru asemel võetakse neid tavaliselt suur hulk ja sageli ühe poolustepaari asemel mitu poolustepaari. Traat ise on isoleeritud ja mähitud raudplekkidest trumlile — ankrule. Annab vahelduvvoolu.

b) Alalisvoolu saamiseks tuleb paigutada kontaktrõngaste asemele kommutaator. Viimane kommuteerib juhtmetes tekkivat vahelduvvoolu ühesuunaliseks (joon. 31 b).

Kahelestalise kommutaatori vool on pulseeriv; ühtlasema voolu saamiseks tuleb lestade ja sellega seoses mähiste — sektsioonide arvu suurendada. Sel põhimõttel on ehitatud alalisvoolu dünamod.

c) Seisev juhe pöörlevas magnetväljas. Juhe on mähitud paigalseisvale osale — staatorile (joon. 31 c). Viimane on ehitatud pöörisvoolude vähendamiseks raudplekkidest. Staatori sees pöörleb elektromagnet.

See põhimõte on kasutusel vahelduvvoolu generaatorite, harvem automagneetode juures. Pooluseid võib olla ka 4, 6 või rohkem.

d) Juhe vahelduva tugevusega magnetväljas. Juhe ja magnet seisavad paigal. Magneti pooluste vahel pöörleb pehmetest raudplekkidest rootor, mis perioodiliselt muudab magnetvoo tihedust magnetilises ringis (joon. 31 d). Annab vahelduvvoolu. Sellisel põhimõttel töötavad automagneetod ja kõrgsageduse vahelduvvoolu-masinad.

43. Omainduktsioon.

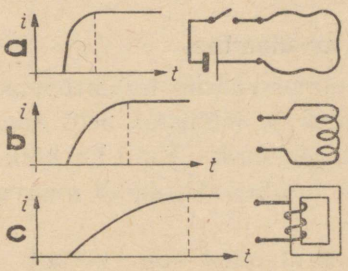
Kui mingi sirge traat ühendada vooluallikaga (joon. 32 a), siis saavutab vool traadis peaaegu silmapilkselt oma täie tugevuse:

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

Kui sama traat keerata kokku spiraaliks (joon. 32 b), siis saavutab vool sama tugevuse, kuid kasvab aeglasemalt. Suure

raudsüdamikuga poolis (joon. 32 c) saavutab aga vool oma täie tugevuse õige aeglaselt (kuni mõne sekundi jooksul).

Põhjus: Voolu suurenemisel tekib juhtmete ümber magnetväli, mis paisudes lõikab omakorda juhtmeid, indutseerides neis vastuelektromotoorse jõu E.



Joon. 32. Omainduktsiooni mõju.

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

44. Induktiivsus L. Henri H.

Omainduktsiooni elektromotoorne jõud

$$E_L = \frac{L \cdot J}{t},$$

kus E_L — omainduktsiooni elektromotoorne jõud voltides, L — induktiivsus henrites, t — aeg sekundites, J — vool amprites. Seejuures induktiivsuseks nimetatakse traadi ümber tekkinud magnetvoo ja teda põhjustava voolu vahelist suhet, s. o.

$$L = \frac{\Phi}{J}.$$

Induktiivsuse L mõõtühikuks on 1 henri (1 H). Pool omab induktiivsust üks henri, kui temas 1 sekundi vältel 1 ampri võrra muutuv vool tekitab omainduktsiooni elektromotoorse jõu $E_L = 1$ volt.

Pooli induktiivsuse L suurus sõltub pooli ehitusest. Vastuelektromotoorne jõud E_L teatud pooli juures on seda suurem, mida kiirem on voolu muutumine. Alalisvoolu puhul tekib E_L peamiselt voolu sisse- või väljalülitamisel, vahelduvvoolu puhul seevastu pidevalt, tekitades nn. faasinihet pinge ja voolu vahel.

45. Induktiivsuse arvutamine.

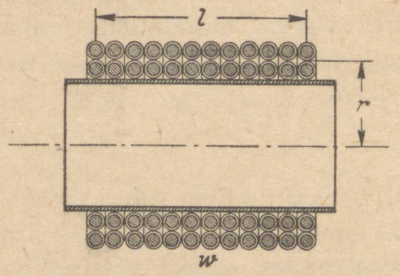
Praktiliselt nimetamisväärne induktiivsus esineb suure keerdude arvuga poolides ja mähistes eriti siis, kui neil on ferromagnetilisest ainest südamik. Kuid ka kõik teised elektrivooluringi elemendid, ka lühikesed traadid omavad teatud, kuigi väikest induktiivsust.

Induktiivsuse arvutamine on küllalt keerukas. Allpool (tabelis 7) on toodud andmed õhksüdamikuga ümmarguse silinderpooli induktiivsuse arvutamise kohta. Säärase pooli induktiivsus sõltub mähise keerdude arvu ruudust ning pooli mõõtudest ja on püsiv. Raudsüdamiku lisandamisel induktiivsus on μ_r korda suurem ja ei ole enam püsiv.

Induktiivsus

$$L = b \cdot \frac{4\pi^2 r^2 \cdot w^2}{l} \cdot 10^{-9} \text{ [H]},$$

kus b — tegur, mis sõltub suhtest $\frac{2r}{l}$ või $\frac{l}{2r}$ (vt. joon. 33 ja tabel 7), r — mähise keskmine raadius (cm), l — mähise pikkus (cm), w — mähise keerdude arv.



Joon. 33. Ümmargune silinderpool.

Tabel 7.

Tegur „b“ induktiivsuse arvutamiseks.

x ↓	Pikk pool $2r < l$		Lühike pool $l < 2r$	
	$x = \frac{2r}{l}$ ←		$x = \frac{l}{2r}$	
	b		b	
0,0	1,000		—	
0,1	0,959		0,203	
0,2	0,920		0,320	
0,3	0,884		0,405	
0,4	0,850		0,472	
0,5	0,818		0,526	
0,6	0,789		0,570	
0,7	0,761		0,607	
0,8	0,735		0,638	
0,9	0,711		0,665	
1,0	0,688		0,688	

Näide. Arvutada õhksüdamikuga ümmarguse pooli induktiivsus, mille andmed joon. 33 kohaselt on: keerdude arv $w = 60$, mähise $r = 4{,}5$ cm ja mähise $l = 15$ cm. Leida L.

Tegemist on pika pooliga, kuna $2r < l$. Suhe $\frac{2r}{l} = \frac{9}{15} = 0{,}6$, millele leiame tabelist 7 vastava teguri $b = 0{,}789$. Pooli induktiivsus

$$L = b \cdot \frac{4\pi^2 \cdot r^2 \cdot w^2}{l} \cdot 10^{-9} =$$

$$= 0{,}789 \cdot \frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 4{,}5^2 \cdot 60^2}{15} \cdot 10^{-9} \approx$$

$$\approx 0{,}000\,152 \text{ H} \approx 0{,}152 \text{ mH}.$$

46. Induktiivsuste liitmine.

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

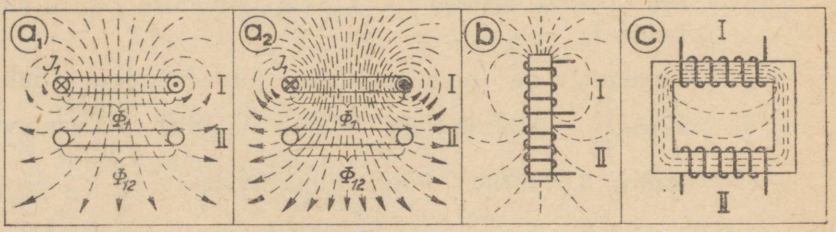
Järjestikku ühendamisel $L = L_1 + L_2 + L_3 + \cdots + L_n$.

Paralleelselt ühendamisel $\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \cdots + \frac{1}{L_n}$.

Induktiivsusvaba mähis saavutatakse siis, kui vool kulgeb mähise ühes kihis ühtpidi ja järgmises kihis teistpidi või kui traat mähitakse bifilaarselt, s. o. traat murtakse keskelt kokku ja keritakse mähiseks nii, et traadi algus ja lõpp on kõrvuti. Sel korral kõrvuti asetsevais ja kõrvuti kulgevais traadipooltes on voolu suunad vastupidised. Vastupidiste amperkeerdude tõttu on resulteeriv magnetvoog ja sellega seoses ka induktiivsus L võrdne nulliga.

47. Vastastikune induktsioon. Vastuinduktiivsus M.

Asetsegu vooluallikaga ühendatud juhtmekeeru või pooli lähedal teine, kinnist vooluringi moodustav juhtmekeerd või pool. Läbib esimest keerdu vool, siis osa selle voolu poolt tekitatud magnetvoost aheldub teise juhtmekeeruga. Väikseimgi voolu muutus esimeses keerus põhjustab nii üldise kui ka teise kee-



Joon. 34. Vastastikune induktsioon.

ruga aheldatud magnetvoo muutumist. Muutuva magnetvoo toimel indutseeritakse nii esimeses kui ka teises juhtmekeerus elektromotoorne jõud. Sama toimub ka vastupidi — teises juhtmekeerus muutuv vool põhjustab nii teises kui ka esimeses juhtmekeerus elektromotoorse jõu.

Sellist nähtust nimetatakse vastastikuseks induktsiooniks. Piltlikul kujutamisel (joon. 34) on voolust läbitav

ainult esimene keerd. Teise keeruga ahelduv voog on ainult mitteferromagnetilise keskkonna puhul võrdeline vooluga esimeses keerus.

V a s t u i n d u k t i i v s u s e k s ehk vastastikuse induktsiooni teguriks M nimetatakse teise mähisega ahelduva voo Φ_{12} ja teda põhjustava esimese mähise voolu J_1 vahelist suhet, s. o.

$$M = \frac{\Phi_{12}}{J_1}.$$

Vastuinduktiivsuse M mõõtühikuks on sama henri (H), mis oli induktiivsuse mõõtühikuks. Kahe lähestikku asetseva vooluringi vaheline vastuinduktiivsus on 1 henri siis, kui voolu muutumisel ühes vooluringis 1 ampri võrra sekundis indutseerub teises vooluringis elektromotoorne jõud 1 volt.

Joonisel 34 a kujutatud vooluallikaga ühendatavat mähist I nimetatakse p r i m a a r-, teist mähist II — s e k u n d a a r m ä h i s e k s. Viimast läbib ainult osa primaarmähise magnetvoost. Sidestustegur võib olla 0 . . . 1. Sidestusteguri suurendamiseks asetatakse mähised sageli ühisele raudsüdamikule (joon. 34 b ja c) ja mähised paigutatakse koguni üksteise peale.

48. Transformaator.

Transformaatorit ehk trafot kasutatakse vahelduvvoolu pinge suuruse muutmiseks, s. o. selle pinge suurendamiseks või vähendamiseks. Sagedus ja voolukuju jääb endiseks.

Ehitusskeem on näidatud joon. 34 c. Isoleeritud plekkidest kinnisel raudsüdamikul on kaks mähist. Vahelduvvoolu juhtimisel ühte (nn. primaar-) mähisesse tekib rauas vahelduv magnetvoog, mis teises (nn. sekundaar-) mähises indutseerib vahelduvpinget.

Kinnise raudsüdamiku tõttu praktiliselt sidestustegur $k = 1$, s. o. primaarmähise poolt indutseeritud magnetvocg haarab sekundaarmähist tervelt ning seetõttu indutseeritud pinged suhtuvad üksteisega ligikaudu nagu vastavad keerdude arvud:

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

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

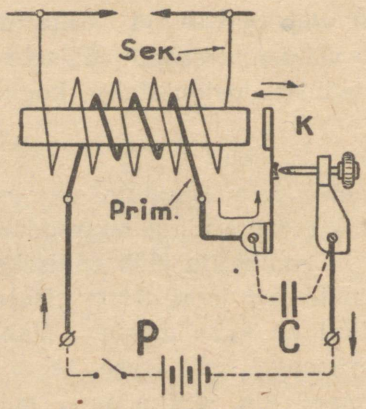
Näide. Transformaatori primaarmähis on pingestatud pingega $U_1 = 3000$ V, tema keerdude arvud $w_1 = 1200$ ja $w^2 = 92$. Leida sekundaarpinge U_2.

Kuna $\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{w_1}{w_2}$,

siis: $U_2 = U_1 \cdot \frac{w_2}{w_1} = 3000 \cdot \frac{92}{1200} = 230$ V.

49. Sädeinduktor alalisvoolule.

Raudsüdamikul (joon. 35) on kaks isoleeritud traadist mähist: primaarne — keerdude arvuga 50 ... 1000 ja traadi jämedusega 0,5 ... 3 mm ning sekundaarne — peenikesest 0,1 ... 0,2 mm



Joon. 35. Sädeinduktor.

jämedusest traadist ja keerdude arvuga 1000 ... 1 000 000. Primaarmähist toidetakse alalisvooluga, mis 15 ... 1000 korda sekundis katkestatakse elektromagnetilise (joon. 35 k), elektrolüütilise või pöörleva katkesti abil. Primaarmähise vooluringi sisselülitamisel vool kasvab nullist kuni teatava suuruseni ning väljalülitamisel kahaneb teatavast suurusest nullini. Selle tule-

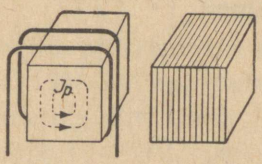
musena suureneb või kahaneb magnetvoog ja indutseerib temaga aheldatud sekundaarmähises pinge. Viimane on seda kõrgem, mida suurem on sekundaarmähise keerdude arv võrreldes primaarmähisega. Teiselt poolt on sekundaarne pinge seda suurem, mida kiiremini kasvab või kahaneb magnetvoog, seega ka teda tekitav vool primaarmähises. Voolu muutumise suurema kiiruse (järsema katkestamise) saavutamiseks ja katkestuskontaktide läbipõlemise vältimiseks on katkestuskontaktidega paralleelselt ühendatud kondensaator.

Vooluringi katkestamisel on voolu kahanemine kiirem kui kasvamine vooluringi ühendamisel. Vastavalt sellele on sekundaarmähise külge ühendatud sädevahes säde, (sekundaarne pinge) esimesel juhtumil kuni paarkümmend korda suurem kui teisel juhtumil.

Ülalkirjeldatud sädeinduktor (bobiin, Ruhmkorff'i spiraal) annab kõrget, kuid katkelist pinget; vool ja võimsus on tal väga väikesed. Kasutusel erijuhtumeil, näiteks plahvatusmootorite süüteseadistes, väikestes röntgeniaparaatides.

50. Pöörisvoolud. Rauaskadu.

Elektrimasinais, transformaatoreis (trafodes) jne. asetatakse mähised raudsüdamikule. Sel korral indutseerub elektro-



Joon. 36. Pöörisvoolud.

motoorne jõud mitte üksnes mähiseis, vaid ka raudsüdamikus ja teistes metallist masinaosades, kui nad asetsevad muutuvas magnetväljas.

Ülaltähendatud elektromotoorse jõu tõttu masinate metallist osades tekkivaid voolusid nimetatakse pööris- ehk fukoo- (Foucault) vooludeks (joon. 36).

Pöörisvoolud tingivad energia kadu ja põhjustavad metallosade kuumenemise. Selle vähendamiseks tehakse muutuvates magnetväljades asuvad osad (dünamo ankrud, alternaatori staatorid, trafo südamikud) üksikutest, 0,3 . . . 0,5 mm, harvemini kuni 1 mm paksustest, laki või paberiga üksteisest isoleeritud plekkidest.

Mõnikord, eriti trafodes, kasutatakse siliitsiumilisandiga raudplekki (legeeritud plekki), mille magnetiline juhtivus on umbes sama, elektriline takistus aga suurem kui harilikul plekil, mistõttu pöörisvoolud on nõrgemad.

Vahelduvas magnetväljas läheb osa energiat pidevalt kaotsi pöörisvoolude ja hüstereesi tõttu rauas. Nende kadude suurused on antud tabelis 8.

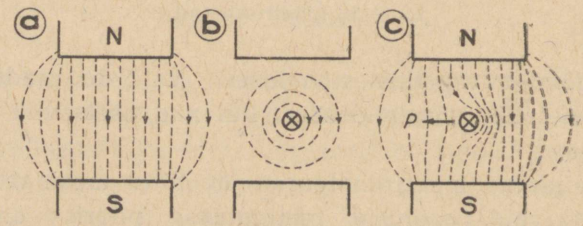
Tabel 8.

Rauaskadu vattides 1 kg raua kohta sageduse 50 p/s puhul.

Väljatihedus *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

51. Liikumise tekitamine.

Kui paigalseisvasse magnetvälja asetada juhe (analoogiliselt joon. 29) ning viimasest juhtida läbi elektrivool, siis mõjub juhtmele mehaaniline jõud, mis püüab teda panna liikuma risti magnetvoo suunale. Voolu mõjul tekib juhtme ümber



Joon. 37. Vooluga juhe magnetväljas.

magnetvoog (joon. 37 b), mis koos paigalseisva vooga annab resulteeriva voo (joon. 37 c). Viimases on paremal pool juhet väljatihedus suurem, vasakul pool väiksem. Juhe surutakse tihedamast osast hõredamasse. (Joonisel 37 vool liigub juhtmes eest tahapoole; ristiga märgitakse noole saba, punktiga — noole teravik.) Jõu P suurus sõltub voolust (J), magnetvoo tihedusest (B) ja juhtme pikkusest magnetväljas (l), s. o.

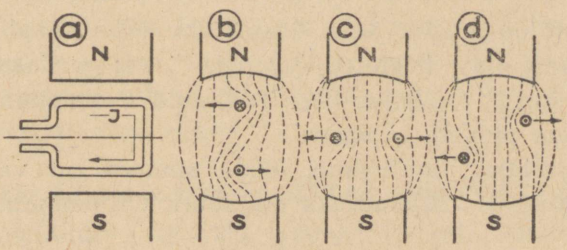
$$P = 10 J \cdot B \cdot l \text{ (düüni)} \approx 0{,}01 J \cdot B \cdot l \text{ (grammi)},$$

kus P — juhtmele mõjuv jõud risti magnetvoo suunale, J — vool (A), B — väljatihedus (G), l — juhtme pikkus (cm).

Liikumise suund määratakse Flemmingu vasaku käe reegliga: kui hoida vasaku käe peopesa vastu N poolust, s. o. nii, et magnetvoog on suunatud peopessa ja väljasirutatud sõrmed voolu suunas, siis kõrvalepööratud pöial näitab juhtme liikumise suunda.

52. Juhtmekeerd magnetväljas.

Kui asetame magnetvälja sisse sirge juhtme asemele ühe juhtmekeeru (joon. 38) ja laseme sellest läbi voolu, siis juhtmekeerd hakkab pöörduma. Hoo tõttu jõuab juhtmekeerd joon. 38 d näidatud asendisse, kus temale mõjuvad mehaanilised jõud on



Joon. 38. Juhtmekeerd magnetväljas.

suunatud vastupidi pöördumissuunale. Juhtmekeerd peatub, pöördub vastupidises suunas ja pärast mõningat edasi-tagasi võnkumist jääb lõplikult seisma joon. 38 c näidatud asendis. Seda asendit nimetatakse neutraalasendiks ja joonise tasapinnal (joon. 38 c) läbi juhtme kujutatud sirgjoont neutraaljoo-

neks. Juhtmekeeru ühesuunalise ja pideva pöörlemise saavutamiseks on tarvis muuta voolu suunda juhtmes (seega ka mõjuva jõu suunda) hetkel, kui juhtmekeerd jõuab neutraalasendisse. Seda saavutatakse joon. 31 b näidatud kommutaatori abil.

Pöörlemist mõjutava jõu suurendamiseks võetakse ühe keeru asemel mitmest keerust koosnev mähis — sektsioon. Juhtmekeerule pöörlemissuunas mõjuv mehaaniline jõud ei ole konstantne kogu täispöörde ulatuses, vaid suurim on ta joon. 38 b ja puudub hoopis joon. 38 c näidatud asendis. Pöörlemissuunas mõjuva jõu ühtlustamiseks ja vooluallika lühistamise vältimiseks kahelestalise kommutaatori puhul, võetakse ühe keeru või mähise sektsiooni asemel neid mõnikümmend. Kommutaator omab siis sellele vastavat arvu lesti.

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

Ulaltoodud põhimõtteil töötavad alalisvoolu mootorid ja enamik elektrienergia alalisvoolu arvesteid.

53. Vastuelektromotoorne jõud. Pöörlemise kiirus.

Voolu mõjul magnetväljas edasiliikuv juhe lõikab omakorda seda magnetvälja, mistõttu juhtmes indutseeritakse elektromotoorne jõud E (vt. p. A-41). Tekkinud E on suunatud välisringis olevale pingele U vastu.

Mida kiiremini liigub juhe, seda suurem on vastuelektromotoorne jõud E. Tulemuseks on voolu nõrgenemine juhtmes:

$$J = \frac{U - E}{R},$$

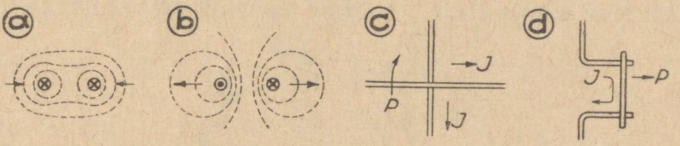
kus U — juhtme klemmipinge (võrgupinge) (V), E — juhtmes indutseeritud vastuelektromotoorne jõud (V) ja R — juhtme takistus (Ω).

Voolu nõrgenemisega väheneb aga ühtlasi edasitõukav jõud.

Pöörlemiskiiruse piiriks on olukord, kus $E = U$. Sel juhtumil on $J = 0$ ja juhet edasitõukav jõud puudub. Kiiruse suurendamisel (välisjõu mõjul) üle selle piiri muutub J suund vastupidiseks — juhtmes tekkiv elektrienergia antakse juhtmest välisvõrku.

54. Vooluga juhtmete vastastikune mõju.

Vooluga juhtmete ümber tekkinud magnetväljad mõjutavad juhtmeid mehaaniliselt. Ühesuunalise vooluga paralleelsed juhtmed tõmbuvad üksteisele ligi (joon. 39 a), isesuunalise vooluga juhtmed tõukuvad üksteisest eemale (joon. 39 b).



Joon. 39. Vooluga juhtmete vastastikune mõju.

Ristiasetatud juhtmed pöörduvad paralleelseteks (joon. 39 c). Asetseb kaks juhet paralleelselt ja ühendatakse nad omavahel kolmandaga (joon. 39 d), püüab viimane liikuda selliselt, et voolu teekond pikeneb.

Voolude puhul alla 1000 A on elektrodünaamilised jõud niivõrd väikesed, et neid ei arvestata. Tugevamad voolud võivad aga esile kutsuda üsna tunduvaid mehaanilisi pingutusi ja isegi üksikosade purunemisi.

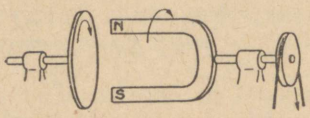
55. Juhtmete kaasatõmbamine liikuva magnetvälja poolt.

Kui edasiliikuv (joon. 29 kohaselt, noolte suunas) magnetväli oma liikumisel lõikab juhet, mis väljaspool magnetvälja piirkonda moodustab kinnise vooluringi, siis see juhe tõmmatakse magnetväljaga kaasa.

Liikuv magnetväli indutseerib juhtmes elektromotoorse jõu, mis kinnises vooluringis tekitab voolu vastupidiselt joon. 29 näidatud suunale (vt. p. A-41). Magnetväljas asetsev vooluga juhe hakkab omakorda liikuma temale mõjuvate mehaaniliste

jõudude toimel (vt. p. A-51). Seejuures juhtme liikumise suund ühtib magnetvälja liikumise suunaga. Juhtme liikumise kiirus ei saavuta aga kunagi magnetvälja liikumise kiirust, sest vastasel korral liikuv magnetväli ei lõikaks juhet, juhtmes ei indutseeruks vool ega saaks tekkida juhet liikuma panev jõud. Seega jääb ikka püsima teatav vahe magnetvälja ja juhtme liikumise kiiruste vahel, see on nn. libistuskiirus, millega tegelikult magnetväli lõikab juhet nende mõlema liikumisel. Libistuskiiruse suhet magnetvälja liikumise tegeliku kiirusega nimetatakse libistuseks.

Juhtme liikumine saab toimuda ainult siis, kui juhe moodustab kinnise vooluringi. Juhtme asemel võib olla ka metall-



Joon. 40. Metallketta kaasavedamine magneti poolt.

ketas, nagu on näidatud joon. 40. Pöörleva magneti pooluste kohal asetsev ja pöörlevale võllile kinnitatud alumiiniumist või vasest ketas tõmmatakse kaasa pöörlema. Sama seadis võib töötada ka pidurina. Paigalseisev magnet pidurdab pöörlevat ketast või paigalseisva ketta korral pidurdatakse magneti pöörlemist.

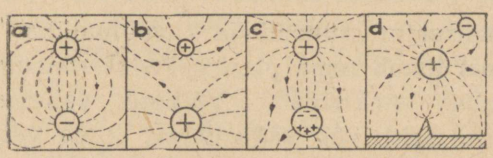
Eeltoodud põhimõtteil töötab enamik vahelduvvoolu mootoreid ja kõik vahelduvvoolu arvestid.

IV. ELEKTROSTAATIKA.

56. Elektriväli. Elektrilaeng Q. Kulon C.

Elektrilaengut kandvat keha ümbritseb nn. elektriväli (elektrostaatiline väli). Elektrivälja olemasolu tõestub mehaaniliste jõudude avaldumisega igale elektrivälja toodud ning elektrilaengut kandvale kehale (viimaseid ümbritseb samuti elektriväli).

Elektriväljas valitsevaid jõudusid märgitakse piltlikult elektrivälja jõujoontega (joon. 41), millede suunaks on kokkuleppeliselt võetud suund positiivset elektrilaengut kandvalt kehalt negatiivset laengut kandva keha poole. Elektrivälja jõujoonte otsad toetuvad alati erinevate potentsiaalidega kehadele (kehadele, millede vahel on pinge). Erinevalt magnetjõujoontest ei moodusta elektrivälja jõujooned kinnisi ringe, vaid algavad ühe keha pinnal ja lõpevad teise keha pinnal.



Joon. 41. Elektriväli.

Elektriväljade mõjul ilmnevad järgmised nähtused:

a) Kaks isenimelise elektrilaenguga keha (+ ja —) tõmbuvad, ühenimelise laenguga kehad (— ja — või + ja +) tõukuvad.

b) Elektrilaengut kandval kehal on laengutihedus kõige suurem keha kühmudel või teravikkudel.

c) Kui asetada teatud laengut kandva keha elektriväljasse elektrit juhtivast ainest teine keha, siis ilmub viimase välispinna teatavais kohtades elektrilaeng. Kui esimene keha kannab positiivset laengut, siis teises kehas ilmub esimese keha poolsel küljel negatiivne ja vastasküljel — positiivne laeng. Ilmuvate laengute suurus on võrdne. Seda nähtust nimetatakse elektrostaatiliseks induktsiooniks.

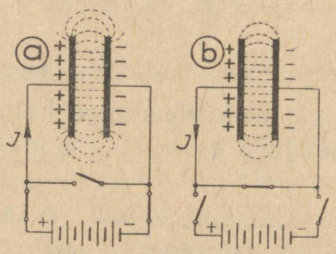
Elektriväljas esinevate jõudude suurust iseloomustab väljatugevus, mida märgitakse tähega E ja mille mõõtühikuks on 1 V/cm (üks volt sentimeetrile). Väljatugevus $E = 1$, kui elektrit juhtivast ainest kehade vahelise pinge suurus (voltides) jagatult nende vahekaugusega (sentimeetrites) on 1 V/cm.

Elektrivälja põhjustajaks on elektrilaeng ehk elektrihulk, mida märgitakse tähega Q ja mille mõõtühikuks on 1 kulon — ampersekund (1 C). 1 C on elektrihulk, mis voolab läbi juhtme 1 sek. vältel, kui vool on 1 A.

57. Kondensaator.

Esemeid, mis suudavad endasse mahutada elektrihulki, nimetatakse kondensaatoriteks. Tavaliselt koosnevad kondensaatorid üksteisest isoleeritud metallplaatidest (joon. 42).

Kui kondensaator ühendada vooluallika klemmidega (joon. 42 a), siis ilmub tema plaatidel elektrilaeng ja plaatidevahelises ruumis elektriväli. Väikese vahemaa tõttu on plaatidevaheline elektriväli väga tugev, kuna väljaspool on ta



Joon. 42. Kondensaator.

tähtsusetult väike. Kondensaator omandab teatava laengu ehk elektrihulga, mille suurus on võrdeline vooluallika pingega U ja kondensaatori mahtuvusega C (vt. p. A-58).

Vooluallikaga ühendamisel tekib hetkeline laadimisvool. Kui aga kondensaatori plaadid vooluallikast eraldada, siis elektrilaeng jääb plaatidel püsima. Laeng kaob, kui plaadid omavahel ühendada traadiga, kusjuures viimases tekib hetkeline tühjenemisvool (joon. 42 b).

Ühe paari plaatide asemel võib kondensaator omada neid ka rohkem.

58. Kondensaatori mahtuvus *C*. Farad F.

Kondensaatori omadust mahutada endasse teatavat elektrihulka nimetatakse kondensaatori **mahtuvuseks**, mida märgitakse tähega *C*.

Mahtuvuse mõõtühikuks on 1 F (1 farad); 1 F on säärase keha mahtuvus, mis 1 C (ühe kuloni) suuruse laengu mõjul omandab pinge 1 V. Sellest järgneb muuseas, et 1 **volt** on pinge, mille võrra muutub keha potentsiaal laengu 1 C mõjul, kui keha mahtuvus on 1 F.

Kuna mõõtühik 1 F on väga suur, siis on praktikas kasutusel väiksemad mõõtühikud: 1 **mikrofarad** (1 μF) = = 0,000 001 F ja 1 **pikofarad** (1 pF) = 10^{-12} F. Seega 1 F = = 1 000 000 μF = 1 000 000 000 000 pF.

Mahtuvuse mõõtühikuks on praktikas kasutusel veel nn. „**sentimeeter**" (1 cm). 1 cm on ühe cm raadiusega kuuli mahtuvus, kusjuures 1 cm = 1,11 pF.

Mahtuvus sõltub kondensaatori ehitusest, olles seda suurem, mida suurem on plaatide pindala, mida väiksem on plaatide vahemaa ning mida suurem on plaatidevahelise isoleeraine — dielektriku — nn. **dielektriku-konstant**. Kondensaatori mahtuvus ei sõltu plaatide ainest.

Kahest paralleelsest plaadist koosneva kondensaatori mahtuvus

$$C = \frac{\varepsilon_r \cdot S}{3{,}6\pi \cdot a} \cdot 10^{-6}\ [\mu\text{F}] = \frac{\varepsilon_r \cdot S}{4\pi \cdot a}\ [\text{cm}],$$

kus ε_r — dielektriku-konstant (vt. p. A-59), S — ühe plaadi ühe külje pindala (cm^2), a — plaatide vahekaugus = dielektriku paksus (cm).

Mitme ülestikku laotud ja dielektrikuga eraldatud plaadiga kondensaatori puhul tuleb toodud valem korrutada plaatide vahede arvuga (näit. 5 plaadi puhul 4-ga).

Näide 1. Kuueplaadilise kondensaatori ühe plaadi ühe külje pindala S = 600 cm^2, plaatide vahel on 0.5 mm paksune vilgukivist dielektrik, mille ε_r = 7,5.

Kondensaatori mahtuvus

$$C = \frac{\varepsilon_r \cdot S}{3{,}6\pi \cdot a} \cdot 10^{-6} = \frac{5 \cdot 7{,}5 \cdot 600}{3{,}6 \cdot \pi \cdot 0{,}05} \cdot 10^{-6} = 0{,}0398\ \mu\text{F}.$$

Kondensaatorisse mahtuv elektrihulk (laeng) Q on seda suurem, mida kõrgem on pinge ja mida suurem on kondensaatori mahtuvus:

$$Q = C \cdot U,$$

kus Q — elektrihulk kulonites ehk ampersekundites, C — kondensaatori mahtuvus faradites ja U — pinge voltides.

Näide 2. Kui suur elektrihulk salvestub kondensaatorisse, mille mahtuvus $C = 20\ \mu$F, kui teda laadida pingeni $U = 25$ kV?

$C = 20\ \mu\text{F} = 0{,}000\,02$ F; $U = 25$ kV $= 25\,000$ V.
Elektrihulk
$Q = C \cdot U = 0{,}000\,02 \cdot 25\,000 = 0{,}5$ C $= 0{,}5$ kulonit.

59. Dielektriku-konstant ε_r.

Kui kondensaatori plaatide vahele asetada õhu asemele mingi muu isoleeraine, siis võib märgata mahtuvuse suurenemist.

Arvu, mis näitab, mitu korda ühe ning sama elektrilaengu korral elektriväli mingis aines osutub tugevamaks võrreldes vaakumiga, nimetatakse dielektriku-konstandiks.

Mõningate ainete dielektriku-konstandid on toodud tabelis 9.

Tabel 9.

Ainete dielektriku-konstandid ε_r 20° C juures.

Aine	ε_r	Aine	ε_r
Õhk	≈ 1	Kunstvaik	3,5 ... 4,5
Paber	1,6 ... 2,6	Immutatud paber	3,5 ... 6,0
Parafiin	2,0 ... 2,5	Portselan	4,0 ... 6,5
Transform. õli	2,0 ... 2,5	Vilgukivi	4,0 ... 8,0
Kummi	2,5 ... 2,8	Pertinaks	4,5 ... 5,5
Eboniit	2,5 ... 3,5	Klaas	5,0 ... 7,0
Šellak	3,0 ... 4,0	Bakeliit	5,5 ... 7,5
Tselluloid	3,5 ... 3,5	Vesi	81

60. Kondensaatorite ühendamine.

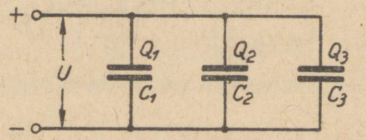
Kondensaatoreid võib ühendada paralleelselt ja järjestikku.

a) Paralleelühendus (joon. 43).

Üldine mahtuvus ΣC suureneb ja on üksikute kondensaatorite mahtuvuste summa:

$$\Sigma C = C_1 + C_2 + C_3 + \cdots,$$

kus ΣC — kõikide kondensaatorite mahtuvus kokku ja C_1, C_2, C_3 — üksikute kondensaatorite mahtuvused. C_1, C_2, C_3 ja ΣC tuleb väljendada ühesugustes mõõtühikutes (F, μF või cm).



Joon. 43. Kondensaatorid paralleelühenduses.

Kõigi kondensaatorite klemmipinged on võrdsed, kuid nende laengud (elektrihulgad) Q_1, Q_2, Q_3 on võrdelised vastavate kondensaatorite mahtuvusega C_1, C_2, C_3:

$$Q_1 = C_1 \cdot U, \qquad Q_2 = C_2 \cdot U, \qquad Q_3 = C_3 \cdot U.$$

Üldine laeng ΣQ võrdub üksikute kondensaatorite laengute Q_1, Q_2, Q_3 summaga:

$$\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \cdots .$$

Näide 1. Kolm paralleelselt ühendatud kondensaatorit mahtuvusega $C_1 = 4$ μF, $C_2 = 20$ μF ja $C_3 = 6$ μF on pingestatud pingega $U = 500$ V.

Üldine mahtuvus
$\Sigma C = C_1 + C_2 + C_3 = 4 + 20 + 6 = 30$ μF.
Kõigi kondensaatorite klemmipinged on võrdsed:
$U = 500$ V.

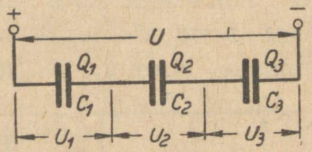
Elektrihulgad:
$Q_1 = C_1 \cdot U = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 500 = 0{,}002$ C,
$Q_2 = C_2 \cdot U = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 500 = 0{,}010$ C,
$Q_3 = C_3 \cdot U = 6 \cdot 10^{-6} \cdot 500 = 0{,}003$ C,

$\Sigma Q = \Sigma C \cdot U = 30 \cdot 10^{-6} \cdot 500 = 0{,}015$ C.

b) Järjestikku-ühendus (joon. 44).

Kondensaatorite kogumahtuvus ΣC väheneb ning tema pöördvõrdeline suurus võrdub üksikute kondensaatorite mahtuvuste pöördvõrdeliste suuruste summaga:

$$\frac{1}{\Sigma C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \cdots .$$



Joon. 44. Kondensaatorid järjestikku-ühenduses.

Kõigi kondensaatorite elektrihulgad Q_1, Q_2, Q_3 on võrdsed:

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q,$$

kuid üksikute kondensaatorite klemmipinged U_1, U_2, U_3 on pöördvõrdelised kondensaatorite mahtuvustega C_1, C_2, C_3:

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}, \quad U_2 = \frac{Q}{C_2}, \quad U_3 = \frac{Q}{C_3}.$$

Pinge U võrdub üksikute klemmipingete U_1, U_2, U_3 summaga:

$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \cdots .$$

Näide 2. Eelmises näites nimetatud kolm kondensaatorit (4, 20 ja 6 μF) on ühendatud järjestikku ja pingestatud sama pingega $U = 500$ V.

Kondensaatorite kogumahtuvus:

$$\frac{1}{\Sigma C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{4} + \frac{1}{20} + \frac{1}{6} = \frac{28}{60}$$

ning $\Sigma C = \frac{60}{28} \approx 2{,}14$ μF.

