Ilver 04/1154

H. Freymuth

Elektrimõõtmised...

1940

Evor 09/1154
T. Tehnikaülikooli
Kaubateaduse Instituut

Prof. H. Freymuth

E 12643

E L E K T R I M Õ Õ T M I S E D

J A M Õ Õ T E R I I S T A D

KAUBATEADUSE INSTITUUT
TARTU ÜLIKOOL
W. 698

Tallinn, 1940.a.

Fror 04/1154

EB 87
1776

ENSV Teaduste Akadeemia
Keskraamatukogu

1965

Eessõna

Käesolev väljaanne on koostatud minu loengute järele, mis peetud Tallinna Tehnikaülikoolis 1939.a. kevadsemestril mehaanikaosakonna üliõpilasile ja Sv. Tehnikakoolis 1939.a. sügissemestril elektrotehnika klassi õpilasile teemal: "Elektrimõõtmised ja mõõteriistad." Väljaandes on püütud kokkuvõtlikult kirjeldada elektri tugevvoolu mõõtmiste teooriat ja tugevvoolu mõõteriistade töötamispõhimõtteid. Ühtlasi on väljaandesse koondatud vajalikke praktilisi andmeid mõõteriistade kohta. Erapooletuse mõttes on püütud vältida firmade nimetamist ja kriitika toomist üksikute firmade mõõteriistade kohta.

Avaldan tänu Sv. Tehnikakooli kolmanda lennu elektrotehnika klassi õpilasile, kes tähelepanuga jälgisid minu loenguid ja võimaldasid kogutud märkmetega käesoleva väljaande ilmumist. Ühtlasi tänan üliõpilast Arnold Krooni, kes korraldas selle töö joonised.

H. Freymuth

elektrotehnika professor.

Tallinn, märtsis 1940.a.

Andmeid kirjanduse kohta elektrimõõtmiste ja mööteriistade alal.

1. Starkstrommesstechnik. Prof.G.Prion.1933.a.
2. Messungen an elektrischen Maschinen.Ins.G.Jahn.1925.a.
3. Die Technik Elektrischer Messgeräte.Prof.G.Keinath. 1928.a.
4. Elektrische Messgeräte und Messeinrichtungen. A.Palm. 1937.a.
5. Anleitungen zum Arbeiten im elektrotechnischen Laboratorium.E.Orlich.1934.a.
6. Elektrotechnische Messkunde. Prof.A.Linker. 1932.a.
7. Messtechnische Übungen der Elektrotechnik.Ins.K.Gruhn. 1927.a.
8. Messgeräte im Industriebetrieb. G.Wünsch.1936.a.
9. Die Prüfung der Elektrizitäts-Zähler.Dr.K.Schmiedel. 1924.a.
10. Elektrotechnische Messinstrumente. Ins.K.Gruhn.1923.a.
11. Prüfordnung für elektrische Messgeräte P.T.R. ametlik väljaanne 1936.a.
12. Die Messwandler. Dr.J.Goldstein. 1928.a.
13. Wirkungsweise der Motorzähler und Messwandler. Dr.J. Möllinger. 1925.a.
14. Üldelektrotehnika. Prof.O.Reinvaldt. 1928.a.
15. Les mesures en haute fréquence.H.Armagnat et L.Brillouin 1928.a.
16. Mesures electriques. Prof.L.Barbillion.1921.a.
17. Mesures electriques. Ins.W.Skirl.1931.a.
18. Transformateurs de mesure et relais de protection. Ins.C.Bresson.1932.a.
19. Memento delectrotehnique. Tome I Mesures. 1932.a.
20. Elektrotehnitšeskie ismerenia i priborõ. Dotsent V.S. Popov.1938.a.
21. V.D.E. normid 1939.a.
22. ETZ Elektrotechnische Zeitschrift.
23. REG Révue generale d'Electricite.
24. SSW Siemensi ajakirjad.
25. AEG ajakirjad.

Andmeid elektrimõõtmiste ja mõõteriistade määruste kohta

Senini ei ole Eestis koostatud mingisuguseid määrusi ega norme elektrimõõtmiste ja mõõteriistade kohta. Seepärast asja uudsuse tõttu tuleks paratamatult kasutada mõne võõrriigi rahvusvaheliselt tunnustatud norme. Meie oludele kõige sobivamaiks on osutunud Saksa riigis kehtivad normid, mis välja antud Saksa Elektrikute Ühingu poolt n.n. VDE normide nimetuse all.

Elektrimõõtmisi ja mõõteriistu käsitavad järgmised VDE normide peatükid:

VDE 0410/1938. - Mõõteriistad.
VDE 0414/1932. - Voolumuutjad.
VDE 0418/1932. - Elektri vooluluge jad.
VDE 0425/1937. - Pingeotsijad.
VDE 0442/1933. - Kõrgepinge proovid vahelduvvooluga (üle- ja läbilöögi katsed).
VDE 0446/1929. - Tugevvoolu isolaatorite proovimine, mille nimipinge üle 1000 V.
VDE 0447/1926. - Kõrgepinge isolaatorite proovimine tõukepingetega.
VDE 0450/1933. - Tugevvoolu seadmete ja nende osade proovimine tõukepingetega.

Peale selle käsitavad VDE normid järgmisi alasi:

VDE 0100-0176 - Tugevvoolu seadmeid.
VDE 0201-0265 - Tugevvoolu juhtmeid.
VDE 0302/1924.
VDE 0303/1929.
VDE 0305/1932. - Isoleerainete omaduste proovimist.
VDE 0310-0370 - Isoleeraineid.

VDE 0522/1914. - Raudpleki proovimist.
VDE 0530-0570 - Elektrimasinaid, trafosid, alaldajaid ja kondensaatoreid.
VDE 0601-0675 - Lüli- ja kõrgepinge-seadmeid.
VDE 0710-0759 - Valgustusarmatuure, soojusaparaate, tööriistu ja arstiaparaate.
VDE 0800-0874 - Nõrkvoolu seadmeid.
VDE 0010-0011 - DIN VDE Normlehti.

-- o 0 o --

S I S S E J U H A T U S.

Vahenditult mõõdetakse:

1. voolutugevust - ampermeetriga
2. pinget - voltmeetriga
3. võimsust - vattmeetriga
4. nihkenurka - cos φ mõõtjaga
5. sagedust - sagedusmõõtjaga
6. tööd - vooluluge jaga.

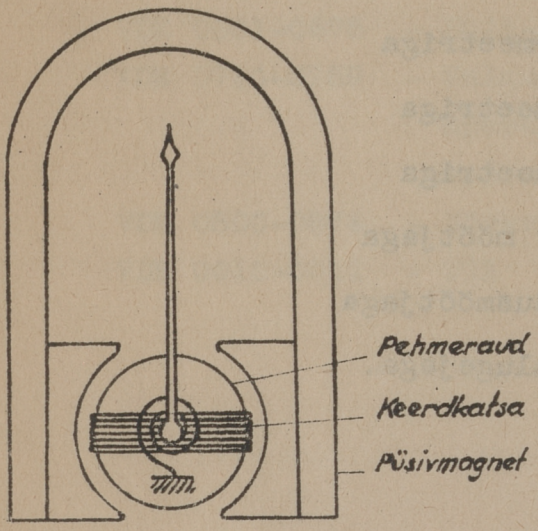
Kaudselt mõõdetakse:

1. takistust - } volt- ja ampermeetriga
2. võimsust - }
3. cos φ - volt-, amper- ja vattmeetriga
4. omainduktsioonitegurit - } volt-, amper- ja vattmeetriga.
5. mahtuvust - }

-- o 0 o --

1. MÕÕTERIISTADE TÖÖTAMISE PÕHIMÕTED.

A. K e e r d k a t s a r i i s t.



Joon. 1.

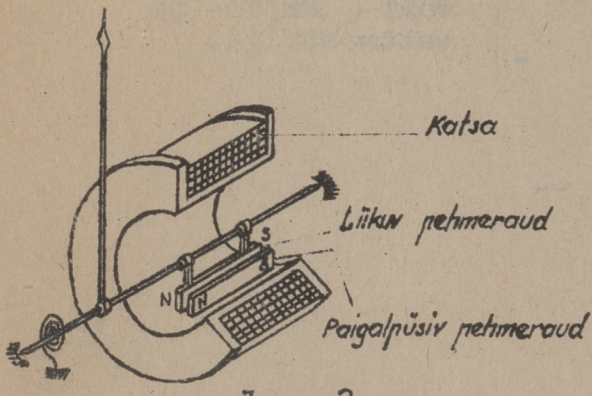
Töötamispõhimõte: vooluall oleva keerdkatsa pööramine terasmagneti magnetväljas. Katsa pöördub vasaku käe reegliga määratavas suunas. Vastukeerdmomendi tekitab vedru.

Töötab ainult alalisvooluga (—).

Lähemalt lhk.57.

B. P e h m e r a u a r i i s t

(keerdraua- ehk elektromagnetiline riist).



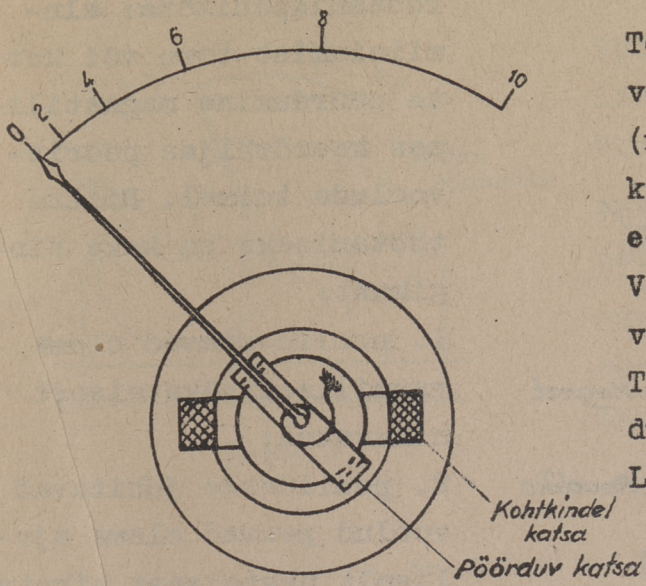
Joon.2.

Töötamispõhimõte: vooluall oleva katsa poolt kahe ühenimeliselt magnetiseeritud pehmerauatüki teineteisest eemaletõukamine. Vastukeerdmomendi tekitab vedru.

Töötab alalis- ja vahelduvvooluga (≃).

Lähemalt lhk.71.

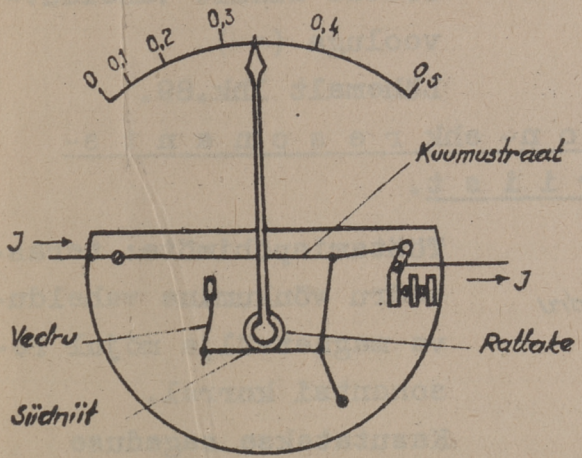
C. Elektrodünaamiline riist.



Joon. 3.

Töötamispõhimõte: kahe vooluall oleva katsa (milledest üks on kohtkindel ja teine pöörduv) eemaletõukamine.
Vastukeerdmomendi tekitab vedru.
Töötab alalis- ja vahelduvvooluga (≃).
Lähemalt lhk.74.