Üksiku kondensaatori ja kondensaatorite kogulaeng

$$Q = \Sigma C \cdot U = 2{,}14 \cdot 10^{-6} \cdot 500 = 0{,}001\,07 \text{ C}.$$

Üksikud klemmipinged:

$$U_1 = \frac{Q}{C_1} = \frac{0{,}001\,07}{4 \cdot 10^{-6}} \approx 268 \text{ V},$$

$$U_2 = \frac{Q}{C_2} = \frac{0{,}001\,07}{20 \cdot 10^{-6}} = 54 \text{ V},$$

$$U_3 = \frac{Q}{C_3} = \frac{0{,}001\,07}{6 \cdot 10^{-6}} \approx 178 \text{ V},$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = 500 \text{ V}.$$

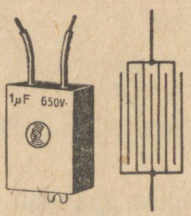
61. Kondensaatori omadused.

Kondensaator alalisvoolu läbi ei lase. Vahelduvvoolu laseb ta läbi seda enam, mida suurem on ta mahtuvus ja vahelduvvoolu sagedus (vt. p. A-68).

Väike osa elektrienergiast muundub kondensaatori dielektrikus (plaatidevahelises isoleeraines) soojuseks. Kõige väiksemad on kaod gaasides, mispärast kaovabades kondensaatorites (raadio võnkeringides) kasutatakse dielektrikuks õhku. Pisut suuremad kaod on vilgukivil ja mineraalõlil.

62. Kondensaatorid tehnikas.

Kondensaatorid leiavad kasutamist peamiselt side- ja raadiotehnikas. Tugevvoolu-tehnikas kasutatakse neid harva, näit. faaside nihkenurga vähendamiseks kõrgepinge toiteliinis (cos φ



Joon. 45. Plokk-kondensaator.

parandamiseks), nihkenurga tekitamiseks mõnedel ühefaasistel mootoritel ja pulseerivvoolu silumiseks alaldajais. Kasutatavamad tüübid: plokk-kondensaator — kindla mahtuvusega kon-

densaator, ja pöördkondensaator — ühe pooluse plaadid on kohakindlad, teised liikuvad, võimaldades mahtuvuse pidevat muutmist.

Kondensaatorina mõjuvad ka kaablid ja väiksemal määral ka pikad õhuliinid. Tavaliselt on antud kondensaatori mahtuvus μF või „cm", harvem (peamiselt tugevvoolu-tehnikas) ka võimsus N kilovar'ides (reaktiiv-kilovoltamprites, vt. p. A-74):

$$N = \frac{U^2 \cdot \omega \cdot C}{1000} \text{ (kVAr)},$$

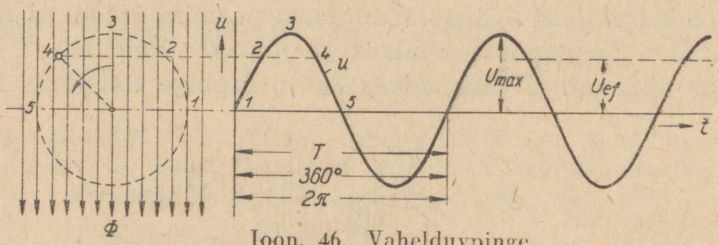
kus C — mahtuvus (F), U — pinge (V), $\omega = 2\pi f$ — ringsagedus, f — sagedus.

Tavalise 50 p/s korral $\omega = 314$.

V. ÜHEFAASINE VOOL.

63. Vahelduvvool.

Vahelduvvooluks nimetatakse voolu, mille suurus ja suund pidevalt muutub. Pinge ja vool kasvavad nullist kuni teatud maksimumini ning kahanevad siis jälle nullini korduvalt mõlemas suunas. Suuna muutumine toimub kindlate ajavahemikkude järel, tugevvoolu-tehnikas tavaliselt 100 korda sekundis.



Joon. 46. Vahelduvpinge.

Vahelduvvool tekitatakse peaaegu eranditult vahelduvvoolu generaatorite — nn. alternaatorite — abil. Viimaste töötamise põhimõte on näidatud joonisel 31 a ja c.

Kui traadikeerud pöörlevad täiesti ühtlikus (homogeenses) magnetväljas, muutub pinge ja vool lainekujulise, nn. **siinus-joone** või -kõvera järgi (joon. 46).

Tegelik muutumine on tihti veidi ebaühtlasem — kõver on moonutatud.

64. Sagedus.

Üheks perioodiks nimetatakse aega, mille vältel pinge või vool alates nullist omab üks kord positiivset ja üks kord negatiivset väärtust ning muutub jälle nulliks. Perioodi, või täpsemalt perioodi väldet (kestust), märgitakse T-ga. Perioodide arvu sekundis nimetatakse sageduseks. Sagedust märgitakse tähega f ja tema mõõtühikuks on p/s ehk herts (Hz).

Perioodi ja sageduse seos on:

$$f = \frac{1}{T}; \qquad T = \frac{1}{f}.$$

Tugevvoolu-tehnikas kasutatakse peamiselt järgmisi sagedusi: elektriraudteedel — $16\frac{2}{3}$ ja 25 p/s, elektrivõrkudes — 50 p/s, harvem ka 40 või 60 p/s. Sagedusi 100 ... 10 000 p/s kasutatakse tugevvoolu-tehnikas ainult eriotstarbeiks.

Telefonikõnede ülekandmisel esinevad sagedused 240 ... 2400 p/s, muusika ülekandmisel — 30 ... 12 000 p/s. Telefonikõnede ülekandmiseks kõrgsageduse vahendusel kasutatakse sagedusi 10 000 ... 100 000 p/s piirides. Veelgi suuremaid sagedusi kasutatakse raadiotehnikas.

65. Efektiivpinge ja efektiivvool.

Kuna vahelduvvoolu tugevus pidevalt muutub, arvestatakse tavaliselt efektiivvooluga, s. o. vooluga, mis tugevuselt on null- ja maksimaalsuuruste vaheline ning annab samasuure hulga tööd (näit. soojust) kui temaga võrdse tugevusega alalisvool.

Efektiivvool:

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

Efektiivpinge (joon. 46 — U_{ef}) on see pinge, mis vooluringis kutsub esile efektiivvoolu, seega

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

Vahelduvvoolu-tehnikas arvestatakse alati voolu ja pinge efektiivväärtustega. Efektiivväärtusi näitavad samuti kõik mõõteriistad. Maksimaalväärtustega arvestatakse erilisil juhtumeil, näit. läbilöögipinge puhul.

66. Tegevtakistus vahelduvvoolu vooluringis.

Alalisvoolu puhul juhet läbiv vool jaotub ühtlaselt kogu juhtme ristlõikes. Vahelduvvoolu puhul aga toimub voolu nihkumine juhtme välispinna poole: vooluga aheldatud magnetvoog tekitab juhtme sisemuses pöörisvoolusid, mis ongi sellise, nn. pinnanähtuse ehk skin-efekti põhjustajaiks. Pinnanähtuse tulemuseks on tegevtakistuse suurenemine nn. pöörisvooluteguri ε korda. Seega üldiselt vahelduvvoolu puhul tegevtakistus

$$R_v = \varepsilon \cdot R,$$

kus R — takistus alalisvoolu puhul, nn. oomiline takistus.

Pöörisvoolutegur on muutuv suurus ja sõltub vahelduvvoolu sagedusest f. Peale selle on ta erinev sõltuvalt juhtme materjalist, olles raual märksa suurem kui vasel. Tugevvoolu-tehnikas tavalistel (15 ... 60 p/s) sagedustel omab tegevtakistuse suurenemine praktilist tähtsust õhuga ümbritsetud juhtme puhul alates ristlõikest 100 mm^2, kuid raudjuhtmete puhul juba märksa väiksemast ristlõikest alates.

Vahelduvvoolu puhul tegevtakistus

$$R_v = \varepsilon \cdot R = \frac{N}{J^2},$$

millest pöörisvoolutegur

$$\varepsilon = \frac{N}{J^2 \cdot R},$$

kus N — mõõdetud tegevvõimsus (W), J — voolu efektiivväärtus (A) ja R — tegevtakistus mõõdetud alalisvooluga (Ω).

Tegevtakistusega (näit. reostaadiga) vahelduvvoolu vooluringis on Ohmi seaduse kohaselt vool

$$J = \frac{U}{\varepsilon \cdot R},$$

kus J ja U on efektiivsuurused. Vool muutub üheaegselt pingega. On pinge null, siis on ka vool null; on pinge tõusnud maksimumini, on ka vool maksimaalne; pinge ja voolu muuted ehk f a a s i d langevad kokku.

67. Induktiivtakistus vahelduvvoolu vooluringis.

Kui vooluvõrku on lülitatud elektromagnetilisel põhimõttel töötav aparaat (mootor, transformaator jne.), esineb vahelduvvoolu puhul pidev induktiivsuse mõju, avaldudes kahes nähtuses:

1) Induktiivsus mõjub nagu takistus. Induktiivtakistus

$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L = 6{,}28 f \cdot L$$

ja vool

$$J = \frac{U}{X_L} = \frac{U}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L},$$

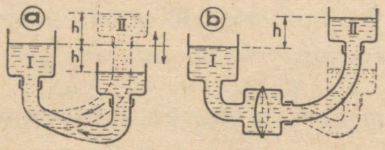
kus X_L — induktiivtakistus (Ω), f — sagedus (p/s), L — induktiivsus (H), J — voolu efektiivväärtus (A), U — pinge efektiivväärtus (V).

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

2) Induktiivsus tekitab pinge ja voolu vahelise nihkenurga φ. Momendil, kui pinge on saavutanud maksimumi, pole vool seda veel saavutanud ja jätkab kasvamist. Kui pinge on langenud nullini, voolab vool veel endises suunas. Öeldakse: vool jääb pingest ajaliselt maha (põhjus vt. p. A-43). Puhtinduktiivtakistuse juures jääb vool pingest maha ¼ perioodi võrra, s. o. nihkenurk $\varphi = 90°$ (joon. 48 c).

Iga vahelduvvoolu aparaat ja vooluring omab teatavat induktiivtakistust. Induktiivtakistust kasutatakse eeltakistusena paispooli (drossli) näol kõrgsageduse võnkeringides, silumisfiltrites jne.

Paispool kujutab mähist, mis asub kinnisel raudsüdamikul, kesk- ja kõrgsagedusvoolu puhul aga lahtisel raudsüdamikul või on rauata. Ehitus on näidatud joonistel 27 ja 32 c.



Joon. 47. Hüdraulilised mudelid induktiivsuse ja mahtuvuse mõjust.

Induktiivsuse mõju selgitamiseks võib tuua näite mehaanikast: kui ühendada kaks nõu kummivoolikuga (joon. 47 a) ja liigutada teist nõu kiiresti üles-alla, siis tekib vahelduv veevool; voolamine ei lõpe sel hetkel, kui kõrguste vahe h on muutunud nulliks, vaid hoo tõttu voolab vesi mõni aeg veel endises suunas edasi.

68. Mahtuvustakistus vahelduvvoolu vooluringis.

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

Kondensaatori mahtuvustakistus

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

ja vool $J = \frac{U}{X_C} = \frac{U \cdot \omega \cdot C}{1} = 2\pi \cdot f \cdot C \cdot U,$

kus X_C — mahtuvustakistus (Ω), f — sagedus (p/s), C — mahtuvus (F), J — kondensaatorit läbiv efektivvool (A), U — efektiivpinge (V).

Mahtuvuse mõju on induktiivsusega võrreldes vastupidine. Kui puhtinduktiivtakistuses vool jäi pingest maha ¼ perioodi võrra, siis puhtmahtuvustakistuses tõttab ta ¼ perioodi võrra ette, s. o. voolu ja pinge vahel on negatiivne nihkenurk 90°. Kui pinge on kasvanud maksimaalsuuruseni, siis on ka kondensaator täis laetud ning vool kahanenud nullini. Kui pinge hakkab langema, hakkab vool vastupidises suunas kasvama, kondensaator tühjeneb, andes energia vooluallikasse tagasi (joon. 48 d).

Ülaltoodu selgituseks võib tuua analoogia mehaanikast. Kaks veenõu on omavahel ühendatud toruga, kusjuures ühendustoru on suletud elastilise, kummist vaheseinaga (joon. 47 b). Säärane toru ei lase läbi ühesuunalist, küll aga vahelduvat veevoolu, kusjuures vesi ei pääse otseselt ühest nõust teise (samuti nagu elekter ei pääse otsekohe läbi kondensaatori dielektriku), vaid toimub ainult veehulkade nihkumine edasi-tagasi.

69. Näivtakistus. Ebatakistus.

Kui mingi aparaat sisaldab üheaegselt tegev- ja induktiivtakistust või kui mõlemad on järjestikku, siis on üldine resulteeriv takistus, nn. näivtakistus, mõlema osatakistuse geomeetriline summa, mis on alati väiksem nende aritmeetilisest summast:

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

kus Z — näivtakistus, R — tegevtakistus, X_L — induktiivtakistus, kõik oomides.

Mahtuvustakistuse olemasolu puhul

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}.$$

On tegevtakistus R, induktiivtakistus X_L ja mahtuvustakistus X_C järjestikku, siis näivtakistus

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

Selles avaldises sulgudes olevat osa $X_L - X_C$ nimetatakse e b a t a k i s t u s e k s ja teda võib avaldada järgmiselt:

$$X = X_L - X_C = \sqrt{Z^2 - R^2}.$$

Mõõdetud suuruste kaudu on

tegevtakistus $R = \frac{N}{J^2}$,

näivtakistus $Z = \frac{U}{J}$ ja

ebatakistus $X = \sqrt{\left(\frac{U}{J}\right)^2 - \left(\frac{N}{J^2}\right)^2}$.

70. Vahelduvvoolu võimsus.

Tegev- (aktiiv-) koormusel (hõõglambid, küttekehad jt.) on vahelduvvoolu tegevvõimsus

$$N = U \cdot J,$$

kus N — võimsus (W), U — efektiivpinge (V), J — efektiivvool (A).

Kui k o o r m u s e k s on mootorid, paispoolid, kondensaatorid jt., esineb faasinihe. Vooluallikas saadab energiat elektrivoolu näol aparaati, kuid järgmisel hetkel saadab aparaat sellest osa uuesti vooluallikasse tagasi (vt. p. A-67 ja 68) ning seda suurema osa, mida suurem on nihkenurk φ. Puht-ebakoormusel on nihkenurk 90°, sel juhtumil annab aparaat saadud energia ¼ perioodi hiljem tervikuna tagasi.

Vooluringi lülitatud ampermeeter näitab voolu sõltumatult sellest, kas elektri energia kasutatakse aparaadis täielikult ära või saadetakse osaliselt vooluallikasse tagasi.

Voolu ja pinge korrutis annab pildi ainult üldisest läbivoolanud võimsusest, mida nimetatakse n ä i v v õ i m s u s e k s ja mõõdetakse v o l t a m p r i t e s (VA) või kilovoltamprites (kVA).

Näivvõimsus $N_n = U \cdot J$ [VA].

Aparaadi poolt tegelikult tarvitatava tegevvõimsuse määramiseks tuleb näivvõimsust korrutada veel võimsusteguriga cos φ-ga.

Tegevvõimsus $N = U \cdot J \cdot \cos \varphi$ [W].

71. Võimsustegur.

Võimsustegur cos φ näitab suhet vattmeetriga mõõdetava tegevvõimsuse ja volt- ning ampermeetriga määratava näivvõimsuse vahel: cos φ-d võib arvutada ka tegevtakistuse R ja näivtakistuse Z suhtest:

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

Cos φ väärtus asetseb 0 ja 1 vahel, sõltudes elektrienergia tarbija iseloomust (viimase induktiivsusest või mahtuvusest).

Cos φ väärtus on:

hõõglampidel, küttekehadel ja reostaatidel . .	1
vahelduvvoolu asünkroon-mootoritel:	
täiskoormusel, suurtel (alates 100 kW) . . .	0,85 . . . 0,9
täiskoormusel, väikestel (kuni 100 kW) . . .	0,65 . . . 0,85
tühijooksul	0,1 . . . 0,5
transformaatoritel tühijooksul ja paispoolidel .	0,1 . . . 0,3

Mida väiksem on cos φ, seda suurem on võrdse võimsuse juures vool. Viimase suurenemisega aga suurenevad ühtlasi kaod. Alternaatorid, transformaatorid ja liinid tuleb valida sel juhtumil tugevamad, sõltumata tarbimisest kW-des.

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

Näivvõimsus $N_n = 3150 \cdot 165 = 519\,750$ VA $\approx$ $\approx 519{,}7$ kVA.

Võimsustegur $\cos \varphi = \frac{395}{519{,}7} \approx 0{,}76$.

Näide 2. Vool oli 325 A, pinge 525 V, cos φ-mõõtja näitas 0,85. Leida võimsus.

Võimsus $N = 525 \cdot 325 \cdot 0{,}85 \approx 145$ kW.

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

$$\text{Vool } J = \frac{14\,000}{220 \cdot 0{,}75} \approx 85 \text{ A}.$$

72. Vahelduvvoolu töö (energia).

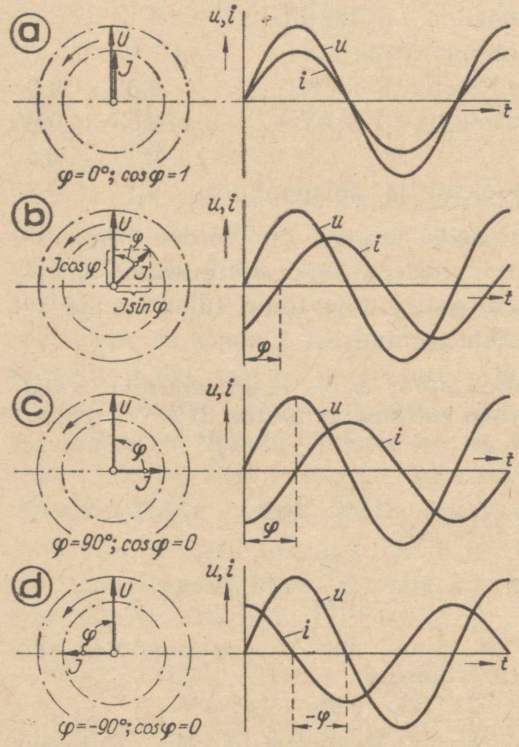
Vooluallika poolt antud või aparaadi poolt tarvitatud elektrilise töö (energia) leidmiseks tuleb võimsust korrutada ajaga:

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

mõõtühikud on samad mis alalisvoolulgi (vt. p. A-18).

73. Diagrammvektorid.

Piltlikuma ülevaate pinge ja voolu vahekorrast annavad joonisel 48 toodud diagrammvektorid (vasakul) ja pinge ning voolu hetkväärtuste muutumise kõverad.



Joon. 48. Diagrammvektorid: a) tegev-, b) osaliselt induktiivse, c) puhtinduktiivse, d) mahtuvusliku koormuse puhul.

Diagrammvektori pikkus kujutab mingis mõõtkavas pinge või voolu maksimaalset väärtust. Diagrammvektori pöörlemisel igale tema teatavale asendile vastavad pinge või voolu hetkväärtused saadakse diagrammvektori projektsioonina püstteljel.

Tegevkoormuse juures langevad pinge ja voolu vektorid kokku (joon. 48 a). Induktiivsel koormusel jääb vooluvektor pingest maha (joon. 48 b ja c). Mahtuvusliku koormuse juures nihkub vool pingest ette.

74. Eba- (reaktiiv-) võimsus.

Teoreetiliste arvutuste lihtsustamiseks kujutellakse tavaliselt, nagu koosneks vool induktiivsel või mahtuvuslikul koormusel (joon. 48 b, c, d) kahest osast: pingega faasis olevast komponendist — tegev- ehk aktiivvoolust $J \cdot \cos \varphi$ ja viimasega risti asetsevast eba- ehk reaktiivvoolust $J \cdot \sin \varphi$.

Tabel 10.

Voolu sõltuvus võimsustegurist.

Cos φ	0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0
Nihkenurk φ^0	1	26	37	45	53	60	66	72	78	84	90
Näivvool J	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Tegevvool $J \cdot \cos \varphi$.	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Ebavool $J \cdot \sin \varphi$ . .	0	43	60	70	80	86	92	95	98	99	100

Korrutist

$$U \cdot J \cdot \sin \varphi$$

nimetatakse eba- ehk reaktiivvõimsuseks. Viimase mõõtühikuks on VAr (reaktiivvoltamper) või 1000 korda suurem ühik kVAr (kilovar).

Ebavõimsus on arvutatav valemiga

$$N_e = U \cdot J \cdot \sin \varphi = \sqrt{(U \cdot J)^2 - N^2},$$

kus U ja J on efektiivsuurused ja N on tegevvõimsus.

75. Võnkering.

Võnkeringiks nimetatakse kinnist vooluringi, milles esineb induktiivsus L ja mahtuvus C, kusjuures nende takistused X_L ja X_C (vt. p. A-67 ja 68) võrreldes vooluringis esineva tegevtakistusega R on suhteliselt suured.

Vahelduvvoolu niisugust sagedust, mille juures võnkeringis esinev induktiivtakistus on võrdne mahtuvustakistusega ($X_L = X_C$), nimetatakse selle võnkeringi omavõnkesageduseks f_o.

Kui võnkeringis esinev tegevtakistus on väike, nii et seda võib tähele panemata jätta ($R \approx 0$), leitakse võnkeringi omavõnkesagedus järgmise valemi abil:

$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot C}},$$

kus f_o — omavõnkesagedus (p/s), L — induktiivsus (H) ja C — mahtuvus (F).

Suhteliselt suure tegevtakistuse (R) puhul kasutatakse valemit

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - \frac{R^2}{4L^2}}.$$

Mahtuvus ja induktiivsus võivad asetseda vooluallika suhtes järjestikku või paralleelselt. Mõlemal juhtumil arvutatakse omavõnkesagedus sama valemiga.

Näide. Võnkeringis on mahtuvus $C = 2250$ „cm" $= 2500$ pF $= 2{,}5 \cdot 10^{-9}$ F, induktiivsus $L = 100$ μH $= 10^{-4}$ H ja tegevtakistus $R = 20$ Ω.

Kui $R = 0$, siis võnkeringi omavõnkesagedus

$$f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{2 \cdot 3{,}14 \sqrt{10^{-4} \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-9}}} =$$

$= 318\,471$ Hz $\approx 318{,}5$ kHz.

Kui $R = 20$ Ω, siis võnkeringi omavõnkesagedus

$$f_o = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L \cdot C} - \frac{R^2}{4L^2}} =$$

$$= \frac{1}{2 \cdot 3{,}14} \sqrt{\frac{1}{10^{-4} \cdot 2{,}5 \cdot 10^{-9}} - \frac{20^2}{4 \cdot (10^{-4})^2}} \approx$$

$\approx 318{,}4$ kHz.

76. Pingeresonants.

Kui mahtuvus C, induktiivsus L ja aktiivtakistus R asuvad vooluringis vooluallikaga järjestikku (joon. 49), siis nimetatakse seda vooluringi pingeresonants-ringiks.

Pingeresonants-ringi välise osa näivtakistus (vt. p. A-69):

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

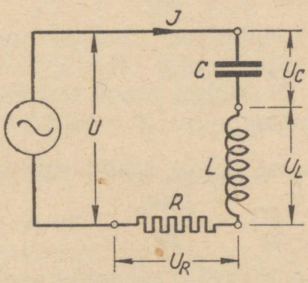
ja vool

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

Osapinged mahtuvus-, induktiiv- ja tegevtakistuse klemmidel on vastavalt:

$$U_C = J \cdot X_C,$$
$$U_L = J \cdot X_L,$$
$$U_R = J \cdot R,$$

mille juures pinge U_C on voolust J 90° (¼ perioodi) võrra järel, pinge U_L on voolust J 90° võrra ees ja pinge U_R on voo-



Joon. 49. Pingeresonants-ring.

luga J faasis. Järelikult on U_C ja U_L suunad vastupidised ning nende summa $U_{LC} = U_L - U_C$.

Kui vooluallika poolt antava vahelduvvoolu sagedus võrdub võnkeringi omavõnkesagedusega (vt. p. A-75), siis seda vahelduvvoolu sagedust nimetatakse r e s o n a n t s s a g e d u s e k s.

Resonantssageduse puhul on $X_L = X_C$ ja seega $Z = R$.

Resonantssagedusel võib Z suurus olla väiksem X_C ja X_L suurustest, järelikult võib osapinge kondensaatori klemmidel U_C ja pooli klemmidel U_L olla palju suurem vooluallika klemmipingest. Faasiliselt aga on need pinged teineteise suhtes vastupidised.

Resonantssageduse puhul on induktiivsuse L ja mahtuvuse C samade suuruste juures vool J seda väiksem, mida suurem on tegevtakistus R. Seda tegevtakistuse mõju voolu suurusele väljendatakse võnkeringide puhul teguriga, mida nimetatakse võnkeringi logaritmiliseks dekremendiks ja märgitakse tähega ϑ, mille suurus

$$\vartheta = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}}.$$

Resonantssageduse puhul on võnkeringi logaritmilise dekremendi ja kondensaatori ning pooli klemmide vaheliste pingete maksimaal- või tippväärtused (p. A-65) järgmises seoses:

$$\frac{\pi}{\vartheta} = \frac{U_{Lmax}}{U_{max}} = \frac{U_{Cmax}}{U_{max}} = \frac{2\pi \cdot f \cdot L}{R}.$$

Näide. Võtame eelmises punktis toodud näite kohaselt võnkeringi, mille $C = 2{,}5 \cdot 10^{-9}$ F; $L = 10^{-4}$ H; $R = 20\ \Omega$. Olgu pinge tippväärtus $U_{max} = 1000$ V. Resonantssagedus $f = 318\,500$ p/s (vt. p. A-75).

Resonantsi puhul voolu tippväärtus

$$J_{max} = \frac{U_{max}}{R} = \frac{1000}{20} = 50 \text{ A}$$

ja pinge tippväärtus takistusel R

$U_{Rmax} = J_{max} \cdot R = 50 \cdot 20 = 1000$ V,

seega võrdne generaatori pinge tippväärtusega.

Pinge väärtused kondensaatori ja pooli klemmidel on vastupidised ja võrdsed:

$$U_{Lmax} = U_{Cmax} = J_{max} \cdot 2\pi \cdot f \cdot L = \frac{J_{max}}{2\pi \cdot f \cdot C} =$$

$$= 50 \cdot 2 \cdot 3{,}14 \cdot 318\,500 \cdot 10^{-4} = 10\,000 \text{ V}.$$

Seega on need pinged 10 korda suuremad generaatori tipp-pingest. Logaritmiline dekrement

$$\vartheta = \pi \cdot \frac{U_{max}}{U_{Lmax}} = 3{,}14 \cdot \frac{1000}{10\,000} = 0{,}314$$

ja teisiti arvutatult

$$\vartheta = \pi R \sqrt{\frac{C}{L}} = \pi\, 20 \sqrt{\frac{2{,}5 \cdot 10^{-9}}{10^{-4}}} = 0{,}314.$$

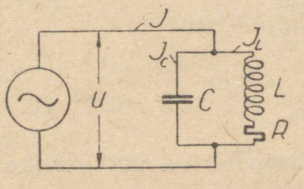
Resonantsi puhul on võimsus võnkeringis

$$N = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}} \cdot \frac{J_{max}}{\sqrt{2}} = \frac{1000 \cdot 50}{2} =$$
$$= 25\,000 \text{ W} = 25 \text{ kW}.$$

77. Vooluresonants.

Kui mahtuvus C ja induktiivsus L asuvad vooluringis paralleelselt (joon. 50), siis seda vooluringi nimetatakse vooluresonantsringiks.

Mahtuvuse C ja induktiivsuse L poolt moodustatud võnkeringi omavõnkesageduse kohta vt. p. A-75.



Joon. 50. Vooluresonants-ring.

Praktikas pole võimalik valmistada võnkeringi, milles ei esineks tegevtakistus R. Jättes tähele panemata kondensaatoris esineva ja pooliga paralleelselt kujutatava tegevtakistuse kui pooli traadi tegevtakistusega võrreldes tähtsusetult väikese, võib võnkeringis esinevat tegevtakistust kujutada induktiivsusega järjestikku olevana (joon. 50, R).

Resonantssagedusel avaldab kondensaatorist ja poolist koosnev võnkering vooluresonants-ringis tegevtakistust, mille ligikaudne suurus

$$R_{res} = \frac{L}{C \cdot R}.$$

Voolu tippväärtus vooluallika vooluringis

$$J_{max} = \frac{U_{max}}{R_{res}}$$

Võnkeringis on voolu tippväärtus aga palju suurem ja nimelt:

$$J_{Lmax} = \frac{U_{max}}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}.$$

Voolude suhe

$$\frac{J_{Lmax}}{J_{max}} = \frac{2\pi \cdot f \cdot L}{R} = \frac{\omega \cdot L}{R} = \frac{\pi}{\vartheta}.$$

Näide. $C = 2{,}5 \cdot 10^{-9}$ F; $L = 10^{-4}$ H; $R = 20\ \Omega$; $U_{max} = 1000$ V. Resonantssagedus $f_0 = 318\,500$ p/s (vt. p. A-75).

Resonantstakistus

$$R_{res} = \frac{L}{C \cdot R} = \frac{10^{-4}}{2{,}5 \cdot 10^{-9} \cdot 20} = 2000\ \Omega.$$

Voolu tippväärtus vooluallika ahelas

$$J_{max} = \frac{U_{max}}{R_{res}} = \frac{1000}{2000} = 0{,}5\ \text{A}.$$

Takistus võnkeringis resonantssageduse puhul

$$X_{LR} = \sqrt{R^2 + \omega^2 \cdot L^2} = \sqrt{20^2 + 200^2} \approx 201\ \Omega.$$

Voolu tippväärtus võnkeringi poolis

$$J_{Lmax} = \frac{U}{\sqrt{R^2 + \omega^2 \cdot L^2}} = \frac{1000}{\sqrt{20^2 + 200^2}} \approx$$

$\approx 4{,}97$ A ≈ 5 A.

Voolude tippväärtuste suhe

$$\frac{J_{Lmax}}{J_{max}} = \frac{4{,}97}{0{,}5} \approx 10.$$

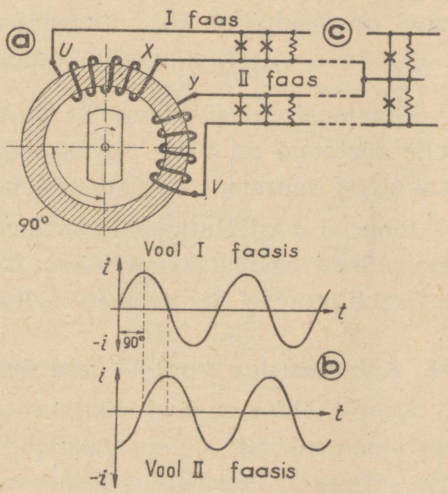
Võnkeringi logaritmiline dekrement

$$\vartheta = \pi \frac{J_{max}}{J_{Lmax}} = \pi \frac{0{,}5}{5} = 0{,}314.$$

VI. MITMEFAASISED VOOLUD.

78. Kahefaasine vool.

Asetame vahelduvvoolu masinasse kaks ühesugust, kuid elektriliselt 90° võrra nihutatud mähist (joon. 51). Kummaski mähises tekitatavad iseseisvad vahelduvvoolud on samapingelised ja samasageduslikud, tingitult masina konstruktsioonist. Võrdsel koormusel tekivad mähistes võrdsed voolud ja nende klemmidel võrdsed pinged, kuid mõlema mähise pinged ja ka voolud omandavad samu väärtusi eri hetkeil, millede ajaline vahe on 90 elektrilist kraadi. Kui näiteks esimeses mähises vool on maksimaalne, siis samal hetkel teises mähises vool võrdub nulliga ja saavutab maksimaalse suuruse ajavahemiku möödudes, mille kestel masina ankur pöördub 90 elektrilise kraadi võrra. Mähiste koormused võivad olla ka ebaühtlased. Sel puhul mähistes olevad voolud ja pinged on ebavõrdsed ka suuruselt.



Joon. 51. Kahefaasine vool.

Sellest järeldub, et kirjeldatud masina vahelduvvoolul on kaks ajaliselt erinevat muutumise kulgu, kusjuures kumbki on seotud oma vooluringiga. Seda masinat ja voolu nimetatakse kahefaasiseks.

Praktikas omistatakse faasi nimetus vastavale vooluringile. Näiteks joonisel 51 kujutatud masina mähist *UX* nimetatakse esimeseks faasimähiseks, selle mähisega ühendatud juhtmeid esimese faasi juhtmeiks ja nende juhtmetega ühendatud tarbijaid — esimese faasi tarbijaiks.

Kahefaasise masina energia juhtimist tarbijate juurde võib teostada nelja või kolme juhtmega. Viimasel juhtumil joon. 51 c kummagi faasi üks juhtmeist asendatakse ühise juhtmega. Sel puhul saadakse kahefaasine kolmejuhtmeline süsteem, mille üksikute faaside äärmisi juhtmeid nimetatakse liinijuhtmeiks ja keskmist (liidetud) juhet — nulljuhtmeks. Sellise süsteemi liinijuhtmetes voolab vool J_f ja nulljuhtmes — liitvool. Liinijuhtme ja nulljuhtme vahel on faasipinge U_f, liinijuhtmete vahel on aga pinge $U = \sqrt{2} \cdot U_f = 1{,}41 U_f$, mida nimetatakse liinipingeks.

Kahefaasiseid süsteeme kasutatakse praktikas väga harva. Selle süsteemi on välja tõrjunud kolmefaasine, mis võimaldab saavutada suuremat kokkuhoidu liinimaterjalis.

Joon. 51 a kujutatud ringmähisega masinat praktikas ei kasutata. Selle asemel kasutatakse trummelmähisega masinat, mis sarnaneb joonisel 54 skemaatiliselt näidatud keerdvoolu masinale.

79. Kolmefaasine vool — keerdvool.

Kahe mähise asemel võidakse masinasse asetada kolm, neli või enam mähist, sellele vastavalt saab kolme-, nelja- jne. faasist voolu. Peamiselt kasutatakse kolmefaasist ehk keerdvoolu (joon. 52). Liitmata keerdvoolu süsteem omab kuus juhet; üksikuid faasijuhtmeid teataval viisil liites saab juhtmete arvu vähendada kuni kolmeni. Liitmise viise on kaks: täht- ja kolmnurklülitus.

a) Tähtlülitus — kõik faasimähiste lõpud (või algused) ühendatakse omavahel kokku nn. nullpunkti. Vooluringe moodustavad kolm liinijuhet (joon. 53) ja nulljuhe. Koormuse võib asetada kõigi kolme liinijuhtme vahele või soovi kohaselt mõne liinijuhtme ja nulljuhtme vahele.

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

Tähtühenduse korral voolab läbi masina faasimähise niisama suur vool kui välisliiniski, liinipinge kahe liinijuhtme vahel on aga kõrgem.

$$J = J_f,$$

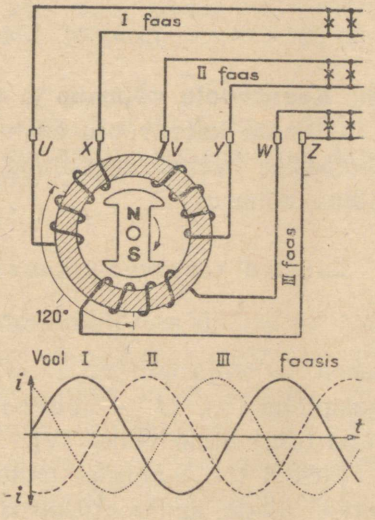
$$U = \sqrt{3} \cdot U_f = 1{,}73\, U_f,$$

kus J_f — vool masina ühes faasimähises (faasivool), J — vool liinijuhtmeis (liinivool), U_f — pinge ühe faasimähise otste vahel (faasipinge), s. o. liinijuhtme ja nulljuhtme vahel, U — liinipinge, pinge kahe liinijuhtme vahel.

b) Kolmnurklülitus. Ühe mähise lõpp ühendatakse järgmise mähise algusega (joon. 53). Liitepunktidest viiakse välja kolm liinijuhet.

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 välisvooluringi.

Kolmnurklülituse korral pinge ei muutu, liinivool on aga suurem faasivoolust.



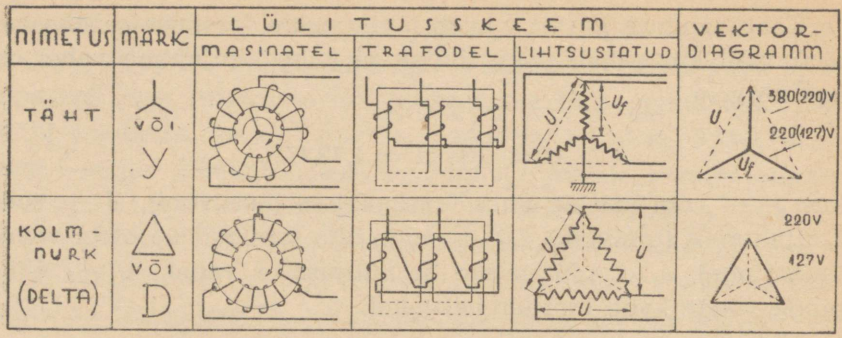
Joon. 52. Kolmefaasine vool.

$$U = U_f,\ J = \sqrt{3} \cdot J_f = 1{,}73\, J_f.$$

Koormus lülitatakse juhtmete vahele kolmnurgas või tähes.

Näide. Joonisel 52 toodud masina faasipinge klemmide UX vahel on 220 V, faasivool 25 A. Leida liinipinge ja liinivool.

Kolmnurklülituse korral on liinipinge 220 V, liinivool $J = 25 \cdot 1{,}73 = 43{,}25$ A.
Tähtlülituse korral on liinipinge $U = 1{,}73 \cdot 220 \approx$ ≈ 380 V, liinivool $J = 25$ A.



Joon. 53. Kolmefaasiseid süsteeme[1].

80. Keerdvoolu võimsus ja töö (energia).

Liitmata keerdvoolu süsteemis on tegemist kolme iseseisva ühefaasise vahelduvvooluga. Sümmeetrilisel koormusel on üldine võimsus

$$N = 3\,U_f \cdot J_f \cdot \cos\varphi.$$

Liidetud keerdvoolu süsteemis

$$N = \sqrt{3}\,U \cdot J \cdot \cos\varphi = 3\,U_f \cdot J_f \cdot \cos\varphi,$$

kus N — võimsus (W), J_f — vool ühes faasimähises (A), U_f — faasipinge (V), J — liinivool liinijuhtmes (A), U — liinipinge kahe liinijuhtme vahel (V).

Elektri töö (energia) leidmiseks tuleb üldist võimsust korrutada ajaga, analoogiliselt p. A-72 tooduga.

$$A = N \cdot t = 3\,U \cdot J \cdot \cos\varphi \cdot t.$$

Näide 1. Keerdvoolu liinipinge (kahe liinijuhtme vahel) $U = 500$ V. Vool ühes juhtmes $J = 82$ amp.

Sümmeetrilise koormuse puhul kõigis faasides ja $\cos\varphi = 1$ korral (valgustuskoormuse puhul) on ülekantav võimsus $N = \sqrt{3} \cdot 500 \cdot 82 \approx 70\,930$ W $\approx$ ≈ 71 kW, sõltumata vooluallika lülitusest.

[1] OCT-i normidele vastavalt märgitakse vahelduvvoolu liinijuhtmed tähtedega A, B, C ja O. Neile vastavad aparaatide klemmid märgitakse väikeste tähtedega a, b, c ja o.

Näide 2. Keerdvoolu-generaatori faasipinge on 220 V, faasivool 25 A, võrgu cos $\varphi = 1$. Leida võimsus.

Kolmnurklülituse puhul on $U = U_f = 220$ V ja $J = \sqrt{3}\, J_f = \sqrt{3} \cdot 25 = 43{,}25$ A. Võimsus $N = \sqrt{3}\, U \cdot J \cdot \cos\varphi = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 43{,}25 \cdot 1 \approx 16\,500$ W = 16,5 kW.

Tähtlülituse puhul $U = \sqrt{3}\, U_f = \sqrt{3} \cdot 220 = 380$ V ja $J = J_f = 25$ A. Võimsus $N = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 25 \cdot 1 \approx 16\,500$ W = 16,5 kW.

Liitmata keerdvoolu süsteemi korral on võimsus $N = 3\, U_f \cdot J_f \cdot \cos\varphi = 3 \cdot 220 \cdot 25 \cdot 1 = 16\,500$ W = 16,5 kW.

Näide 3. Keerdvoolu-generaator andis välisvõrku 16,5 kW 4 tunni jooksul. Leida antud elektrienergia hulk. $A = 16{,}5 \cdot 4 = 66$ kWh.

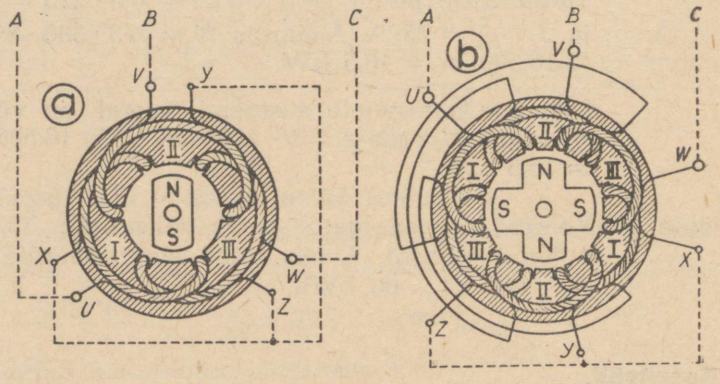
81. Keerdväli.

Kui joonisel 51 kujutatud kahefaasine masin ühendada mootorina kahefaasise vahelduvvoolu võrguga selliselt, et üks faasimähis oleks ühenduses esimese, teine teise faasiga, tekib masinas keerlev magnetväli, mida nimetatakse *keerdväljaks*. Teatud hetkel läbib vool ainult esimest mähist, tekitades selles magnetvälja. Veerandperioodi vältel kahaneb vool esimeses mähises nullini, kasvades teises maksimumini; seega magnetväli masinas nihkub 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 nähtus sarnane eeltooduga.

Joonistel 51, 52, 54 a kujutatud mähiste juures omab keerdväli ainult ühte pooluste-paari, tehes 50 p/s puhul 3000 pööret minutis. Suurendades mähiste (sektsioonide) arvu kahe-, kolmejne. kordselt ja vähendades samal ajal viimaste sammu (vahet)

(joon. 54 b), saame kahe pooluse asemel neli, kuus jne. poolust, kusjuures pöörete arv vastavalt langeb, olles 50 p/s juures 1500, 1000, 750 jne.

Kui keerdvälja asetada metalltrummel, hakkab viimane, vastavalt p. A-55, väljaga kaasa pöörlema. Seda nähtust kasutatakse vahelduvvoolu induktsioonmootoreis.



Joon. 54. Kahe- ja neljapooluseline keerdvoolu-masin.

Joonisel 54 on iga faasi pooluse kohta ainult üks sektsioon, tegelikult on magnetvälja ühtlasemaks jaotamiseks viimaste arv mitmekordne (joonisel toodud sektsiooni külgede arvu 6 ja 12 asemel on tavaliselt vähemalt 24 või 36).

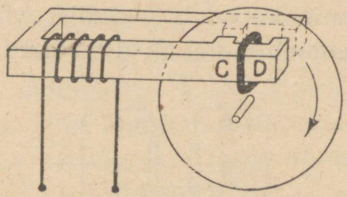
82. Keerdvälja tekitamine ühefaasise vooluga.

Keerdvälja tekitavad ainult mitmefaasised voolud.

Mootor võib omada ka üht faasimähist ja töötada ühefaasise vooluga, kuid ta ei lähe sel puhul ise käima. Käivitamiseks ehitatakse talle abimähis, kusjuures abimähisesse lastakse vool läbi kondensaatori või paispooli. Kondensaatori või paispooli abil tekitatakse abimähises kunstlikult teine magnetväli, mis pea-magnetvälja suhtes on nihutatud analoogiliselt p. A-78 toodud selgitusele (vt. ka p. A-67 ja 68). Väga pisikestes mootorites (näit. toaventilaatorites) on abimähiseks lühiskeerd; mootor töötab analoogiliselt p. A-83 öeldule.

83. Nihkeväli.

Kui vahelduvvoolu magnetpoolustele asetada üks või enam isoleeritud vaskrõngast (joon. 55), indutseeritakse viimaseis elektrivoolud. Need sekundaarvoolud omakorda tekitavad pooluste otsas magnetvälju, mis peavälja suhtes hilinevad kuni



Joon. 55. Magnetilise nihkevälja tekitamine.

veerandperioodi. Seetõttu saame pooluse otsas C ja D vahel magnetilise nihkevälja, mille tagajärjel hakkab pöörlema pooluste vahele võllile asetatud alumiinium- või vaskketas.

Ülaltoodud põhimõtet kasutatakse pisikestes reguleermootoreis ja mõõteriistades (energiaarvestid, vattmeetrid jne.). Jõumootoreis seda menetlust ei kasutata väikese kasuteguri tõttu.

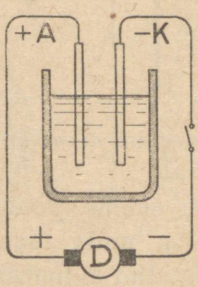
VII. ELEKTROKEEMIA.

84. Elektrolüüs.

Elektrivoolu juhtivaid vedelikke, milledes lahustatud aine elektrivoolu mõjul laguneb koostisosadeks, nimetatakse elektrolüütideks. Elektrolüütidena esinevad soolade, hapete või leeliste lahused vees või mõnes muus lahustis.

Üldiselt tekib elektrivool elektrilaengute ümberasetumisest elektrijuhis. Metallides esinevad elektrilaengute kandjatena vabad elektronid, elektrolüütides aga lahustatud aine molekulide osad. Teatav osa lahustatava aine molekule laguneb lahusti mõjul osadeks juba aine lahustamisel. Elektriliselt neutraalse molekuli lagunemisel omab kumbki molekuli osa elektrilist laengut; negatiivset laengut kandvat molekuli

osa nimetatakse negatiivseks iooniks ja positiivset laengut kandvat molekuli osa — positiivseks iooniks. Ioonid on elektrolüüdis alalises kaootilises liikumises. Ioonide tihedus lahuses sõltub lahustatavast ainest, lahusti ainest, lahuse tihedusest ja temperatuurist ning on ajaliselt püsiv. Positiivse ioonina esineb alati lahustatud soola, happe või leelise molekuli see osa, mis koosneb metallist või vesinikust, kuna negatiivse ioonina esineb molekuli ülejäänud osa. Näiteks vase-



Joon. 56. Elektrolüüs.

vitrioli ($CuSO_4$) lahustamisel vees (H_2O) laguneb teatav osa vasevitrioli molekulidest positiivset laengut kandvaiks vase (Cu) ioonideks ja negatiivset laengut kandvaiks SO_4 ioonideks.

Lahusega täidetud anumas asuvaid, elektrit juhtivast ainest plaate, mis on ühendatud vooluallikaga (joon. 56), nimetatakse elektroodideks. Neist nimetatakse vooluallika plussklemmiga ühendatud elektroodi — anoodiks ja miinusklemmiga ühendatud elektroodi — katoodiks.

Vooluringi sisselülitamisel hakkavad ioonid elektroodidevahelise elektrivälja mõjul liikuma kindlasuunaliselt (vt. p. A-4), kusjuures positiivsed ioonid rändavad katoodile ja negatiivsed ioonid anoodile. Sinna jõudnult annavad nad oma elektrilaengud üle, muutuvad tavalisteks aineosakesteks ja sadenevad elektroodidele. Näitena toodud vase (Cu) positiivne ioon annab katoodiga kokku puutudes sellele üle oma elektrilaengu ja sadeneb vase molekulina katoodi pinnale.

Negatiivne (SO_4) ioon annab oma laengu anoodile. Seejuures muutub ta keemiliselt aktiivseks molekuliks ning astub keemilisse ühendusse temaga kokkupuutuva ja temale keemiliselt sobiva anoodiaine aatomiga. Kui anoodiks on näiteks vaskplaat, siis negatiivne ioon (SO_4) astub keemilisse ühendusse vase (Cu) aatomiga, moodustades uuesti vasevitrioli ($CuSO_4$) molekuli, ja läheb lahusesse üle. Kui anoodiks on tsinkplaat, võtab ta sellelt ühe tsingi (Zn) aatomi ja astudes sellega keemilisse ühendusse moodustab tsinksulfaadi ($ZnSO_4$) molekuli ning läheb lahusesse üle. Juhtumil, kui anoodiks on aine, millega ta (SO_4) ei saa astuda keemilisse ühendusse, näiteks plaatinast plaat, siis võtab ta juuresoleva vee (H_2O) molekulist kaks vesiniku (H) aatomit, astub nendega keemilisse ühendusse ning moodustab väävelhappe (H_2SO_4) molekuli. Vabaksjäänud hapnik (O) jääb anoodi pinnale, kus ta kestva protsessi puhul gaasimullideks koguneb ja elektrolüüdi pinnale tõuseb.

Vaatamata sellele, et elektroodide-vahelise pinge püsimisel ioonid kogu aeg elektroodidele langedes oma elektrilaengud nendele üle annavad ja nõnda elektrivoolu voolamist vooluringis võimaldavad, ise sealjuures tavalisteks aine osadeks muutudes, jääb elektrolüüdis ioonide tihedus uute molekulide ioonideks lagunemise tõttu siiski endiseks.

Ioonide orienteeritud liikumine ja seega ka elektrilaengute ülekandumine ning vool vooluringis kestab seni, kuni vooluallika mõjul püsib pinge elektroodide vahel.

85. Elektrolüüsi seadused.

Elektrivoolu toimel eraldunud ainehulk

$$G = a \cdot t \cdot J = a \cdot Q \quad \text{(milligrammi)},$$

kus t — aeg sekundites, J — vool amprites, Q — elektrihulk kulonites ja a — elektrokeemiline ekvivalent, s. o. ühe ampri poolt ühe sekundi vältel eraldatud ainehulk milligrammides.

Tabel 11.

Elektrokeemiline ekvivalent.

Aine		α mg/As	Erikaal γ g/cm³	Aine		α mg/As	Erikaal γ g/cm³
Katoodil				Tsink	Zn	0,339	7,15
Vesinik	H	0,01036	0,09	Vask	Cu	0,329	8,9
Hõbe	Ag	1,11815	10,5	Anoodil			
Kuld	Au	0,681	19,3	Hapnik	O	0,082	
Nikkel	Ni	0,304	8,8	Kloor	Cl	0,367	
Raud	Fe	0,289	7,9	Lämmastik	N	0,048	

Näide 1. Anoodiks on puhastamata vask, katoodiks — elektrolüütiliselt puhastatud vask, elektrolüüdiks — vasevitrioli vesilahus. Kui palju elektrolüütiliselt puhastatud vaske sadestub katoodile, kui elektrihulk on 100 Ah (s. o. 100 A ühe tunni vältel)?

$$G = \alpha \cdot Q = 0{,}329 \cdot 100 \cdot 3600 = 118\,440 \text{ mg} = 0{,}118 \text{ kg}.$$

Näide 2. Katoodiks on nikliga katta tulev ese, mille pinna suurus on 5 dm². Vool elektrolüüsil on 4,5 A. Kui palju niklit sadestub katoodile ühe tunni vältel?

$$G = \alpha \cdot J \cdot t = 0{,}304 \cdot 4{,}5 \cdot 3600 \approx 4925 \text{ mg} \approx 4{,}9 \text{ g}.$$

86. Elektrolüüdi eritakistus.

Elektrolüütide eritakistus sõltub 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 12.

Tabel 12.

Elektrolüütide eritakistus oom/cm-tes 18° C juures.

Vett kaalu %-ides Lisand %-ides	95 5	90 10	80 20	70 30	60 40	40 60	20 80
Väävelhape	3,8	2,5	1,5	1,3	1,5	2,7	9,0
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	3,0	5,0	8,7	—	—
Söögisool	15,0	7,66	5,16	—	—	—	—
Vasevitriol	53,0	31,0	20,0	—	—	—	—
Salmiaak	10,6	5,6	3,0	—	—	—	—

Pinge kasvamisel kasvab vool pingega võrdeliselt, kui mõned muud kõrvalmõjud nagu polarisatsioon jne. olukorda ei muuda.

87. Elektrolüüs kuumades sulamites.

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

Sulamite elektrolüüsi kasutatakse paljude metallide, näit. alumiiniumi, magneesiumi, kaaliumi jne. tootmisel.

88. Polarisatsioon.

Vahelduvvoolule mõjub ainult elektrolüüdi takistus. Alalisvoolu puhul tuleb takistusele tihti veel lisaks vastuelektromotoorne jõud. Kui näiteks vasevitrioli lahusesse asetada plaatina- või süsielektroodid, koguneb katoodile voolu mõjul vasekiht, tekib galvaani element, mille üheks elektroodiks on vask, teiseks plaatina (süsi). Elektroodid omandavad potentsiaalid — polariseeruvad. Kogu seadist läbiv vool $J = \frac{U - E}{R}$, kus R — takistus, U — välispinge ja E — polarisatsiooni vastuelektromotoorne jõud, harilikult 1 . . . 2,5 V.

89. Elektrolüüs tehnikas.

Tähtsamad menetlused elektrolüüsi kasutamisel on:

a) Galvanosteegia — metallide katmine elektrolüütiliselt mõne teise metalli, harilikult nikli, kulla, hõbeda või kroomi kihiga.

b) Galvanoplastika — reljeefsete kujutiste ja koopiate valmistamine. Plastilisest ainest (parafiinist, gutapertšist jne.) vorm kaetakse grafiiditolmuga ja siis elektrolüütiliselt metallikihiga.

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

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

90. Elektriline süntees.

Kahe aine segust elektrivoolu läbilaskmisel võivad need ained tekkiva kuumuse toimel ühineda, andes seega uue aine. Kasutatakse: kaltsiumkarbiidi valmistamisel lubjast ja söest, karborundi valmistamisel liivast ja söest, lämmastikhappe ja salpeetri valmistamisel õhust jne.

91. Elektrielemendid.

Elektrielemendid (primaarelemendid) koosnevad anumas asetsevaist kahest elektroodist ja elektrolüüdist. Neis elementides toimuva keemilise reaktsiooni tulemusel muundub keemiline energia elektrienergiaks.

Keemiline reaktsioon elektrielemendis toimub ainult siis, kui element on koormatud. Koormuseta elemendis keemiline reaktsioon ei toimu ning tema klemmide vahele püsima jääv klemmipinge on võrdne tema elektromotoorse jõuga.

Asetades kaks erinevast ainest elektroodi happe, soola või leelise vesilahusesse, tekib nende elektroodide vahel elektro-

motoorne jõud, mille suurus sõltub elektroodide ainest ja elektrolüüdi koostisest. Näiteks tekib väävelhappe vesilahusesse asetatud ühe tsink- ja ühe vaskelektroodi vahel elektromotoorne jõud suurusega ligikaudu 1 V. Sellise elemendi klemmide ühendamisel takistiga (võttes elemendist elektrienergiat) toimub elemendis järgmine keemiline reaktsioon. Ioonideks lagunenud väävelhappe (H_2SO_4) negatiivsed ioonid SO_4 annavad oma negatiivsed laengud tsinkelektroodile ja muutudes nõnda molekulideks ning astudes tsingiga keemilisse ühendusse, moodustavad tsinksulfaadi $ZnSO_4$, mis jääb elektrolüüti. Vesiniku ioonid 2H annavad oma positiivse laengu vaskelektroodile ja sadestuvad sellele vesiniku (H) gaasina. Ioonide poolt üleantud laengute tõttu saab vaskelektrood positiivse ja tsinkelektrood negatiivse laengu. Seega esimene elektrood on elemendi positiivseks elektroodiks ja teine negatiivseks elektroodiks. Vooluringi katkestamisel tõuseb elektroodide-vaheline pinge ligikaudu 1 voldini, missuguse pinge juures elektroodide ja ioonide vaheline eemaletõukejõud on niivõrd suur (vt. ka p. A-56), et ioonid enam ei saa elektroodidele langeda ning keemiline reaktsioon lõpeb. Vooluringi ühendamisel langeb elemendi klemmide-vaheline pinge niivõrd, et kirjeldatud keemilise reaktsiooni tekkimine on jällegi võimalik.

Vaskelektroodile kogunev vesiniku gaas suurendab elemendi sisetakistust ja põhjustab seal elemendi elektromotoorse jõuga võrreldes vastusuunalise elektromotoorse jõu tekkimist. Seda nähtust nimetatakse polarisatsiooni nähtuseks. Selle tõttu elemendi koormamisel tema klemmipinge langeb.

Polarisatsiooni tõttu töötab ülalkirjeldatud element ainult lühikest aega, kuni vaskelektroodile tekib vesiniku gaasi kiht. Elemendi püsiva töötamise saavutamiseks asetatakse vaskelektroodi juurde niisugust ainet, millega vesinik (H) astub keemilisse ühendusse. Seda ainet nimetatakse elemendi depolarisaatoriks.

Üheks niisuguseks depolarisaatoriks on vasevitrioli ($CuSO_4$) vesilahus, mille molekulide negatiivsete ioonidega (SO_4) ühine-

vad vesiniku (H) positiivsed ioonid, moodustades elektriliselt neutraalse väävelhappe (H_2SO_4) molekuleid. Vasevitrioli positiivsed vase (Cu) ioonid annavad oma laengud vaskelektroodile ja sadestuvad seal vasena.

Ülalkirjeldatud elektrielemente nimetatakse, sõltuvalt nende konstruktsioonist, kas Meidinger'i või Daniell'i (danjeli) elementideks.

Rohkesti kasutatava Leclanché (leklanšee) elemendi elektroodideks on süsi ja tsink, elektrolüüdiks — salmiaagi (NH_4Cl) vesilahus ja depolarisaatoriks — mangaandioksüüd (MnO_2). Elemendi elektromotoorne jõud on ligikaudu 1,5 V. Mangaandioksüüd on võrdlemisi halva elektrilise juhtivusega tahke aine, seepärast segatakse ta elektrilise juhtivuse suurendamiseks grafiidiga.

Leclanché elemendi töötamise ajal toimuvad temas järgmised keemilised reaktsioonid: salmiaagi (NH_4Cl) molekulide kloori (Cl) negatiivsed ioonid ühinevad tsinkelektroodist eralduvate positiivsete tsingi (Zn) ioonidega, tekitades kloortsingi ($ZnCl_2$), mis jääb elektrolüüti. Oma elektrilise laengu süsielektroodile üleandnud positiivsed ioonid (NH_4) muutuvad ammoniaagiks (NH_3) ja ülejäänud vesinik (H), ühinedes depolarisaatori mangaandioksüüdiga (MnO_2), tekitab vee (H_2O) ja tahke aine — brauniidi (Mn_2O_3), mis jääb depolarisaatorisse.

Elektrielementi iseloomustavad järgmised suurused: 1) elektromotoorne jõud, 2) sisetakistus ja 3) mahtuvus ampertundides. Elemendi mahtuvuseks loetakse ampertundide arvu, mida element suudab anda, kuni tema klemmipinge langeb töötamisel lubatava alampiirini (Leclanché elemendil — 0,8 V). Klemmipinge langemisel alla selle piiri loetakse element töötamiskõlbmatuks.

Praktikas kasutatavad taskulambipatareid ja anoodpatareid koosnevad nn. kuivelementidest. Need kuivelemendid, samuti ka kohalikpatareiga telefoniaparaatide juures kasutatavad kuivelemendid on Leclanché elemendid, millede elektrolüüt on segatud tärklisega või mõne muu vastava ainega pastataoliseks.

92. Elektriakumulaatorid.

Elektriakumulaatoriteks või lühendatult akudeks (sekundaarelementideks) nimetatakse seadiseid, milledest pärast eelnenud laadimist saadakse nendes toimuvate keemiliste reaktsioonide tõttu elektrienergiat. Aku koosneb anumasse asetatud kahest elektroodist ja elektrolüüdist. Temas toimub keemiline reaktsioon ka plusselektroodi aine ja temale langeva vesiniku vahel, mistõttu akumulaatoris depolarisatsiooni nähtust ei ilmne ning depolarisaator puudub.

Aku annab elektrienergiat seni, kuni tema elektroodide täiteaine, nn. aktiivmassi keemiline koostis on elektrienergia võtmise vältel täielikult muutunud. Niisugusel puhul öeldakse, et akumulaator on „tühi".

Põhiline erinevus akude ja elektrielementide vahel seisab selles, et akumulaatorit võib laadida. Laadimine seisab selles, et teise vooluallika abil lastakse akust läbi vool — tema poolt antavale voolule vastupidises suunas. Selle, nn. laadimisvoolu mõjul elektroodide aktiivmassi koostis muutub endiseks ja aku on jälle võimeline andma elektrienergiat.

Aku elektrilist mahtuvust väljendatakse ampertundides. Akust elektrienergiat võttes ei tohi teda koormata, samuti ei tohi teda laadida suurema vooluga, kui see akut valmistava vabriku poolt on ette kirjutatud, sest suurem vool lühendaks aku iga tunduvalt.

Praktikas kasutatakse plii- (tina-) ehk happe- ja raudnikkel- ehk leelis-akumulaatoreid.

Plii-aku elektroodid koosnevad pliiraamidest, millede avad on täidetud aktiivmassiga. Täislaetud aku positiivse elektroodi aktiivmassi keemiline koostis on plii-ülihapend (PbO_2) ja negatiivsel elektroodil — poorne plii (Pb). Elektrolüüdiks on väävelhappe vesilahus ($H_2SO_4 + H_2O$), mille erikaal on ~ 1,23. Tühjenenud aku mõlema elektroodi aktiivmass koosneb pliisulfaadist ($PbSO_4$) ja elektrolüüdi erikaal on ~ 1,18. Plii-aku klemmipinge on umbes 2 V. Akut tohib tühjendada kuni 1,8 vol-

dini, sest edasine tühjendamine lühendaks tema iga. Laadimise vältel tuleb aku laadimispinget tõsta kuni 2,8 voldini.

Raudnikkel-aku elektroodide aktiivmass koosneb nikli ja raua või kadmiumi ühenditest. Elektrolüüdiks on kaaliumleelise (KOH) 21%-line vesilahus. Aku klemmipinge on ligikaudu 1 volt ning tõuseb laadimisel kuni 1,8 V; akut võib tühjendada umbes 1 voldini.

VIII. ELEKTRIVOOL DIELEKTRIKUS.

93. Elektrivool gaasides ja aurudes.

Tavaliselt on gaasid või aurud peaaegu täielikud isolaatorid. Teatavais tingimustes nad võivad aga elektrivoolu ka juhtida. Selleks on vaja, et elektroodide vahel asuv gaas või aur oleks ioniseeritud, s. o. et ta sisaldaks ioone või et temas leiduks küllaldaselt vabu elektrone.

Elektroodide-vahelises elektriväljas liiguvad positiivsed ioonid katoodi suunas ning negatiivsed ioonid ja elektronid — anoodi suunas, moodustades nõnda elektrivoolu. See nähtus on ligikaudu analoogiline elektrolüüsi puhul esineva nähtusega (vt. p. A-84).

Gaasi või auru ioniseerimist võivad põhjustada mitmesugused välised mõjutused, näiteks gaasi kiiritamine röntgeni-, raadiumi- või ultraviolett-kiirtega ja kõrge kuumus. Gaasi ionisatsioon võib tekkida ka gaasis leiduvate vabade elektronide suurema kiirusega liikumisel. Suurt kiirust võivad elektronid omada elektroodide-vahelise elektrivälja mõjul, kui selle elektrivälja tugevus on küllalt suur ja elektronil vaba tee pikkus enne aatomi või molekuliga kokkupõrkamist on küllaldane tarviliku kiiruse omandamiseks. Suure kiirusega liikuv elektron lööb aatomiga kokku põrgates sellest välja ühe või mitu elektroni (negatiivset elektriosakest). Elektroni kaotamise tõttu muutub elektriliselt tasakaalus olev aatom positiivseks iooniks, kusjuures tema positiivne laeng võrdub väljalöödud elektronide laengute summaga.

94. Elektrivool normaalrõhuga gaasides.

Elektrivool võib gaasi läbida huumlahenduse, sädeme või leegi kujul.

a) On pinge kõrge (üle paari kV) ja elektroodid omavad teravikke, tekib teravikel (ka peenemail traatidel) sinakas huumvalgus. Teravike läheduses on elektriväli kõige tugevam (vt. p. A-56) ja sel juhtumil, kui väljatugevus ületab teatava piiri (õhul 29,9 kV/cm), tekib kiiresti liikuvate elektronide mõjul gaasiosakeste lõhenemine — ioniseerumine.

Huumlahendus võib esineda koroona-nähtusena kõrgepingejuhtmeil, mis põhjustab ka energia kadu. Koroona-kao vältimiseks tuleb näiteks juhtmed 100 kV puhul võtta mitte alla 70...95 mm^2. Kõrgemate pingete puhul, 150 kV ülespoole, kasutatakse vase kokkuhoiu mõttes õõnsaid torukujulisi juhtmeid.

b) On elektroodide vahemaa väiksem või pinge kõrgem — tekib säde. Võimsa vooluallika puhul (suur dünamo, transformaator) muutub kord läbilöönud säde püsivaks leegiks. Langeb aga pinge vooluallika väikese võimsuse või suure takistuse tõttu, siis säde kustub, tekkides uuesti pinge tõusmisel.

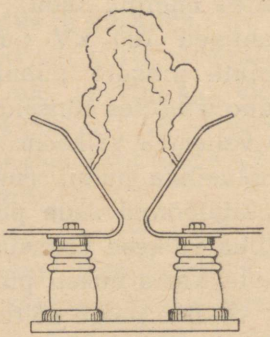
Sädeme läbilöögiks vajalik pinge sõltub elektroodide kujust ja kaugusest ning gaasi koostisest, temperatuurist ja rõhust. Õhu kohta (normaalrõhu juures) on toodud andmed järgnevas tabelis.

Tabel 13.

Läbilöögipinge.

Efektiivne pinge [kV]	0,5	1	2	4	6	10	15	20	30	50
Pinge maks. hetksuurus [kV]	0,7	1,4	2 8	5,6	8,4	14	21	28	49	70
	Elektroodide vahemaa [mm]									
Õhus teravike vahel . .	—	1	2	5	8	14	22	30	—	—
Õhus kuulide vahel r = 5 mm	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 ehk kaarleek) tekib elektroodide vahel, kui need saavad küllaldaselt energiat (joon. 57). Leegi süütamiseks on vaja kas eelnevat sädet, elektroodide ajutist ühendamist peene läbisulava metalltraadiga või elektroodide hetkelist kokkupuutumist ja järgnevat eemaletõmbumist. Leegi temperatuur on ca 3000 . . . 4000° C. Leek koosneb kuumuse toimel ioniseerunud gaasist ja elektroodide materjali aurudest. Leegi alalhoiuks vajalik minimaalpinge sõltub voolu liigist, elektroodide materjalist, kujust, kaugusest ja ümbritsevast keskkonnast. Väikese elektroodide-vahelise kauguse korral on



Joon. 57. Kaarleek sarvelektroodide vahel.

vajalik minimaalpinge õhu keskkonnas: alalisvoolu puhul söe-elektroodide vahel — 39 V, vaskelektroodide vahel — 24 V ja vahelduvvoolu puhul söeelektroodide vahel — 21 V ning metallist elektroodide vahel 600 . . . 1000 V.

Leeki võib tekitada ka õhutühjas klaastorus elavhõbedast elektroodide vahel.

Vool on piiratud ainuüksi vooluallika võimsusega ja toiteliini takistusega ning võib tõusta tuhandeisse ampritesse.

Kaarleeki kasutatakse keevitamisel, sulatusahjudes, valgustuseks ja elavhõbedaaur-alaldajais.

95. Elektrivool hõredas gaasis.

Gaasis leidub alati üksikuid elektrone ja ioone, mis elektriväljas liikuma hakkavad. Liikudes põrkavad nad vastu neutraal-

seid aatomeid. On tõuge küllalt tugev, lõhestuvad need ioonideks. Tugeva tõuke jaoks on vaja kas väga kõrget pinget või pikka teed hoovõtmiseks. Viimane on saavutatav aatomite osalise kõrvaldamisega, s. o. gaasi osalise väljapumpamisega.

Kui otstel pingestatud elektroodidega varustatud klaastorus õhutihedust väljapumpamisega hõrendada, hakkab gaas ca 40 mm Hg õhurõhu juures helenduma. Kasutatavais helendavais torudes on vool normaalselt kuni mõnikümmend milliamprit, pinge — mõni tuhat volti. Minimaalpinge sõltub gaasist ja katoodide materjalist, näiteks plaatina vesinikus — 340 V, kaalium lämmastikus — 210 V. On hõrendus väga suur (alla 0,01 mm Hg), kaob huumvalgus. Kõrge pinge puhul läbivad katoodi juurest eraldunud elektronid toru sirge joana.

96. Elektrivool vaakumis.

Täielikus tühjuses puudub ioniseerimiseks vajalik gaas või aur, mistõttu ioonide voolu seal ei saa esineda. Vaakumisse asetatud metall-elektroodide pindadest väljub toatemperatuuri juures elektrone, mis elektroodidele ühendatava pinge mõjul tekitavad läbi vaakumi kulgeva voolu. Selle voolu suurus on väga väike — 10^{-15} kuni 10^{-11} amprit elektroodi ühe ruutsentimeetri kohta. See vool on niivõrd väike, et seda pole võimalik mõõta tavaliste mõõteriistadega, mistõttu vaakumi võib vaadelda praktiliselt hea isolaatorina. Seda vaakumi omadust rakendatakse nn. vaakumkontaktide valmistamisel.

Katoodi (elektroodi) kuumutamisel kõrge temperatuurini (vastavalt katoodi materjalile 800 . . . 2400° K) muutub elektroodi pinnalt väljuvate elektronide arv küllaldaseks praktikas rakendatava voolu saamiseks. Sellel nähtusel põhjeneb elektrontorude töötamine. Kahe elektroodiga elektrontorusid kasutatakse alaldaja ventiilidena, sest ühe kuuma elektroodi puhul lasevad nad voolu läbi ainult ühes suunas. Ühe või mitme elektroodiga varustatult kasutatakse neid raadio-, heli- ja sidetehnikas võimendustorudena ja mitmesuguste teiste ülesannete täitjatena.

Katoodist väljuvaile elektronidele võib anda tarviliku kiiruse ja sundida neid liikuma peene joana vastu vastava soolaga

kaetud ekraani. Niisugune kiiresti liikuvaist elektronidest koosnev juga paneb ekraanile langemise kohal soola helendama, tekitades seal valguspunkti. Seda väikese läbimõõduga elektronide juga on võimalik elektri- või magnetvälja abil kallutada. Sellel põhimõttel töötavaid nn. elektronkiire-torusid kasutatakse ostsillograafides ja kaugnägemisseadistes.

Kui suure kiirusega liikuvate elektronide juga langeb metallist plaadile, hakkab viimane välja saatma nn. röntgenikiiri. Need kiired (nagu nähtav valguski) on elektromagnetilised lained, kuid väga väikese lainepikkusega. Nad on võimelised tungima läbi kõvade kehade, mõjuvad fotoplaadile ja kutsuvad esile mõnede ainete helkimise. Röntgenikiiri kasutatakse kindlate kehade läbivalgustamisel. Mitmesuguste omaduste tõttu kasutatakse neid ka ravitehnikas.

Mõnede metallide (näit. tseesiumi, kaaliumi, naatriumi) pinnalt väljub rohkesti elektrone ka tavalise toatemperatuuri juures, kui metalli pinda valgustatakse. Seda nähtust kasutatakse fotoelementide ja valgusmõõtjate ehitamisel.

97. Elektri läbilöök dielektrikust.

Tahkeid isoleeraineid läbib elektrivool analoogiliselt gaasidele nähtamatu või huumlahendusena ja sädeme või leegi kujul, ainult vajalikud pinged on kõrgemad.

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

Läbilöögi puhul soodsa jahtumistingimuse tõttu on leegi tekkimine juhuslik. Võimalik on ta ainult väga suurte võimsuste ja pingete puhul.

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

IX. MUUTUVAD VOOLUD.

98. Üldmõisted.

Püsivaks loetakse säärast voolu, kus voolu tugevus ei muutu. Vahelduvvool loetakse püsivaks, kui ta maksimaalne hetkväärtus on muutumatu.

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

99. Vooluring ilma mahtuvuseta.

a) Alalisvool. Sisselülitamisel kasvab vool teatud aja kestusel oma täie väärtuseni (vt. p. A-43). Väljalülitamisel tekib kontaktide vahel leek, kusjuures leegi tekkimist soodustab väljalülitamisel tekkiv omainduktsioonipinge. Kontaktide kaugenemisel leek pikeneb, leegi takistus suureneb ja vool väheneb, kuni ta lõpuks katkeb.

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

b) Vahelduvvool. Sisselülitamisel esinevad voolu muutused on sõltuvad koormuse iseloomust ja sisselülitamise hetkest. Satutakse sisselülitamisel voolukõvera nullpunkti (s. o. tegevkoormusel pingekõvera nullpunkti, puht-induktiivsel koormusel pingekõvera maksimaalsele väärtusele), ei teki mingit omainduktsioonipinget. Vool hakkab nullist alates voolama harilikus korras. Toimub sisselülitamine voolukõvera maksimumi momendil (s. o. ajal, kus kestev vool, kui ta juba olemas oleks, omaks maksimaalväärtust), tekib nagu alalisvoolugi korral välispingele vastupidine omainduktsioonipinge. Pool perioodi hiljem mõlemate suunad ühtivad, mistõttu tekib voolutõuge, mis võib ületada püsiva vooluväärtuse kuni kaks korda.

Raudsüdamikuga tarbija (näiteks trafo) puhul võib sisselülitamisel voolutõuge suureneda või väheneda veel eelmisel väljalülitamisel rauda jäänud remanentsmagnetismist. Peale selle

kutsub sisselülitamisel tekkiv tugevam magnetvoog esile rauа küllastumise, mis omakorda tunduvalt suurendab magneetimisvoolu niivõrd, et esimene voolutõuge võib olla püsivast voolust 10 ja rohkem korda suurem.

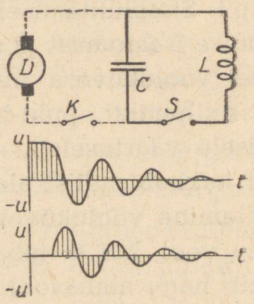
Vastuabinõuna varustatakse suuremad lülitid eeltakistuskontaktidega.