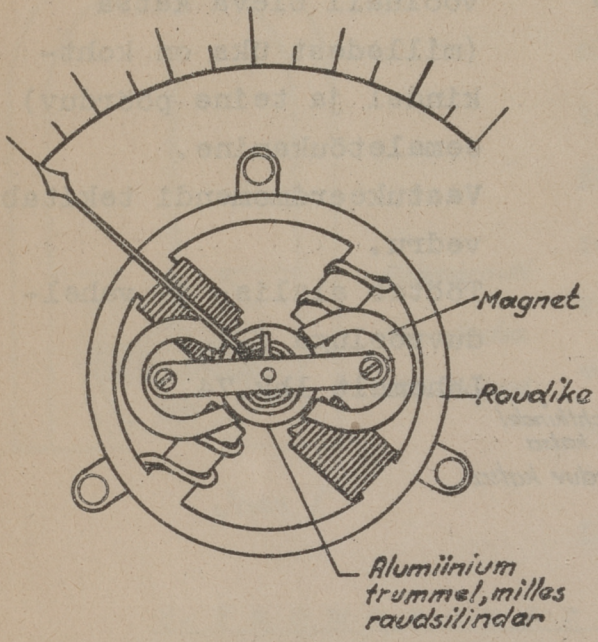
D. Kuumustraatriist.



Joon. 4.

Töötamispõhimõte: vooluall oleva traadi (plaatiniridium) termiline paisumine.
Töötab alalis- ja vahelduvvooluga (≃).
Lähemalt lhk.85.

E. K e e r d v ä l j a-, i n d u k t s i o o n- ehk F e r r a r i s r i i s t.



Joon. 5.

Töötamispõhimõte: alumiiniumist toru või ketta pöördumine magnetilises keerdväljas pöörisvoolude toimel. Riista töötamiseks on kaks tingimust:

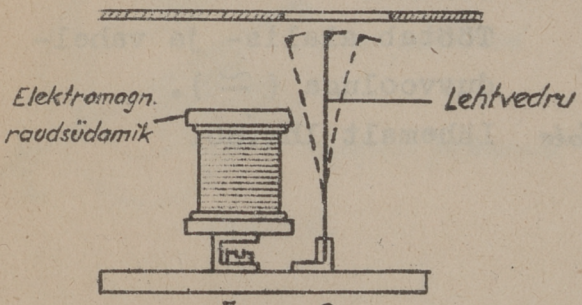
1. poolid peavad olema ruumiliselt üksteisest nihutatud;
2. poolidesse juhitavad voolud peavad olema ajaliselt üksteisest nihutatud teatud nurga võrra.

Vastukeerdmomendi tekitab vedru.

Töötab ainult vahelduvvooluga (~).

Lähemalt lhk.89.

F. V i b r a t s i o o n- ehk r e s o n a n t s- r i i s t.

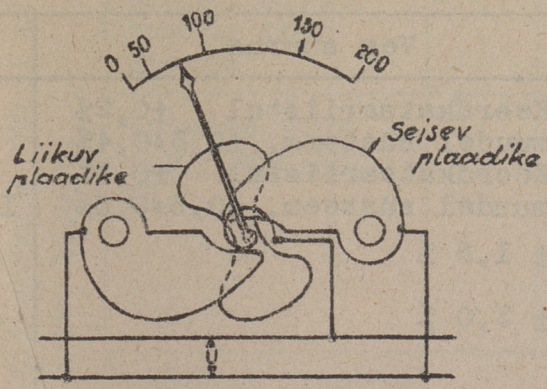


Joon. 6.

Töötamispõhimõte: terasvedru võnkumine vahelduva magnetvälja mõjul resonantsi korral.

Kasutatakse sageduse mõõtmiseks.

G. E l e k t r o s t a a t i l i n e r i i s t.



Joon. 7.

Töötamispõhimõte: elektriliselt laetud plaatide üksteisele külgetõmbumine.

Vastukeerdmomendi tekitab vedru.

Töötab alalis- ja vahelduvvooluga (≃).
Lähemalt lhk.94.

-- o O o --

2. MÕÕTERIISTADE LUBATUD KÕRVALEKALDUMISE PIIRID.

Klassid ehk täpsusliigid normide järgi		Vea iseloom	Klass	Vea suurus	
	enne 1.okt.1939.	Lubatud viga protsentides lõpphälvega võrreldes	E F G H	Keerdkatsariistal ±0,2% muudel süsteem. ±0,3÷0,4% Keerdkatsariistal ±0,3% muudel süsteem. ±0,5÷0,6% ± 1,5 % ± 3,0 %	I
	alates 1. oktoobrist 1939.a.	Lubatud viga protsentides lõpphälvega võrreldes	0,2 0,5 1,0 1,5 2,5	±0,2 % ±0,5 % ±1,0 % ±1,5 % ±2,5 %	II
		Lubatud lisaviga temperatuuri muutusel ±10°C (Normaaltemper. harilikult +20° C)	0,2 0,5 1,0 1,5 2,5	±0,2 % ±0,5 % ±1,0 % ±1,5 % ±2,5 %	III
		Lubatud lisaviga perioodide muutusel ±10% võrra		Kui mõõteriistal on märgitud kindel perioodide arv, siis ei tohi lisaviga suurem olla arvust, mis märgitud tabelis III. Kui mõõteriistal ei ole märgitud perioodide arvu ja ta kuulub 0,2 klassi, siis ei tohi veaprotsent 15÷60 per/sek. vahel ületada ± 0,1 %.	IV
		Lubatud lisaviga pinge muutusel ± 20% võrra		Lisaviga ei tohi suurem olla arvust, mis tähendatud tabelis III	V

	Vea iseloom	Klass	Vea suurus	
Klassid ehk täpsusliigid normide järgi alates 1.oktoobrist 1939.a.	Lubatud lisaviga <u>võõra välja</u> puhul, mille suurus on 5 gaussi		Keerdkatsariistal ei tohi lisaviga ületada ±1,5 %. Teise ehitusviisiga mõõteriistadel ± 3 %.	VI
	Lubatud viga <u>cos φ muutumisel</u>		Nimivoolu, nimipinge ning induktiivse nihkenurga $\varphi = 90°$ juures ei tohi wattmeetri osuti seis rohkem kõrvale kalduda nullseisust kui lubatud tabelis III.	VII
	Lubatud lisaviga <u>asendi muutusel ± 5° võrra</u>		Kui mõõteriistal on asend märgitud, siis ei tohi lisaviga ületada tabelis III tähendatud suurusi.	VIII
	Lubatud <u>viga</u> šuntidele ja eeltakistustele, kui temperatuur on piirides +10° ÷+30°C ning koormus nulli ja nimikoormuse vahel	0,1 0,2 0,5	±0,1 % ±0,2 % ±0,5 % } Vea % takistusele tähendatud suuruse ja mõõdetud suuruse vahel. Kehtiv šuntide ja eeltakistuste kohta, mis paigutatavad mõõteriistast eraldi kasti ja on seega vahetatavad.	IX

<u>Märkus</u>: Tabelis I÷VIII tähendatud vea piirid on maksvad mõõteriistade kohta, kaasa arvatud otseselt nende juurde kuuluvad šundid või eeltakistused.

<u>Mõõteriistade vead</u> määratakse osuti lõpphälve järgi. Ristkatsariistade ja vibratsiooni riistade juures määratakse viga mõõdetava suuruse järgi.

<u>Näide:</u> Ampermeetri mõõtepiir on 50 A. Mõõdetakse 20 A, kusjuures viga on + 0,2 A. Seega on viga mõõdetava suurusega võrreldes $\frac{0,2 \cdot 100}{20} = 0,1$ %, kuna lõpphälve järgi (50 A) on viga $\frac{0,2 \cdot 100}{50} = 0,4$ %. Viimane arv näitab mõõteriista vea suurust.

3. MÕÕTERIISTADE MÄRGID JA PROOVIPINGED.

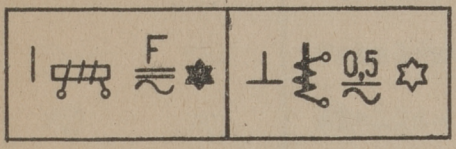
Märk enne 1. okt. 1939.	Märk alates 1. okt. 1939.	T ä h e n d u s
⎓	—	Alalisvool.
∿	∿	Vahelduvvool.
⎓	≂	Alalis- ja vahelduvvool.
≋	≋	Kolmefaasiline mõõteriist varustatud ühe mõõtesüsteemiga (ühtlaselt koormatud faasid).
≋	≋	Kolmefaasiline mõõteriist varustatud kahe mõõtesüsteemiga (ebaühtlaselt koormatud faasid).
≋	≋	Kolmefaasiline mõõteriist varustatud kolme mõõtesüsteemiga (süsteem:3 faasi ja null).
∩	∩	Keerdkatsariist.
∩	∩	Keerdkatsariist varustatud ristkatsaga.
	∩	Keerdkatsariist varustatud alaldajaga.
		Pehmerauariist.
		Elektrodünaamiline riist.
		Elektrodünaamiline riist varustatud ristkatsaga.
		Elektrodünaamiline riist raudkestas.
		Elektrodünaamiline riist varustatud ristkatsaga raudkestas.
		Keerdväljariist.

Märk enne 1.okt.1939	Märk alates 1.okt.1939	Tähendus
		Kuumustraatriist.
		Elektrostaatiline riist.
		Vibratsioonriist.
		Termomuundaja.
		Termomuundaja - isoleeritud.
		Nulli seadmine.
		Vertikaalasend.
		Horisontaalasend.
		Kallakasend.

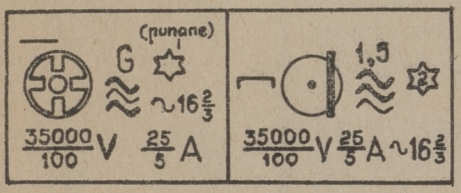
Mõõtarilistade proovipinged ja märgid normide järgi.		Nimipinge U_n		Proovipinge U_p		Min. kaugus voolujuhi ja kere vahel millimeetrit	
alates 1.okt. 1939.a.	enne 1.okt. 1939.a.						
	(must)	kuni	40 V	500 V			1
	(pruun)	41 +	100 V	1000 V			3
	(punane)	101 +	650 V	2000 V			5
	(sinine)	651 +	900 V	3000 V			8
	(roheline)	901 +	1500 V	5000 V			12
ilma arvuta		kuni	40 V		500 V		
arvuga 2		40+	650 V		2000 V		
" " 3		650+	1000 V		3000 V		
" " 5		1000+	1500 V		5000 V		
" " 10		1500+	3000 V		10000 V		
" " 20		3000+	6000 V		20000 V		
" " 30		6000+	10000 V		30000 V		
" " 50		10000+	15000 V		50000 V		
" U_p kV		üle	15000 V		2,2 U_n+20000		

Märkus: Minimaalne kaugus voolujuhtme ja kere vahel on normide järgi enne 1.okt.1939.a.

Näited:



Vertikaalselt ülesseatav pehmerauariist alalis- ja vahelduvvoolule, proovipinge 500 V, nimipinge kuni 40 V, täpsusliik 0,5 ehk F (enne 1.okt.1939.a.).



Keerdvälja vattmeeter mitteühtlasele koormusele (kahe mõõtesüsteemiga) 16⅔ per./sek.; tarvitamiseks horisontaalasendis; ühenduses pingetrafoga $\frac{35000}{100}$ V ja voolutrafoga $\frac{25}{5}$ A; proovipinge 2000 V; täpsusliik 1,5 (enne 1.okt.1939.a. normide järgi täpsusliik G).

4. MÕÕTERIISTADE VÄLINE EHITUSVIIS.

Mõõteriistade väline ehitusviis on kohandatud nende tarvidusotstarbeile. Tarvidusotstarvete järgi võiks mõõteriistu liigitada:

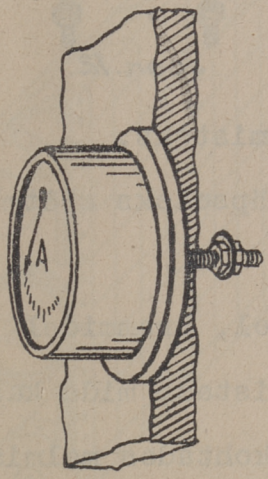
A. Lülikilbi riistad.

a) Pealeehitatavad: 1.läbivate poltidega,
2.eestpoolt ühendatavate poltidega.

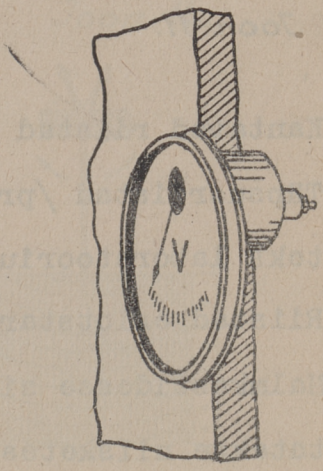
b) Sisseehitatavad.

Lülikilbi mõõteriistu tarvitatakse enamasti ümmarakujulisi. Ehitatakse läbimõõdus 60÷700 mm. Tarvitatavam suurus on 135 mm ja 185÷250 mm. Näitena on toodud (joon.10) 225 mm mõõteriista mõõtjoonis.

Erijuhtudel kasutatakse ka tasapinnalisi ja kumeraid mõõteriistu.

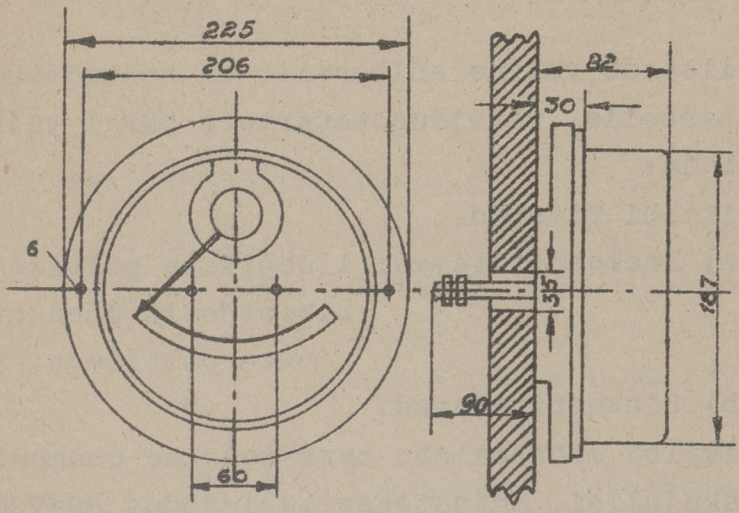


Ampermeeter läbivate poltidega.
Joon.8.

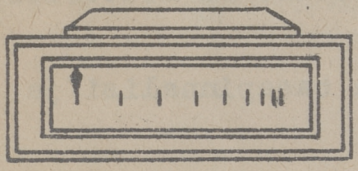


Sisseehitatav voltmeeter.
Joon.9.

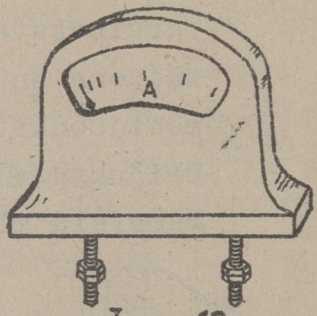
Eesti Kunstiakadeemia Raamatukogu



Joon. 10.



Joon. 11.



Joon. 12.

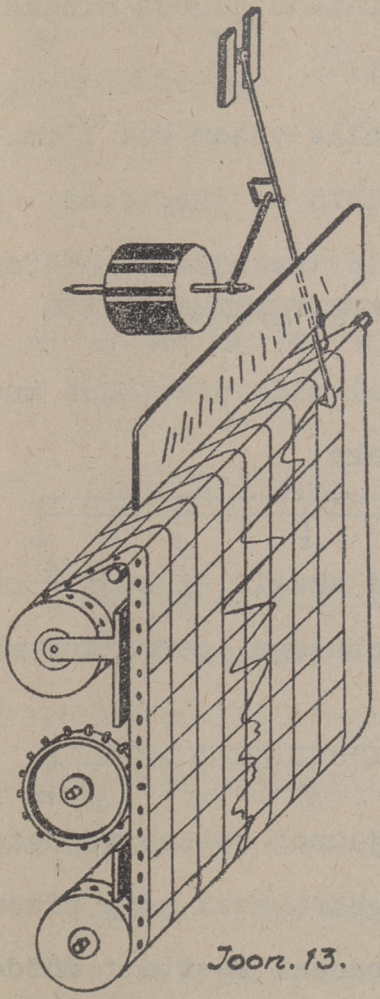
B. Kantavad riistad - kontrollmõõtmisteks.

C. Täpsusriistad /pretsisioon/ - täpseteks mõõtmisteks laboratooriumides.

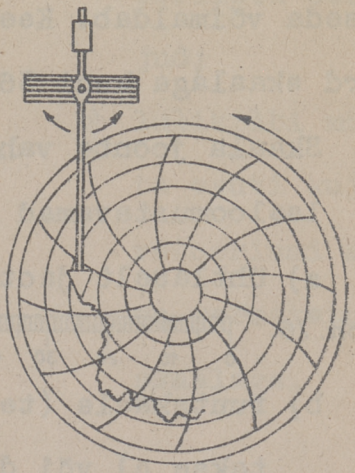
D. Riistad eriotstarveteks - autodel, trammidel jne.

E. Malmkastidesse sisseehitatud riistad, mida kasutatakse niisketes ja tolmustes kohtades malmist voolujaotusseadmetes /joon.12/.

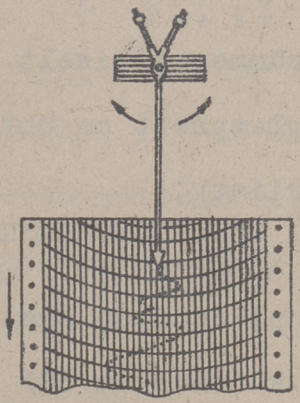
F. Registreerivad riistad - ehitatakse lülikilbi ja kantavate riistadena. Nad on raskepärasemad ja ebatäpsemad. Mõõtemehhanismiga ühenduses olev osuti on varustatud kirjutus- või punktiirabinõuga mis mõõdetava suuruse ülestähendab aja funktsioonina.



Joon. 13.



Joon. 14.



Joon. 15.

5. MÕÕTERIISTADE SKAALAD JA OSUTID.

Mõõteriistade skaalad valmistatakse harilikult kas tsingist, vasest, alumiiniumist või kõvast paberist, mis kaetud lakiga või valge paberiga.

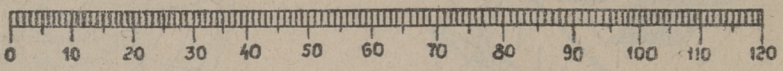
Skaala ulatus on normaalselt vähemalt 90 kraadi, kuid ehitatakse ka skaalasid ulatusega kuni 270 kraadi, kui hälve seda võimaldab. Keerdväljariistade juures minnakse mõnikord skaalaga kuni 360 kraadini.

Skaala joonte vahe ei või olla vähem kui 1 mm.

Iseloomustavamad skaala tüübid on järgmised:

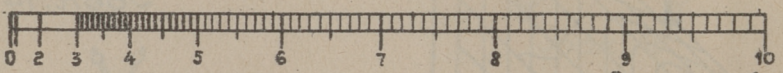
a) ühtlaselt jaotatud skaala (keerdkatsa mõõteriist

Joon. 16.



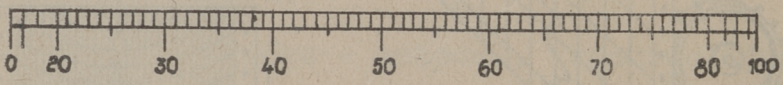
b) ruutskaala (teoreetiline) mida praktikas muudetakse c) või d) kujuliseks;

Joon. 17.



c) sümmeetriliselt jaotatud skaala: $\frac{1}{5}$ kuni $\frac{4}{5}$ mõõteulatusest on ühtlase jaotusega (pehmeraua mõõteriist);

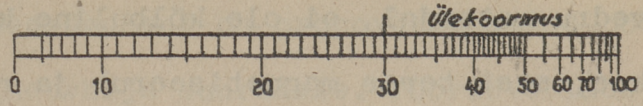
Joon. 18.



d) pikendatud skaala, kusjuures kestev mõõdetav koormus on 30% skaala väärtusest ning pikendatu osa küünib kuni 3,3 kordseni kestvast mõõdetava koormusest (pehmeraua mõõteriist - kasutatakse

peamiselt mootori voolutugevuse mõõtmisel).

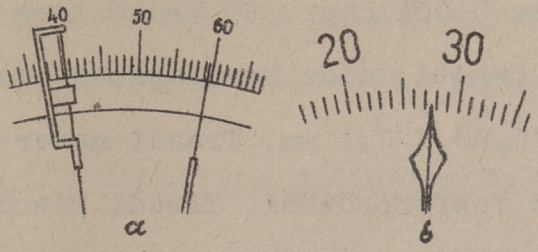
Joon. 19.



Osutid on mitmesuguse kujuga. Allpool on toodud:

a) laboratooriumi mõõteriista osuti kujud;

b) lülikilbi mõõteriista osuti kuju. Laboratooriumi mõõteriist on varustatud peegelskaalaga.



Joon. 20.

6. MEHAANILISED ÜLDNÕUDED MÕÕTERIISTADE KOHTA.

Mõõteriistade keerdmomendid. Osutiga mõõteriista minimaalne keerdmoment normaalkoormuse juures on 0,001 cmgr.
Osutiga mõõteriista normaal keerdmoment on 0,1 - 1,0 "
Registreeriva mõõteriista normaal-keerdmoment on 20,0 "
Voolulugejate normaal keerdmoment on ..... 5,0 "

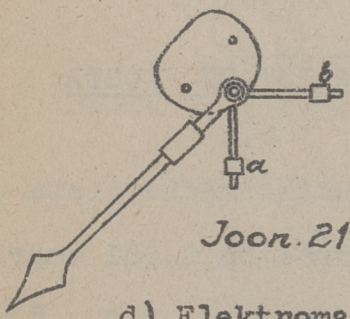
Vastukeerdmomendina kasutatakse:

a) Spiraalvedru, mis peab olema väga ühtlane. Spiraalvedru materjalina kasutatakse fosforpronksi, uushõbe-

dat, vaske ja hõbedat siliitsiumi lisandusega. Teras, kui kõige parem vedru materjal, ei ole kõlbuline kasutamiseks elektrotehnikas, sest teras magnetiseerub ja roostetab. Spiraalvedru keerdmoment on proportsionaalne hälvele. Vedrude arvutus leidub Dr. G. Keinath'i teoses.

b) Riputustraati, peegelgalvanomeetrite juures, kui vastukeerdmoment peab olema ca 0,001 cmgr. 90 kraadilise hälve juures. Kõige peenemat traati, mida kasutatakse peegelgalvanomeetrite juures on 0,03 X 0,1 mm. Traadi materjalina kasutatakse harilikult fosforpronksi. Traadi keerdmoment on proportsionaalne hälvele.

c) Vastukaalu, hälvete puhul kuni 90 kraadi (joon.21)



Joon.21.