Toimub katkestus voolu nullpunktis — leeki ei teki. Toimub katkestus voolu maksimaalväärtuse ajal, tekib küll leek, kuid kustub ¼ perioodi hiljem. Madalpinge puhul (alla 600 V) kustunud leek metallkontaktide vahel tavaliselt uuesti ei sütti kontaktide kiire jahtumise tõttu. Seepärast vahelduvvoolu madalpinge-lülitid ei vaja nn. kiir-väljalülitamist. On leegi alalhoidmine vajalik (kaarleekkeevitus), tuleb elektroodid katta erilise, jahtumist takistava ja leegi püsimist soodustava ainega.

Kõrgepinge puhul tekib püsiv leek. Viimase kustutamiseks on tarvitusel kiirlülitus- ja õliga või suruõhuga leegikustutusseadised.

100. Induktiivsusega ja mahtuvusega vooluring.

Kui kondensaator *C* (joon. 58) asetada järjestikku induktiivsust omava pooliga *L*, kondensaator laadida ja siis katkestada



Joon. 58. Võnkering.

lüliti *K* ning sisse lülitada lüliti *S*, tekib ahelas *CL* elektrivoolu võnkumine. Kondensaatori tühjenemisvool tekitab poolis magnetvälja, mis omakorda kahanedes indutseerib voolu, mis laeb kondensaatorit vastupidises suunas jne.

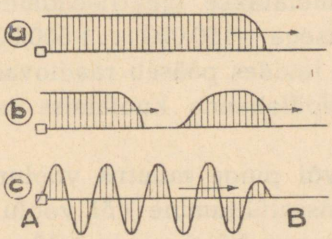
Nõnda võngub elektrivool harilikult palju kordi edasi-tagasi (võnkesagedus vt. p. A-75). Võnkumine vaibub kadude tõttu võnkeringis. Kogu see nähtus kestab tavaliselt ainult mõned mikrosekundid. Nähtus on analoogiline vee võnkumisele U-kujulises torus.

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

Eespool kirjeldatud võnkumisi kasutatakse peamiselt raadiotehnikas. Peale selle esinevad nad veel kõrgepingeliinides, tekitades liigpingeid.

101. Elektri levimine mööda pikki juhtmeid.

a) A l a l i s v o o l. Sisselülitamisel liigub pinge rändlainena mööda juhet edasi kuni lõpuni (joon. 59 a). Toimus sisselülitamine katkendiliselt — tekib rida rändlaineid (joon. 59 b). Liikumise kiirus on vaskjuhtmeis ca 170 000 km/s.



Joon. 59. Elektri levimine pikkades juhtmetes.

b) T a v a l i s e v õ r g u s a g e d u s e g a vahelduvpinge rändlaine lainepikkus $\lambda = \frac{170\,000}{50}$ p/s = 3400 km, mis ületab kõik praktikas ettetulevad liini pikkused. Juhtmele mahub ainult murdosa ühest rändlainest. Laine käik on analoogiline alalisvoolu juhtumile.

c) K õ r g s a g e d u s v o o l u rändlained liiguvad pidevalt vooluallikast liini lõpuni (joon. 59 c), kusjuures iga periood annab ühe laine.

Vastu takistust (lahtise liini lõppu või tarbijat) liikunud rändlaine põrkab tagasi analoogiliselt veelainele, tekitades liigpingeid ning vahelduvvoolu puhul ka nn. seisvaid laineid.

102. Elektromagnetilised lained.

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

Läbi dielektriku (õhk, portselan, tühjus) liiguvad elektromagnetilised lained takistamatult. Suurtest metallpindadest põrkavad nad tagasi, väiksematest libisevad mööda. Metallosades nad tekitavad elektrivoolu. Elektromagnetilisi laineid kasutatakse raadiotehnikas.

103. Häirivvoolud.

Häirivvooluks nimetatakse elektriseadmete töötamisel neis tekkivat kõrgsagedusega (150 000 ... 1 500 000 p/s) vahelduvvoolu (joon. 59), mis levides pääseb raadiovastuvõtu-seadmeisse ja tekitab seal raadioülekande kuulamist segavaid (häirivaid) helisid.

Iga järsk voolu või pinge muutus vooluringis, näit. vooluringi katkestamine, sisselülitamine või voolu järsk muutumine, põhjustab kõrgsagedusega häirivvoolu tekkimist.

Iga juhtmeist koosnev vooluring sisaldab induktiivsust ja juhtmete vahelist või juhtmete ja maa vahelist mahtuvust. Need on küll väga väikesed (mõni kuni mõnisada μH ja pF), kuid moodustavad elektriseadmes (aparaadis, masinas) p. A-75 ... A-77 ja A-100 kirjeldatud võnkeringe ja võimaldavad kõrgsageduslike vahelduvvoolude, nn. häirivvoolude tekkimist. Tekkiva häirivpinge ja häirivvoolu suurused on suhteliselt väga väikesed. Näiteks 220-voldilises tugevvoolu-võrgus töötava väikese kommutaatormootori klemmidel mõõtes on kõrgsagedusliku häirivpinge suurus 0,01 ... 0,5 V. Mootori toitejuhtmete kaudu mootorist väljuva kõrgsagedusliku vahel-

duvvoolu võimsus on $10^{-8} \ldots 10^{-10}$ W. Vaatamata väikesele võimsusele levib häirivvool mööda juhtmeid ja elektrilise induktsiooni tõttu ka läbi ruumi ning raadiovastuvõtu-seadmesse pääsedes tekitab seal väga tugevalt kostvat kärina-, ragina- või surina-taolist häirivat heli (nn. raadiohäireid).

Häirivvoolud tekivad kõigis elektriseadmetes, milledes on lülitatavaid või libisevaid kontakte, näiteks sädeinduktorid (vt. p. A-49), elekterhelistid, lülitid, elektritrammide loogad, kommutaatoritega või kontaktrõngastega elektrimasinad, alaldajad, kõrgsagedusravi-, diatermia- ja röntgeniaparaadid, plahvatusmootorite elektersüüte seadmed, keevitusaparaadid jne.

Raadiohäirete vähendamiseks kasutatakse mitmesuguseid abinõusid kõrgsageduslike häirivvoolude võimsuse vähendamiseks elektriseadmetes endis. Samuti kasutatakse ka abinõusid häirivvoolude levimise ja raadioseadmetesse pääsemise tõkestamiseks. Enamasti kasutatakse mõlemaid abinõusid üheaegselt.

B. TEINE OSA.

MÕÕTMISTEHNIKA.

I. ELEKTRIMÕÕTMISEST ÜLDISELT.

1. Mõõtmise eesmärk.

Elektrotehnilisi mõõtmisi toimetatakse ühelt poolt tööprotsessi ratsionaalse toimumise hõlbustamiseks ja kontrollimiseks, millega säästetakse kulusid ja vähendatakse kadusid, ning teiselt poolt elektriseadmeis rikete kindlaksmääramiseks ja vältimiseks.

2. Mõõtmisviisid.

a) O t s e n e. Enamik elektrimõõteriistu (amper-, volt-, vattmeetrid jt.) on varustatud osuti ja astmikuga (skaalaga); mõõdetav suurus on viimaselt otseselt loetav. Erandjuhtumeil kasutatakse ka muid abinõusid, näit. numeraatorit (kWh-arvesteil), vibreerivaid ribasid (sagedusemõõtjail), valguskiirt.

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

3. Mõõteriistade liigid.

Vastavalt mõõdetavale suurusele on kasutamisel järgmised mõõteriistade liigid: 1) Ampermeetrid (A). 2) Voltmeetrid (V). 3) Vattmeetrid (W). 4) Sageduse- (laine-) mõõtjad (Hz). 5) Võimsusteguri (cos φ) ja ebavoolu mõõtjad. 6) Oommeetrid (Ω) takistuse ja isolatsiooni mõõtmiseks. 7) Arvestid energia arvestamiseks. 8) Induktiivsusemõõtjad (H). 9) Mahtuvusemõõtjad (F). 10) Mõõteriistad magnetiliste omaduste (väljatihe-

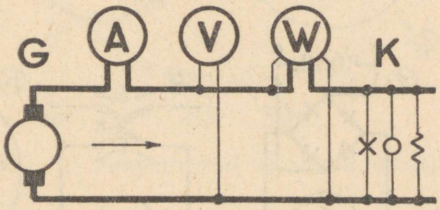
duse B, rauaskadude) mõõtmiseks. 11) Mõõteriistad dielektriliste omaduste mõõtmiseks. 12) Mõõteriistad optilisteks (pinnavalgustuse, valgusvoo) mõõtmiseks. 13) Mõõteriistad termilisteks mõõtmisteks.

Neist on kasutamisel: 1 . . . 3 — üldiselt, 4 ja 5 — ainult vahelduvvoolul, 6 — ajutiselt külge ühendatava kontrollaparaadina, 7 — energia müümisel ja ostmisel, 8 . . . 13 — tööde juures laboratooriumis ja proovisaalis ning erijuhtumeil ka tööstustes.

II. AMPERMEETRID.

4. Ülesanne.

Ampermeetrit kasutatakse voolu mõõtmiseks. Mõõteriist lülitatakse vooluringi järjestikku (joon. 1 A). Vastavalt elektrilisele ja mehaanilisele ehitusele jagunevad nad allpool p. B-5 . . . B-13 loeteldud liikidesse.



Joon. 1. Amper-, volt- ja vattmeetri ühendamine vooluringi.

Peale voolu otsese mõõtmise kasutatakse tundlikke nõrkvoolu ampermeetreid erilülitustes ja lisavahendite kasutamisel veel mitmesugusteks teisteks mõõtmisteks, näit. voltmeetrina, oommeetrina, temperatuuride mõõtmiseks koos termoelemendiga. Säärased mõõteriistad omavad vastavat astmikku (eriskaalat).

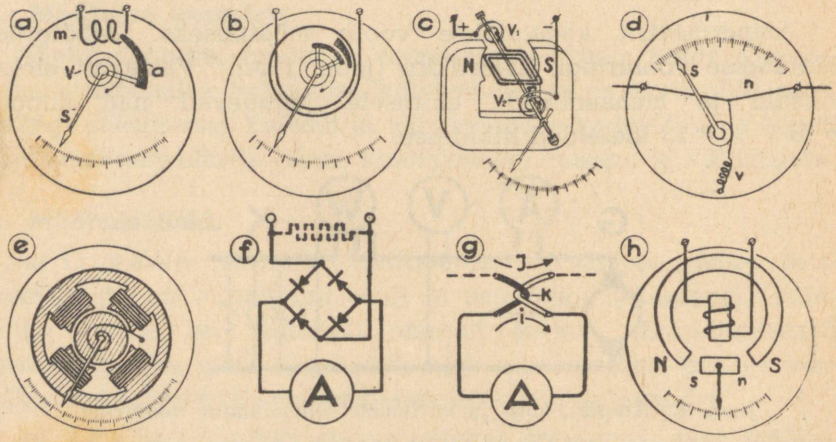
Mõningate mõõtmiste juures (näit. takistuse mõõtmisel „sillaga") ei ole täpne voolu tugevus amprites oluline, vaid tähtis on ainult voolu olemasolu või suuna kindlaksmääramine. Sellisel juhtumil kasutatakse g a l v a n o m e e t r i t — väikest ampermeetrit ilma amperskaalata, enamasti astmiku keskel asetseva nullpunktiga.

5. Pehmeraud-ampermeeter.

Selle mõõteriista töötamisviis põhjeneb rauatükikese liikumisnähtusel magnetväljas.

Ehituse põhimõte on näidatud joonisel 2 a. Pöördumist võimaldava telje külge on kinnitatud osut s ja rauast ankur a. Mõlemaid hoiab nullasendis spiraalvedru V. Voolu läbimisel tõmbab solenoid (mähis) m ankru enda sisse, ja seda rohkem, mida suurem on vool.

Mõnikord on solenoidisse asetatud kõrvuti kaks rauatükikest, kusjuures pöörlevalt asetatud rauatükk tõukub paigalseisvast rauatükikesest eemale (joon. 2 b).



Joon. 2. Ampermeetrite ehitus skemaatiliselt.

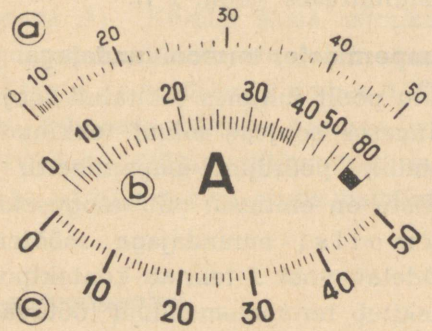
Solenoidi keerdude arv on 1 kuni paarkümmend, sõltuvalt voolu ja vedru tugevusest.

Omadused: Kõlblik alalis- ja madalsagedusega vahelduvvoolule, kuid täpsemais riistades on astmik eraldi normitud alalis- ja vahelduvvoolule, kuna osuti hälbed on veidi erinevad. Astmiku jaotus on ebaühtlane (joon. 3 a), esimese mõõtkriipsu kaugus 0-punktist on ca $^1/_{10}$ lõpphälbest. Täpsus on raua hüstereesi tõttu väike (vea suurus täpsematel 0,5%, tavalistel kuni 3%). Ehituselt tugev, lihtne ja odav — seetõttu kõige rohkem levinud.

Kasutamisel: Peamiselt talitusriistana (jõujaamades, töökodades), täpsusriistana ka proovisaalis. Ehitatakse neid tavaliselt mõne saja amprini.

6. Pöördpool-ampermeeter.

Ehitus: Tugevate magnetipooluste N ja S vahel asetseval teljel (joon. 2 c) on alumiiniumist raam peenest traadist mähisega. Mähist läbib vool läbi vedrude V_1 ja V_2; viimased hoiavad ühtlasi osutit nullasendis. Voolu mõjul pöördub mähis (vedrusid pingutades) seda enam, mida suurem on vool.



Joon. 3. Ampermeetri astmikud (skaalad).

Magnetvälja ühtlasemaks jaotamiseks ja õhuvahe lühendamiseks asetatakse pooluste vahele, pöörleva mähise keskele, veel paigalseisev rauast silinder.

Omadused: Osuti hälbe suund sõltub voolu suunast, seetõttu see mõõteriist on kõlblik ainult alalisvoolule. Skaala on ühtlase jaotusega (joon. 3 c). Täpsus ja tundlikkus on suur; neid mõõteriistu saab ehitada veaga 0,1% ja voolule (lõpphälbega) minimaalselt kuni 0,0001 mA. Maksimaalne vool on tavaliselt 10 mA, suuremate voolude puhul kasutatakse šunte (vt. p. B-22).

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

Ülalkirjeldatud tüüpi ampermeetreid kasutatakse ka alljärgnevail erijuhtumeil.

7. Pöördpool-ampermeeter alaldajaga.

Vahelduvvool muundatakse alalisvooluks (pulseerivvooluks) ning lastakse sellisena läbi pöördpool-milliampermeetri. Paremused: a) suure tundlikkuse tõttu võimaldab see mõõteriist ka väikeste vahelduvvoolude mõõtmist; b) ühenduses šuntide ja eeltakistustega võimaldab mõõta voolusid nii alalis- kui ka vahelduvvoolul. Voolu liigi muutmiseks kasutatakse tavaliselt kuivalaldajaid sildlülituses (joon. 2 f).

8. Pöördpool-ampermeeter termomuundajaga.

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

Neid mõõteriistu on ehituselt mitmesuguseid. Üks tundlikumaid, nn. t e r m o r i s t - muundajaga mõõteriist on toodud joon. 2 g. Mõõdetav vool *J* tekitab kontaktpunktis K soojuse, see omakorda tekitab termoelemendina töötavas juhtmetepaaris alalisvoolu *i*. Suurema tundlikkuse saavutamiseks asetatakse termorist õhutühja klaastorusse. Kasutatakse kõrgsagedusvoolude mõõtmiseks alates 1 mA.

9. Kuumustraat-ampermeeter.

Vool lastakse läbi peenikese plaatina-iriidiumsulamist traadi n (joon. 2 d). Viimane soojeneb ja venib ning sellest tingitud suurenev lõdve kantakse vedru v ja silindri kaasabil osutile S. Kõlblik igasugustele vooluliikidele, sõltumatult nende sagedusest. Kasutamisel on see mõõteriist peamiselt kõrgsagedusvoolude mõõtmisel (raadio, diatermia). Suure omatarvitusega, keskpärase täpsusega, ei talu liigkoormamist.

10. Bimetall-ampermeeter.

Mõõteriista oluliseks osaks on bimetallribake, mis on kokku valtsitud nikkel- ja valgevasklehekestest. Bimetallribake soo-

jeneb läbiva voolu mõjul. Kuna vask paisub rohkem, siis kooldub ribapaar kõveraks, lükates osutit edasi. Lühiaegsetele voolutõugetele ei reageeri. Kasutatakse liigkoormuste mõõtmiseks, tihti ühenduses signaalkontakti või kaasaveetava osutiga — suurima voolu märkimiseks teatavas ajavahemikus (vt. p. B-25-e).

11. Elektrodünaamiline ampermeeter.

Ehitus nagu elektrodünaamilisel vattmeetril (joon. 10), kuid mõlemad mähised kas järjestikku- (kuni 1 A) või paralleel-lülituses (kuni paarsada A). Kõlblik sama astmikuga nii alalisele kui ka madalsagedusega vahelduvvoolule. Astmik on ebaühtlase jaotusega. Täpsus on suur (viga umbes 0,2%). Kasutatakse laboratooriumides, talitusriistana aga harvem, viimasel juhtumil võõraste magnetväljade mõju vältimiseks on mõõtesüsteem raudkapselduses ja mõnikord veel raudsüdamikuga (ferrodünaamilised riistad).

12. Induktsioon-ampermeeter.

Kõlblik ainult vahelduvvoolule. Töötab p. B-66 kirjeldatud magnetilise nihkevälja põhimõttel (joon. 2 e). Alumiiniumsilindrile (või -kettale) mõjub kaasakiskuvalt pöörlev (või edasinihkuv) magnetväli. Trumlit hoiab tasakaalus vedru. Pöördejõud on suur. Täpsuselt võrdne, kuid hinnalt kallim kui pehmeraudriist. Kasutatakse harva, peamiselt registreerivate või suure astmikuga riistade juures.

13. Polariseeritud pehmeraud-ampermeeter.

Ehitus: „Magnetvedruna" töötav permanentmagnet hoiab oma pooluste NS vahel rauast ankrut sn nullseisundis (joon. 2 h). Ankrut mõjutab elektromagnet. Hälbe suund sõltub voolu suunast. Kõlblik ainult alalisvoolule. Täpsus on 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 % täishälbel. Näit. mõõteriistadel täpsusklassist 0,5 ei tohi viga täishälbel olla suurem kui 0,5%.

Kahte esimesse täpsusklassi kuuluvad täpsed laboratooriumi mõõteriistad. Need on kallid ja õrnad riistad. Klass 1,0 . . . 2,5 on talitusriistad.

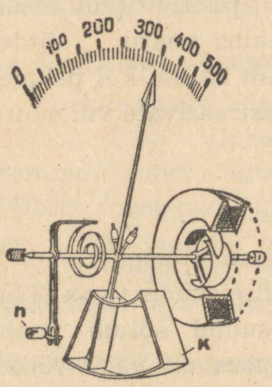
15. Liigkoormatavus.

Täpsed riistad (klass 0,2 ja 0,5) peavad kestvalt taluma nimivoolu (täishälvet). Harilikud talitusriistad (klass 1,0 . . . 2,5) taluvad kestvalt 1,2-kordset ja tõukeliselt 10-kordset nimivoolu. Mootorite jaoks määratud ampermeetrid varustatakse tihti astmikuga, mille lõpposa kuni 3-kordse liigkoormuse piirini on kokku surutud (joon. 3 b). Sellise ampermeetri abil on võimalik jälgida mootori õiget käivitamise käiku.

Mõnikord varustatakse mõõteriist sisseehitatud sulavkaitsmega.

16. Isolatsioon ja pinge.

Mõõteriista isolatsioon valitakse kooskõlas võrgupingega, millel riist peab töötama. Proovipinge suurus on märgitud ampermeetri skaalal.



Joon. 4. Mõõtesüsteemi laagrid.

17. Mõõtesüsteemi laagrid.

Mõõteriista osuti teravikkudega telg toetub enamasti poleeritud vääriskivist, näit. safiir-, rubiin- või granaatlaagrile (joon. 4). Pöörlev süsteem tasakaalustatakse raskuste ja spiraalvedrudega. Täpsed (vahest ka talitus-) riistad on varustatud väljaspoolse kruviga — osuti nullseisundisse viimiseks (joon. 4 n). Kantavad mõõteriistad on mõnikord varusta-

tud osuti „areteerijaga", mis takistab pöörleva osa liikumist ja põrumist transportimisel.

18. Summuti.

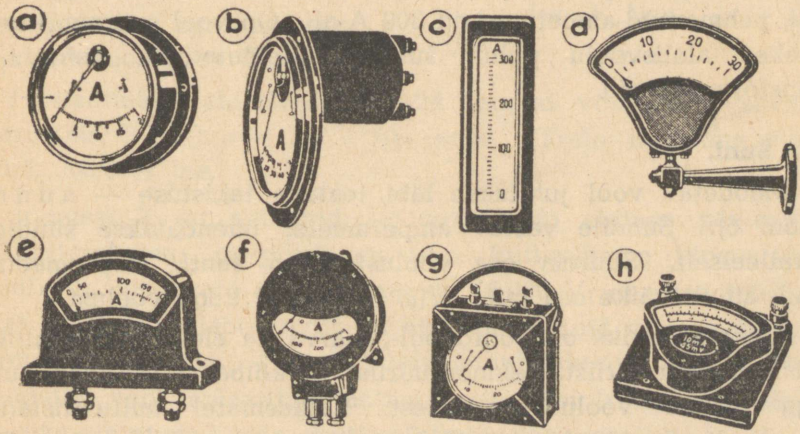
Voolu sisselülitamisel kõiguks vabalt asetatud osut tüki aega edasi-tagasi (erandiks on bimetallriist), takistades hälbe lugemist. Selle vältimiseks varustatakse mõõteriistad summutiga. Summuti tüübid: a) õhuga — teljega ühenduses olev tiib liigub poolkinnises karbis (joon. 4 k); b) magnetiline — alumiiniumketas liigub magneti pooluste vahel.

19. Osut ja astmik (skaala).

Talitusmõõteriistade osut tehakse odakujuline, lai ja eemalt silmapaistev. Täpsete laboratooriumiriistade osut sarnaneb serviti asetatud noaga. Astmik on esimestel harv-, viimastel peenjaotusega. Et vältida paralaksist (viltusest vaatamisest) tingitud viga, asetatakse täpsetel riistadel astmiku kõrvale, osuti alla peegel. Vaatamise suund on õige, kui osut ja ta peegelpilt on kohastikku. Astmiku suund on normaalselt vasakult paremale (joon. 3) või alt üles.

20. Väliskesta (kere, korpuse) ehitus.

Vastavalt välisele kujule on kasutamisel peamiselt järgmised, joonisel 5 näidatud ampermeetri tüübid.



Joon. 5. Ampermeetri tüübid.

A. Kohakindlaks asetuseks lülituskilpidele, pultidele, konsoolidele jne.

a) Ümarik, plekk-kerega, kinnitamiseks lülituskilbile. Kõige levinum tüüp. Ühenduspoldid on tavaliselt taga. Harvem ehitatakse väline kest ka kandilisena. Pleki asemel kasutatakse mõnikord ka isoleerainet. b) Süvistatav, lülituskilbi sisse asetamiseks. c) „Profiilkuju", tasapinnalise või kumera skaalaga. Skaala asetus on püsti või põigiti. Kasutatakse väikese ruumi korral. d) Sektorikujuline, väga suure skaalaga; kasutatakse suure vaatekauguse puhul, enamikus konsoolile või sambale asetatult. e) Malmkestas — lülituskastidele asetamiseks; niiskuskindel ehitusviis. f) Sama, veekindel (laevadel, kaevandustes jne.). Ampermeetri normaalasend on püstne, mõnikord ka viltune (pultidel) või lamav.

B. Kantavad, kergeks ümberpaigutamiseks ühest kohast teise.

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

21. Suure voolu mõõtmine.

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

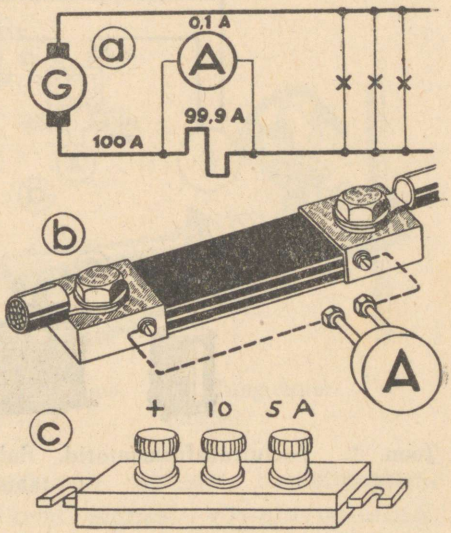
22. Šunt.

Mõõdetav vool juhitakse läbi teatava takistuse — šundi (joon. 6). Šundile vastav ampermeeter ühendatakse šundiga paralleelselt. Suurem osa voolust läbib šunti, ampermeetrit läbib ainult väike osa (näit. $^1/_{10}$, $^1/_{50}$, $^1/_{100}$) kogu voolust.

Ampermeetriks on pöördpool-, harva ka elektrodünaamiline või kuumustraatriist. Pehmeraudriist ei kõlba, sest koos šundiga oleneb voolu sagedusest. Väiksematel talitusriistadel (tavaliselt alla 100 A) asetseb šunt riista sees, suuremail eraldi.

Ühendusjuhtmete ristlõige 1 . . . 6 mm², pikkus 2 × 1 . . . 10 m. Täpsete riistade või ühendusjuhtmete suure pikkuse korral 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. 6 c), vastavalt voolu tugevusele. Šunte valmistatakse ainest, mille takistus ei muutu temperatuuri tõusuga (manganiin, konstantaan).



Joon. 6. Šunt.

23. Voolutransformaator.

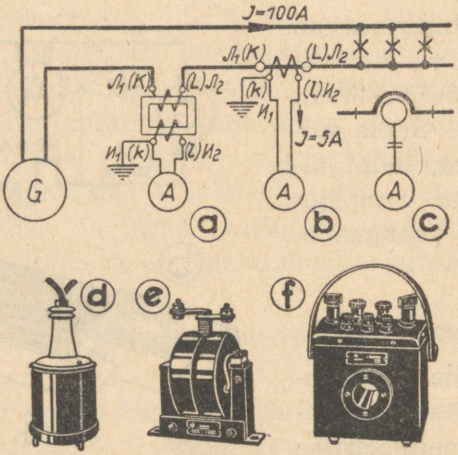
Voolutransformaatori (voolutrafo) abil mõõtmisel juhitakse vool ampermeetrisse transformaatori kaudu. Trafo primaarmähist läbib mõõdetav vool, sekundaarmähise klemmide vahele ühendatud ampermeetrit aga märksa väiksem vool (joon. 7).

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

Joonisel 7 on näidatud: a) voolutrafo ehituse põhimõte; b) lülitusskeem; c) piltskeem (s. o. lülitusskeem lihtsustatud kujul); d) voolutrafo 10/5 A, pingele 15 000 V; e) sama 100/5 A 1000 V; f) sama laboratoorseks otstarbeks, kuid mitmesugustele voolupiirkondadele. Tugeva voolu puhul (üle 100 A) juhitakse mõõdetav vool isoleeritud juhtme kaudu läbi trafo keres oleva ava üks või enam korda, vastavalt voolu tugevusele.

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

Töötava voolutrafo sekundaarmähise otsad peavad alati olema ühendatud mõõteriistaga või selle puudumisel lühistatud (vt. p. B-106).



Joon. 7. Voolutransformaatorid. Sulgudes välismaise päritoluga trafode tähised.

24. Mõõtepiirkond.

Kohakindlad ampermeetrid ehitatakse ühe mõõtepiirkonnaga. Tugevvoolu-tehnikas kasutatakse normaalselt alljärgnevaid suurusi:

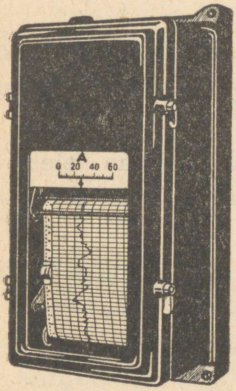
5 10 20 30 50 75 100 150 200 300 500 750 1000 1500 2000 3000 A ja suuremaid.

Kantavad riistad ehitatakse mitme mõõtepiirkonnaga, näiteks 5/10 või 5/10/20 A jt.

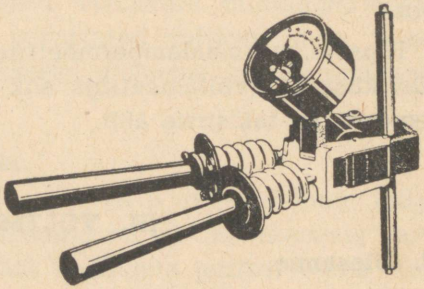
25. Ampermeetrid eriotstarveteks.

a) Registreerivad (joon. 8). Kirjutavad näitamise (osuti hälbe) tindiga paberiribale. Paberi liikumise kiirus on 3 . . . 240 mm tunnis. Pabeririba veab edasi kellamehhanism.

b) Tangampermeeter (joon. 9). Voolutransformaator asetatakse tangide kujuliselt ümber juhtme. Võimaldab voolu mõõta ilma juhet läbi lõikamata. Kasutatav ainult vahelduvvoolu mõõtmisel. Üle 50 A pehmeraud-ampermeeter, alla selle alaldajaga pöördpool-ampermeeter.



Joon. 8. Registreeriv ampermeeter.



Joon. 9. Tangampermeeter.

c) Kontaktampermeeter. Teataval, näiteks maksimaalselt lubatava voolu korral ühendab osuti signaal- või abivooluringi. Vähe kasutusel, sest parema kontakti ja töökindluse mõttes on vastavad releed soovitavamad.

d) Ettelükatud osutiga ampermeeter, mootorite käivitusvoolu mõõtmiseks.

e) Kaasaveetava osutiga ampermeeter, liigkoormuse märkimiseks. Mõõtemehhanismiga ühendatud peaosut lükkab abiosutit edasi; peaosuti tagasiminekul jääb abiosut suurima hälbe peale seisma. Mehhanismi põhiosaks on harilikult bimetallist riba.

26. Normimine.

Kontrollitav ampermeeter lülitatakse täpse ampermeetriga järjestikku. Reostaadi abil muudetakse ampermeetreid läbiva voolu tugevust ja võrreldakse mõlema hälbeid. Ebatäpse näita-

mise korral: a) märgitakse õiged hälbed eritabelis või graafikus; b) tehakse uus astmik; c) muudetakse hälvet. Hälbe muutmiseks võib näit. sisešundi takistust ribade külgejootmise või täkete sissesaagimisega muuta. Pöördpool-mõõteriistad on hälbe muutmiseks mõnikord varustatud erilise reguleeritava magnetšundiga.

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

Täpsete, normaalampermeetrite normimine toimub elektrolüüsi kaasabil (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. 1, V). Kõrgepinge puhul toimub pinge mõõtmine pingetransformaatori kaudu.

28. Pehmeraud-voltmeeter.

Ehitus- ja töötamisviis samad mis ampermeetril (vt. p. B-5), ainult magnetmähises on paari jämedast traadist keeru asemel paar tuhat peenikesest traadist keerdu. Suure sisetakistuse tõttu on läbiv vool väga väike ning mõõteriista võib ühendada otse kahe pooluse vahele. Kuna läbiv vool on võrdeline pingega, märgitakse astmikule pinge suurus.

29. Pöördpool-voltmeeter.

Ehitus on täpselt sarnane ampermeetri omaga (vt. p. B-6), kuid mõõtesüsteemiga järjestikku on lülitatud eeltakistus, mille suurus sõltub mõõdetava pingepiirkonna suurusest ja riista läbivast voolust. Eeltakistus on ehitatud tavaliselt mõõteriista

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

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

30. Kuumustraat-, 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; voolu tarvitus on praktiliselt null. Kasutatav ka vahelduvpinge mõõtmiseks (kuni 10^6 p/s).

32. Ehitus ja täpsus.

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

33. Mõõtepiirkond.

Kohakindlad voltmeetrid ehitatakse ühe mõõtepiirkonnaga, tugevvoolule harilikult 130, 260, 450, 600, 800 ja 1000 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 mitmele mõõtepiirkonnale, näiteks: 0,06/15/150/300/750 V.

IV. VATTMEETER.

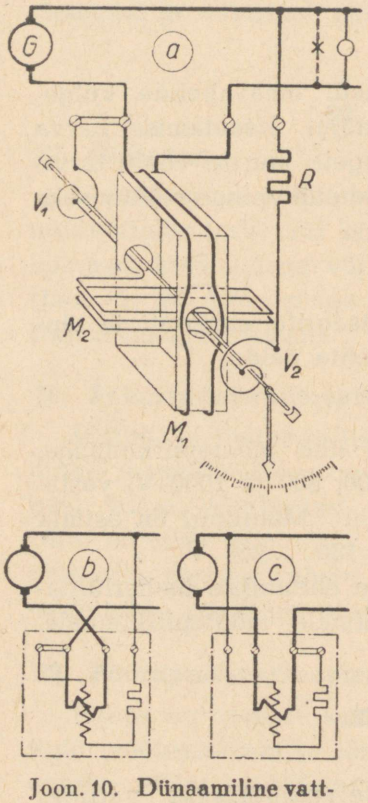
34. Vattmeetri ülesanne.

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 — vool (A). Sama valem on kehtiv ka ühefaasise vahelduvvoolu puhul, kui koormus on induktiivsusvaba (lambid, küttekehad). Induktiivsel koormusel (mootorid, paispoolid, kondensaatorid) on üleantav võimsus (tegevvõimsus) sama U ja J korral väiksem:

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

kusjuures võimsustegur cos φ (koosinus fii) on 0 ja 1 vahel. Vattmeetriga mõõdetakse tegevvõimsust.



Joon. 10. Dünaamiline vattmeeter.

35. Dünaamiline vattmeeter.

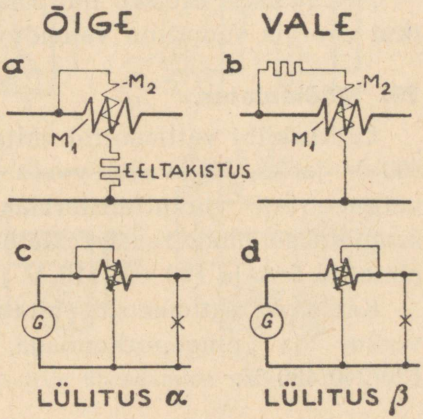
Elektrodünaamilise vattmeetri ehitus ja lülitamine on näidatud joonisel 10. Jämedast traadist paigalseisva mähise M_1 (voolumähise) magnetväljas asetseb teljel olev mähis M_2 (pingemähis); viimase ehitus on sarnane pöördpool-mõõteriista omaga. Voolumähist läbib mõõdetav vool, kuna pingemähis ühendatakse mõõdetava pingega, tavaliselt eeltakistuse R kaudu (joon. 10 a). Mähiste M_1 ja M_2 magnetväljade vastastikusel mõjutusel pöördub mähis 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.

36. Induktsioon-vattmeeter.

Kõlblik ainult vahelduvvoolule. Tööviis sama mis induktsioonmootoril või arvestil (vt. p. B-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 pöördenurk on võrdeline võimsusega.

37. Vattmeetri ühendamine võrku.

Ühendamine võrguga toimub vastavalt joonistele 1, 10, 11 ja 12 a. Kui osut lööb tagurpidi välja, tuleb pinge- või voolumähiste otsad ümber vahetada vastavalt joonisele 10 b või c. Juhtumil, kui kasutatakse eraldi eeltakistust, tuleb see asetada vattmeetri ja vattmeetrit mitteläbiva juhtme vahele, vastavalt joonisele 11 a, et vältida ohtlikku täispinget M_1 ja M_2 vahel.



Joon. 11. Vattmeetri ühendamine võrku.

Vattmeetri pingemähist võib vastavalt joonisele 11 ühendada enne (lülitus α) või pärast (lülitus β) vattmeetri voolumähist; kumbki lülitus pole päris õige, sest nii voolu- kui ka pingemähises tekib teatud võimsusekadu. Tarbija 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 tarbija võimsuse mõõtmisel kasutada väikeste võimsuste puhul lülitust α; vooluallika (generaatori) võimsuse mõõtmisel on olukord vastupidine ja seal on õigem lülitus β. Suure võimsuse mõõtmisel ei ole olu-

line pingemähise lülitamise moodus, kui vattmeetri võimsusekadu osutub suhteliselt tähtsusetuks.

Suurte voolude puhul võimalike vigade vältimiseks tuleb vattmeetrile juurdetoodavad voolujuhtmed asetada kõrvuti võimalikult lähestikku, rauata elektrodünaamiliste riistadega mõõtmisel asetada mõõteriistad umbes 0,75 m kaugusele üksteisest.

38. Ehitus.

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

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

39. Mõõteulatus.

Lülituskilbi vattmeetrid ehitatakse 5 A ja 110, 220, 380 ja 500 V jaoks, tugevama voolu korral juhitakse mõõdetav vool vattmeetrisse voolutransformaatori kaudu. Kõrgepinge puhul kasutatakse pingetransformaatoreid, kusjuures vattmeeter 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, 120/240/480 V.

40. Keerdvoolu võimsuse mõõtmine.

Keerdvoolu võimsus vattides on

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

kus U_f — pinge voltides faasi- ja nulljuhtme (maa) vahel, nn. faasipinge; U — pinge kahe faasijuhtme (väliste juhtmete) vahel, nn. liinipinge; J — vool liini juhtmes; $\cos\varphi$ — võimsustegur.