Raskus a on keerdmomendi seadmiseks. Raskus b on tasakaalu seadmiseks.

d) Elektromagnetilist vastujõudu, kui on tegemist ristkatsariistaga s.o. ühe katsa asemel kasutatakse mõõteriistas risti asetatud kahte katsat, millest üks katsa töötab teisele vastu kuni saavutatud tasakaal.

e) Alumiiniumist ketast, mis liigub püsivmagnetväl-

jas (vaata joon.24). Metallkettas indutseeritakse pöörisvoolud. Vastukeerdmoment on proportsionaalne pöörisvoolude ja püsivmagnetvälja suurusele. Pöörisvoolude suurus on omakorda proportsionaalne ketta tiirude arvule sekundis. Seega vastukeerdmoment on proportsionaalne ketta tiirude arvule sekundis tingimusel, kui püsivmagnetvälja ja ketta takistuse suurused on konstantsed. Sarnast vastukeerdmomenti kasutatakse peamiselt elektri voolulugejate juures.

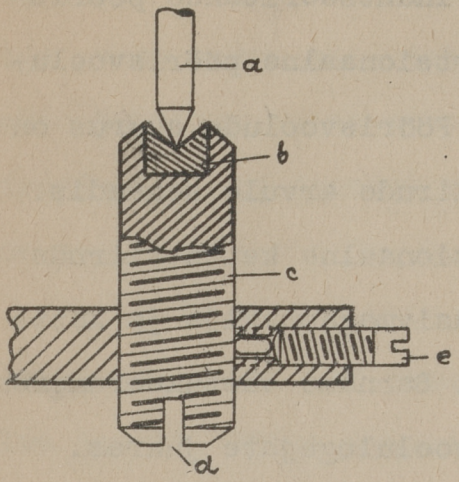
Mööteriista häädustegur.

$$\text{Häädustegur } \gamma = \frac{10 \times \text{keerdmoment } 90^{\circ} \text{ juures (cmgr.)}}{(\text{pöördsüsteemi kaal gr.})^{1,5}}$$

Mida suurem on γ seda parem on häädustegur. Korralikul mööteriistal on häädustegur võrdne ühele. Valemist selgub, et häädustegur on seda parem mida kergem on pöördsüsteemi kaal ja mida suurem on mööteriista keerdmoment.

Võll ja laager.

Mööteriistade võllid on harilikult terasest 0,3 + 2 mm läbimõõduga, teravikud kõrgläikeliselt poleeritud nurga all 60 kraadi. Laagriteks on kas kalliskivid (näit. saphir, rubiin, granaat,ahaat) või järeltehtud kalliskivid, millised on vahetatavad.



Joon. 22.

Laager koosneb järgmistes osadest:

a - võll.

b - laager, kalliskivi,

c - laagri pesa,

d - kruvikeeraja ava laagripesa reguleerimiseks,

e - vasest kinnituskruvi.

Mõõteriista tundelikkuse all mõistetakse mõõteriista omadust kergesti jälgida iga voolutugevuse muutust, sellepärast peab liikuv süsteem olema kerge ja laagrites hõõrdumine väike.

Summutid:

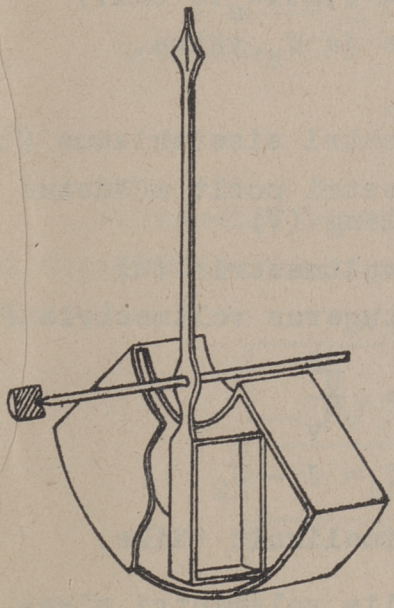
Mõõteriistad varustatakse summutiga, mis 1) vähendab osuti võnkumise amplituudi ja 2) vähendab võlli ja laagrite üleliigset kulumist.

Summutid on kolme liiki.

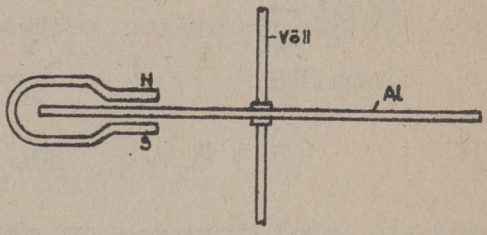
A. Õhksummuti, mille juures kasutatakse väikest tiiba, mis liigub suletud karbis. Tiivakene jagab karbi teatava määral kahte ossa, milledes väikese õhuvaheruumi tõttu tiiva ja karbi seinte vahel võib surveühtlus toimuda pikkamööda.

B. Õlisummuti, mis sarnaneb õhksummutile kuid karbis on õhu asemel õli. Õlisummuti puhul oleneb summutuse efektsus temperatuurist (õli viskoosus oleneb temperatuurist). Õlisummutit kasutatakse registreeritavate mõõteriistade juures.

C. Magnetiline summuti. Magnetilise summutuse puhul on liikuva mõõteorgani külge kinnitatud alumiiniumist ketas või silinder (vaata joon.24),mis liigub püsivmagnetiväljas. Metallkettas indutseeritakse pöörisvoolud, mis liikumise energia muudavad kiiresti soojusenergiaks.



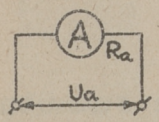
Joon.23.
Õhksummuti



Joon.24.
Magnetiline summuti.

7. ELEKTRILISED ÜLDNÕUDED AMPER- JA VOLTMEETRI KOHTA.

Ampermeeter.



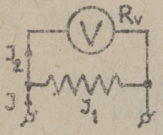
Joon.25.

R_a - ampermeetri sisetakistus (Ω)
J - voolutugevus ampermeetris (A)
U_a - pingelang -----"----- (V)
W_a - kadu -----"----- (W)

$$U_a = R_a . J \quad \text{ja} \quad W_a = R_a . J^2$$

Ampermeeter tuleb ehitada sarnaselt, et
a/ ta kannataks tekkivat soojust ($Q=0,24.W_a.t$ cal.)
b/ R_a oleks väike, siis on U_a väike ja W_a väike.

Voltmeeter.



Joon.26.

R_v - voltmeetri sisetakistus (Ω)
U - voltmeetri poolt mõõdetud pingelang (V)
W_v - kadu voltmeetris (W)
J_2 - voolutugevus voltmeetris (A)

$$U = R_v . J_2 \quad \text{ja} \quad W_v = \frac{U^2}{R_v}$$

Tarvitaja voolutugevus on võrdne: $J_1 = J - J_2$

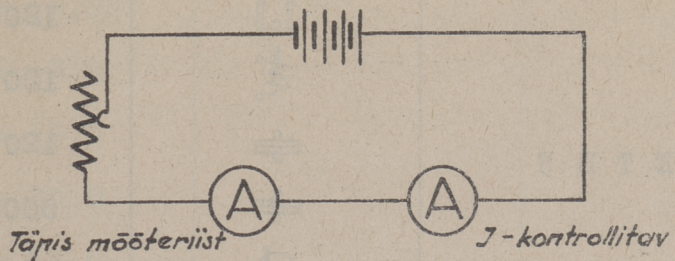
Siit on ilmne, et J_2 peab olema võimalikult väike.

Kuna $J_2 = \frac{U}{R_v}$ ja $W_v = \frac{U^2}{R_v}$ siis voltmeetri sisetakistus R_v peab olema võimalikult suur, et saada väikest J_2 ning väikest kadu voltmeetris.

Volt- ja ampermeetri kontroll

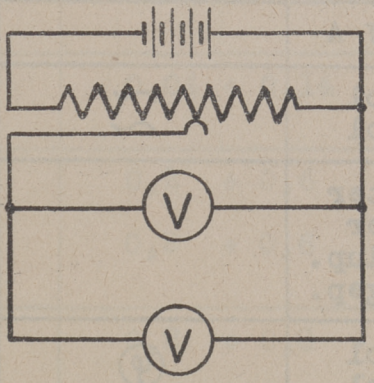
Üheks volt- ja ampermeetri lihtsamaks kontrollimise meetodiks on nende hälvete võrdlus täpsa mõõteriista hälvetega.

Nii lülitakse kontrollitav ampermeeter ja täpis mõõteriist järjestikku ning suurendatakse koormust vastava reostaadi abil.



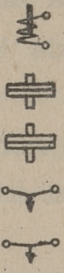
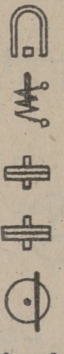
Joon. 27.

Voltmeetri kontroll teostatakse samuti võrdluse teel täpsa mõõteriistaga, kasutades potentsiomeetri lülitust.



Joon. 28.

8. KOKKUVÕTE MÕÕTERIISTADE OMATAR-

Mõõteriist		Süsteem	Piirkond
A M P E R M E E T E R			5 A 5 A üle 5 A 5 A 200 A ühes šundiga
V O L T M E E T E R			120 V 120 V 120 V 500 V 120 V 120 V
Wattmeetri	voolupool pingepool pingepool pingepool		5 A 120 V 120 V 500 V
S A G E T U S M Õ Õ T J A			
VOOLULUGEJA	voolupool pingepool		5 A 120 V
REGISTREERI-VAD RIISTAD	ampermeeter voltmeeter wattm. voolup. pingep.		5 A 120 V 5 A 120 V
COS φ MÕÕTJA	voolupool pingepool		5 A 100 V

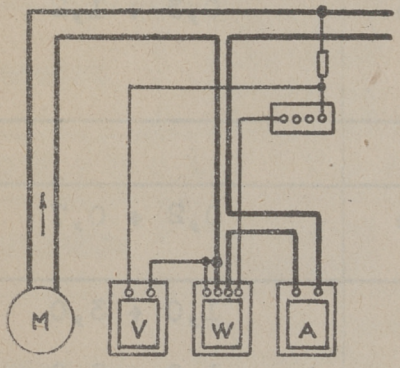
VIDUSE JA SISETAKISTUSE KOHTA.

Omatarvidus (VA) lõpphälve juures	Mõõteriista sisetakistus(Ω)	Pingelang voltides 5 A juures
1,5 ÷ 2,5 3,5 ÷ 10,0 20,0 ÷ 50,0	0,06 ÷ 0,1 0,14 ÷ 0,4	0,3 ÷ 0,5 0,7 ÷ 2,0
2,0 ÷ 2,5 30,0 ÷ 60,0	0,08 ÷ 0,1	0,4 ÷ 0,5
0,025 ÷ 0,05 4,0 ÷ 6,0 8,0 ÷ 15,0 20,0 ÷ 30,0 5,0 ÷ 10,0 10,0 ÷ 20,0		
1,5 ÷ 6,0 3,0 ÷ 6,0 5,0 ÷ 10,0 12,0 ÷ 25,0	0,06 ÷ 0,24	0,3 ÷ 1,2
2,0 ÷ 5,0		
1,0 ÷ 3,5 1,0 ÷ 3,5	0,04 ÷ 0,14	0,2 ÷ 0,7
5,0 ÷ 15,0 10,0 ÷ 30,0 5,0 ÷ 15,0 8,0 ÷ 15,0	0,2 ÷ 0,6 0,2 ÷ 0,6	1,0 ÷ 3,0 1,0 ÷ 3,0
5,0 ÷ 20,0 3,0 ÷ 6,0	0,2 ÷ 0,8	1,0 ÷ 4,0

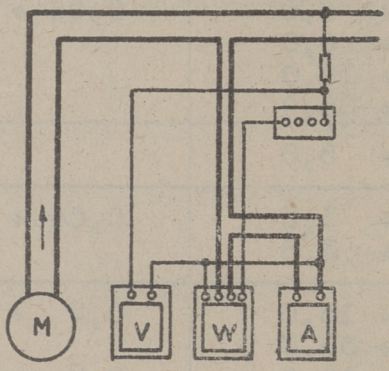
Kui mõõdetakse võimet vattmeetriga ja samal ajal voolutugevust ampermeetriga, siis on soovitav võime lugemisel ampermeeter lühistada.