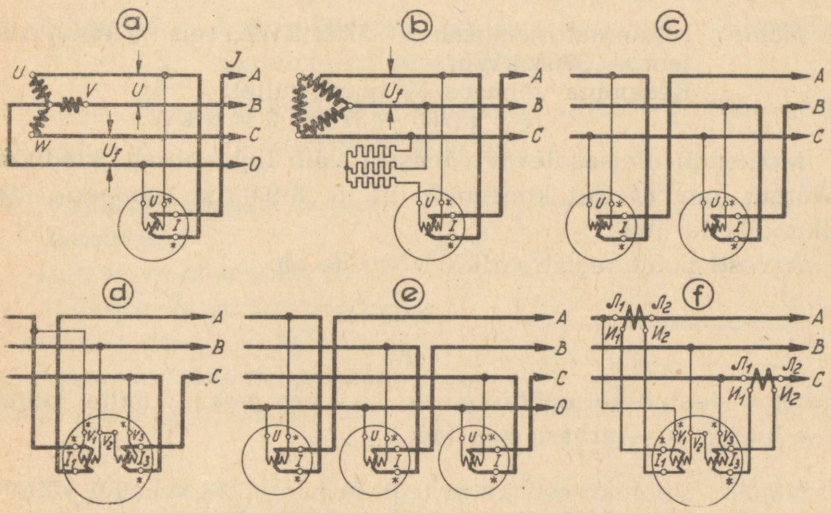
Vattmeetri lülitused on näidatud joonisel 12.

a) Ühtlaselt koormatud faasid (näit. mootorite korral), nullpunkt on kättesaadav. Mõõdetakse ainult ühe faasi võimsust.

Kasutatakse 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, eeltakistuste abil, kusjuures $r_1 = r_2 = r_3 + r_p$, kus r_p — vattmeetri pingemähise takistus.

c) Ebaühtlase koormusega faasid, nulljuhtmeta. Mõõtmine toimub kahe ühefaasise vattmeetriga (Aroni-lülitus). Mõlema



Joon. 12. Keerdvoolu-vattmeetrite ühendamine võrku.

hälbed liidetakse. On cos φ üle 0,5 (täiskoormusel mootorid, lambid, küttereostaadid), on hälve alati positiivne; kui cos φ on alla 0,5 (mootorid ja transformaatorid tühijooksul), on esimese (sõltuvalt 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 ühte osutit; astmikult on loetav keerdvoolu koguvõimsus.

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

Märkus: Voolude juures üle 5 A kasutatakse tavaliselt voolutransformaatorit (joon. 12 f). Pingemähis tuleb viimasel juhtumil ühendada alati sama faasiga, milles on voolumähis.

41. Võimsuse mõõtmine kWh-arvesti abil.

Aeglaselt (veerandi või enama tunni vältel) muutuva koormuse puhul (linnad, alevikud jne.) võib kindlaks määrata keskmist võimsust, märkides kWh-arvesti numeraatori seisu iga ¼, ½ või 1 tunni järel.

Näide. Numeraatori algseis — 3762 kWh, seis ½ tundi hiljem — 3765 kWh.
Keskmine võimsus ½ tunni vältel:

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

Momendil olemasolevat võimsust võib ligikaudselt kindlaks määrata nn. arvesti konstandi (vt. p. B-94) ja stopperi ehk sekundikella abil.

Arvesti poolt registreeritav võimsus on:

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

kus n — loetud kettapöörete arv, t — aeg (sek.), mille vältel n on loetud, K — arvesti konstant.

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

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

V. TAKISTUSTE MÕÕTMINE.

A. Mõõtmisviisid.

42. Volt- ja ampermeetriga.

Vool juhitakse läbi mõõdetava takistuse. Pinge U mõõdetakse voltides ja vool J amprites (joon. 13 a). Ohmi seaduse põhjal on otsitav takistus oomides:

$$R_x = \frac{U}{J}.$$

Voltmeetrit võib lülitada enne (joon. 13 a I) või pärast (joon. 13 a II) ampermeetrit. Esimesel juhtumil on mõõdetav vool õige, kuna mõõdetav pinge on takistuse klemmipingest suurem pingelangu 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 otstarbekam kasutada:

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

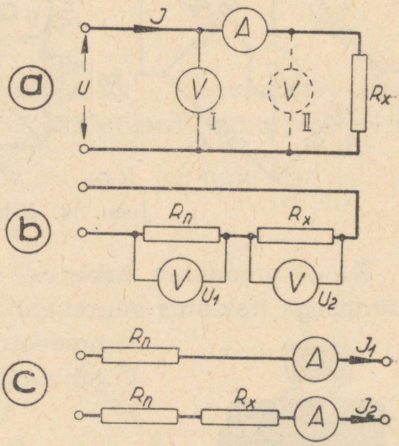
lülitust II — kui mõõdetav takistus on väike (võrreldes voltmeetri sisetakistusega).

43. Normaaltakistuse ja voltmeetriga.

Tuntud normaaltakistus R_n ja tundmatu R_x lülitatakse järjestikku (joon. 13 b). Mõlemast juhitakse 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.



Joon. 13. Kaudne takistuste mõõtmine.

44. Normaaltakistuse ja ampermeetriga.

Vool juhitakse kord ainult läbi R_n-i ja teine kord läbi $R_n + R_x$-i (joon. 13 c). Mõõdetakse voolud 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. Wheatstone'i (loe: uitstoni) sild.

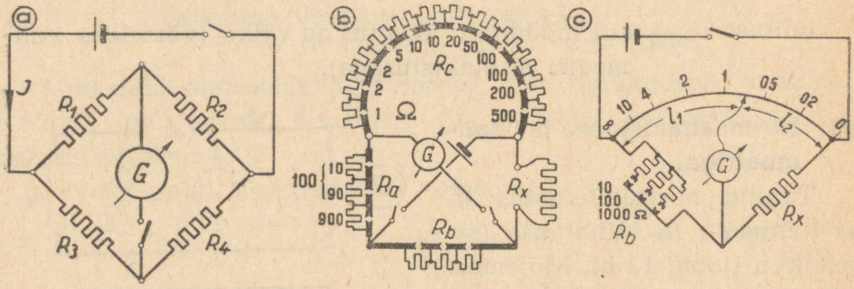
a) Lülitus on näidatud joonisel 14 a. Kui vool galvanomeetris G on null, siis

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3 \text{ ja } R_4 = \frac{R_2}{R_1} \cdot R_3.$$

Kasutusel kahel allpoolkirjeldatud kujul:

b) Wheatstone'i sild topptakistustega (joon. 14 b).

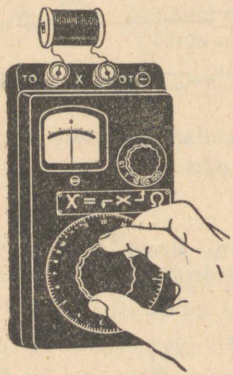
R_x — mõõdetav takistus, R_a ja R_b — ballasttakistused, valitud ümmarguselt 1, 10, 100, 1000 jne. oomi.



Joon. 14. Wheatstone'i sild.

R_c — muudetav takistus; muutmine toimub topiste väljavõtmisega (takistus suureneb) või sisseasetamisega, kuni galvanomeetri osut jääb nullile püsima. Sel juhtumil

$$R_x = R_c \cdot \frac{R_b}{R_a}.$$



Joon. 15. Wheatstone'i sild.

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

c) Wheatstone'i sild kontakttraadiga — nn. traatsild (joon. 14 c). Ballasttakistuse asemel kalibreeritud traat; kuna viimasel R on võrdeline pikkusega, siis

$$R_x = R_b \cdot \frac{l_2}{l_1}.$$

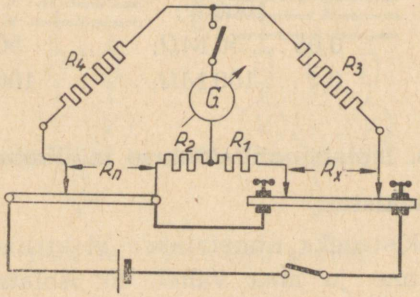
Selline sild, kus ühte kesta on kokku monteeritud vooluallikas, galvanomeeter, muudetav takistus ja kontakttraat, on toodud joonisel 15; vastavalt valitud muudetavale takistusele (0,1, 1, 10, 100, 1000 Ω) on R_x kas otseselt loetav, või 0,1-, 10-jne. kordne, võrreldes astmiku lugemiga. Täpsus on väiksem, kuid töökiirus suurem kui eelmistel.

Märkus: Tehniliseks mõõteulatuseks Wheatstone'i sillal on 0,5 Ω kuni 1 MΩ; väiksemate takistuste juures on see mõõteriist ebatäpne, suuremate puhul vajab ta liiga kõrget pinget. Kui R_x evib elektromotoorset jõudu (elektrolüüt, termoelement jne.), tuleb alalisvoolu asemel kasutada vahelduvvoolu ja galvanomeetri asemel peatelefoni. Suure U ja väikese R puhul ettevaatust, et galvanomeetri hälve algul poleks liiga tugev, mis võiks vigastada galvanomeetrit!

46. Thomson'i sild.

Lülitus joonisel 16. R_x — mõõdetav, R_n — reguleeritav normaaltakistus (kontakttraat). Tuntud takistused valitakse selliselt, et $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$. Kui galvanomeetris vool on null, siis

$$R_x = R_n \cdot \frac{R_1}{R_2}.$$



Joon. 16. Thomson'i sild.

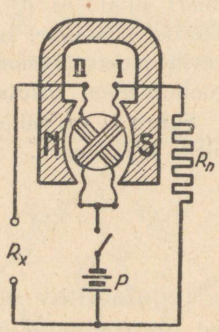
Kui $R_1 = R_2$ ja $R_3 = R_4$, siis

$$R_x = R_n.$$

Kasutatakse väga väikeste (0,000001 ... 1 Ω) takistuste mõõtmiseks. Ühendusjuhtmete ja ühenduskohtade takistused ei mõjuta mõõtmise tulemusi.

47. Oommeeter ristpooliga.

Lülitusskeem on näidatud joonisel 17. Terasmagneti pooluste N—S vahel asetsevad ühisel teljel kaks ristiasetatud pooli; neist saab I voolu läbi tuntud takistuse R_n, II läbi mõõdetava R_x; kumbki pool püüab osutit pöörata vastupidises suunas, hälve sõltub ainult R_x ja R_n suhtest. Mõõdetava takistuse suurus on astmikult otseselt loetav. Pinge kõikumised mõju ei avalda. Vooluta oleku puhul osutil kindlat seisukohta ei ole. Eksituste vältimiseks varustatakse pöörlev süsteem mõnikord nõrga vedruga, mis vooluta oleku puhul tõmbab osuti nullasendisse. Vooluallikaks on galvaani element, induktor või ka alalisvooluvõrk.



Joon. 17. Ristpooloommeeter.

Mõõtepiirkond	0,001 ... 1 Ω;	pinge	2 V,
„	1 ... 1000 Ω;	„	4 V,
„	0,05 ... 50 MΩ;	„	500 V,
„	0,1 ... 100 MΩ;	„	1000 V.

B. Isolatsioonitakistuse mõõtmine.

48. Isolatsioonitakistus.

Isolatsioonitakistuseks nimetatakse elektrilist takistust kahe juhtme või juhtme ja maa vahel. Et isolatsioonitakistus ka parima materjali ja töö juures pole lõpmata suur, siis voolab osa elektrit alati läbi isolatsiooni. Normide kohaselt ei tohi see vool olla suurem kui 1 mA iga elektriseadme osa kohta, kusjuures seadme osaks loetakse osa kahe üksteisele järgneva kaitsme vahel või lõpposa pärast viimast kaitset. Sellele vas-

tavalt peab isolatsioonitakistus 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.

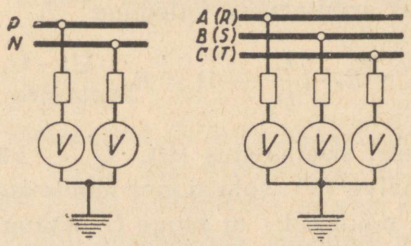
Suurema, mitmest haruliinist koosneva võrgu isolatsioonitakistus võib olla vastavalt väiksem.

Isolatsioonitakistuse suurus on muutuv. Näiteks õhuliinides on isolatsioon kuivalt hea, uduga halb, tallides uuelt hea, hiljem võib halveneda. Seetõttu pole isolatsioonitakistuse mõõtmisel saadud arvud kindlad ja püsivad suurused, vaid näitavad isolatsiooni väärtust mõõtmise momendil.

Kõrgepingeseadmeis on isolatsioonitakistuse kõrval tähtis veel läbilöögi- (proovi-) pinge kahe juhtme või juhtme ja maa vahel.

49. Isolatsiooni kontroll maandatud voltmeetriga.

Lülitusskeem joonisel 18. Töötamise põhimõte on analoogiline p-s B-43 toodule. Annab ligikaudse ülevaate töötava võrgu isolatsiooni seisukorrast juhtmete ja maa vahel. Normaalselt näitavad voltmeetrid alalisvoolu puhul 1/2, keerdvoolu puhul



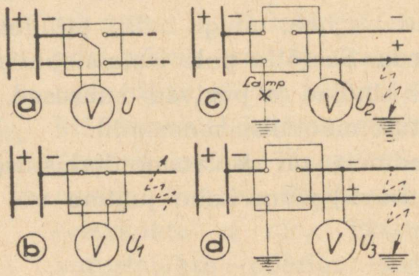
Joon. 18. Isolatsiooni kontroll.

$1/\sqrt{3}$ võrgupingest; vea korral väheneb vastava voltmeetri väljalöök, kuna teistel ta tõuseb. Kasutada võib lihtsat pehmeraud-voltmeetrit; ümberlüliti kasutamisel saab läbi ka ühe voltmeetriga. Kõrgepinge korral tuleb voltmeetrid lülitada pingetrafode kaudu (vt. p. B-108).

50. Isolatsioonitakistuse mõõtmine voltmeetriga.

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

Kui näiteks voltmeetri sisetakistus $R_v = 30\,000$ oomi ja R_x on samuti 30 000 oomi, siis langeb voltmeetri hälve poole võrra (näit. 220 V-lt 110 V-le). Töötamise põhimõte vastab p. B-44



Joon. 19. Isolatsiooni mõõtmine voltmeetriga.

toodule, kusjuures milliampermeetriks on voltmeeter ja normaaltakistuseks voltmeetri enda sisetakistus, mis täpsemail laboratooriumiriistadel harilikult märgitakse skaalal.

Otsitav takistus arvutatakse valemiga

$$R_x = R_v \cdot \left(\frac{U}{U_i} - 1\right) = R_v \cdot \frac{U - U_i}{U_i},$$

kus R_v — voltmeetri sisetakistus (Ω), U — võrgu pinge (V), U_i — voltmeetri hälve (V) isolatsiooni mõõtmisel.

Joonisel 19 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 pöördpoolriist.

See viis on kasutatav ainult alalisvoolu-võrkudes.

Lamp maandusjuhtmes on vajalik, et vältida võimalikku lühise tekitamist, kui üks võrgu juhtmeist on juhuslikult maandatud (näiteks maandatud nulljuhtmega alalisvoolu-süsteemis).

Näide. $R_v = 50\,000$ oomi, $U = 225$ V, $U_1 = 15$ V, $U_2 = 20$ V (vt. joon. 19 b ja c).

Isolatsioonitakistus kahe juhtme vahel on $R = 50\,000 \cdot \frac{(225 - 15)}{15} = 700\,000$ oomi ja pluss-juhtme ning maa vahel $R = 50\,000 \cdot \frac{(225 - 20)}{20} = 512\,500$ oomi.

51. Pöördpool-oommeeter üldiselt.

Teatud püsiva mõõtepinge jaoks võib voltmeetrile (vt. p. B-50) voltskaala kõrvale märkida ka vastava oomskaala, nii et takistuse suurus on loetav otse astmikult. Hälve on õige ainult



Joon. 20. Oommeetri skaala.

seni, kuni mõõtmine toimub pingega, mille jaoks oomskaala on tehtud, s. o. pingega, mis on voltskaalal kohastikku oomskaala nullkriipsuga (joon. 20). Vooluallikana kasutatakse galvaani patareid (vahel erilise muundajaga) või induktorit, harvem võrgupinget.

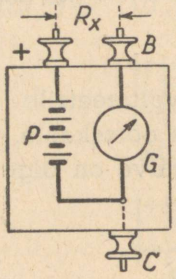
52. Oommeeter patareiga.

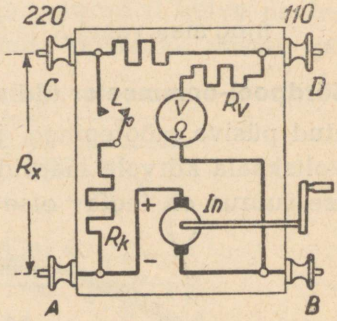
Koosneb galvanomeetrist G, mille skaalal on jaotus oomides, ja kuivpatareist P (joon. 21). Mõõdetava takistuse R_x suurus on skaalalt loetav. Pinge mõõtmiseks on veel klemm C. Täpsus ja mõõtepiir on väike; kasutatakse jämedate isolatsioonivigade, vooluringi katkestuste ja maaühenduse määramiseks, peamiselt nõrkvoolu-tehnikas.

53. Oommeeter väntinduktoriga (meger, megoommeeter).

Töötamisviis vastab p. B-50 ja 51 toodud seletusele. Üks lülitusskeemidest on näitena toodud joonisel 22. $V\Omega$ — täpne pöördpool-galvanomeeter volt- ja oomskaalaga, nagu näidatud

joonisel 20. *In* — induktor (väike kahelestalise kommutaatoriga pulseerivvoolu dünamo), antud juhtumil 220 V, R_v — voltmeetri eeltakistus (antud juhtumil 60 000 oomi), *L* — lüliti, R_k — kaitsetakistus (paarkümmend oomi — tihti puudub), R_x — mõõdetav (isolatsioonitakistus).

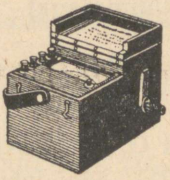




Joon. 21 ja 22. Oommeeter patarei- ja väntinduktoriga.

Algul mõõdetakse induktori pinget: lüliti *L* surutakse alla ning induktorit vändatakse sellise kiirusega (umbes 3 pööret/sek.), et osut näitaks 0 oomi (220 V); seejärel lastakse lüliti







Joon. 23. Joon. 24. Joon. 25.
Megerid isolatsiooni mõõtmiseks ja maaühenduse mõõtja.

lahti ning endise kiirusega edasi vändates loetakse astmikult mõõdetav takistus.

Isolatsiooni mõõtmiseks 110 V alalisvoolu võrgupingega ning pingete endi mõõtmiseks omab eespoolkirjeldatud väntinduktor veel klemmid *D* ja *B*.

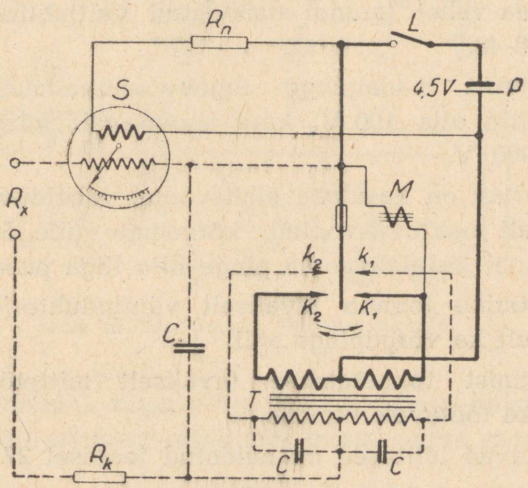
Väline kuju on näidatud joonistel 23 ja 24.

Mõõtepiir ca 10 ... 20 MΩ, induktori pinge 110 V.
„ 20 ... 50 MΩ, „ „ 220 või 250 V.
„ 50 ... 100 MΩ, „ „ 440 või 500 V.
„ 100 ... 200 MΩ, „ „ 1000 V.

Mõnikord on induktor varustatud tsentrifugaal-päästikuga, mis õige väntamiskiiruse juures areteerib osuti õigele hälbele. Täpsemate mõõtmiste ja kõrgemate induktoripingete juures kasutatakse vahel ka ristpool-oommeetrit (vt. p. B-47).

54. Oommeeter vibraator-muundajaga.

Ehitus ja töötamisviis on üldiselt samad mis eelmises punktis kirjeldatud oommeetril, kuid väntinduktori asemel on vooluallikaks 1 kuni 2 taskulambi patareid (4 ... 8 V), millede vool



Joon. 26. Oommeeter vibraator-muundajaga. *S* — ristpool-oommeeter; R_n — oommeetri eeltakistus; R_k — kaitsetakistus; R_x — mõõdetav takistus.

muudetakse pulseerivvooluks, transformeeritakse kõrgemale pingele ja siis alaldatakse, saades 220 ... 1000 V alalispinget.

Ehitusviis on näidatud joonisel 26. Patarei *P* vool läbib magnetmähise *M* ja transformaatori *T* primaarmähise parempoolse osa. Elektromagnet *M* tõmbab ankru enda külge, mis-

tõttu vool kontakti K_1 kaudu pääseb otseselt trafo nimetatud mähisesse. Seetõttu satub aga mähis M lühisesse, külgetõmbejõud kaob ja ankur tagasi liikudes paiskub vastu kontakti K_2. Nüüd läbib vool trafo primaarmähise vasaku poole.

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

Saadud pulseerivvoolu silumiseks on vooluahelasse asetatud kondensaatorid C.

55. Juhtnöörid isolatsioonitakistuse mõõtmiseks.

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

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

c) Soovitav on kasutada 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, kuid mõnikord ka töötavais liinides.

Kasutatavad lülitused on näidatud joonisel 27.

a) Isolatsioonitakistuse mõõtmine kahe vooluta juhtme vahel. Kõik liiniosad, valgustid ja lülitid tuleb sisse lülitada. Kõik tarbijad lahutada (hõõglambid välja keerata, mootorid lahutada, arvesti pingepoolid eraldada).

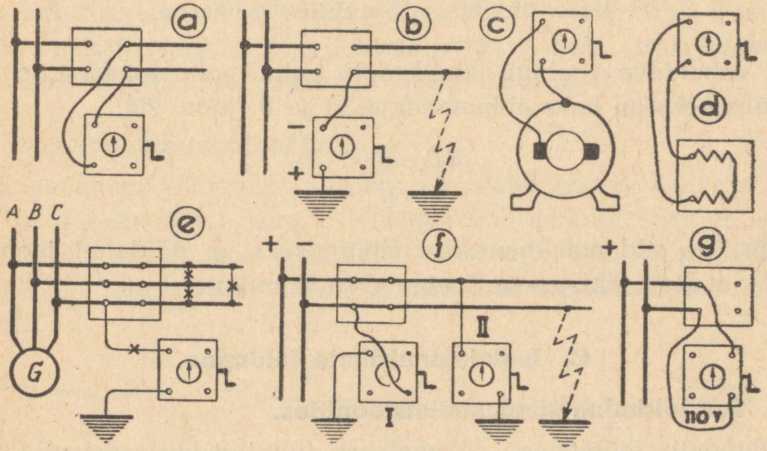
b) Isolatsioonitakistuse mõõtmine vooluta juhtme ja maa vahel. Soovitav maandada induktori plusspoolus (metallosakeste liikumine elektrolüüsi mõjul negatiivsele poolusele võimaldab mõnikord väikeste vigade kergemat avastamist). Maandatav

klemm ühendatakse traadiga veetoru või maasse ulatuva raudkonstruktsiooni külge.

c) Isolatsioonitakistuse mõõtmine ja kereühenduse kindlaksmääramine masinail ja aparaatidel.

d) Juhtmete proovimine: katkestuste kindlaksmääramine aparaatides.

e) Isolatsioonitakistuse mõõtmine töötaval vahelduvvooluvõrgul induktori pingega; viimane ei või olla madalam kui



Joon. 27. Mõõtmised väntinduktoriga.

võrgupinge. Mõõdab kogu võrgu (2—3 juhet) ühise takistuse maa suhtes. Nulljuhtmega võrkudes ei saa antud moodust kasutada.

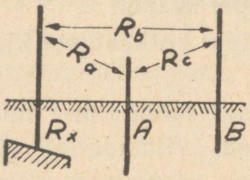
f) Isolatsioonitakistuse mõõtmine töötava alalisvoolu-võrgu juhtme (I negatiivse, II positiivse) ja maa vahel võrgupingega. Mõõdab isolatsioonitakistuse kogu võrgu kohta. Võrgu pinge peab vastama oomskaalale, tarbe korral ümber arvutada (p. B-50).

g) Pinge mõõtmine (ainult alalisvoolul).

h) Isolatsiooni mõõtmine alalisvoolu võrgupingega (mittetöötavais liiniosades) toimub analoogiliselt p. B-50.

56. Maandustakistuse mõõtmine.

Piksekaitse, kõrgepinge jts. maandajate maaühenduse-takistuse (maandustakistuse) R_x mõõtmine toimub Wheatstone'i silla



Joon. 28. Maandustakistuse mõõtmine.

abil vahelduva vooluga (alalisvoolu puhul polarisatsioon segab). Mõõtmiseks on kaks abimaandajat *A* ja *B* (joon. 28).

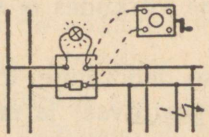
$$R_x = \frac{R_a + R_b - R_c}{2}.$$

Eriline sild maaühenduste mõõtmiseks on näidatud joonisel 25 — otsitav takistus on loetav otse astmikult.

C. Isolatsioonirikete leidmine.

57. Vea leidmine siseinstallatsioonides.

Puudulik isolatsioon on enamasti tingitud üksikuist vigastest kohtadest. Vea leidmiseks proovitakse seadet väntinduktoriga, haruliine ükshaaval eraldades (näiteks harukarpides ühendusi lahti võttes), kuni viga kaob. Induktor lülitatakse nüüd vigase



Joon. 29. Isolatsioonirikete leidmine.

haru peale ning tehakse vea asukoht eespoolkirjeldatud viisil lõplikult kindlaks. Lüliteid tarbe korral mitmes seisangus proovida. Lühise korral (tunnuseks kaitsepadrunite läbipõlemine) võib oommeetri asemel kasutada proovilampi (joon. 29). Lamp

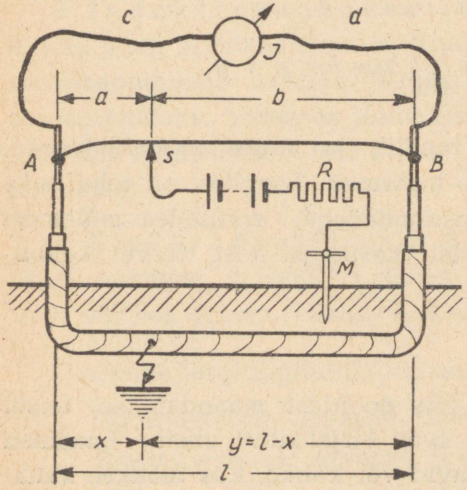
põleb, kuni lühis on olemas (aparaadid peavad olema seejuures välja lülitatud). Enamasti peituvad vead kohamuutlikes juhtmetes, laearmatuurides, lambipesades ja pistikutes, harvem harukarpides. Mõnikord tekivad vead ka kohakindlas seadmes, näiteks kui seina löödav nael satub juhtmesse.

58. Vea leidmine õhuvõrgus.

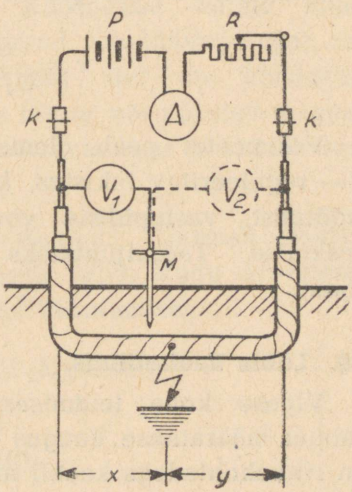
Vea leidmine on analoogiline eespooltoodule. Soovitav on suuremate (alevi, linna jne.) võrkude ehitamisel liinidesse asetada lahutuskohad lahklülitite või mastikaitsmete näol. Raudliinides hakkab maaühenduse korral vastav mast tihti undama; heli kandub piki liini paarisaja meetri kaugusele.

59. Vea leidmine kaabelliinis.

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



Joon. 30.



Joon. 31.

Kaablirikke leidmine.

a) Silla meetod.

Lülitusskeem joonisel 30. Kaabli otste AB vahele tõmmatakse kaabli asetusplaani järgi kaabli kohale ühtlase jämedusega traat (näit. raudtraat, läbimõõduga 2 ... 3 mm). Vooluallikaks on patarei või alalisvoolu-võrk; voolu piiramiseks on tarbe korral takistus R.

Kui $J = 0$, siis $\frac{a}{b} = \frac{x}{y} = \frac{x}{l - x}$ ning kontakt s asetseb otse kaabli veakoha kohal. Maandaja 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 31. Maast hästi isoleeritud akupatarei P tugev vool lastakse läbi kaabli. Pinged mõõdetakse kaabli otste ja maa vahel.

Maaühenduse kaugus

$$x = \frac{U_1 \cdot l}{U_1 + U_2}, \text{ kus } l = x + y.$$

Voltmeeter peab olema tundlik ja suure sisetakistusega; R — reguleeritav takistus, k — kaitsmed. Soovitav on teha kaks mõõtmist, vastupidiste voolusuundadega, arvutades mõlemast keskmise. Tagasijuhtmeks võib kasutada teist, tervet kaablisoont.

60. Lühis kaabelliinis.

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

VI. ENERGIA ARVESTAMINE.

A. Sissejuhatus.

61. Arvestite liigid ja üldnõuded.

Elektriarvestiteks nimetatakse riistu, mis registreerivad (arvestavad) tarvitatud elektrienergiat või elektrihulka.

Arvestid liigitatakse nende töötamise põhimõtte järgi järgmiselt:

1. Magnetoelektrilised arvestid. Need koosnevad ühest või mitmest seisvast püsivmagnetist ja pöörlevast või võnkuvast liikuvast osast, mida läbib kas kogu arvestatav vool või osa sellest.

2. Elektrodünaamilised arvestid. Koosnevad ühest või mitmest kohakindlast poolist ja liikuvast osast (poolist), mis pöörleb või võngub voolu mõjul. Vool läbib liikumatut ja liikuvat osa.

3. Induktsioonarvestid. Koosnevad mitme kohakindla pooli kombinatsioonist (toidetavad vahelduvvooluga), mis ferromagnetiliste kehade (südamikkude) abil on ühendatud magnetahelaks. Viimases tekitatakse liikuv või pöörlev magnetväli, mis indutseerib voolu arvesti pöörlevas osas ja sunnib seda pöörlema.

4. Elektrolüütilised arvestid. Koosneb elektrolüüdi anumast ja elektroodidest, mida läbib kogu arvestatav vool või osa sellest. Tänapäeval vähe kasutamisel.

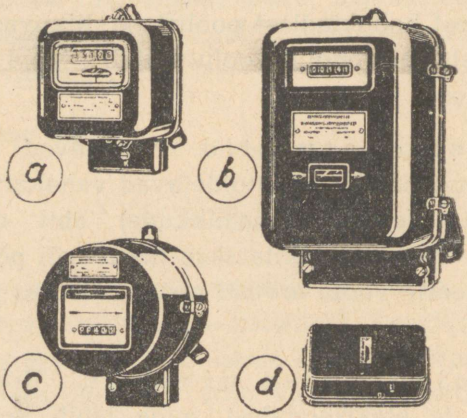
Ülesande järgi liigitatakse arvestid järgmiselt:

1. Aktiivenergia arvestid (kWh).
2. Reaktiivenergia arvestid (kVarh).
3. Näivenergia arvestid (kVAh).
4. Elektrihulga arvestid (Ah).

Vastavalt vooluliigile ja töötamisviisile jagunevad arvestid järgmistesse gruppidesse:

a) ühefaasisele vahelduvvoolule;
b) kolmejuhtmelisele keerdvoolule;
c) neljajuhtmelisele keerdvoolule;
d) alalisvoolu ampertunni arvestid, pöörleva ankruga;
e) alalisvoolu vatt-tunni arvestid, pöörleva ankruga;
f) alalisvoolu vatt-tunni arvestid, ostsilleeriva ankruga;
g) alalisvoolu pendelarvestid;
h) alalisvoolu elektrolüütilised arvestid.

Kasutusel on ülaltooduist peamiselt p. a . . . e nimetatud „mootorarvestid", kus voolu mõjul pannakse pöörlema vertikaalsel teljel asetsev ankur (joon. 35, 40 ja 43). Pöörete arv, mis on võrdeline vatt-tundidega või ampertundidega, kantakse tigu- ja hammasrataste abil üle numeraatorile.



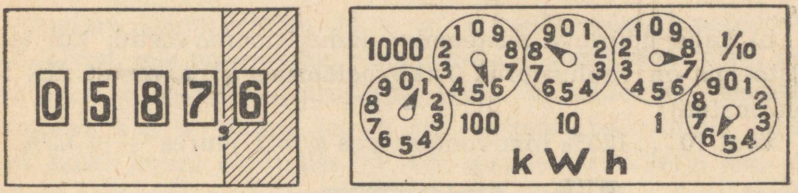
Joon. 32. kWh-arvestid.

Mootorarvestite väline ehitus on näidatud joonisel 32 a, b, c.

62. Numeraator.

Tavaliselt kasutatakse hüppavate numbritega numeraatorit (joon. 33, vasakul); erandjuhtumeil (laboratooriumiriistades) ka osutitega (joon. 33, 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 46 kWh.
Tarvitus 100 046 — 99 875 = 171 kWh.



Joon. 33. Arvesti numeraatorid.

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

63. Vool. Pinge. Liigkoormatavus.

Arvestid ehitatakse järgmistele vooludele: 5, 10, 15, (20), 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1000 A ja enam.

Vahelduvvoolu arvestid ehitatakse otseselt võrku ühendatavatena kuni 100 A. Tugevama voolu puhul kasutatakse 5 A arvestit ühes voolutrafodega.

Iga arvesti peab normide kohaselt taluma liigkoormust: kuni 10-amprilised 30 minuti kestel 100%, suuremad 30 minuti kestel 50%.

Tööpinge — vastavalt normaalsetele võrgupingetele. Proovipinge 2000 V.

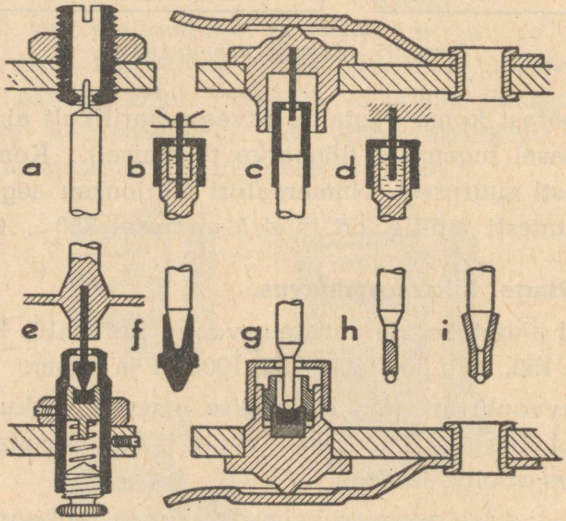
64. Täpsus. Viga.

Arvesti ei registreeri päris täpselt. Kui ta näitab rohkem, on viga positiivne, näitab ta vähem — negatiivne. Vea suurus, s. o. kõrvalekaldumine õigest näitamisest ühele või teisele poole, ei tohi arvestil olla suurem kui allpool märgitud:

a) induktsioonarvestid ühefaasisele voolule või kolmefaasisele voolule, kui faaside koormus on võrdne:

vool 10 ... 125% nimivoolust, cos $\varphi = 1$ juures — $\pm 3{,}5\%$,
vool 20 ... 100% nimivoolust, cos $\varphi = 0{,}5$ juures — $\pm 4\%$;

b) kahe pöörleva süsteemiga induktsioonarvestid, kui teises süsteemis on voolusuurus 0 (kolmefaasine võrk, ainult üks faas koormatud):
vool 10 ... 125% nimivoolust, cos $\varphi = 1$ juures — $\pm 3{,}5\%$.



Joon. 34. Arvesti laagrid.

c) elektrodünaamilised ja magnetoelektrilised arvestid:
vool 10 ... 100% nimivoolust — $\pm 3\%$.

Vea suurus on muutuv, sõltudes koormusest. Enamasti on veakõveral joonisel 38 ja 42 toodud kuju. Töötaval arvestil võib aja vältel viga mõnikord suureneda. Tavaliselt seda nn. käibeviga ei võeta vooluhinna arvutamisel tagantjärele arvesse, kui viimane ei ületa normimisviga kahekordselt.

65. Laagrid.

Laagrite ehitus on näidatud joonisel 34. Ülemine laager ehitatakse tapplaagrina (a, b) või nõellaagrina (c, d), õlikambriga või ilma; kohale kinnitatakse neid keerme abil (a) või vedruklambriga (c).

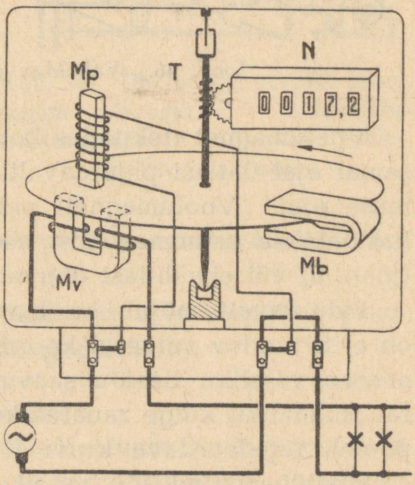
Alumine laager (joon. 34 e, g) koosneb õõnsakspoleeritud rubiinkivist, mis on asetatud vaskpuksi abil juhthülssi (tihti vetruvalt). Kivil pöörleb terastelje tapp. Viimane on enamasti vahetatav kas tervikuna (e, f) või vahetatakse ainult kuuli. Kuuli hoiab kohal vaskhülss (i) või magneeditud telje ots (h). Laagrid töötavad kuivalt või õlitatult. Õlitada 2 . . . 5 a. tagant erilise puhta, happe- ja vaiguvaba ning mitteauruva õliga.

B. Ühefaasised vahelduvvoolu arvestid.

(Induktsioonarvestid.)

66. Töötamisviis.

Töötamisviisilt sarnane induktsioonmootoriga. Ehitusskeem on näidatud joonisel 35. Alumiiniumkettale mõjuvad voolumagnet M_v (2 . . . 20 keerdu) ja pingemagnet M_p (5000 . . . 10 000 keerdu). Mõlemas tekivad vahelduvad magnetväljad, kuid viimases hilineb välja tekkimine omainduktsiooni tõttu ligi 90° (¼ perioodi) võrra, mistõttu saavutatakse kestvalt ühe pooluse alt teiseni nihkuv magnetväli, mis veab ketta (selles elektrilisi voolusi indutseerides) endaga kaasa, pannes viimase pöörlema. Kombinatsiooni vool- ja pingemagnetist nimetatakse ajursüsteemiks. Pöörete reguleerimiseks on pidurmagnet M_b. Pöörle-

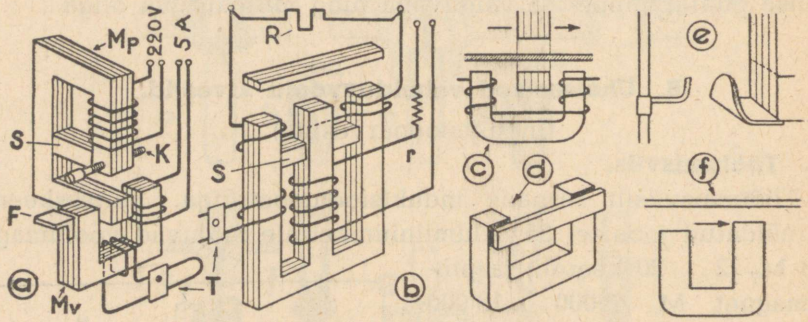


Joon. 35. Vahelduvvoolu arvesti ehitusskeem.

mise kiirus on võrdeline koormusega $N = U \cdot J \cdot \cos\varphi$. Ketta pöörlemine kantakse tiguratta T abil numeraatorile N. Ketta poolt tehtud pöörete arv on võrdeline arvestist läbijuhitud energiahulgaga.

67. Ajursüsteemi ehitus.

Ajursüsteemi mõned ehitusviisid on näidatud joonisel 36 a ja b. Magnetväljade (M_v ja M_p) vahelise nihkenurga täpseks väljareguleerimiseks kasutatakse: magnetilist šunti S, eeltakistust r (pingeahelas), lühistatud sekundaarmähist T või šunti R vooluahelas.



Joon. 36. Vahelduvvoolu ajursüsteemi ehitusi.

Voolumagnet (tekitades koos pingemagnetiga ajurjõu) 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 ebaühtlast õhuvahet (joon. f).

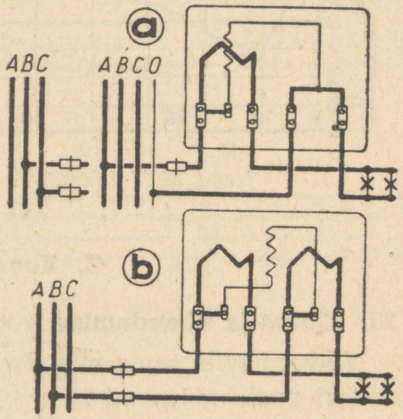
Pidurdavalt mõjub ka laagrite hõõrdumine, milline nähtus on eriti tunduv väikesel koormusel; selle nähtuse kompenseerimiseks vajaliku lisajõu saavutamiseks asetatakse pingemähise raudsüdamiku külge rauatükike asümmeetriliselt (rohkem ühele poole), reguleeritava kruvi K (joonisel 36 a), riivi jne. näol.

Ulaltähendatud jõu mõjul võib ketas ka tühjalt pöörelda, eriti liigpingete puhul. Tühijooksu takistamiseks on magnetpidur: väike raudtraadist lipuke telje küljes (joon. 36 e), mida

hoiab kinni pingemagnet. Harvem kasutatakse auku või peale-kleebitud rauakübet kettal. Pingestatud ja koormamata arvesti ketas liigub pikkamööda edasi kuni pidurduspunktini; viimane on ketta esiküljel märgitud värvilise laiguga.

68. Kasutamine ja ühendamine võrku.

Arvesti ühendamine võrguga on näidatud joonistel 35 ja 37. Harilikult kasutatakse ühe voolumähisega ühefaasist arvestit (joon. 37 a). Üks ning sama arvesti on kõlblik ühteviisi ühendamiseks kolmejuhtmelises 220 V, kui ka neljajuhtmelises 380/220 V võrgus; viimases ainult faasi- ja nulljuhtme vahelistele tarbijatele.



Joon. 37. Ühefaasise arvesti ühendamine võrguga: a — ühe voolumähisega arvesti, b — kahe voolumähisega arvesti.

Nulljuhtmega võrkudes tuleb faasijuhe ühendada tarbijaga arvesti vasakpoolse klemmidepaari, s. o. voolumähise kaudu, kuna vastasel korral maaühenduse puhul võib arvesti valesti näidata.

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

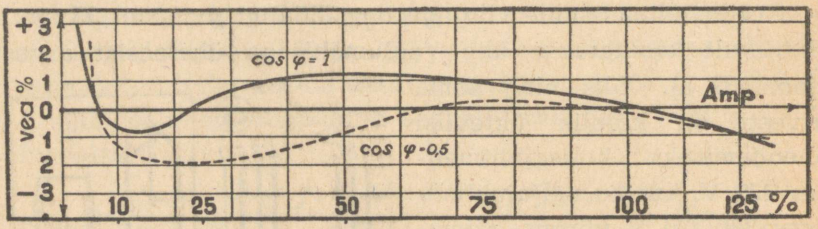
Erandjuhtumeil kasutatakse mõnikord nulljuhtmeta võrkudes ka kahe voolumähisega arvestit (joon. 37 b).

69. Tehnilised andmed ja omadused.

Ehitatakse 5 . . . 100 A ja kuni 650 V; tugevamate voolude ja pingete korral kasutatakse mõõtetrafosid. Sel puhul on arvesti nimivool 5 A ning nimipinge 100 või 110 V. Käimaminek 0,5 . . . 1%-lisel koormusel. Omatarvitus pingemähises (tühi-

jooksukadu) on 0,5 ... 6 W, voolumähises 0,7 ... 1,5 W. Pöörlemise kiirus täiskoormusel on 45 ... 65 r/min. Pöördemoment on 3 ... 7 gcm, netokaal 1 ... 2 kg.

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



Joon. 38. Vahelduvvoolu kWh-arvesti veakõver.

C. Keerdvoolu arvestid.

70. Ehitus ja ühendamine võrku.

Töötamisviis sama mis ühefaasisel, kuid ühise telje ja numeraatori peale mõjuvad 2 ... 3 ajursüsteemi.

Mõned võimalikud lülitused keerdvoolu arvestamiseks on näidatud joon. 39.

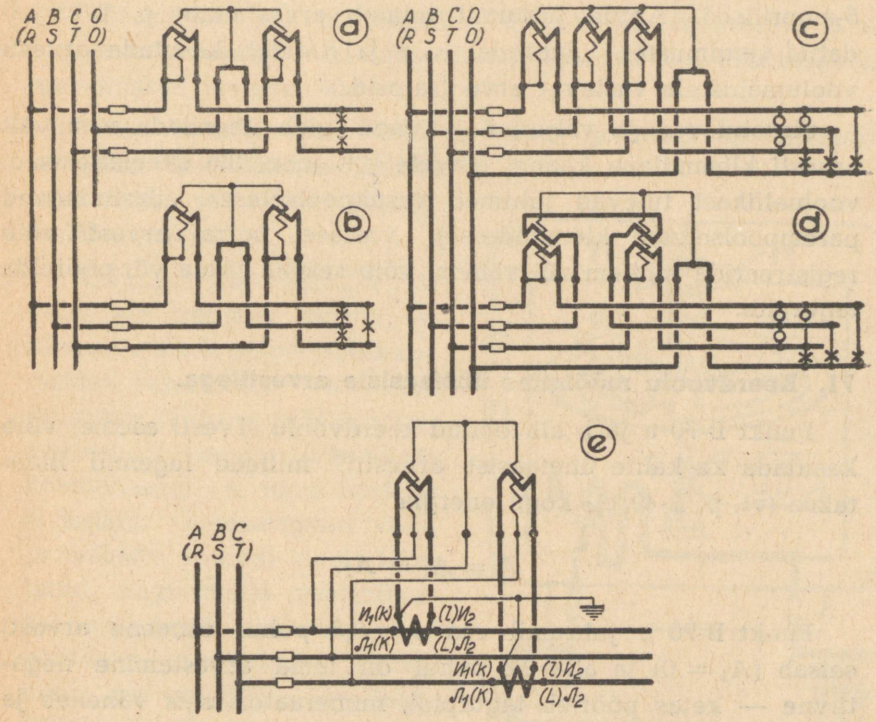
a) Osaline keerdvoolu arvestamine kahefaasise arvestiga (joon. 39 a). Kasutusel nulljuhtmega võrkudes kahe faasi energia arvestamiseks (kui tarbijad on ühendatud kahe faasi- ja nulljuhtme vahele). Ehitatakse pingele 2 · 220/380 V. Kasutusel vähe.

b) Arvestamine kahe ajursüsteemiga keerdvoolu arvestiga (ajursüsteemid Aron'i lülituses, joon. 39 b). Erineb eelmisest numeraatori ülekande ja pinge poolest. Ehitatakse pingele 3 · 110 V, 3 · 120 V, 3 · 220 V, 3 · 380 V, 3 · 500 V; kõrgemate pingete puhul tuleb kasutada pingetransformaatoreid, milledega töötavad arvestid ehitatakse 3 · 100 V.

Kasutatav ka ebaühtlasel koormusel nulljuhtmeta keerdvooluvõrgus, nulljuhtmega võrgus kasutatav ainult faasijuhtmete

vahele lülitatud tarbijate (näit. mootorite) energia arvestamiseks.

c) Arvestamine kolme ajursüsteemiga keerdvoolu arvestiga (joon. 39 c). Ehitatakse hari-



Joon. 39. Keerdvoolu arvesti lülitusi.

likult pingele 3 · 380/220 V. Kasutatav neljajuhtmelistes võrkudes igasuguse (ka faasi- ja nulljuhtme vahelise tarbija) energia arvestamiseks.

d) Arvestamine eritüübilise, kahe ajursüsteemiga keerdvoolu arvestiga (joon. 39 d). Arvesti omab kaks pinge- ja kolm voolumähist. Ehitatakse mõne

tehase poolt eelmises punktis kirjeldatud arvesti asemel. Arvestab igasugust koormust, kui pinged üksikuis faasides ei erine.

e) Arvestamine voolutrafode kaudu (joon. 39 e). Kasutusel üle 100 A voolude puhul. Arvestid on sel puhul 5-amprilised. Antud juhtumil toimub arvestamine p. b kirjeldatud tingimustes. Juhtudel a, c ja d tuleb kasutada arvesti voolumähistele vastavat arvu trafosid.

Sissetulevad ja väljuvad juhtmed tuleb ühendada vastavalt arvesti klemmilaua kaanel olevale (vt. joon. 39) 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.

Punkt B-70 a ja b all toodud keerdvoolu arvesti asemel võib kasutada ka kahte ühefaasist arvestit, millede lugemid liidetakse (vt. p. B-40 c); kogu energia

$$A = A_1 + A_2.$$

Punkt B-70 b juhtumil $\cos \varphi = 0{,}5$ puhul esimene arvesti seisab ($A_1 = 0$) ja alla 0,5 puhul on tema arvestamine negatiivne — ketas pöörleb tagurpidi, numeraatori seis väheneb ja lugemid tuleb 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. B-85).

Punkt B-70 c all toodud keerdvoolu arvesti asemel võib kasutada ka kolme ühefaasist arvestit, mille juures kõikide näidud on positiivsed ja lugemid tuleb liita.

D. Alalisvoolu ampertunni arvestid.

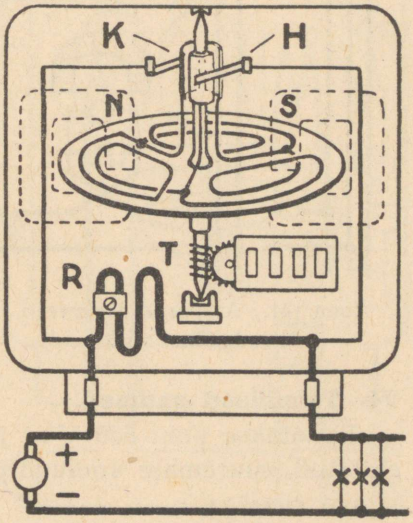
(Magnetoelektrilised arvestid.)

72. Töötamisviis.

Töötamisviis on analoogiline alalisvoolu mootorile, kusjuures magnetvoog tekitatakse terasmagnetite abil. Ehitusskeem on näidatud joonisel 40.

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

Ankruks on alumiiniumketas või trummel, millele on sümmeetriliselt paigutatud kolm mähise sektsiooni. Viimastest juhitakse läbi osa mõõdetavast voolust 3 lestaga (lamelliga) kommutaatori K ning harjade H kaudu. Terasmagneti välja ja mähiste voolude poolt tekitatud magnetvälja vastastikusel mõjutusel hakkab ankur pöörlema, kusjuures pöörlemine on võrdeline vooluga. Pöörlemine kantakse tiguratta T abil numeraatorile.



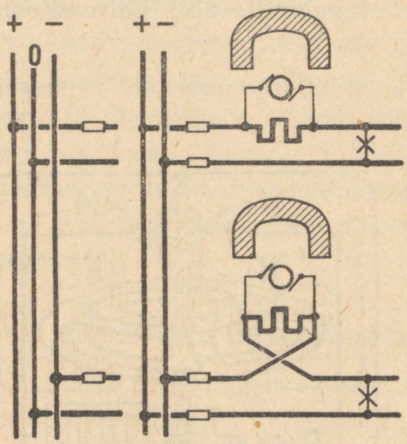
Joon. 40. Alalisvoolu ampertunni arvesti ehitusskeem.

Ankrut läbib ainult väike osa voolust, sest ta on lülitatud paralleelselt reguleeritava šundiga R. Hõõrumise kompenseerimine on arvesti odavuse ja lihtsuse mõttes tavaliselt ära jäetud. Harva, erandjuhtumeil, saavutatakse viimast liikuvate harjade ja viltuselt asetatud kommutaatori lestadega.

73. Kasutamine ja ühendamine võrku.

Ühendamine võrguga toimub vastavalt joonistele 40 ja 41.

Sissetulevad juhtmed ühendatakse vasakpoolsete klemmidega, nimelt üks juhe pluss- ja teine juhe miinusklemmi külge. Valesti ühendamisel pöörleb ketas tagurpidi.



Joon. 41. Ampertunni arvesti ühendamine võrku.

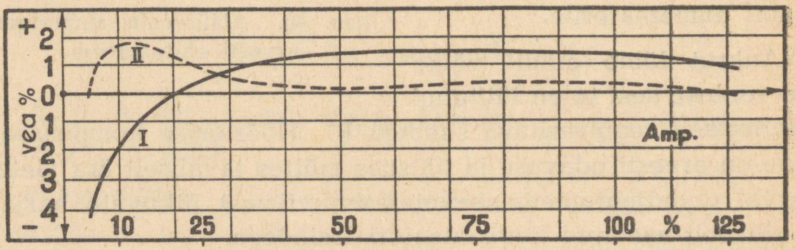
Arvesti registreerib ainult ampertunde (Ah), kuid aluseks võttes teatud võrgupinget (110, 220 V) normitakse harilikult kWh-des. Pinge tõustes üle normaalse suuruse näitab arvesti vähem, langemisel — rohkem kui kWh tegelikult on läbi läinud.

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

Kasutatakse väiksemate, peamiselt valgustusseadmete juures. Kõige rohkem levinud alalisvoolu arvesti tüüp.

74. Tehnilised andmed.

Ehitatakse kuni 550 V-ni ja 1200 A-ni; 3 . . . 100 A-ni sisseehitatud, suuremate voolude puhul (ka alates 20 A) eraldi asetatava šundiga.



Joon. 42. Ampertunni arvesti veakõver. I — ilma hõõrdumiskompensaatorita, II — ühes hõõrdumiskompensaatoriga.

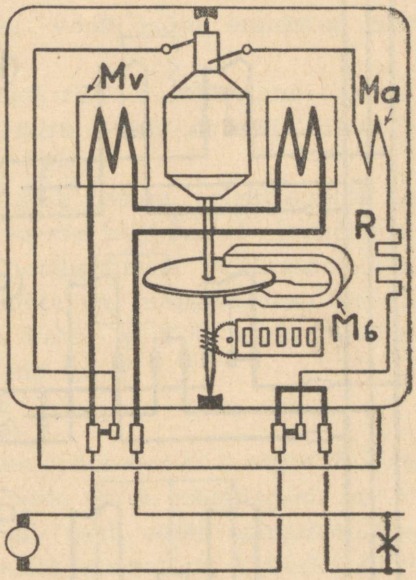
Käimaminek ca 1%-lisel koormusel.
Pöörlemise kiirus täiskoormusel on 60 . . . 150 r/min.
Pöördemoment on 11 . . . 15 gcm, netokaal 2,5 . . . 3,5 kg.

E. Alalisvoolu vatt-tunni arvestid.

(Elektrodünaamilised arvestid.)

75. Ehitus ja töötamisviis.

Ehitusskeem on näidatud joonisel 43. Töötamisviisilt analoogiline ampertunni arvestiga, ainult permanentmagnetite asemel on raudsüdamiketa elektromagnetid voolumähisega M_v. Ankru pidurdamiseks ja pöörlemise kiiruse reguleerimiseks omab eraldi pidurdusmagnetit M_b ja pidurdusketast. Hõõrdumise kompenseerimiseks asetatakse voolumähiste kõrvale nn. abimähis M_a. Et viimane ei tekitaks tühijooksu, on pidurduskettale kinnitatud väike rauatükike või kasutatakse pidurdamiseks eraldi elektromagnetit, ühenduses võlli külge asetatud lipukesega (joon. 36 e).



Joon. 43. Alalisvoolu vatt-tunni arvesti ehitusskeem.

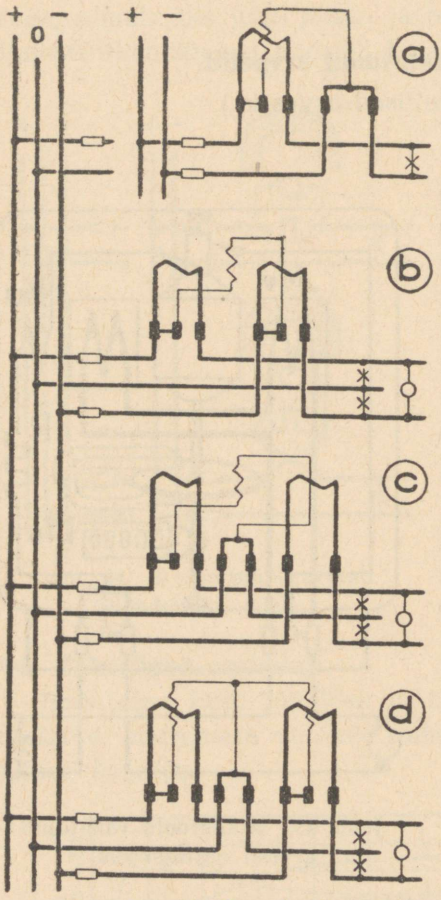
76. Kasutamine ja ühendamine võrku.

Vatt-tunni arvestid kasutatakse suuremate koormuste puhul. Kasutatavate tüüpide lülitused ja ühendamine võrguga on näidatud joonisel 44.

a) Ühe ajursüsteemiga. Ehitatakse normaalselt pingeile 110, 220 ja 440 V. Kasutatav ühtviisi nii kahe- kui ka kolmejuhtme-

listes (nulljuhtmega) võrkudes. Pöörlemissuuna ning selle muutmise kohta kehtib eespool p. B-73 öeldu.

b) Kahe ajursüsteemiga. Kasutatav nulljuhtmega võrgus. Pingemähis on lülitatud peajuhtmete vahele. Ehitatakse normaalselt pingele 2 · 110 ja 2 · 220 V. Näitab õigesti igasugusel koormusel, kuid ainult seni, kuni mõlemad peajuhtmed on pingestatud ja pinge mõlemal võrgupoolel sama.



Joon. 44. Alalisvoolu vatt-tunni arvesti ühendamine võrku.

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

d) Sama — kahe pingemähisega. Näitab õigesti igasugusel koormusel ja pingel. Kasutusel väga vähe — selle asemel kasutatakse eraldi kahte ühe ajuriga arvestit.

Missuguses järjekorras võrgu juhtmed arvestiga ühendada, s. o. kas pluss- või miinusjuhe 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 asetseva 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) u. 8 . . . 12 W, suuremail kuni 50 W.

Pöörlemise kiirus täiskoormusel on 50 . . . 70 r/min.

Pöördemoment on 6 . . . 7 gcm, netokaal väiksemail (alla 200 A) 4 . . . 6 kg.

F. Eriehitusega alalisvoolu arvestid.

78. Elektrolüütiline ampertunni arvesti.

Töötab elektrolüüsi põhimõttel: voolu mõjul eraldatud aine hulk on võrdeline ampertundidega.

Lülitus analoogiline magnetoelektrilisele ampertunni arvestile (joon. 41), selle erandiga, et ankru asemel on eeltakistusega järjestikku ühendatud elektrolüüt-kärg.

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

79. Ostsilleeriv vatt-tunni arvesti.

Töötamisviis nagu tavalisel elektrodünaamilisel arvestil, kuid ankur ei pöörle, vaid liigub ¼ pöörde võrra edasi-tagasi. Ankur koosneb ühestainsast mähisest, mis saab voolu spiraalvedrude kaudu. Kommutaator puudub, selle asemel on kontaktreleed, mis lõppseisangus lülitavad voolu suuna ümber ja lükkavad numeraatori edasi. Kasutamisel harva.

80. Võnke- (pendel-) arvesti.

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

G. Arvestid eriotstarveteks ja eritariifidele.

81. Mitmetariifilised arvestid.

Kasutamisel siis, kui energiat müüakse ühel ajavahemikul kallimalt (õhtul), teisel ajavahemikul odavamalt (öösel). Ehitus täpselt sama mis ühetariifilistel, ainult numeraatoreid on 2 või 3. Kindlaksmääratud ajavahemikul on pöörleva süsteemiga ühendatud vastav numeraator, näiteks kella 23 . . . 7 numeraator 1 (odav tariif), kl. 7 . . . 16 numeraator 2 (keskmine tariif), kl. 16 . . . 23 numeraator 3 (kallis tariif).

Hammasrataste ümberlülitamine toimub tavaliselt sisseehitatud relee ja eraldi asetatud (ka mitme arvesti jaoks ühise) lülituskella (kellamehhanismiga varustatud lüliti) abil. Ehitatakse igasugustele vooluliikidele.

82. Rabatt-arvestid.

Kantav arvesti, mida saab ühendada järjestikku peaarvesti ja kasutusaparaadi vahele iga pistikupesa juures. Kasutatakse siis, kui on olemas erilised odavamad tariifid tööstuslikuks või majapidamise otstarbeks, kuid ei taheta installeerida eraldi kohakindlat arvestit ja liine. Kulutatud energia maksumus rabatt-arvesti lugemi kohaselt määratakse eritariifi järgi, pea- ja rabatt-arvesti poolt registreeritud arvude vahet — põhitariifi järgi. Käimaminek toimub alles teatud koormuse, näit. 200 W juures, et vältida rabatt-arvesti kasutamist põhitariifi järgi arvestatavate tarbijate juures. Arvesti ehitatakse ampertunni ja ühefaasise 3 . . . 10 A arvestina.

83. Tippkoormuse arvesti.

Hakkab arvestama teataval koormusel, näit. 200 W alates. Sel juhtumil ei registreeri aga kogu tarvitust, vaid ainult üle 200 W tõusvat osa, näit. 500 W ja 2 tunni juures $(500 - 200) \cdot 2 = 600$ Wh. Kasutatakse astmeliste ja segatariifide puhul, tihti seoses teise, tavalise peaarvestiga. Põhitarvitus arvestatakse paušaal- või ühe tariifiga, ületarvitus — teise tariifiga.

84. Arvesti maksimaalse koormuse näitajaga.

Näitab arvestamise perioodi kestel ettetulnud ja 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 tavalist arvestit läbiva 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 kord võtab energiat võrgust ja teinekord saadab energiat võrku), kasutatakse kahte arvestit, mis on varustatud tagasijooksu piduriga. Arvestid on ühendatud võrku järjestikku, kuid teine arvesti ühendatakse töötama vastupidises suunas. Nendest arvestitest registreerib üks võrgust võetud, teine võrku saadetud elektrienergiat.

86. Energiatarvituse kestuse arvesti (aja-arvesti).

Näitab sisselülitatud olukorra 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 raha-automaadiga. Võimaldab sissepandud metallraha väärtusele vastava hulga energia saamist. Vool katkeb, kui vastav energia on ära kulutatud.

88. Näiv- ja ebavõimsuse arvestid.

Vajalikud ainult vahelduvvoolu-võrkudes. Kasutatakse harva, suurtarbijate juures, kui tahetakse arvesse võtta võrku koormavat ebavõimsust (reaktiivvõimsust).

89. Voolu piirajad.

Kasutamisel paušaaltariifi juures. Katkestavad vooluringi, kui vool ületab lubatud maksimumi. Töötavad elektromagnetilisel või -termilisel põhimõttel. Väliskuju on näidatud joonisel 32 d.

H. Arvesti käsitus.

90. Arvesti silt.

Iga arvesti sildil peab olema normide kohaselt märgitud: tehase nimi, arvesti number, voolu liik, pinge, vool, sagedus ja arvesti konstant (vt. p. B-94).

91. Arvesti suuruse valik.

Arvesti valida nii, et ta nimivool vastaks ligikaudu täiskoormuse voolule.

Näiteks 380 V, 10 HJ mootoril on vool 15 . . . 16 A. Arvesti võtta mitte alla 3 · 15 A ja mitte üle 3 · 75 A. Liigkoormusel võib (vt. p. B-63) arvesti läbi põleda, väga väikesel koormusel ta näitab aga valesti või jääb seisma.

92. Arvesti monteerimine.

Arvesti peab asetsema alati vertikaalselt. Seinale tuleb ta kinnitada plekkaluse vahendusel 1,75 . . . 2 m kõrgusele ja kohta, kus pole karta põrutusi ja lööke, näiteks kapitaalseinale. Arvesti paiknegu võimalikult puhtas ja kuivas ruumis.

Ühendada tuleb vastavalt lülitusskeemile; lülitusskeem on tavaliselt antud ka klemmilaua kaane siseküljel (joon. 37, 39, 41 ja 44).

Pärast kohalemonteerimist kontrollida koormusega, kas ketas pöörleb õigesti.

93. Korrastus.

Aeg-ajalt, soovitav 2 . . . 4 a. järel, tuleb arvesti puhastada, õlitada, normida ja tarbe korral järele reguleerida ning varustada uue laagrikivi ja tapiga.

Laagreid ja tappe õlitatakse erilise puhta, vaigu- ja happevaba, mitteauruva, mitteoksüdeeriva või -pakseneva vedela õliga. Õlitamine toimub terava tiku või laiakslöödud traadi abil ja õli tuleb panna võimalikult vähe — et ei esineks tilkumist. Laagrikivi jaoks kasutatakse vahel ka erilist määrdesalvi. Tiguja hammasrattad töötavad kuivalt.

Alalisvoolu arvesti õrnemaks ja tundlikumaks osaks on kommutaator ühes harjadega. Kommutaator tuleb puhastamiseks üle hõõruda paari millimeetri laiuse puhta linase riide või seemisnaha ribaga. Kui see ei aita (põlenud plekid), siis hõõruda väga peene 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 tegelikult 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 hammasrataste ülekannet, näiteks 1 kWh = 2500 kettapööret (või 1 Wh = 2,5 kettapööret).

Mõnikord on arvesti konstant väljendatud ka teisiti, näit. 1 pööre = 0,5 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. B-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 ning koormatakse reostaadi abil teatava püsiva võimsusega (harilikult 100, 50 ja 10% nimikoormusest). Stopperi abil määratakse aeg t (mitte alla 1 min.), mida arvesti vajab n pööre-te-arvu tegemiseks.

$$C = \frac{3\,600\,000 \cdot n}{N \cdot t} \text{ (pööret/kWh).}$$

Arvesti viga

$$F = C - K \text{ (± pööret/kWh) või } F = \frac{C - K}{K} \cdot 100 \text{ (\%),}$$

kus C — tegelik kettapöörete arv ühe kWh kohta, K — tarvilik kettapöörete arv ühe kWh kohta (arvesti konstant), n — loetud kettapöörete arv, t — aeg, mille vältel n on loetud (sek.), N — arvesti koormus (W).

Näide. Ühefaasise arvesti sildiandmed: 5 A, 220 V, 50 p/s, 1 kWh = 3800 pööret. Kontrollimisel 150 W-ga tegi arvesti ketas 8 pööret 48 sek. vältel.

$$C = \frac{3\,600\,000 \cdot 8}{150 \cdot 48} = 4000 \text{ pööret/kWh,}$$ kuid tarvilik on 3800 pööret/kWh.

Arvesti viga $C - K = 4000 - 3800 = +200$ pööret ühe kWh kohta ehk (%-des) $\frac{200}{3800} \cdot 100 = +5{,}26\%$.

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.

Alalisvoolu puhul kasutatakse vattmeetri asemel amper- ja voltmeetrit.

2) Normimisarvestiga: Eriline täpne arvesti, mis võimaldab silmapilkset käivitamist ja seismajätmist. Skaalal on märgitud kWh-de asemel pöörete arv. Asetatakse proovitavaga

järjestikku, lastakse viimast teha 10 . . . 20 pööret, ja võrreldakse mõlema pöörete arvu. Viga

$$F = (\frac{n \cdot b}{m \cdot K} - 1) \cdot 100\ (\%),$$

kus K — konstant ja n — pöörete arv proovitaval 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 korraga kuni 30 arvestit, kuid sel juhtumil tuleb lülitada vatt-tunni arvestil voolumähised järjestikku ja pingemähised eraldi paralleelselt — pingelangu mõju kõrvaldamiseks.

95. Arvestite vigu.

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) Käsitsi ringi ajades kontrollida, telg õiendada või numeraator uuendada.

II tunnus: Arvesti käib koormamata olekus.

Põhjus: Koormamata arvesti ketas võib hõõrdumiskompensaatori (vt. p. B-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. 36 e) el.-magnetile lähemale painutada, nii et käimaminek toimuks ca 0,5 . . . 1%-lisel koormusel. Tarbe korral hõõrdumis-kompensaatori nihutamisega 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 (märgatav terava nõelaga urgitsedes) uuendada. 2) Talitada vastupidiselt p. II-le.

IV tunnus: Arvesti valetab väikesel (5 . . . 10%-lisel) koormusel.

Abistamine: 1) Laagri kivi (kui see on katki) ühes tapiga uuendada. 2) Vahelduvvoolu arvestil p. B-67 nimetatud hõõrdumiskompensaatorit (kruvi, riiv) reguleerida, kuni koormamata arvesti ketas aeglaselt ette jookseb. 3) Alalisvoolu Wh-arvestil nihutada abimähist (joon. 43 Ma) voolumähisele lähemale või kaugemale. 4) Hõõrdumiskompensaatoriga ampertunni arvestil harjasid vedru painutamisega piki kommutaatorit edasi nihutada. Harilikel hõõrdumiskompensaatorita ampertunni arvestitel viga ei ole reguleeritav.

V tunnus: Arvesti valetab suurel (10 . . . 100%-lisel) koormusel.

Abistamine: 1) Alalis- ja vahelduvvoolu vatt-tunni arvestil pidurdusmagnetit nihutada; erandjuhtumil vahelduvvoolu arvestil nihutada voolumagnet kettale lähemale või reguleerida magnetilist šunti (raudplekki). 2) Ampertunni arvestil muuta šundi takistust reguleeritava klemmi nihutamisega.

VII. ERIOTSTARBELISED MÕÕTMISED.

96. Sageduse mõõtmine.

a) Tahhomeetriga. Mõõdetakse alternaatori või sünkroonmootori pöörete arvu minutis (n). Sagedus

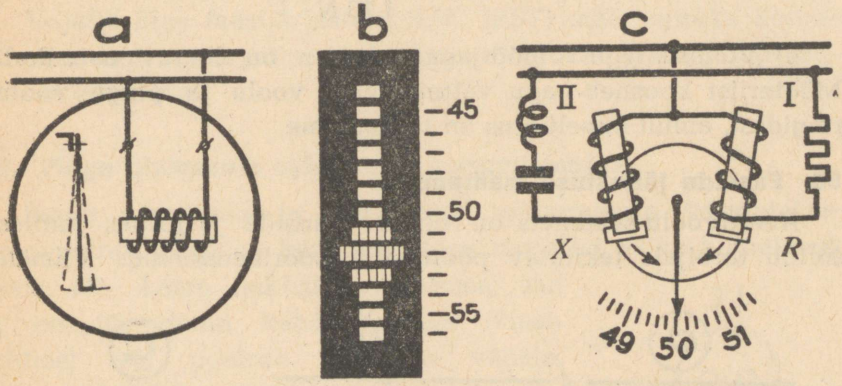
$$f = \frac{pn}{60},$$

kus p — masina poolusepaaride arv, f — sagedus (p/s).

Näide. Masinal on 6 poolust (3 poolusepaari). Mõõdeti 1100 r/min. Sagedus

$$f = \frac{3 \cdot 1100}{60} = 55 \text{ p/s}.$$

b) Vibratsioon-sagedusmõõtjaga (joon. 45 a ja b). Sagedusmõõtja elektromagneti südamiku otsa kohal asetsevad reas mitmesuguse pikkusega teraskeeled (-vedrud). Viimastest hakkab resonantsi tõttu võnkuma ja seega ka näitama see, mille võnkesagedus ühtib elektrivoolu sagedusega. Ehitatakse 100 . . . 500 V ja 10 . . . 500 p/s jaoks.



Joon. 45. Sagedusmõõtjad.

c) Osut-sagedusmõõtjaga. Alumiiniumkettale mõjuvad vastupidises suunas kaks elektromagnetit; neist saab I voolu tegev-, II ebatakistuse kaudu. Sageduse f muutumisel muutub ka ebatakistuse suurus ja ühtlasi magneti II tugevus, mistõttu osut pöördub.

97. Võimsusteguri (cos φ) mõõtmine.

Väikestes valgustusvõrkudes on cos $\varphi = 1$; selle mõõtmine ei ole vajalik. Laialdastes võrkudes võib cos φ induktiivse (mootorid) või harvem mahtuvusliku (kõrgepinge-kaablid) koormuse tõttu olla piirides cos $\varphi = 0{,}6 \ldots 0{,}9$. Võrdse tegevvõimsuse juures [kW-des] suureneb vool amprites, viimasega üht-

lasi suurenevad aga liini ja generaatori kaod ning pingemuutus liinis. Võimsustegurit tuleb kontrollida ning tarbe korral parandada kondensaatorite või üle-ergutatud sünkroonmasinate abil.

Mõõtmine toimub:

a) Kaudselt: vatt-, volt- ja ampermeetriga. Mõõdetakse võimsus N vattides, pinge U voltides ja vool J amprites. Ühefaasisel voolul

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

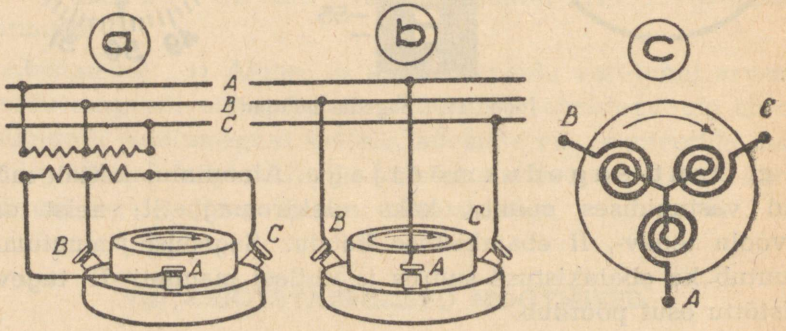
keervoolul

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

b) Võimsusteguri mõõtjaga: cos φ on loetav astmikult. Mõõteriist koosneb nagu vattmeetergi voolu ja pinge vooluringidest, ainult sisselülitus on teistsugune.