Näide: Ühel 500 voldilisel vahelduvvoolu mootoril soovitakse teostada mõõtmisi. Arvata võib et voolu tugevus on 23 A. Mõõtmisel kasutatakse elektrodünaamilist vattmeetrit mõõtepiiriga kuni 25 A, voolupooli omatarvidusega 5 VA. Vattmeetri pingepooli eeltakistus on valitud sarnane, et saaks teostada mõõtmisi kuni 600 V. Eeltakistuse ja pingepooli takistuse suurus on kokku 20.000 oomi. Ampermeeter on pehmeraua mõõteriist mõõtepiiriga 25 A, omatarvidusega 1,5 VA. Voltmeetrina kasutati elektrodünaamilist mõõteriista ühes eeltakistusega mõõtepiiriga kuni 600 volti, mille üldtakistus on 20.000 oomi.

Lülitust võib teostada kas joon.29 või joon.30 järgi.



Joon.29.



Joon.30.

Joon.29 lülituse järgi on mõõteviga mõõteriistade omatarviduse tõttu järgmine:

wattmeetri voolupooli omatarvidus $5.\frac{23^2}{25^2} = 4,2$ VA,

ampermeetri omatarvidus $1,5.\frac{23^2}{25^2} = 1,3$ VA,

Kokku : 5,5 VA.

Tehakse aga lülitus joon.30 järgi, on mõõteriistade omatarvidus järgmine:

wattmeetri pingepooli omatarvidus $\frac{500^2}{20000} = 12,5$ VA,

voltmeetri omatarvidus $\frac{500^2}{20000} = 12,5$ VA,

Kokku : 25,0 VA.

Seega on otstarbekohasem teostada mõõtmisi joon.29 järgi.

Märkus: Joon.29 järgi on voltmeeter ja wattmeetri pingepool lülitatud eelpool wattmeetri voolumähist ning ampermeetrit, mille tõttu wattmeeter mõõdab peale mootori võime veel ampermeetri ja wattmeetri voolupooli võimet.

Joon.30 järgi on ampermeeter ja wattmeetri voolupool lülitatud eelpool voltmeetri ja wattmeetri pingepooli, mille tõttu wattmeeter mõõdab peale mootori võime veel voltmeetri ja wattmeetri pingepooli võimet.

-- o 0 o --

9. MÕÕTEPIIRKONNA LAIENDAMINE.

a) Alalisvoolu juures:

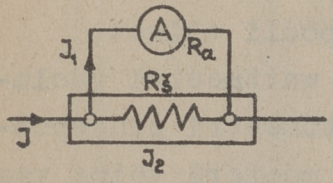
ampermeetrid - šuntide abil,
voltmeetrid - eeltakistuste abil, elektrostaatilistel riistadel kondensaatorite abil.

b) Vahelduvvoolu juures:

ampermeetrid - voolumuutjate abil,
voltmeetrid - pingemuutjate abil, elektrostaatilistel riistadel kondensaatorite abil,
wattmeetrid - voolu- ja pingemuutjate abil või madalate pingete puhul eeltakistuste abil.

A. Šundid.

Šundi arvutamine.



Joon. 31.

Pingelang ampermeetris $e = R_a \cdot J_1$

" šundis $e = R_š (J - J_1)$

R_a - ampermeetri sisetakistus (Ω)
$R_š$ - šundi takistus (Ω)
J_1 - voolusuurus ampermeetris (A)
J_2 - " šundis (A)

$$R_š (J - J_1) = R_a \cdot J_1$$

$$R_š = R_a \frac{J_1}{J - J_1}$$

Näide: $R_a = 1\,\Omega$ | $R_{š} = ?$

$J_{max.} = 0{,}150$ A

$J = 150$ A

Šundi takistus: $R_{š} = 1 . \frac{0{,}150}{150 - 0{,}150} = \frac{1}{999}$ oomi.

Šundi ehitusviis.

a) Pingelang võetakse vastavalt mõõteriista lõpphälve suurusele, mis on harilikult 30 ÷ 150 mV vahel.

Šundi omatarvidus $W_{š} = R_{š} . J_2^2 = e . J_2$

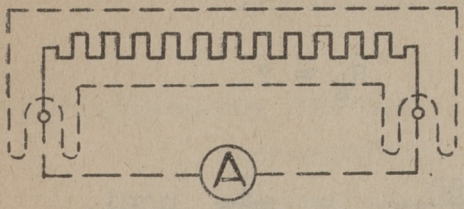
Näide 1: e = 60 mV, 1000 A | $W_{š} = 0{,}06 . 1000 = 60$ W.

Näide 2: e = 150 mV, 25000 A | $W_{š} = 0{,}150 . 25000 = 3750$ W.

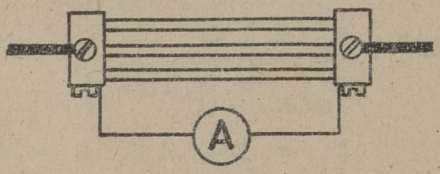
b) Takistus peab olema ühesuurune ühe mõõtepiiri iga voolutugevuse juures, s.o. olenematu temperatuuri muutusest, mille tõttu šuntide ehitamisel tuleb kasutada ainet, millel on väike temperatuuritegur, nagu manganiin ja konstantaan. Šundi temperatuur ei tohi tõusta täpissšuntidel üle 100 kraadi C, tavalikilbi mõõteriistade juures mitte üle 150 kraadi C.

c) Šundid ehitatakse:

1) otse aparaadi sisse,
2) juurdepistetavad (joon.32),
3) eraldi riistadena (joon.33).

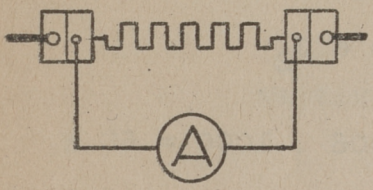


Joon. 32.

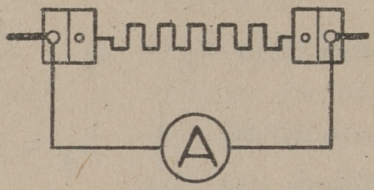


Joon. 33.

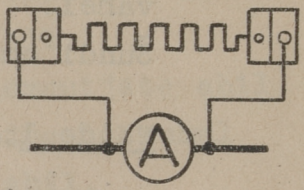
d) Lülitus. Ampermeetrit ei tohi lülitada šundi tugevvoolu klemmide külge, vaid selleks ettenähtud eriklemmidele. Allpool toodud lülitused näitavad šuntide õiget ja vale lülitust.



Joon. 34.
Šundi õige lülitus.



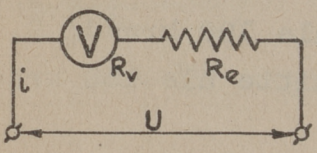
Joon. 35.
Ampermeetri vale lülitus.



Joon. 36.
Šundi vale lülitus.

B. Eeltakistused.

Eeltakistuse arvutamine.



Joon. 38.

R_v - voltmeetri sisetakistus (Ω)
R_e - eeltakistus (Ω)
i - voolu suurus voltmeetris (A)
U - mõõdetav pinge (V)

$U=(R_v+R_e).i=R_v.i+R_e.i$; $R_e=\frac{U-R_v.i}{i}$; $\boxed{R_e=\frac{U}{i}-R_v}$

Näide: $i_{max.}$ = 0,003 A
R_v = 1000 oomi

Soovitakse mõõta 150 V.

Voltmeeter mõõdab eeltakistuseta:

$$U_1 = R_v . i_{max.} = 1000 . 0,003 = 3 \text{ V.}$$

Eeltakistus $R_e = \frac{U}{i} - R_v = \frac{150}{0,003} - 1000 = 49000$ oomi.

Kadu voltmeetris: $W_v = R_v . i^2 = 1000 . 0,003^2 = 0,009$ W.

" eeltakistuses: $W_e = R_e . i^2 = 49000 . 0,003^2 = 0,441$ W.

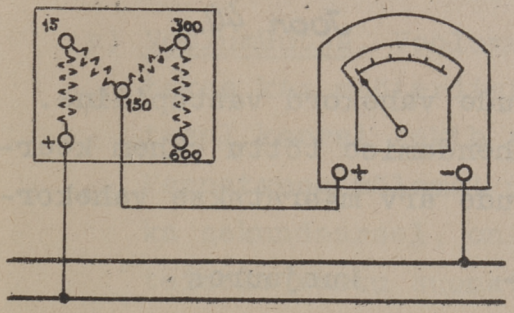
" kokku $W = W_v + W_e = 0,45$ watti.

Nagu eeltakistuse valemist näha, oleneb eeltakistuse suurus mõõteriista maksimaal voolutugevusest i, missugune suurus võib olla mitmesugune, olenevalt kasutatavast mõõteriistast.

Viimasel ajal on kujunenud elektrodünaamiliste wattmeetrite pingepoolidele standart eeltakistuse suuruseks 1000 oomi iga 30 voldi kohta.

Eeltakistuse <u>materjal</u> tuleb valida väikese temperatuuriteguriga, kasutades näiteks manganiini. Maksimaalne lubatav temperatuur täpiseeltakistustel on 100 kraadi C.

Lülikilbi mõõteriistadel 150 kraadi C.



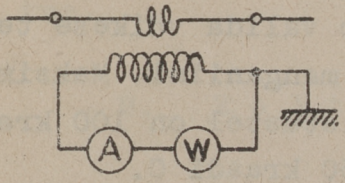
Joon. 38.

Eeltakistused <u>ehitatakse</u> kas mõõteriista sisse või sagedamini erikastidesse. Täpismõõteriistade juures ehitatakse eeltakistus väljapoole mõõteriista kui eeltakistuse omatarvidus on 10 ÷ 15 watti.

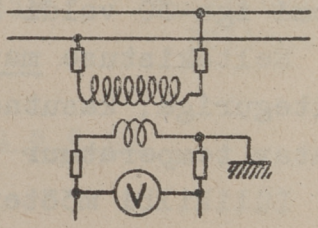
C. Mõõtetrafod.

Mõõtetrafod on säärased väiketrafod, milliseid kasutatakse ainult mõõteotstarbeks. Nad koosnevad kahest teineteisest elektriliselt isoleeritud mähisest, mis ühise raudsüdamiku kaudu on magnetiliselt sidestatud. Primaarmähis ühendatakse mõõdetava vooluringiga, sekundaarmähis toidab mõõteriista. Voolumuutja primaarmähis ühendatakse võrku järjestikku, kuna pingemuutja primaarmähis - rööbiti võrguga.

Kuna voolumuutjaga vähendatakse voolu suurust, siis tema primaarmähisel on vähe ja sekundaarmähisel palju keerde. Praktiliselt on primaarmähise AK arv samasuur kui sekundaar poolel, mille tõttu on kerge määrata sekundaar poole keerdude arvu. Näiteks: kui primaar voolutugevus on 600 A ja primaarpoolel 2 keerdu, siis on sekundaarpoolel 5 A ja 240 keerdu.



Joon. 39.



Joon. 40.

Pingemuutjatel on keerdude vahekord vastupidine. Sekundaar-mähisel on pinge vähendamise tõttu vähem keerde kui primaar-mähisel. Keerdude arv määratakse vahekorraast:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$$ kusjuures

U_1 on primaarpinge ja U_2 - sekundaarpinge ning Z_1 ja Z_2

on vastavate mähiste keerdude arvud. Selle alusel on kerge määrata keerdude vahekord. Näiteks: mõõtetrafo pingevahekorraga 30000/100 V omab keerdude vahekorra

$$\frac{z_1}{z_2} = \frac{50000}{167}$$

Need keerdude arvud on valitud ehitaja firma poolt, aluseks võttes ettekirjutatud pingesid ja trafo võimet.

Mõõtetrafo ülesanne.

1. Mõõtetrafoga muudetakse vool ja pinge tavaliselt mõõdetatavatesse suurustesse, näiteks: 5 A või 100 V.
2. Mõõtetrafoga eemaldatakse kõrgepinge mõõteriistast. Tavaline sekundaarmähise pinge on 100 V.
3. Suurte voolutugevuste eemaldamine mõõteriistast. Tavaline sekundaarmähise voolutugevus on 5 A.
4. Sama mõõteriist võib mõõta väga mitmesuguses mõõtepiiris, kui kasutatakse mitmesuguste ülekannetega mõõtetrafosid.

Mõõtetrafo lülimise kord.

a) Voolumuutja. Voolumuutja sekundaarpool ühendatakse kas mõõteriistaga või lühistatakse. Vastasel korral tekib sekundaarpoolel kõrgepinge. Magnetvoog mõlemal mähisel, nii primaarsel kui ka sekundaarsel, on peaaegu ühesuurune ja üksteisele vastu suunatud (nihknurk 180 kraadi). Seetõttu ikes on ainult väike resulteeriv voog s.o. induktsioon rauas on väike (B = 300 ÷ 1000

gaussi) mille tagajärjel on rauas kaod väikesed. On aga sekundaarmähis avatud, s.o. ilma koormata, siis primaarmähist läbiv voolutugevus tekitab ikes suure magnetvoo, mille tõttu induktsioon rauas on väga suur (B=15000÷20000 gaussi) ja samutigi on rauas kaod suured. Kui voolumuutja on kinnise ehitusega s.o. pigiga täidetud tüüpi, siis ta võib isegi lõhkeda.

Suure induktsiooni tõttu on ka sekundaarmähises suur pinge (võib tõusta kuni 1000 volti).

b) Pingemuutja. Pingemuutja sekundaarpool peab alati olema lahti või ühendatud üle eeltakistuse voltmeetriga. Pingemuutja tuleb kõikpoolselt kaitsta nii kõrge- kui ka madalpinge poolt välja arvatud need juhtmed, mis ühendatakse maaga. Kõrgepinge poolele asetatud kaitsmed kaitsevad võrku kuna madalpinge poolsed - trafot ennast.

Maandamine.

Voolu- ja pingemuutjate voolu mittejuhtivad metallosad tulevad maandada, milleks kasutatakse vähemalt 16 mm^2 vask juhet. Samutigi tuleb maandada nii pinge- kui ka voolutrafode üks sekundaar pool, et ära hoida mõõtmist teostava isiku pinge alla sattumist.

10. VOOLUMUUTJAD.

Voolumuutjate klassid ja lubatud kõrvalekaldumise piirid.

Klass	Primaarmähise voolusuurus % normaal koormusest	Maksimaalne		Märkusi
		Voolu vea suurus %	Nurkviga min.	
0,2	120 kuni 100	± 0,20	± 10	Koormus võib kõikuda ¼ ÷ 1/1 koormuseni ning sekundaarse mähise $\cos \varphi_2 = 0,8$. Selle juures sekundaar vooluringi koormuse takistus ei tohi olla alla 0,15 oomi 5 A mõõtetrafol. Täpismõõtmistel võetakse arvesse kaasaantud korrektuurid.
	20	± 0,35	± 15	
	10	± 0,50	± 20	
0,5	120 kuni 100	± 0,50	± 30	
	20	± 0,75	± 40	
	10	± 1,00	± 60	
1	120 kuni 100	± 1,0	± 60	
	20	± 1,5	± 80	
	10	± 2,0	± 120	
3	120 kuni 50	± 3,0		
10	120 kuni 50	± 10,0		

1. Voolumuutjad on määratud voolude mõõtmiseks. Nagu öeldud, lülitakse primaarmähis peajuhtmesse nii, et seda kogu mõõdetav vool läbistaks. Seetõttu peab primaarmähise juhtme põiklõige vastama mõõdetavale voolutugevusele. Sekundaarmähis on nii dimensioneeritud, et

sekundaarvool oleks 5 A. Seega külgeühendatav mõõteriist peab sekundaarnimivoolu järgi omama mõõtepiiri 5 A.

2. Sekundaar- ja primaarmähiste voolunihe peab olema 180 kraadi. Induktsioon peab olema võimalikult väike. Et ka puiste oleks minimaalne, seepärast kasutatakse südamikus palju rauda ja plekkide otsad asetatakse üksteisele võimalikult ligidale; veel parem kui plekid pole üldse läbi lõigatud.

3. Perioodide arvu muutumisel ei tohi vea kõver palju muutuda.

4. Primaar- ja sekundaarkõverad peavad ühtuma.

5. Ülekoormus on lubatud 10 kuni 20 %.

Voolumuutjate võime.

Voolumuutjate võime määratakse kas voltamprites (VA) või on antud maksimaalne koormustakistuse suurus oomides. Näiteks: 5 A voolumuutja võime on 15 VA, s.o. maksimaalne koormustakistus võib olla sekundaar vooluringis 0,6 oomi.

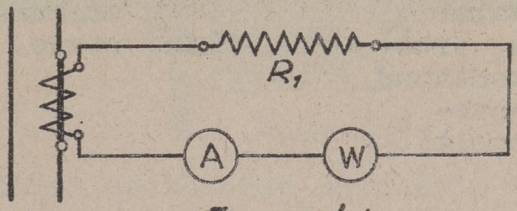
Voolumuutjate klasside tabelis (lhk.39) on antud sekundaar vooluringi koormustakistuse minimaalne väärtus, mis ei tohi olla ühelgi voolumuutjal alla 0,15 oomi 5 A mõõtepiiri juures. Seega on antud voolutrafode nii minimaalne kui ka maksimaalne sekundaar-vooluringi takistused.

Näide: Antud voolumuutja võimega 15 VA, s.o. 5 A voolusuuruse juures peab koormustakistus olema 0,15 ja 0,6 oomi vahel. Sellele mõõtetrafole soovitakse lülitada: üks pehmeraua ampermeeter sisetakistusega 0,1 oomi ja üks elektromagnetiline vattmeetri pool sisetakistusega 0,2 oomi. Ühendusjuhtmena kasutatakse 4 mm² vaskjuhet pikkusega 20 meetrit.

Vasest juhtme takistus on:

$$R_1 = \rho \cdot \frac{L}{S} = 0{,}0175 \cdot \frac{20}{4} = 0{,}09 \text{ oomi.}$$

Seega kogutakistus: 0,1 + 0,2 + 0,09 = 0,39 oomi. Üldtakistuse suurus on ülesseatud piires ja kahe mõõteriista järjestikku lülimiseks antud voolumuutjale ei ole takistust.
Lähemaid andmeid mõõteriistade sisetakistuse kohta leidub tabelis nr.8 (lhk.28 ja 29).



Joon. 41.

Voolumuutjate tüüpe.

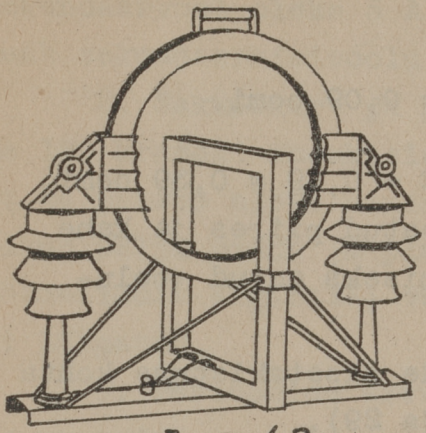
Voolumuutjaid ehitatakse kuni 50000 A ja võrgupingele kuni 150 kV.

Isolatsiooni järgi jaotatakse voolumuutjad alljärgnevalt:

kuiv
õli
mass
portselaan
} voolumuutjad

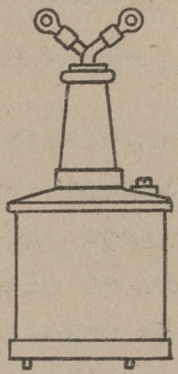
Ehitusviisi järgi jaotatakse voolumuutjad alljärgnevalt:

pott
tugi
läbistus
} voolumuutjad



Joon. 42.

Kuiv voolumuutja vabas õhus tarvitamiseks. Proovipinge 130 kV.(Kasutatud Niagara Falls Improvement Corporation poolt).

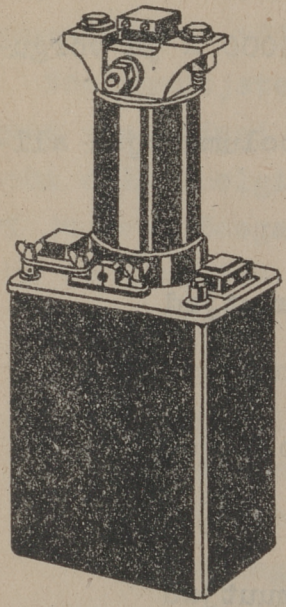


Joon. 43.

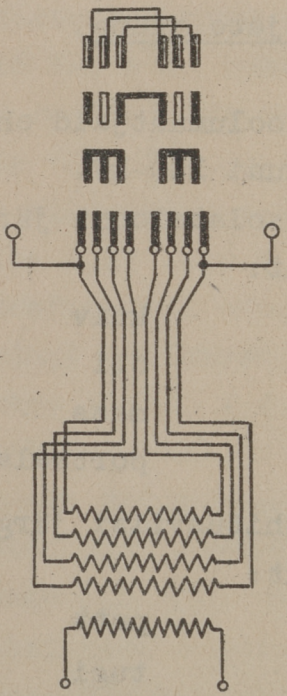
Pott voolumuutja, väline vaade.

Allpool toome mõne voolumuutja pildi ühes skeemiga.

Täpis voolumuutja.



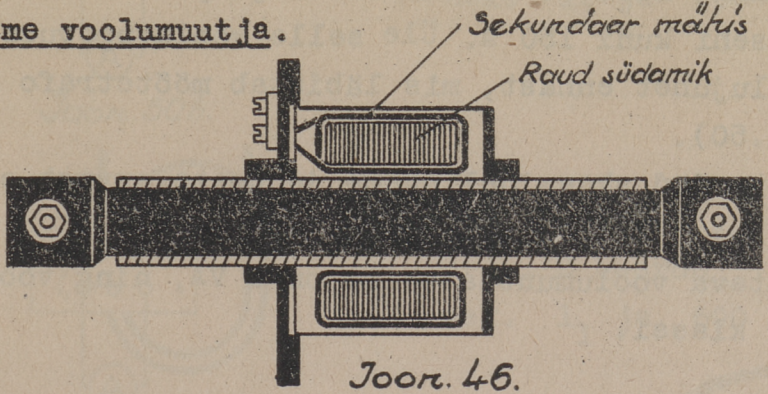
Joon.44.Väline vaade.