98. Faaside järjestuse määramine.

Keerdvoolu-seadmeis on oluline faaside järjestus, millest sõltub tarbijais tekitatav pöördvälja pöörlemissuund. Viimane



Joon. 46. Pöördvälja suunanäitaja.

näiteks määrab mootori pöörlemissuuna. Faasijuhtmete normaalseks järjestuseks on A, B, C (R, S, T), mida määratakse nn. pöördvälja suunanäitajaga. Pöördvälja suunanäitaja ühendatakse kõrgepingelise võrguga pingetrafode kaudu (joon. 46 a), madalpingelise võrguga vahenditult (joon. 46 b). Ta määrab

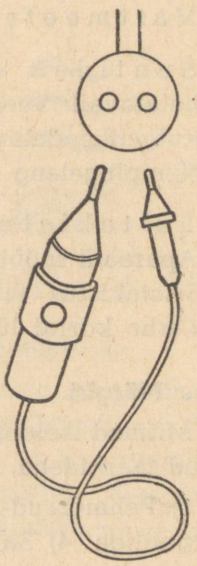
ainult pöördvälja suuna, seega faasijuhtmete järjestuse, mitte aga seda, milline kolmest juhtmest on näiteks A faasijuhe (pole oluline). Ühe võrgujuhtme A faasijuhtmeks valimisega on teised seega määratud.

Suunanäitajad töötavad tavaliselt kas induktsiooni või faasinihke põhimõttel. Esimese ehitusskeem on näidatud joonisel 46 c. Tähte ühendatud kolme elektromagneti kohal asetseb pöörlev alumiiniumketas, mille pöördumissuund näitab faaside järjekorda.

Vajalik õige faasijärjestuse ABC (RST) määramiseks kõrgepinge arvestite, majaühenduskastide, mootorite ja teiste aparaatide ühendamisel.

99. Pinge olemasolu määramine proovilambiga.

Pinge olemasolu ja polariteedi määramiseks kasutatakse proovilampi. See on bakeliitkestaga varjatud väike huumlamp (joon. 47). Lamp hakkab helenduma, kui ta on ühendatud kahe pooluse (faasijuhtme) või pooluse ja maa vahele. Suure tundlikkuse tõttu piisab maaga ühendamise asemel lambi juhtme otsast kinnivõtmisest (isegi seistes isoleeralusel, näit. kummikalossides).



Joon. 47. Proovilamp.

Alalisvoolu puhul määrab proovilamp ka poolused (helendab ainult miinuselektrood).

Lambi sisetakistus on ca 100 000 oomi. Uks ning sama lamp on kõlblik ühtviisi pingetele 110 (alalisvoolul 130) kuni 750 voldini.

Hädavajalik abinõu installatsioonitööde juures.

VIII. MÕÕTERIISTADE PEALKIRJAD JA MÄRGID.

100. Vajalikud pealkirjad.

Igal mõõteriistal on skaalal normide kohaselt märgitud:

Üldiselt: 1) Tehase nimetus (või märk). 2) Seeria- (järjekorra-) number (ainult täpseil). 3) Mõõtepiir. 4) Täpsusklass. 5) Voolu liik (alaline, keerdvool). 6) Mõõtesüsteemi ehitus (näit. pehmeraud-riist). 7) Normaalne asend (püst-, viltu-, lamav-). 8) Proovipinge voltides. 9) Sagedus vahelduvvooluriistal; viimane võib ära jääda, kui see on 15 . . . 60 p/s piirides. 10) Mõõtetrafo ülekanne, kui mõõteriist on määratud ühendamiseks mõõtetrafo kaudu (viimaste ülekanne näit. 10/5 A ja 6000/100 V). 11) Talitusriistadel lülitusskeem, kui riistal on rohkem kui kaks klemmi.

Täpsetel ampermeetritel: 12) Alalisvoolu-riistadel pingelang mV-des, vahelduvvoolu-riistadel sisetakistus ja induktiivsus 50 p/s juures.

Täpsetel voltmeetritel: 13) Sisetakistus.

Vattmeetritel: 14) Nimipinge. 15) Nimivool.

Šuntidel: 1) Tehase nimetus. 2) Seerianumber (täpsetel). Vahetatavail veel: 3) Täpsusklass. 4) Šundi lubatav vool. 5) Külgeühendatava aparaadi vool (kui see on üle 0,1%). 6) Nimipingelang (mV).

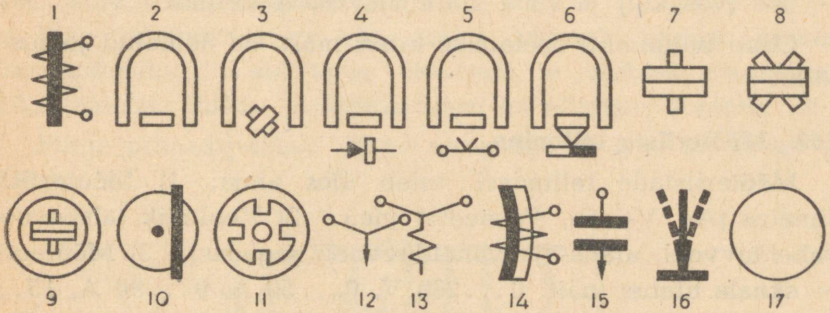
Eeltakistustel: 1) Tehase nimetus. 2) Seerianumber. 3) Aparaadi mõõtepiir antud takistuse juures. 4) Täpsusklass. 5) Sisetakistus (ainult täpseil, vahetatavail). 6) Proovipinge. 7) Tarbe korral lülitusskeem.

101. Märgid.

Mitmed iseloomustavad andmed on mõõteriista skaalal tähistatud märkidega, nagu on näidatud joonisel 48:

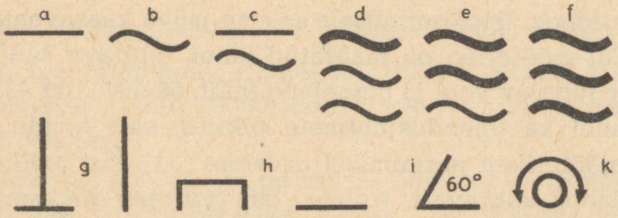
1) Pehmeraud-mõõteriist. 2) Pöördpool-mõõteriist. 3) Sama ristpooliga. 4) Sama kuiv-alaldajaga (vahelduvvoolule). 5 ja 6) Sama termomuundajaga (termoelemendiga) uues (vasakul) ja

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) Kuumustraat-mõõte-



Joon. 48. Mõõtesüsteemi märgid.

riist uues (vasakul) ja vanas kujutusviisis. 14) Bimetall-mõõteriist. 15) Elektrostaatiline mõõteriist. 16) Vibratsioon-mõõteriist. 17) Märk raudkapselduse tähistamiseks.



Joon. 49. Vooluliigi ja asetuse märkimine.

Vooluliigi märkimise viisid on näidatud joonisel 49:

a) Alalis-, b) vahelduv- (ühefaasisele) voolule. c) Alalis- ja vahelduvvoolule. d) Keerdvoolule, ühe mõõtesüsteemiga (kolmejuhtmeline, ühtlaselt koormatud faasidele). e) Keerdvoolule, kahe mõõtesüsteemiga (ebaühtlaselt koormatud faasidele). f) Keerdvoolule, kolme mõõtesüsteemiga (nulljuhtmega ja ebaühtlaselt koormatud faasidele).

Vooluliigi tähistamiseks kasutatakse inglise ja ameerika riistadel ka tähti: DC — alalisvool ja AC — vahelduvvool.

Asendi märkimiseks kasutatakse joonisel 49 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 49 k.

102. Mõõteriista tellimine.

Mõõteriistade tellimisel tuleb üles anda: 1) Mõõteriista nimetus (A-, V-, Ω-, W-meeter jne.). 2) Vooluliik (alalisvool, vahelduvvool, alalis- ja vahelduvvool, sagedus). 3) Mõõtepiir — skaala ulatus (näit. 0 . . . 260 V, 0 . . . 50 A, 9 . . . 90 A, 15 . . . . . 0 . . . 15 V). 4) Täpsusklass (näit. 0,5; 1; 1,5 või 2,5%). 5) Kere mõõted (näit. suur, normaalne või väike). 6) Tarvitamisviis (näit. statsionaarne, kantav või liikuva seadme jaoks). 7) Monteerimisviis (näit. lülituskilbile, puldile või konsoolile monteerimiseks). 8) Kere ehitus (näit. harilik, veekindel, tolmukindel, tilkveekindel, hermeetiline või plahvatuskindel). 9) Erinõuded, näit. signaalkontaktidega, tippkoormusele seisma jääva kaasaveetava osutiga. 10) Kui mõõteriist on määratud lahus tellitava šundi jaoks, siis viimase lubatav vool ja pingelang (näit. 60 mV, 100 A). Täpseil mõõteriistadel ka ühendusjuhtmete pikkus, sest nende takistus võetakse mõõteriista normimisel arvesse. 11) Kui mõõteriist on määratud lahus tellitavale trafole, siis viimase ülekanne (näit. 6000/100 V).

IX. MÕÕTMINE KÕRGEPINGE-SEADMEIS.

103. Pinge mõõtmine.

Vahelduvvoolu-seadmeis pingega üle 1000 V ühendatakse voltmeeter võrguga pingetransformaatori kaudu. Voltmeetri skaala jaotus on tehtud vastavalt võrgupingele, kuid mehhanism ainult 100 (või 110) V jaoks.

Alalisvoolu puhul on kasutatavad :

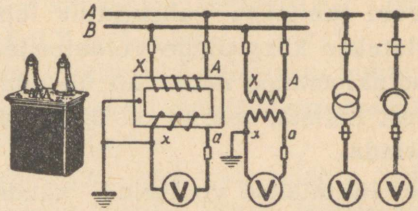
1) Eeltakistusega voltmeeter, kasutatav umbes 15 kV-ni.

2) Elektrostaatiline voltmeeter.

104. Pingetransformaator.

Pingetransformaator (pingetrafo) kujutab endast väikest transformaatorit, kuid täpse ülekande ja väikese magnetilise küllastusega. Ehitus- ja lülitusskeem on näidatud joonisel 50.

Pinge primaarpoolel: Võrgu nimipinge 1, 3, 6, 10, 15 kV ja kõrgemad.



Joon. 50. Pingetransformaator.

Pinge sekundaarpoolel: 100 V (harvem 110 V või 100/110 V).

Liigpinge (ülepinge): Pingetrafo talub kestvalt kuni 20%-lisi pingekõikumisi, näit. 3000/100 V trafol võib tööpinge tõusta 3600/120 voldini.

Isolatsioon: Madala pinge korral õhk või isoleermass, kõrgematel (alates 5 kV) pingetel — õli. Õli-isolatsiooniga trafod tuleb kohale monteerida püstasendis, kuivisolatsiooniga trafode juures ei ole asend oluline.

Isolatsiooni ja dielektriku tugevuse määrab nimi- ja proovipinge.

Võimsus: Igale trafole on märgitud tema nimi- ja maksimaalvõimsus, näit. 30/200 VA. Esimene arv näitab, milleni võib trafot koormata, ilma et täpsus langeks alla ettenähtud %; teine arv näitab maksimaalset koormust, ilma et trafo soojeneks ohtliku temperatuurini.

Pingetrafole võib lülitada paralleelselt mitu mõõteriista (voltmeetri, vattmeetri ja arvesti pingemähised jne.). Trafo tuleb valida nii, et ta võimsus ületaks mõõteriistade tarvituse (vt. p. B-111) summa.

Liigvoolu vältimiseks asetatakse kõrgepinge-poolele kõrgepinge torukaitsmed, madalpinge-poolele — harilikud madalpinge-kaitsmed (maandatud juhe jääb kaitsmata).

105. Voolu mõõtmine.

Isolatsiooni poolest ehitatakse ampermeetrid tavaliselt tööpingetele kuni 1500 V. Kõrgema pinge korral on kaks võimalust:

a) Mõõdetav vool juhitakse vahenditult läbi ampermeetri, kuid viimane asetatakse kõrgepinge-isolaatorile. Ampermeetri kere tuleb ühe vooluklemmiga nähtavalt ühendada ja juhusliku külgepuutumise eest kaitsta, sest ta on pingestatud; kere tuleb välk-noolega tähistada.

b) Ampermeeter lülitatakse vooluringi kaudselt p. B-23 ja B-106 kirjeldatud voolutransformaatori kaudu.

106. Voolutransformaator.

Voolutransformaatori (voolutrafo) primaarmähisest juhitakse läbi mõõdetav vool, kuna mõõteriistad ühendatakse sekundaarmähisega. Ehitus- ja lülitusskeem vastab joonisele 7. Kõrgemate pingete jaoks ehitatakse voolutrafod peamiselt pütt- (joon. 7 d) või läbiviik-isolaatori kujulised. Viimased paigutatakse mõnikord teiste aparaatide, näit. õlilülitite külge.

Voolu ülekanne: Primaarpoolel alates 5 A (vt. p. B-24); sekundaarpoolel 5 A, erandjuhtumil (väga pikkade ühendusliinide korral) ka 1 A.

Liigvool: Iga voolutrafo peab talumа kestvalt 10%-list ja lühiajaliselt paarikümne-kordset liigvoolu. Harilikult on trafole märgitud voolu tugevus kA-tes, millist trafo talub 1 sek. vältel ilma ohtliku soojenemiseta (kA therm.) ja ilma mehaanilise ülepingutuseta (kA dyn.).

Isolatsioon ja proovipinge nagu pingetransformaatoril.

Võimsus: Trafole võib järjestikku (joon. 51) ühendada mitu mõõteriista: ampermeetri, vattmeetri ja arvesti voolumähised, releed jne. Mida suurem on välisahela takistus, seda suurem on transformaatori koormus. Kui sekundaarmähise otsad on lahti, siis on takistus lõpmata suur ja puuduvad sekundaarahela poolt tekitatavad vastuamperkeerud. Seetõttu primaarmähise poolt tekitatav magnetvoog ja väljatihedus võib niivõrd suureneda, et trafo raudsüdamik kuumeneb üle lubatava piiri. Trafo tuleb valida nii, et mõõteriista ja ühendusjuhtmete kogutakistus ei ületaks lubatud nimitakistust. Mõnikord on võimsus antud ka vattides või voltamprites: N (vattides) $= J^2 \cdot R$, kus J on sekundaarvool (A) ja R välisahela takistus (Ω). Normitud nimitakistused on: 0,2, 0,6, 1,2 ja 2 oomi.

Mõnikord, eriti suuremate võimsuste puhul, 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 tuleb sekundaarmähis lühistada, muidu transformaator kuumeneb ning sekundaarpoolel tekib hädaohtlikult kõrge pinge. Voolutrafo sekundaarringi mitte asetada kaitsmeid!

107. Võimsuse ja energia mõõtmine.

Mõõtmine toimub vastavalt joonistel 10, 12, 37 ja 39 toodud skeemidele, selle erandiga, et vool ja pinge ei lasta mõõteriista mitte otseselt, vaid kaudselt mõõtetrafode kaudu. Mõõteriista läbib ainult sekundaarvool.

Skaala jaotused võivad olla:

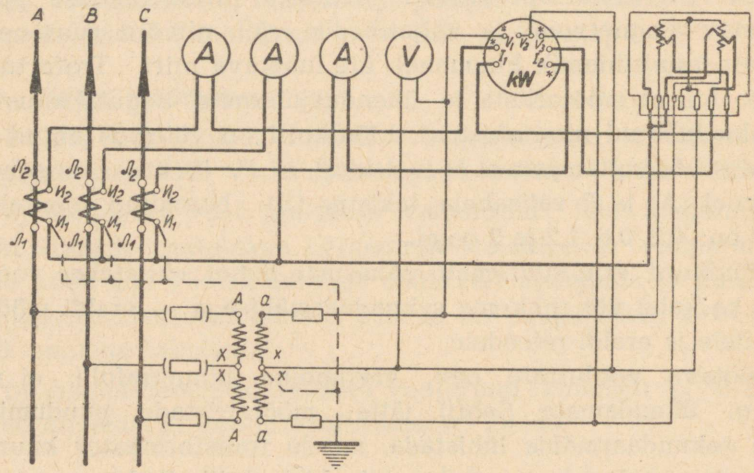
1) Vastavalt primaarvoolule, s. o. võimsus on astmikult otseselt loetav. Säärasel juhtumil on mõõteriista skaalal või sildil märgitud trafode ülekanne (näit. 100/5 A ja 3000/100 V).
2) Vastavalt 5 A-le ja 100 voldile. Sel juhtumil tuleb hälvet korrutada pinge- ja voolutrafode ülekandega (näit. 100/5 A ja 3000/100 V juures 20 ja 30-ga).

Esimene on kasutusel peamiselt talitus-, teine laboratooriumitüüpide juures.

108. Keerdvoolu mõõtmine.

Mõõteriistade ühendamist keerdvoolu-võrku näitab joon. 51.

a) P i n g e t r a f o d: Vattmeetri ja arvesti jaoks kasutatakse harilikult kahte ühefaasist pingetrafot V-lülituses (joon. 51 ja 52 a).



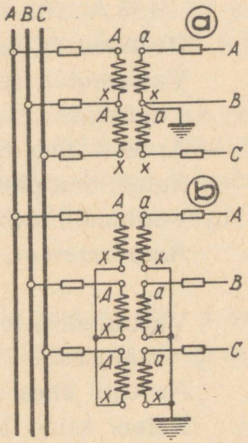
Joon. 51. Kõrgepinge-keerdvoolu mõõtmine.

Kui on vaja mõõta pingeid kõigi kolme faasijuhtme ja maa vahel, ühendatakse kolm samasugust ühefaasist trafot tähte (joon. 52 b).

Kahe või kolme üksiku ühefaasise pingetrafo asemel võib kasutada ka ühte kolmefaasist trafot. Kui vajatakse pinget ainult vattmeetri või arvesti toiteks või pinge mõõtmiseks faasijuhtmete vahel, võib see trafo olla kolme südamikuga; kui on vaja mõõta pinget ka faasijuhtme ja maa vahel, tuleb kolmefaasine trafo võtta viie südamikuga või kasutada kolme ühefaasist trafot. Mõõteriistad jäävad kõigil ülaltähendatud juhtumeil samadeks.

b) V o o l u t r a f o d: Vattmeetri ja arvesti jaoks kaks voolutrafot. Soovitakse voolu mõõta täpselt, kõigis kolmes faasis, tuleb kasutada kolme voolutrafot (joon. 51).

Ühendused tuleb teha täpselt skeemi järgi. Faaside või juhtmete järjekorra vahetamisel arvesti kas käib tagurpidi, seisab või valetab, kusjuures vea % sõltub cos φ-st. Sama nähtus esineb ka pingetrafode kaitsmete läbipõlemisel.



Joon. 52. Pingetransformaatorite lülitus keerdvoolu-võrgus.

109. Maandamine.

Mõõtetrafode kered tuleb alati maandada. Samuti tuleb maandada sekundaarmähise üks poolus kas otseselt või läbilöögikaitsme kaudu. Täht- ja V-lülituse juures maandatakse nullpunkt. Kõrgepinge puhul maandatakse ainult tähte ühendatud pingetrafode nullpunkt ja ainult juhul, kui soovitakse kontrollida pinget (isolatsiooni) juhtmete ja maa vahel (joon. 52 b). Maandusjuhtmeks on vaskjuhe ristlõikega 16 mm² või raudjuhe ristlõikega 50 mm².

110. Täpsus.

Vastavalt täpsusele jagunevad mõõtetrafod järgmistesse klassidesse:

klass 0,2 täpseiks mõõtmisteks laboratooriumides,
„ 0,5 mõõtmisteks laboratooriumis ja proovisaalis ning võimsuse ja töö täpseks mõõtmiseks talitusolukorras,
„ 1,0 mõõtmiseks tavaliste talitusriistadega,
„ 3,0 ampermeetreile, releedele,
„ 10 lihtsaile liigvoolu releedele.

Klassi number näitab lubatud maksimaalset vea protsenti täiskoormusel. Liigkoormusel, samuti väiksemal koormusel vea % 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 faasimähises	2 ... 6	„
Arvesti ühes faasimähises	1,5 ... 2	„
Relee, nullpinge-, maaühenduse- . . .	6 ... 12	„

b) Voolumähises:

Ampermeeter, pehmeraud-, 135 ... 225 mm	1,5 ... 2,5	„
„ registreeriv	7,5	„
Vattmeeter, ferrodünaamiline, ühes faasimähises	3 ... 4	„
Arvesti ühes faasimähises	1,5 ... 2	„
Relee, kiir-, liigvoolu-	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) K õ r g e p i n g e - p o o l e l, vastavalt p. B-108. See meetod on ehituselt kulukas, vajab suhteliselt palju ruumi ja suuremat oskust ülesseadmisel; pingeahela kaitsmete läbipõlemisel mõõteriistad näitavad valesti. Kasutatakse suuremate võimsuste puhul, tavaliselt 100 kW-ist ülespoole, võimsustel alla 100 kW on madalpinge-poolel mõõtmine soovitatavam.

b) M a d a l p i n g e - p o o l e l, tavalise kWh-arvestiga. Transformaatori kaod arvestatakse eraldi juurde.

Näide. 20-kW transformaator-alajaamas:

1) Arvesti järgi on energiat tarvitatud .	2252	kWh
2) Trafo tühijooksu- (rauas-) kaod kuu vältel 210 W · 720 tundi ≈	151	„
3) Trafo koormus- (vases-) kaod 2252 · 1% ≈	22	„
Kokku kuu vältel . . .	2425	kWh

Transformaatori kadude andmed saab vastavaist tabeleist, tehaselt või mõõtmisega.

Kui alajaam töötab vaheaegadega (näiteks tööstuses ööseks väljalülitatava transformaatoriga), tuleb üles seada p. B-86 kirjeldatud eriline ühefaasine arvesti, mis loetleb töötunde (ajaarvesti).

c) Mõõtmine osaliselt kõrgepinge-poolel. Voolutrafod kõrgepinge-poolel, pinge aga võetakse jõutrafo madalpinge-klemmidelt. Vähem soovitatav kui eelmine moodus, kuna viga on pingelangu ja faasi-nihkenurga tõttu suurem.

113. Mõõtetrafode pealkirjad.

Mõõtetrafol on märgitud: 1) Tehase nimetus või märk. 2) Järjekorranumber. 3) Nimi- ja proovipinge. 4) Sagedus. 5) Täpsusklass.

Lisaks sellele on märgitud:

Voolutrafol: 6) Nimivool primaar- ja sekundaarringis (näit. 20/5 A). 7) Maksimaalne vool (näit. 1,5 kA therm.). 8) Nimi- ja maksimaalselt lubatav välistakistus (näit. 0,2/10 oomi).

Pingetrafol: 9) Ülekanne — primaar- ja sekundaarpinge (näit. 15 000/100 V). 10) Võimsus, nimi- ja maksimaalne.

114. Mõõteriistade kohta kehtivad üldised tehnilised tingimused.

Mõõteriistade kohta kehtivad üldised tehnilised tingimused on väljendatud ГОСТ 1845-42 eeskirjades, kus on ka ette nähtud proovimiste moodused neile tingimustele vastavuse või mittevastavuse selgitamiseks.

Tehnilised tingimused on liigitatud järgmiselt: 1) Mõõteriista kere. Mõõteriista kere suhtes liigitatakse neid veel harilikeks, hermeetiliselt kindlaiks, veekindlaiks, tilkveekindlaiks, tolmukindlaiks ja plahvatuskindlaiks. Iga liigi kohta on ette nähtud vastav proovimise moodus. 2) Mõõteriistade klemmide tähistamine ja klemmide suurused. 3) Skaala kuju. 4) Osuti

kuju — kas noa või nooleotsa sarnane. 5) Nullile seadmise abinõud. 6) Areteerimise abinõud. 7) Osuti summutus. 8) Pingele vastupidavus. 9) Liigkoormuse taluvus. 10) Täpsus. 11) Vahelduvvoolu-riistadel lubatav viga sõltuvalt mõõdetava vahelduvvoolu sagedusest. 12) Temperatuuri taluvus. 13) Cos φ mõju. 14) Pinge mõju. 15) Välise magnetvälja mõju. 16) Mõõteriista normaalsest seisakust kallutamise mõju.

115. Andmeid NSV Liidu tööstustes toodetavate mõõteriistade kohta.

Vastavalt mitmesuguste elektrotehnika viljelusalade nõuetele valmistatakse elektrimõõteriistu väga palju eriliike ja -tüüpe. Nende kõikide andmeid pole käesoleva raamatu raamides võimalik anda, mistõttu on piirdutud ainult enamkasutatavate mõõteriistade põhiliste andmete esitamisega tabelis 14. Selles tabelis mainitud riistadest piltliku ettekujutuse saamiseks on veel lisaks toodud nende riistade välise kuju joonised koos põhiliste mõõdetega.

Üksikasjalised andmed mõõteriistade omaduste, mitmesuguste mõõtepiirkondade, vajalike eeltakistuste, šuntide ja mõõtetrafode ning nendega komplekteeritud mõõteriistade maksumuse kohta leiduvad raamatus Г. П. Шкурин, Электроизмерительные и радиоизмерительные приборы, Военное издательство Министерства Вооруженных Сил Союза ССР, Москва — 1948.

LISA.

Süsteem	Omadused	Puudused	Voolutüüp	Riista tüübi tähis	Riista tüübi selgitus	Mõõted mm	Milleks kasutatav	Riista nimetus
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Magnetelektriline (pöördpooli-)	Näitamise täpsus, ühtlase jaotusega skaala, väliste tegurite tähtsusetu mõju mõõteriista näitamisele	Permanentmagneti magnetiliste omaduste muutumine aja vältel, suhteliselt kallis, ebasobiv vahelduvvoolu mõõtmiseks	Alalisvool	MH	Normaalsuurus, kinnitatav ja ühendatav tagant eripoltidega, musta metallkestaga	Ø 185 × 75	Monteerimiseks lülituskilbi peale, talitusriist	Voltmeeter Ampermeeter
				MM	Väike suurus, muus osas nagu MH	Ø 135 × 73	Nagu MH	Voltmeeter Ampermeeter Milliamp.-meeter
				2 MУ	Vähendatud suurus, muus osas nagu MM	Ø 110 × 64	Nagu MH	Voltmeeter Ampermeeter Milliamp.-meeter
				ПМ-70	Süvistatav, tagantühendatav ja kinnitatav eestpoolt, plastmassist kestaga	76 × 76 × 44	Monteerimiseks lülituskilbi või aparaadi sisse, talitusriist	Voltmeeter Ampermeeter Milliamp.-meeter
				МК-55	Pealeehitatav, tagantühendatav ja eestkinnitatav, plastmassist kestaga, ühe- või kahepoolse hälbega	70 × 70 × 34	Monteerimiseks lülituskilbi või aparaadi peale, talitusriist	Voltmeeter Ampermeeter Milliamp.-meeter

Tabel 14.

Mõõtühik	Suurim jaotuste arv skaalal	Ülemine mõõtepiirkond				Mõõteviga %-des lõpphälbest	Riista hind (ilma eeltakistuseta, šundita või mõõtetrafota) rbl.
		vahenditult ühendamisel		ühendamisel eeltakistuse kaudu, šundiga või mõõtetrafoga			
		alates	kuni	alates	kuni		
10	11	12	13	14	15	16	17
V	75	8 300	250 600	1000	10000	± 1,0	45.— 70.—
A	75	1	100	150	3000	± 1,5	45.—
V	60	8	300	450	10000	± 1,0	45.—
A	50	1	50	75	500	± 1,5	45.—
mA	50	5	500	—	—	± 1,5	45.—
V	50	8	150	250	10000	± 1,0	75.—
A	50	2,5	10	20	300	± 1,5	70.—
mA	50	50	500	—	—	± 1,5	70.—
V	50	3	50	75	3000	± 1,5	150.—
A	50	—	1	2	5000	± 1,5	150.—
mA	50	5	500	—	—	± 1,5	150.—
V	50/25	3	50	75	600	± 2,5	135.—
A	40/20	1	10	20	150	± 2,5	135.—
mA	30/15	5	500	—	—	± 2,5	135.—

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Magnetelektriline (pöördpooli-)	Näitamise täpsus, ühtlase jaotusega skaala, väliste tegurite tähtsusetu mõju mõõteriista näitamisele	Permanentmagneti magnetiliste omaduste muutumine aja vältel, suhteliselt kallis, ebasobiv vahelduvvoolu mõõtmiseks	Alalisvool	M-110	Süvistatav, tagantühendatav ja eestkinnitatav, plastmassist kestaga ja nelikantskaalaga	185 × 185 × 102	Monteerimiseks lülituskilbi sisse, talitusriist laevadele	Voltmeeter Ampermeeter
				M-41 M-42	Süvistatav, tagantühendatav ja eestkinnitatav, plastmassist kest.	∅ 80, esiplaat 83 × 83	Monteerimiseks lülituskilbi või aparaadi sisse	Voltmeeter Ampermeeter
				M-43 M-44	Nagu eelmised, kuid tagantühendatav ja kinnitatav eripoltidega. M-42 ja M-44 kest ekraneeritud metallkapsliga, ühe- ja kahepoolse hälbega	∅ 80, esirõngas 83		Milliamp.-meeter Voltmilliampermeeter
				M-51 M-52 M-53 M-54	Analoogilised eelmistega, väiksemamõõtelised	∅ 60, 63 × 63; ∅ 60/63	Nagu eelmised	Voltmeeter Ampermeeter Milliamp.-meeter Voltmilliampermeeter
				M-55	Taskuskantav, plastmassist kestaga, ühe- ja kahepoolse hälbega	60 × 92 × 38	Akude, patareide ja elementide kontrolliimiseks	Voltmeeter Ampermeeter Voltmilliamperm.

10	11	12	13	14	15	16	17
V	50	50	450	—	—	± 1,5	685.—
A	50	—	—	5	5000	± 1,5	685.—
V	—	3	300	460	3500	± 2,5	55.—
A	—	1	10	20	50	± 2,5	55.—
mA	—	1	500	—	—	± 2,5	55.—
V	—	—	15	—	—	± 2,5	55.—
mA	—	—	500	—	—		
V	—	3	50	150	300	± 2,5	45.—
A	—	1	10	20	50	± 2,5	45.—
mA	—	1	500	—	—	± 2,5	45.—
V	—	—	15	10	50	± 2,5	45.—
mA	—	—	500	5	50		
V	—	3	300	—	—	± 2,5	55.—
A	—	1,5	10	—	—	± 2,5	55.—
V	—	3	30	—	—	± 2.5	55.—
mA	—	30	300	—	—		

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Magnetelektriline (pöördpooli-)	Näitamise täpsus, ühtlase jaotusega skaala, väliste tegurite tähtsusetu mõju mõõteriista näitamisele	Permanentmagneti magnetiliste omaduste muutumine aja vältel, suhteliselt kallis, ebasobiv vahelduvvoolu mõõtmiseks	Alalisvool	2 МП	Kantav riist, käepidemega puust kastis ja mahaklapitava kaanega	187 × 187/240 × 108	Laboratooriumides, ajutistes seadmetes	Voltmeeter Ampermeeter Milliamp.-meeter
				МПС	Nagu eelmine, kuid peegelskaalaga ja varjestatud väliste magnetiliste mõjutuste vastu	187 × 187/240 × 108	Nagu eelmine, eriti kasutamiseks laevadel	Voltmeeter Ampermeeter Milliamp.-meeter
				МПК	Laboratooriumiriist peegelskaalaga; täishälve 15 mA, 75 mV; kantav	215 × 195 × 88	Laboratooriumis täpismõõtmisel kontrollriistana	Voltmeeter Ampermeeter Milliamp.-meeter
				М-45	Laboratooriumiriist peegelskaalaga, plastmassist kestas, kantav, kuni 4 mõõtepiirkonda	115 × 125 × 53	Laboratooriumis	Voltmeeter Ampermeeter
				МО	Osut-nullgalvanomeeter, kastis, $R_s \approx 100\,\Omega$, $R_{kr} \approx 300\,\Omega$	125 × 195 × 82	Laboratooriumis mõõtmisteks sild lülituses	Galvanom.
				ГМП	Osut-nullgalvanomeeter, plastmassist kestas	85 × 130 × 107	Nagu eelmine	Galvanom.