Joon.45.Ühendusskeem.

Kantavat tüüpi täpis voolumuutja ehitatakse kuni 15 kV võrgule, 1200 A voolutugevusele, võimega 15 VA ja omatarvidusega 25 vatti. Nagu skeemist näha, on voolumuutja kolme mõõtepiiriga.

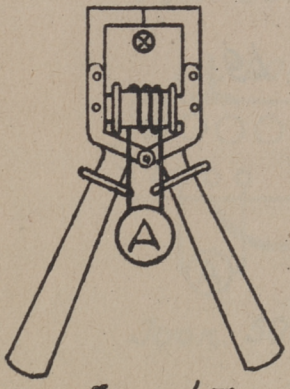
Ühejuhtme voolumuutja.



Joon. 46.

Tarbekorral asetatakse sarnaseid südamikke läbiminevale kogumislatile mitu. Üht võib ühendada lugejaga, teist ampermeetriga, kolmandat releega jne. Ühejuhtme voolumuutjaid ehitatakse kuni 4000 A., proovipingega kuni 44 kV ja võimega 15 VA.

Tangvoolumuutja.



Joon. 47.

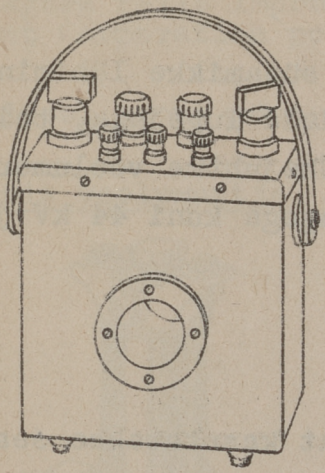
Tangvoolumuutjat kasutatakse seal, kus ei saa juhet katkestada voolumuutja sisselülitamiseks. Tangvoolumuutjaid ehitatakse kuni 1000 A, võrgupingele kuni 20 kV.

Kantav voolumuutja.

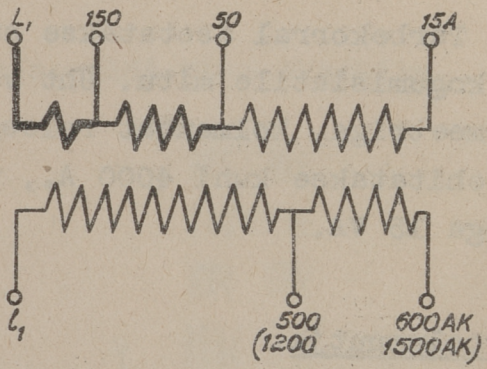
Kantav voolumuutja (joon.48) ehitatakse pingele kuni 650 V ja voolutugevusele kuni 1500 A. Nagu skeemist (joon.49) näha, kasutatakse voolumuutja primaarmähist voolutugevuseni kuni 150 A. Üle selle voolutugevuse kasutatakse voolujuhet ennast, mis läbistab mõõtetrafo südamikku (joon.50).

Alltoodud skeemidel näeme juhtmete arvust olenevat mõõtepiiri.

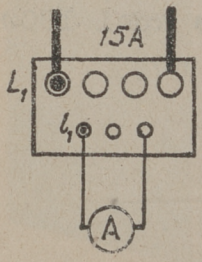
Kantava voolumuutja võime on 5 VA, ning voolumuutja kuulub F klassi.



Joon. 48.

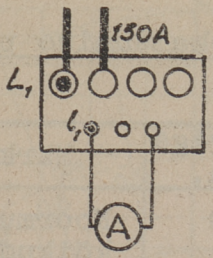


Joon. 49.



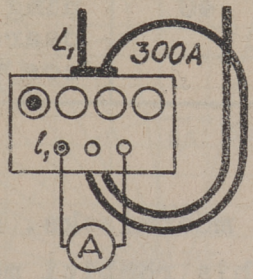
Joon. 50a.

15 A mõõtepiir - prim. L_1 ja 15 A, sek. l_1 ja 600 AK.



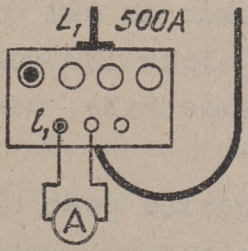
Joon. 50b.

150 A mõõtepiir -
prim. L_1 ja 150 A,
sek. l_1 ja 600 AK.



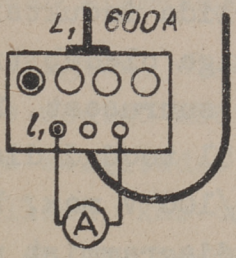
Joon. 50c.

300 A mõõtepiir -
prim. 2 keerdu,
sek. l_1 ja 600 AK.



Joon. 50d.

500 A mõõtepiir -
prim. 1 juhe,
sek. l_1 ja 500 AK.



Joon. 50e.

600 A mõõtepiir -
prim. 1 juhe,
sek. l_1 ja 600 AK.

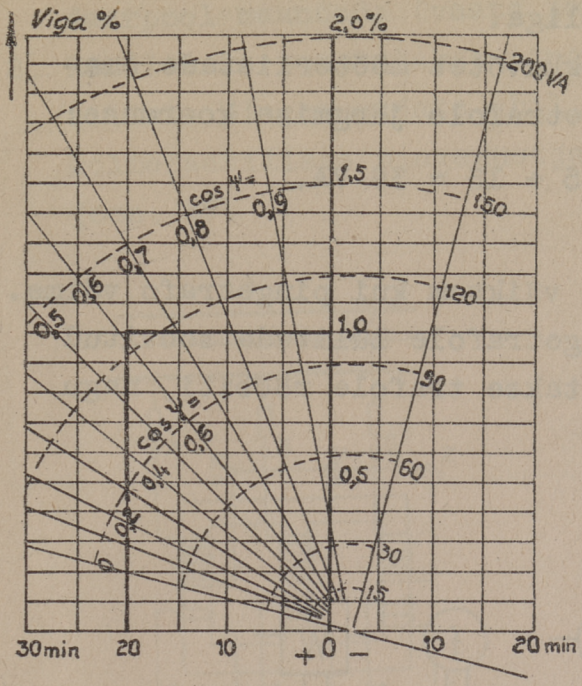
11. PINGEMUUTJAD.

Pingemuutjate klassid ja lubatud kõrvalekaldumise piirid.

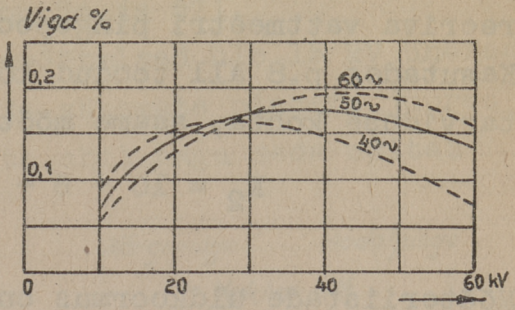
Klass	Pinge vea suurus %	Pinge muutumise piirid V	Nurkviga min.	Märkusi
0,2	0,2	0,8 ÷ 1,2 U_n	10	Koormus võib kõikuda $\frac{1}{4}$ ÷ $\frac{1}{1}$ koormuseni ning sekundaarse mähise cos φ_2 = 0,8
0,5	0,5	-----"------	20	
1,0	1,0	-----"------	40	
3,0	3,0	1,0 U_n	----	

Nõuded pingemuutjate kohta.

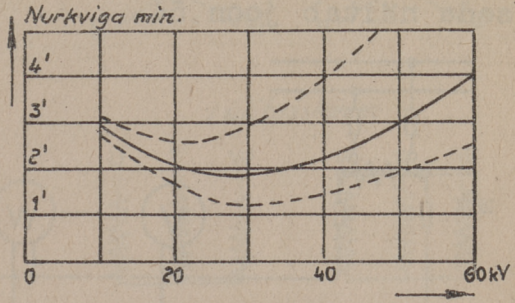
1. Pingemuutjad on määratud pingete mõõtmiseks. Nagu eelpool öeldud, lülitakse primaarmähis rööbiti mõõdetava võrguga. Järelikult tuleb primaarmähis ehitada vastavalt sellele pingele. Sekundaarmähis on nii dimensioneeritud, et sekundaar-nimipinge oleks 100 volti. Sekundaar pool lülitakse kas voltmeetrile, wattmeetrile või voolulugejale.
2. Sekundaar- ja primaarmähiste pingenihe peab olema 180 kraadi. Induktsioon raudsüdamikus on pingemuutjal võrdlemisi kõrge, keskmiselt B=6000 kuni B=10000 gaussi. Puiste vähendamiseks tuleb valida induktsiooni suurus võimalikult väiksem. Nurkviga oleneb trafo koormuse suurusest ning viimase cos φ suurusest. Et anda ülevaadet vea suurusest, on joon.51 toodud diagramm ühe täpis pingemuutja kohta 12000/100 V max. koormusega 200 VA 50 p/s. juures. Nagu diagrammist näha, on trafo veaga võimalik jääda alla 1%, kui teda koormata mitte üle 100 VA ning selle juures on nurga viga +30 min. ja -10 min.



Joon. 51.



Joon. 52.



Joon. 53.

3. Perioodide arvu muutusel ei tohi vea kõver palju muutuda. Et pilti anda vea karakteristika üle, selleks on joonistel 52 ja 53 toodud kaks diagrammi ühe 50 kV pingemuutja kohta: vea suurus olenevalt primaarse pinge suurusest mitmesuguste perioodide juures.

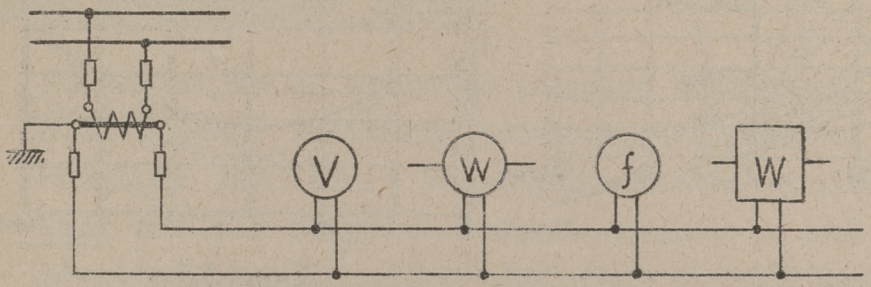
4. Tuleb jälgida, et antud pingemuutja võime oleks küllaldane nõutud mõõteriistade koormamiseks. Püüame seda näitega selgitada.
Kontrollida, kas on võimalik pingetrafot, mille võime on N = 40 VA, koormata alljärgnevate mõõteriistadega: 1) induktsioon voltmeetriga, 2) dünamomeetrilise vatt-

meetri pingepooliga, 3) sagedusmõõtjaga ja 4) registreeriva vattmeetri pingepooliga.

Kasutades p.8 all toodud kokkuvõtet mõõteriistade omatarviduse kohta, saame mõõtetrafole järgmise koormuse:

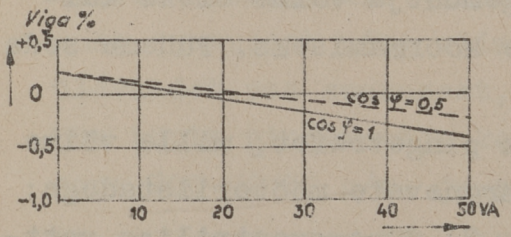
$$N_2 = 10 + 6 + 5 + 15 = 36 \text{ VA}.$$

Mõõteriistade üldkoormus on väiksem kui pingetrafo võime. Seega on võimalik antud pingetrafole lülitada soovitud mõõteriistad. Viimased lülitakse trafole rööbiti, nagu seda näitab joon.54.