10	11	12	13	14	15	16	17
V	75	3/15/150	15/150/1500	—	—	±1,0	130.—/160.—
A	75	—	—	0,03	1500	±1,0	—
mA	75	—	15	—	—	±1,0	110.—
V	150	3 3/15/150	300 150/300/450	—	—	±1,0	150.— 180.—
A	150	—	—	15	4500	±1,0	—
mA	150	—	15	—	—	±1,0	170.—
V	150	—	3/15/150	30/75	300/750	±0,5	345.—
A	150	—	—	0,03	1500	±0,5	—
mA	150	—	15	—	—	±0,5	325.—
V	75 ja 150	0,075	450	—	—	±1,0	600.—
A	150	—	—	1,5	150	±1,0	—
—	20...0...20	0,2 mm/1 mA		—	—	—	60.—
—	10...0...10	$1^\circ = 1 \cdot 10^{-6}$		—	—	—	450.—

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Magnetelektriline (pöördpooli-)	Näitamise täpsus, ühtlase jaotusega skaala, väliste tegurite tähtsusetu mõju mõõteriista näitamisele	Permantmagneti magnetiliste omaduste muutumine aja vältel, suhteliselt kallis, ebasobiv vahelduvvoolu mõõtmiseks	Alalisvool	МОП/1	Kantav riist, käepidemega, puust kastis, kaanega	200 × 240/289 × 132	Takistuse mõõtmiseks	Oommeeter
				МОП/2	Kantav laboratooriumiriist	175 × 214 × 105	Takistuse mõõtmiseks	Oommeeter
				ОК	Taskuskantav, puust karbis, kuhu mahutub ka patarei	84 × 180 × 37	Takistuse mõõtmiseks	Oommeeter
				МПИ	Kantav riist puust kastis, kaanega, varustatud induktoriga 500 V	248/290 × 205 × 137	Isolatsioonitakistuse tooreks mõõtmiseks, pinge mõõtmiseks	Oommeeter ja voltmeeter
				М-1101	Kantav riist plastmassist kastis, kaanega, väntinduktoriga 500 V, kaks mõõtepiirkonda	194 × 129 × 148	Isolatsioonitakistuse mõõtmiseks	Megoommeeter
Elektromagnetiline (pehmeraua-)	Lihtne ehitus, suhteliselt odav	Suhteliselt väike mõõtetäpsus, ebaühtlane skaalajaotus, sõltuvus välistest magnetväljadest ja ümbritseva õhu temperatuurist	Alalis- ja vahelduvvool	ЭН	Normaalsuurus, ühendatav ja kinnitatav tagant eripoltidega, musta metallkestaga	∅ 185 × 75	Monteerimiseks lülituskilbi peale, talitusriist	Voltmeeter Ampermeeter
				ЭНП	Nagu eelmine, skaala kokkusu utud lõpposaga	∅ 185 × 98	Nagu eelmine, eriti sobitatud mootoritele, talitusriist	Ampermeeter
				ЭНП/3	Nagu ЭН, kuid lühisekindel, kokkusurutud skaala eriosaga, koos kaitsetrafoga 5/5 A	Riista ∅ 185 × 75 Trafo 185 × 72 × 95	Liinides, kus võimalikud tugevad lühisvoolud	Ampermeeter
				ЭМ	Nagu ЭН, kuid väiksem	∅ 135 × 73	Nagu ЭН	Voltmeeter „ Ampermeeter

10	11	12	13	14	15	16	17
Ω	—	Kuni 100000		—	—	40... 30000 Ω — ±4	260.—
MΩ	—	0,01	2	—	—	—	260.—
Ω	—	Kuni 5000		—	—	... 400 Ω — ± 1,5, ... 5000 Ω ± 24	65.—
MΩ	—	—	10	—	—	± 8	
V	—	120	240	—	—	± 2	220.—
MΩ	—	—	2 ja 100	—	—	± 1	4000.—
V	60	15	600	3600/100	42000/100	± 2	43.—
A	30	2,5	200	7,5/5	10000/5	± 2	40.—
A	50	5 (15)	100 (300)	7,5/5	10000/5	—	60.—
A	—	—	5	Koos igasuguse normaaltüüpi voolutrafoga		—	70.—
V	30	15	250	—	—	± 2	65.—
V	42	—	—	3600	42000	± 2	40.—
A	30	1	50	7,5/5	10000/5	± 2	35.—

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Elektromagnetiline (pehmeraua-)	Lihtne ehitus, suhteliselt odav	Suhteliselt väike mõõtetäpsus, ebaühtlane skaalajaotus, sõltuvus välistest magnetväljadest ja ümbritseva õhu temperatuurist	Alalis- ja vahelduvvool	Э-12 Э-16 Э-110	Süvistatav, tagantühendatav ja eestkinnitatav, plastmassist kestaga	185 × 185 × 102	Monteerimiseks lülituskilbi sisse, talitusriist laevadele	Ampermeeter Э-12 Ampermeeter Э-16 Voltmeeter Э-110
				ЭП	Kantav riist, käepidemega puust kastis, mahaklapitava kaanega	187 × 187/240 × 100	Laboratooriumis, ajutistes seadmetes	Voltmeeter Ampermeeter
				ЭНФ	Normaalsuurus, kinnitatav ja ühendatav tagant eripoltidega, musta metallkestaga	Ø 185 × 73	Monteerimiseks lülituskilbi peale, talitusriist	cos φ-mõõtja
				ЭБФ	Nagu eelmine, kuid suurem	Ø 225 × 97	Nagu eelmine	cos φ-mõõtja
				ЭБС	Nagu eelmine, kahepoolse hälbega	Ø 225 × 97	Nagu eelmine	Sünkronoskoop
Elektrodünaamiline	Näitamise täpsus	Ebaühtlane skaalajaotus, sõltuvus välistest magnetväljadest	Alalis- ja vahelduvvool 50 Hz	ЭДК/А	Laboratooriumiriist peegelskaalaga, kantav, ümberlülitatav, 2 piirkonda	207 × 257 × 131	Laboratooriumis täpsmõõtmiseks kontrollriistana	Ampermeeter
				ЭДК/В	Nagu eelmine, kolme piirkonnaga	207 × 257 × 131	Nagu eelmine	Voltmeeter
				ЭДК	Nagu eelmine	210 × 345 × 90	Nagu eelmine	Vattmeeter

10	11	12	13	14	15	16	17
A	30	5	50	75/5	6000/5	± 3	370.—
A	30	75	200	—	—	± 3	370.—
V	30	30	450	—	—	± 3	370.—
V	30	15	250	—	—	± 2	90.—
	45	450	600				110.—
A	40 38 15	5 75 —	50 100 150	— — —	— — —	± 2	95.— 115.— 130.—
cos φ V A	0,02... 0,05 — —	0,2 ind. 127 —	0,9 maht. 500 5	— — —	— — —	—	... 220 V — 140.— ... 500 V — 165.—
cos φ V A	0,02... 0,05 — —	0,2 ind. 127 —	0,9 maht. 500 5	— — —	— — —	—	... 220 V — 280.— ... 500 V — 290.—
V	—	—	127	Iga pingetrafo kaudu		—	260.—
A	100	0,025/0,05	10/20	—	—	± 0,5	370.—
V	150	7,5/30/75	150/300/600	—	—	± 0,5	370.—
V A W	100	120 0,25/0,5 37,5/75	240 10/20 3000/6000	—	—	± 0,5	335.—

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Induktsiooniline	Lihtne ja vastupidav konstruktsioon, küllaldane mõõtetäpsus	Riist vigastub lülitamisel alalisvoolu-võrku; sõltuvus välistest magnetväljadest, temperatuurist ja voolu sagedusest	Vahelduvvool 50 Hz	ВИО	Pealeehitatav, tagantühendatav, eestkinnitatav, musta metallkestaga	Ø 225 × 147	Monteerimiseks kilbi peale, ühefaasiseks mõõtmiseks	Vattmeeter
				ВИН	Nagu eelmine	Ø 225 × 147	Nagu eelmine, keerdvoolu mõõtmiseks neljajuhtmelises süsteemis	Vattmeeter
				ВИТ	Nagu eelmine	Ø 225 × 147	Nagu eelmine, keerdvoolu tegevvõimsuse mõõtmiseks	Vattmeeter
				ВИТР	Nagu eelmine	Ø 225 × 147	Sama, ebavõimsuse mõõtmiseks	
				$Б_2$	Pealeehitatav, musta metallkestaga, eestühendatav	126 × 182 × 112	Energia mõõtmiseks kWh ühefaasises võrgus	Arvesti
				И	Nagu eelmine	200 × 255 × 140	Tegevenergia mõõtmiseks Aron-lülituses	Arvesti
				ИР	Nagu eelmine	200 × 255 × 140	Ebaenergia mõõtmiseks Aron - lülituses	Arvesti
				ИЧ	Nagu eelmine	200 × 255 × 140	Tegevenergia mõõtmiseks neljajuhtmelises keerdvoolu võrgus	Arvesti

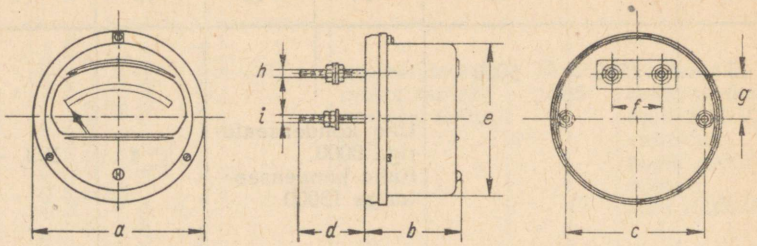
10	11	12	13	14	15	16	17
V	—	127	380	500/100	35000/100		
A	—	—	5	7,5/5	10000/5	—	125.—
kW	—	—	—	1,0	—		
MW	—	—	—	—	400		
V	—	220	380	300	35000		
A	—	—	5	7,5	10000		
kW	—	—	—	2	—	—	125.—
MW	—	—	—	—	600		
V	—	127	380	500/100	35000/100		
A	—	—	5	7,5/5	10000/5	—	160.—
kW	—	—	—	1,0	—		
MW	—	—	—	—	600		
V	—	127	220	—	—		
A	—	5	10	—	—	—	—
V	—	110	380	Kõikide mõõte-			
A	—	5	100	trafode kaudu		—	—
V	—	110	220	Nagu eelmine		—	—
A	—	5	5				
V	—	220	380	Nagu eelmine		—	—
A	—	5	5				

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Termiline	Lihtne konstruktsioon, sõltumatus sagedusest, mõõdetava suuruse kõvera kujust ja välistest magnetväljadest, suntide kasutamise võimalus	Mõõteläpsuse sõltuvus temperatuurist, ei talu liigkoormust, suur omatarbimine, ebaühtlase jaotusega skaala	Alalis- ja vahelduvvool	TH	Normaalne, kinnitatav ja ühendatav tagant eripoltidega, musta metallkestaga	Ø 185 × 76	Monteerimiseks lülituskilbi peale	Ampermeeter Milliamp.- m.
				TM	Nagu eelmine	Ø 135 × 74	Nagu eelmine	Ampermeeter Milliamp.- m.
				ТИС	Pealeehitatav, tagantühendatav, musta metallkestaga	Ø 170 × 100	Nagu eelmine	Ampermeeter
				ТИР	Pealeehitatav, tagantühendatav ja kinnitatav, portselanalusel plastmassist kestaga	Ø 75 × 26	Monteerimiseks raadiosaatjatesse	Ampermeeter Milliamp.- m.
Termoelektriline	Väike omatarve, suur tundlikkus, sobivus alalis- ja vahelduvvoolule, sõltumatus sagedusest, mõõdetava suuruse kõvera kujust ja välistest magnetväljadest	Ei talu liigkoormust, hinnalt kallis	Alalis- ja madal- ning kõrgsageduse vahelduvvool	ПМТ-70	Süvistatav, tagantühendatav ja eestkinnitatav, musta plastmassist kestaga, välise termoelemendiga	76 × 76 × 47	Monteerimiseks kilpidesse ja aparaatidesse, mõõtmiseks sagedustel 0,3... 7,5 MHz	Ampermeeter
				T-41 T-43	Süvistatav, koos välise termoelemendiga tüüp T1 või T2 Nagu eelmine, pealeehitatav	Ø 80, esiplaat 83 × 83 Ø 80, esirõngas Ø 83	Monteerimiseks kilpidesse või aparaatidesse, mõõtmis. sagedustel 0,3 ...7.5 MHz	Ampermeeter
				T-51 T-53	Nagu T-41 ja T-42	Nagu M-51 ja M-53	Nagu T-41 ja T-43	Ampermeeter
				T-61	Pealeehitatav, plastmassist kestaga, vaakum-termoelemendiga sisemuses	Ø 40, esiplaat 42 × 42	Monteerimiseks raudplaadiga lülituskilbile, mõõtmiseks 0,3 ... 6 MHz	Milliamp.- m.

10	11	12	13	14	15	16	17
A A A	20 40 38	— — —	1 — —	— 5 50	— 30 100	± 4 ± 4 ± 4	85.— 95.— 130.—
mA	25	250	500	—	—	± 4	85.—
A	20 40 38	— — —	1 — —	— 5 50	— 30 100	± 4 ± 4 ± 4	85.— 95.— 130.—
mA	25	250	500	—	—	± 4	80.—
A	30	5	20	—	—	± 4	165.—
A	20	1 — —	3,6 — —	— 6 —	— — 8	± 15 ± 15 ± 15	45.— 50.— 65.—
mA	20	—	100	—	—	± 15	45.—
A	—	—	—	1	5	... 50 Hz ± 3 0,3 ... 7,5 Hz ± 6	200.—
A	—	—	—	0,5	50	50 Hz — ± 2,5 0,3 ... 7,5 MHz — ± 5	90.—
A	—	—	—	1	10		70.—
mA	—	—	250	—	—	± 8	70.—

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Elektrostaatiline	Väike omatarve, sõltumatu sagedusest, temperat. ja magnetväljast	Sõltub välistest elektriväljadest ja õhuniiskusest	Alalis- ja vahelduvvool	C	Pealeehitatav, musta metallkestaga, talitusriist	Ø 225 × 95	Alalisvoolu mõõtmiseks kuni 5000 V, vahelduvvoolu mõõtmiseks kuni 15000 V	Voltmeeter
Vibratsioon	Lihtne konstruktsioon, töökindel	Astmeline skaala ei võimalda vahepealseid lugemeid	Vahelduvvool	ВЧ	Pealeehitatav, musta metallkestaga, talitusriist	Ø 225 × 106	Monteerimiseks kilbi peale	Sagedusmõõtja
				ВЧП	Kantav riist, käepidemega puust kastis, mahaklapitava kaanega	187 × 187/238 × 100	Laboratooriumis ja ajutistes seadmetes	Sagedusmõõtja

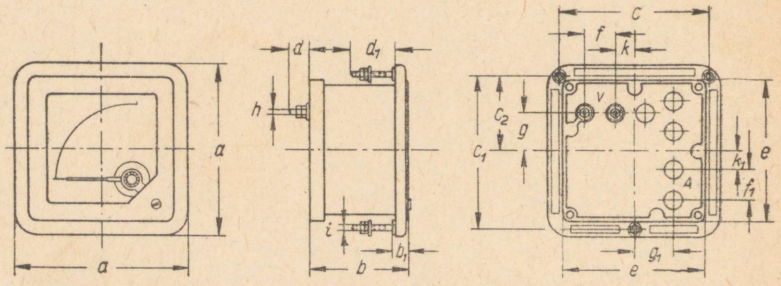
10	11	12	13	14	15	16	17
V	15	1500	5000	—	—		
				Ühe kondensaatoriga 8000 Kahe kondensaatoriga 15000		± 4	333.—
Hz V V	20	— 127 380	45... 55 220 500	—	—	± 1	165.— 180.—
Hz V V	20 —	— — —	45... 55 127/220 —	— 380	— 500	± 1	235.— 260.—



Joon. 53.

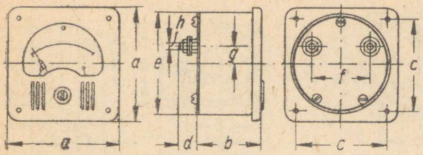
Tüüp	Joonis	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*	*i*
МН	53	185±0,3	75	165±0,5	65...75	164,5	40	45±0,2	M5...M10	M6
ЭН	53	185±0,3	75	165±0,5	65...85	164,5	40	45	M5...M16	M6
ЭНГ	53	185	98	165±0,8	45...65	165	40	45	M6	M6
ТН	53	185	75,5	165±0,8	52	165	40	45	M6	M6
ММ	53	135	73	115	65...75	119	40	35	M5	M6
ЭМ	53	135	73	115	65...75	119	40	35	M5...M10	M6
ТМ	53	135	73,5	115±0,7	52	119	40	35	M6	M6
2МУ	53	110	66	80*	58	100	62	15	M5	M6

* Kinnituspoldid asetsevad püstteljel, s. o. risti joonisel 53 näidatud asendile.

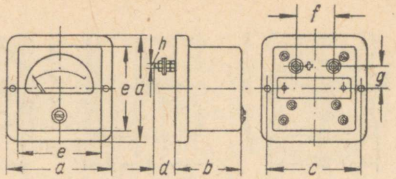


Joon. 54.

Tüüp	Joonis	*a*	*b*	b_1	*c*	c_1	c_2	*d*	d_1	*e*	*f*	f_1	*g*	g_1	*h*	*i*	*k*	k_1
М-110 Э-12 Э-16 Э-110	54	184±1	100+2	11,5±0,5	162±0,5	161±0,5	76,5±0,5	15±1	45±0,5	153+2	30	30	42	43	M5	M5	22	20

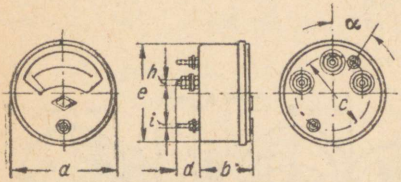


Joon. 55.

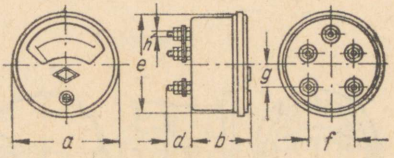


Joon. 56.

Tüüp	Joonis	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*
ПМТ-70	55	76	44	64	10,5	70	40	11,5	M4
ПМ-70	55	76	44	64	10,5	70	40	11,5	M4
МК-55	56	70	32	62	12	55	26	15	M3

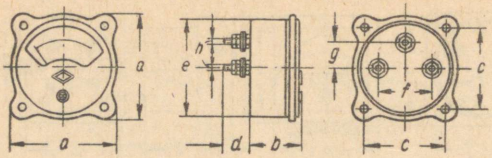


Joon. 57.

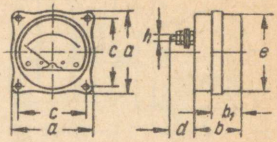


Joon. 58.

Tüüp	Joonis	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*	*i*
M-43 M-44 T-43	57	83	39±1	60±0,2	13	80	—	—	M4	M3
M-53 M-54 T-53	58	63	36,5±1	47±0,2	15,5	60	27±0,2 27±0,2 —	16±0,2 16±0,2 —	M4	—

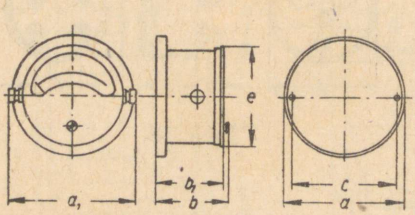


Joon. 59.

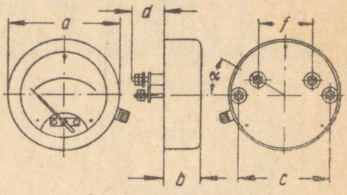


Joon. 60.

Tüüp	Joonis	*a*	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*	b_1
M41	59	83	39,5±1	63±0,2	12	80	—	—	M4	—
M42	59	83	39,5±1	63±0,2	12	80	—	—	M4	—
M51	59	63	36,5±1	47±0,2	11,5	60	27	16	M4	—
M52	59	63	36,5±1	47±0,2	11,5	60	27	16	M4	—
T41	59	83	39,5±1	63±0,2	15	80	—	—	M4	—
T51	59	63	36,5±1	47±0,2	15,5	60	—	—	M4	—
T61	60	42	25	34	12	40	—	—	M3	16

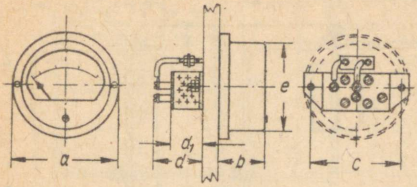


Joon. 61.

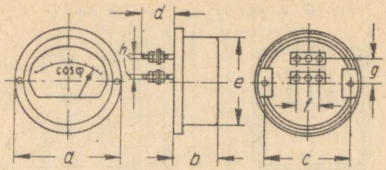


Joon. 62.

Tüüp	Joonis	*a*	a_1	*b*	b_1	*c*	*d*	*e*	*f*	*α*
ТИС	61	170	176	100	94	152	—	146	—	—
ТИР	62	75	—	26	—	67	22	—	34,5	30°

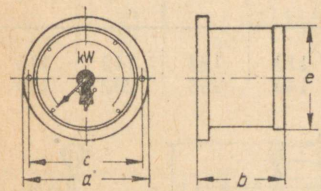


Joon. 63.

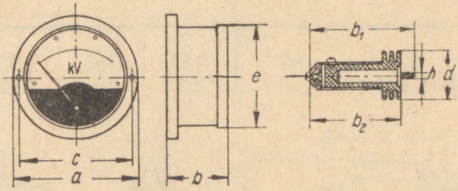


Joon. 64.

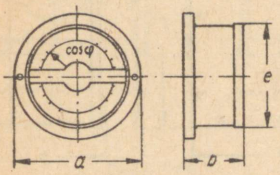
Tüüp	Joonis	*a*	*b*	*c*	*d*	d_1	*e*	*f*	*g*	*h*
ЭНП/3	63	185	75	165+0,8	95	72	165	—	—	—
ЭНФ	64	185	73	165	45	—	165	40	45	M5



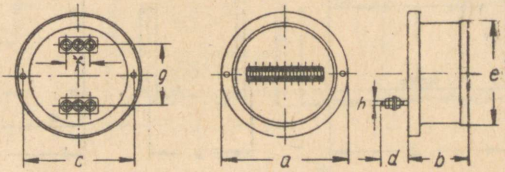
Joon. 65.



Joon. 66.



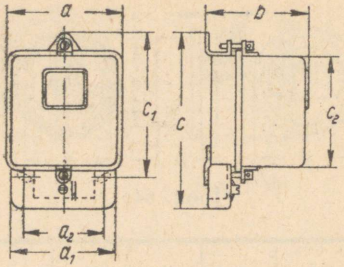
Joon. 67.



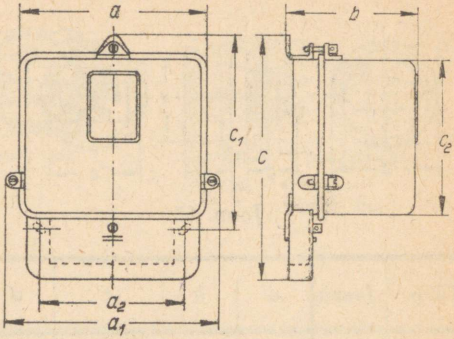
Joon. 68.

Tüüp	Joonis	*a*	*b*	b_1	b_2	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*
ВИО	65	225	147	—	—	208	—	182,5	—	—	—
С*	66	225	95	73	69,5	210+0,5	38	196	—	—	M5
ЭБФ	67	225	97	—	—	208	—	183	40	134	—
ВЧ	68	225	106	—	—	208	36	183	—	—	M5

* Koos kondensaatoriga.

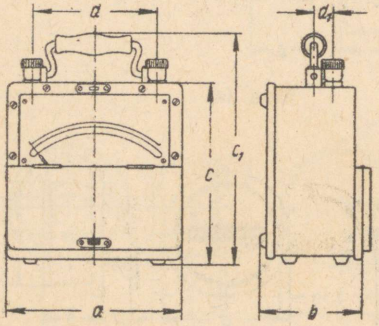


Joon. 69.

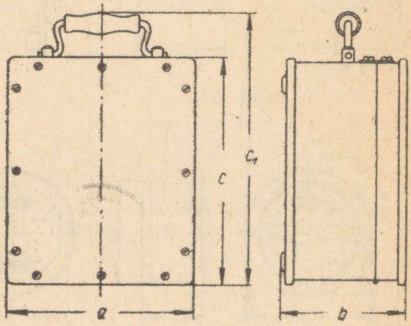


Joon. 70.

Tüüp	Joonis	a	a_1	a_2	b	c	c_1	c_2
Б2	69	126	116	85	112	182	142	115
И, ИР, ИЧ	70	200	211	152	140	255	202	170

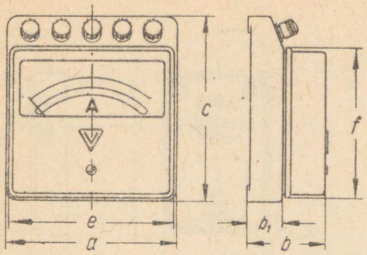


Joon. 71.

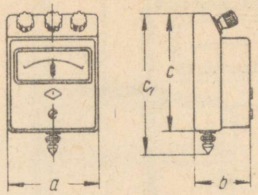


Joon. 72.

Tüüp	Joonis	a	b	c	c_1	d	d_1
2МП МПС ЭП ВЧП	71	187	108	187	240	132	17
МОП/1	72	200	132	240	289	—	—

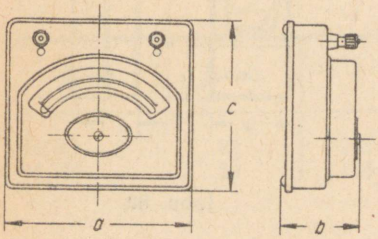


Joon. 73.

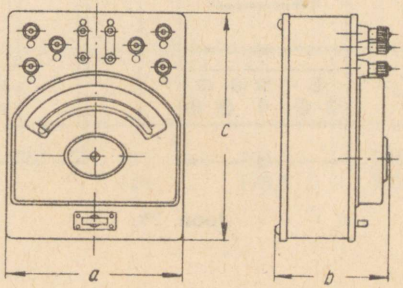


Joon. 74.

Tüüp	Joonis	*a*	*b*	b_1	*c*	c_1	*e*	*f*
M-45	73	113±1,5	51,5±1,5	23,5±1	123±1,5	—	110±1,5	102±1,5
M-55/4	74	60	37±1	—	78	92	—	—

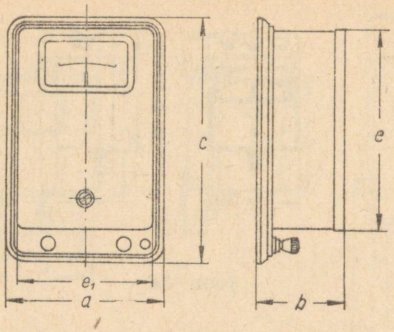


Joon. 75.

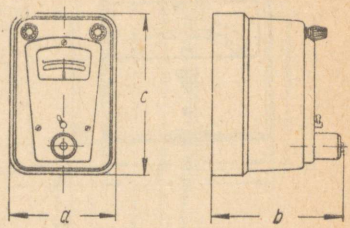


Joon. 76.

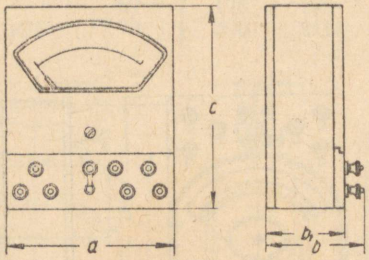
Tüüp	Joonis	*a*	*b*	*c*	Tüüp	Joonis	*a*	*b*	*c*
МПК	75	215	88	195	ЭДК/А ЭДК/В ЭДК	76	207	131	257



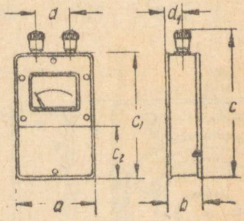
Joon. 77.



Joon. 78.

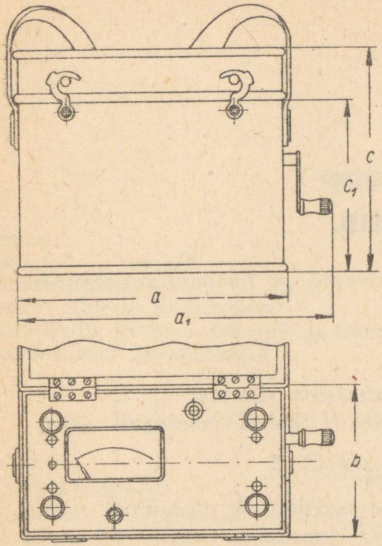


Joon. 79.

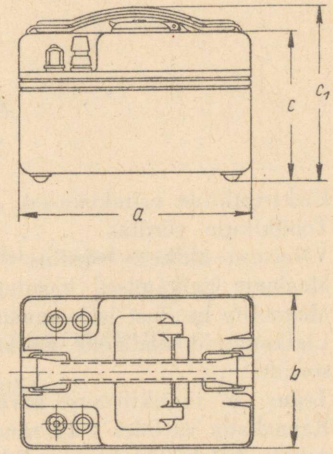


Joon. 80.

Tüüp	Joonis	a	b	b_1	c	c_1	c_2	d	d_1	e	e_1
MO	77	125	82	—	195	—	—	—	—	160	110
ГМП	78	85	107	—	130	—	—	—	—	—	—
МОП/2	79	175	105	85	214	—	—	—	—	—	—
ОК	80	84	37	—	180	157	80	35	16	—	—



Joon. 81.



Joon. 82.

Tüüp	Joonis	a	a_1	b	c	c_1
МПИ	81	248	290	137	205	158
М-1101	82	194	—	129	128,5	148

TABELID.

Lk.

1. Elektrijuhtide eritakistused, erijuhtivused ja temperatuuritegurid 21
2. Tööühikute võrdlus 33
3. Võimsuse ühikute võrdlus 33
4. Masinate ligikaudsed kasutegurid 37
5. Magnetite headust iseloomustavate suuruste väärtusi 68
6. Ligikaudseid andmeid väljatugevuse H kohta mõningail rauasortidel 70
7. Tegur „b“ induktiivsuse arvutamiseks 77
8. Rauaskadu vattides 1 kg raua kohta sageduse 50 p/s puhul . . 82
9. Ainete dielektriku-konstandid ε_r 20° C juures 90
10. Voolu sõltuvus võimsustegurist 103
11. Elektrokeemiline ekvivalent 118
12. Elektrolüütide eritakistus oom/cm-tes 18° C juures 119
13. Läbilöögipinge 125
14. Põhilisi andmeid enamkasutatavate mõõteriistade kohta . . . 204

SISUKORD.

Lk

Eessõna 3
Lühendid ja märgid 6
Matemaatilised märgid 9
Kreeka tähtede hääldamine 9
Mõõtühikute kümnendikosade ja kümnekordsete suuruste märgid . . 9
Skemaatilised leppemärgid 10

A. Esimene osa. **ELEKTRITEOORIA.**

I. Elektri üldmõisted.

1. Elektrilaeng 13
2. Juhid, pooljuhid ja isolaatorid 13
3. Pinge *U*. Elektromotoorne jõud *E*. Volt V 14
4. Elektrivool *J*. Amper A 15
5. Elektrivoolu kaasnähtused 17
6. Vooluliigid 17
7. Elektrienergia allikad 18
8. Alalisvoolu polariteedi määramine 19
9. Takistus *R*. Oom Ω. Juhtivus *G* 20
10. Eritakistus ϱ. Erijuhtivus λ 21
11. Takistuse arvutamine 22
12. Takistuse sõltuvus temperatuurist 23
13. Takistid elektrotehnikas 25
14. Ohmi seadus 26
15. Vastuelektromotoorse jõuga tarbija 29
16. Pingelang juhtmetes 30
17. Võimsus *N*. Vatt W 30
18. Töö *A*. Kilovatt-tund kWh 32
19. Joule'i (džauli) seadus 33
20. Energia 36
21. Kasutegur η 36
22. Tegevtakistusega tarbijate ühendamine 37
23. Tegevtakistusega tarbijad järjestikku-ühenduses 38
24. Tegevtakistusega tarbijad paralleelühenduses 40
25. Tegevtakistusega tarbijad segaühenduses 44
26. Vooluallika (elektrienergia allika) põhiomadused 47
27. Vooluallika elektromotoorne jõud, pingelang ja pinge . . . 48
28. Vooluallikad järjestikku-ühenduses 51
29. Vooluallikad paralleelühenduses 55
30. Vooluallikad segaühenduses 58
31. Kirchhoffi seadused 59

II. Magnetism.

Lk.

32. Magneti põhiomadused 61
33. Magnetväli, magnetjõujooned 62
34. Väljatugevus H. Väljatihedus B. Magnetvoog Φ 62
35. Solenoid. Elektromagnet 63
36. Magnetiline läbitavus μ. Suhteline läbitavus μ_r. Magneetimiskõverad 64
37. Remanents B_r. Koertsitiivjõud H_c. Hüstereesikadu 67
38. Permanentmagnetite kasutamine 67
39. Elektromagnetid tehnikas 68
40. Magnetringi amperkeerdude arvutamine 70

III. Induktsioon.

41. Elektromotoorse jõu indutseerimine 72
42. Kestva voolu saamine 73
43. Omainduktsioon 74
44. Induktiivsus L. Henri H 75
45. Induktiivsuse arvutamine 76
46. Induktiivsuste liitmine 77
47. Vastastikune induktsioon. Vastuinduktiivsus M 78
48. Transformaator 79
49. Sädeinduktor alalisvoolule 80
50. Pöörisvoolud. Rauaskadu 81
51. Liikumise tekitamine 82
52. Juhtmekeerd magnetväljas 83
53. Vastuelektromotoorne jõud. Pöörlemise kiirus 84
54. Vooluga juhtmete vastastikune mõju 85
55. Juhtmete kaasatõmbamine liikuva magnetvälja poolt 85

IV. Elektrostaatika.

56. Elektriväli. Elektrilaeng Q. Kulon C 86
57. Kondensaator 88
58. Kondensaatori mahtuvus C. Farad F 89
59. Dielektriku-konstant ε_r 90
60. Kondensaatorite ühendamine 91
61. Kondensaatori omadused 93
62. Kondensaatorid tehnikas 93

V. Ühefaasine vool.

63. Vahelduvvool 94
64. Sagedus 95
65. Efektiivpinge ja efektiivvool 95
66. Tegevtakistus vahelduvvoolu vooluringis 96
67. Induktiivtakistus vahelduvvoolu vooluringis 97
68. Mahtuvustakistus vahelduvvoolu vooluringis 98
69. Näivtakistus. Ebatakistus 99
70. Vahelduvvoolu võimsus 100
71. Võimsustegur 101

Lk.

72. Vahelduvvoolu töö (energia) 102
73. Diagrammvektorid 102
74. Eba- (reaktiiv-) võimsus 103
75. Võnkering 103
76. Pingeresonants 104
77. Vooluresonants 107

VI. Mitmefaasised voolud.

78. Kahefaasine vool 109
79. Kolmefaasine vool — keerdvool 110
80. Keerdvoolu võimsus ja töö (energia) 112
81. Keerdväli 113
82. Keerdvälja tekitamine ühefaasise vooluga 114
83. Nihkeväli 115

VII. Elektrokeemia.

84. Elektrolüüs 115
85. Elektrolüüsi seadused 117
86. Elektrolüüdi eritakistus 118
87. Elektrolüüs kuumades sulamites 119
88. Polarisatsioon 119
89. Elektrolüüs tehnikas 120
90. Elektriline süntees 120
91. Elektrielemendid 120
92. Elektriakumulaatorid 123

VIII. Elektrivool dielektrikus.

93. Elektrivool gaasides ja aurudes 124
94. Elektrivool normaalrõhuga gaasides 125
95. Elektrivool hõredas gaasis 126
96. Elektrivool vaakumis 127
97. Elektri läbilöök dielektrikust 128

IX. Muutuvad voolud.

98. Üldmõisted 129
99. Vooluring ilma mahtuvuseta 129
100. Induktiivsusega ja mahtuvusega vooluring 130
101. Elektri levimine mööda pikki juhtmeid 131
102. Elektromagnetilised lained 132
103. Häirivvoolud 132

B. Teine osa. MÕÕTMISTEHNIKA.

I. Elektrimõõtmisest üldiselt.

1. Mõõtmise eesmärk 134
2. Mõõtmisviisid 134
3. Mõõteriistade liigid 134

II. Ampermeetrid.

Lk.

4. Ülesanne 133
5. Pehmeraud-ampermeeter 136
6. Pöördpool-ampermeeter 137
7. Pöördpool-ampermeeter alaldajaga 138
8. Pöördpool-ampermeeter termomuundajaga 138
9. Kuumustraat-ampermeeter 138
10. Bimetall-ampermeeter 138
11. Elektrodünaamiline ampermeeter 139
12. Induktsioon-ampermeeter 139
13. Polariseeritud pehmeraud-ampermeeter 139
14. Mõõtmise täpsus 140
15. Liigkoormatavus 140
16. Isolatsioon ja pinge 140
17. Mõõtesüsteemi laagrid 140
18. Summuti 141
19. Osut ja astmik (skaala) 141
20. Väliskesta (kere, korpuse) ehitus 141
21. Suure voolu mõõtmine 142
22. Sunt 142
23. Voolutransformaator 143
24. Mõõtepiirkond 144
25. Ampermeetrid eriotstarveteks 144
26. Normimine 145

III. Voltmeetrid.

27. Ülesanne 146
28. Pehmeraud-voltmeeter 146
29. Pöördpool-voltmeeter 146
30. Kuumustraat-, elektrodünaamiline ja induktsioon-voltmeeter 147
31. Elektrostaatiline voltmeeter 147
32. Ehitus ja täpsus 147
33. Mõõtepiirkond 147

IV. Vattmeeter.

34. Vattmeetri ülesanne 147
35. Dünaamiline vattmeeter 148
36. Induktsioon-vattmeeter 149
37. Vattmeetri ühendamine võrku 149
38. Ehitus 150
39. Mõõteulatus 150
40. Keerdvoolu võimsuse mõõtmine 150
41. Võimsuse mõõtmine kWh-arvesti abil 152

V. Takistuste mõõtmine.

A. Mõõtmisviisid.

42. Volt- ja ampermeetriga 152
43. Normaaltakistuse ja voltmeetriga 153
44. Normaaltakistuse ja ampermeetriga 153

Lk.

45. Wheatstone'i (loe: uitstoni) sild 154
46. Thomson'i sild 155
47. Oommeeter ristpooliga 156

B. Isolatsioonitakistuse mõõtmine.

48. Isolatsioonitakistus 156
49. Isolatsiooni kontroll maandatud voltmeetriga 157
50. Isolatsioonitakistuse mõõtmine voltmeetriga 158
51. Pöördpool-oommeeter üldiselt 159
52. Oommeeter patareiga 159
53. Oommeeter väntinduktoriga (meger, megoommeeter) 159
54. Oommeeter vibraator-muundajaga 161
55. Juhtnöörid isolatsioonitakistuse mõõtmiseks 162
56. Maandustakistuse mõõtmine 164

C. Isolatsioonirikete leidmine.

57. Vea leidmine siseinstallatsioonides 164
58. Vea leidmine õhuvõrgus 165
59. Vea leidmine kaabelliinis 165
60. Lühis kaabelliinis 166

VI. Energia arvestamine.

A. Sissejuhatus.

61. Arvestite liigid ja üldnõuded 167
62. Numeraator 168
63. Vool. Pinge. Liigkoormatavus 169
64. Täpsus. Viga 169
65. Laagrid 171

B. Ühefaasised vahelduvvoolu arvestid.

66. Töötamisviis 171
67. Ajursüsteemi ehitus 172
68. Kasutamine ja ühendamine võrku 173
69. Tehnilised andmed ja omadused 173

C. Keerdvoolu arvestid.

70. Ehitus ja ühendamine võrku 174
71. Keerdvoolu mõõtmine ühefaasiste arvestitega 176

D. Alalisvoolu ampertunni arvestid.

72. Töötamisviis 177
73. Kasutamine ja ühendamine võrku 178
74. Tehnilised andmed 178

E. Alalisvoolu vatt-tunni arvestid.

75. Ehitus ja töötamisviis 179
76. Kasutamine ja ühendamine võrku 179
77. Tehnilised andmed ja omadused 180

F. Eriehitusega alalisvoolu arvestid.

Lk.

78. Elektrolüütiline ampertunni arvesti 181
79. Ostsilleeriv vatt-tunni arvesti 181
80. Võnke- (pendel-) arvesti 181

G. Arvestid eriotstarveteks ja eritariifidele.

81. Mitmetariifilised arvestid 182
82. Rabatt-arvestid 182
83. Tippkoormuse arvesti 182
84. Arvesti maksimaalse koormuse näitajaga 183
85. Arvesti vahelduvale energiasuunale 183
86. Energiatarvituse kestuse arvesti (aja-arvesti) 183
87. Arvestid rahakasseerimise automaadiga 183
88. Näiv- ja ebavõimsuse arvestid 183
89. Voolu piirajad 184

H. Arvesti käsitus.

90. Arvesti silt 184
91. Arvesti suuruse valik 184
92. Arvesti monteerimine 184
93. Korrastus 184
94. Normimine 185
95. Arvestite vigu 187

VII. Eriotstarbelised mõõtmised.

96. Sageduse mõõtmine 188
97. Võimsusteguri (cos φ) mõõtmine 189
98. Faaside järjestuse määramine 190
99. Pinge olemasolu määramine proovilambiga 191

VIII. Mõõteriistade pealkirjad ja märgid.

100. Vajalikud pealkirjad 192
101. Märgid 192
102. Mõõteriista tellimine 194

IX. Mõõtmine kõrgepinge-seadmeis.

103. Pinge mõõtmine 194
104. Pingetransformaator 195
105. Voolu mõõtmine 196
106. Voolutransformaator 196
107. Võimsuse ja energia mõõtmine 197
108. Keerdvoolu mõõtmine 198
109. Maandamine 199
110. Täpsus 199
111. Mõõteriistade energiatarvitus 200
112. Energia mõõtmine transformaatori alajaamas 200
113. Mõõtetrafode pealkirjad 201
114. Mõõteriistade kohta kehtivad üldised tehnilised tingimused . . 201
115. Andmeid NSV Liidu tööstustes toodetavate mõõteriistade kohta 202

Vastutav toimetaja J. Kroon.

Ladumisele antud 23. X 1948. Trükkimisele antud 3. III 1949. Trükiarv 5200. Paber 61×86, 1/16. Trükipoognaid 14,75. Trükitähti trükipoognas 37,679. Arvutuspoognaid 13,9. MB-02211. Trükikoda „Tartu Kommunist", Tartu, Ülikooli 21/23. Tellimuse nr. 2376.

На эстонском языке.

А. Пыдрус. Теория электричества и техника измерений.

RBL. 5.—

A
17669
6385803

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00638580 3