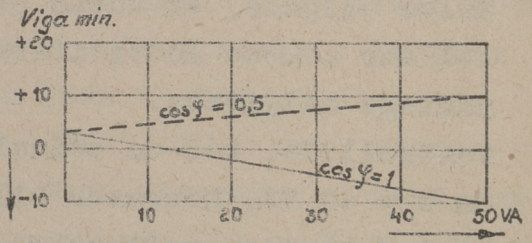


Joon. 54.

5. Primaar ja sekundaar kõverad peavad ühtuma.
6. Pingetrafo vea kõver ei tohi palju muutuda koormuse iseloomu muutusel. Et pilti anda vea suurusest on allpool toodud kaks diagrammi ühe 10 kV pingemuutja kohta võimega 50 VA.

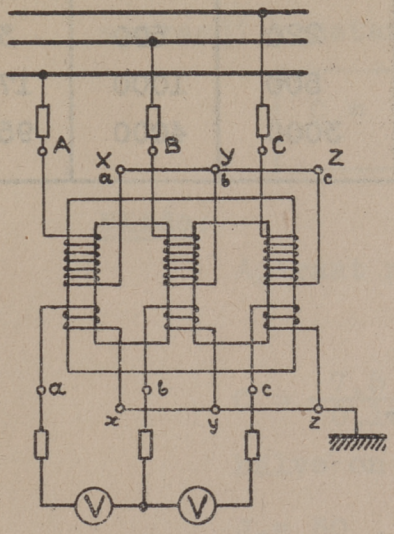


Joon. 55.

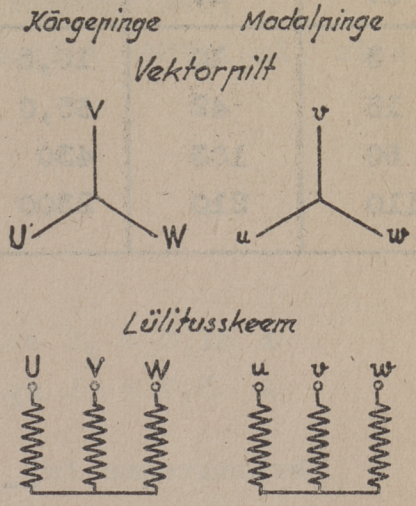


Joon. 56.

7. Pinge alla sattumise ärahoidmiseks tuleb trafol sekundaarpool maandada (vaata joon.54 ja 57).
8. Harilikult teostatakse pingemõõtmised üle 15 kV ühefaasiliste pingemuutjate abil ja vähemate pingete juures kolmefaasiliste pingemuutjate abil nagu seda näitab joon. 57.



Joon. 57.



Joon. 58.

9. Lülitus kolmefaasilistel pingemuutjail teostatakse A_2 lülituse järele, see on täht/täht joonise 58 kohaselt.

Andmeid pingemuutjate kohta.

Teatavat huvi pakuvad andmed pingemuutjate kaalu ja hinna kohta. Allpooltoodud tabelis on andmeid pingetrafode kohta 3 kV kuni 110 kV, kus tähendatud trafode kaal, nende õli kaal, normaal ja maksimaal võime ning hinnad

Saksa Riigi markades. Viimased andmed on muidugi muutlikud, kuid siiski annavad pildi nende relatiivse suuruse kohta.

Nimi-pinge kV	Proovi-pinge kV	Kaal kg	Õli kaal kg	Normaal võime VA	Maks. võime VA	Hind RM.
3	10	10,5	-	40	200	100.-
15	42	65,0	25	220	500	320.-
50	103	430	162	500	1000	1700.-
110	210	2300	890	3000	4000	9500.-

-- o 0 o --

12. APARAATIDE KONSTANDI ARVUTAMINE.

A. Ampermeeter.

a) Kasutades šunti.

Kui J_1 - voolutugevus otsemõõtmisel,
J - voolutugevus šundiga mõõtmisel, siis aparaadi konstant

$$C = \frac{J}{J_1}$$

Näide:

Aparaat mõõdab otse $J_1 = 0{,}15$ A
šundiga $J = 7{,}5$ A

$C = \frac{7{,}5}{0{,}15} = 50$. Kui ampermeetri hälve on 0,03 A, siis voolutugevus

$J_2 = 50 \cdot 0{,}03 = 1{,}5$ A.

b) Kasutades voolumuutjat.

Siin on vahekord juba antud, näit.: 1000/5 ja konstandi C saame:

$$C = \frac{1000}{5} = 200.$$

KAUBATEADUSE INSTITUUT TARTU ÜLIKOOL

B. Voltmeeter.

a) Kasutades eeltakistust.

Kui E_1 on pinge otsemõõtmisel ja
E on pinge eeltakistusega mõõtmisel, siis

$$C = \frac{E}{E_1}$$

Näide:

Aparaat mõõdab otse $E_1 = 5$ V, ühes eeltakistusega $E = 150$ V.

$C = \frac{150}{5} = 30$. Kui voltmeetri hälve on 2 V, siis pinge $E_2 = 30 \cdot 2 = 60$ V.

b) Kasutades pingemuutjat.

Siin on samuti vahekord antud, nagu voolumuutjategi juures. Näit.: 6000/100 ja konstant on seega

$$C = \frac{6000}{100} = 60.$$

C. Vattmeeter.

Kui α on aparaadi max.hälve,
J on voolupooli nimi-voolutugevus amprites,
E on pingepooli nimi-pinge voltides, siis

$$C = \frac{E \cdot J}{\alpha}$$

Näide:

Vattmeetri voolupooli nimivoolutugevus J = 200 A, pingepooli nimipinge E = 30 V ja skaala max.hälve α = 150 jaotust.

Konstant $C = \frac{30 \cdot 200}{150} = 40.$

Kui nüüd aparaadil hälve on 100, siis võime

$N = 40 \cdot 100 = 4000$ W.

Kui peale vattmeetri kasutatakse veel pinge-, voolumuutjat ja eeltakistust, siis on üldkonstant

$$C = C_1 . C_2 . C_3 . C_4$$

Näide 1:

Vattmeetri konstant $C_1 = 40$, pingemuutja konstant $C_2 = 60$ ja voolumuutja konstant $C_3 = 6$.

Üldkonstant $C = C_1 . C_2 . C_3 = 40.60.6 = 14400.$

Kui nüüd vattmeetri hälve $\alpha = 100$ kraadi, siis võime

$N = 100 \cdot 14400 = 1440000$ W $= 1440$ kW.

Näide 2:

Antud vattmeeter, mille skaala on 150 jaotusega. Voolupooli nimi-voolutugevus $J = 5$ A ja pingepooli nimipinge $E = 90$ V. Peale selle on veel vattmeetrile ettelülitatud voolumuutja vahekorraga 25/5 A ja pingemuutja vahekorraga 6000/100 V. Leida võime, kui

vattmeetri hälve $\alpha = 50$

vattmeetri konst. $C_1 = \frac{5.90}{150} = 3$

voolumuutja konst. $C_2 = \frac{25}{5} = 5$

pingemuutja konst. $C_3 = \frac{6000}{100} = 60.$

Üldkonstant on:

$C = C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 = 3 \cdot 5 \cdot 60 = 900$

Võime: $N = 900 \cdot 50 = 45000$ W = 45 kW.

-- o 0 o --

13. MÕÕTERIISTADE MAGNETITE OMADUSED.

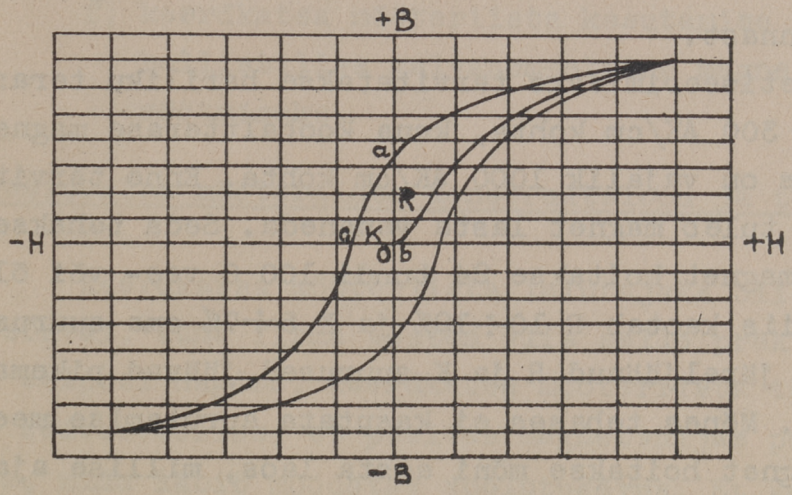
Üheks mõõteriista tähtsamaks osaks on püsivmagnet. Püsivmagnetit kasutatakse täpsete alalisvoolu mõõteriistade, samuti alalis- kui ka vahelduvvoolu lugejate juures vastukeerdmomendi tekitamiseks. Sellepärast ei ole ülearune, kui veidi peatuda magneti materjali omaduste juures.

Esimeseks tingimuseks heale magnetile on, et ta väli oleks konstantne.

Teiseks tingimuseks, et temperatuuri muutusega ei muutuks väljatugevus.

Kolmandaks tingimuseks, mis määrab magneti häädust, on hüstereesise kõvera kuju. Siin remanents R on lõik a-b, s.o. magnetilise induktsiooni suurus B, kui väljatugevus H on võrdne nulliga. Koertsitiivjõud K on lõik b-c, s.o. amperkeerdude arv, mida peab andma magnetile, et induktsioon B muutuks nulliks.

Magneti hääduse määrab korrutis $\boxed{R \cdot K}$, mis peab olema võimalikult suur.



Joon. 59.

Enamasti kasutatakse wolfram- ja koobaltterast, millede koosseisud on järgmised:

Wolframteras: 94,5% Fe + 5% Wo + 0,5% C
Koobaltteras: 55% Fe + 7,5% Wo + 2% Cr + 35% Co + 0,5% C

Nende materjalide juures on R ja K suurused järgmised:

Magneti materjal	R - gaussides	K - AK/cm
Malm	5000	40
Wolframteras	10000	85
Koobaltteras	9000	250

Seega on koobaltteras ca kolm korda parem, kui wolframteras.

Koobaltterase leiutas jaapanlane prof. Honda 1919.a. Tokios. Teda toetas rahaliselt K.Sumitomo, mille tõttu nimetatakse koobaltterast ka Honda- või K.S.-teraseks. Koobaltterase hind on umbes kaks korda kõrgem wolframterase hinnast.

Magnetiseerimiseks tarvitatakse hariliku terase juures 200 ÷ 300 AK/cm kohta, kuna koobaltterase magnetiseerimiseks on vajalik 1000 AK/cm kohta. Enne tarvitusele võtmist tuleb magnet lasta vananeda. Seda tehakse järgmiselt: magnet hoitakse 24 tundi 100 C vee- või õliauru sees. Siis kaotab R 10÷12% ja K 5÷7% oma suurusest. Selle juures järeljäänud R ja K suurused jäävad pikemaks ajaks püsima. Mõnes tehases ei kasutata aurutamise meetodit, vaid magnet hoitakse mõni aasta laos, millise aja jooksul magneti induktsioon omab püsiva suuruse.

14. MÕÕTERIISTADE KIRJELDUS JA KASUTAMISVÕIMALUSED.

A. K e e r d k a t s a r i i s t.

Üheks tähtsamaks ja täpsemaks mõõteriistaks alalisvoolu juures on kahtlemata keerdkatsa mõõteriist, mida kasutatakse väga mitmesugusteks mõõtmisteks.

Meie kirjeldame siin:

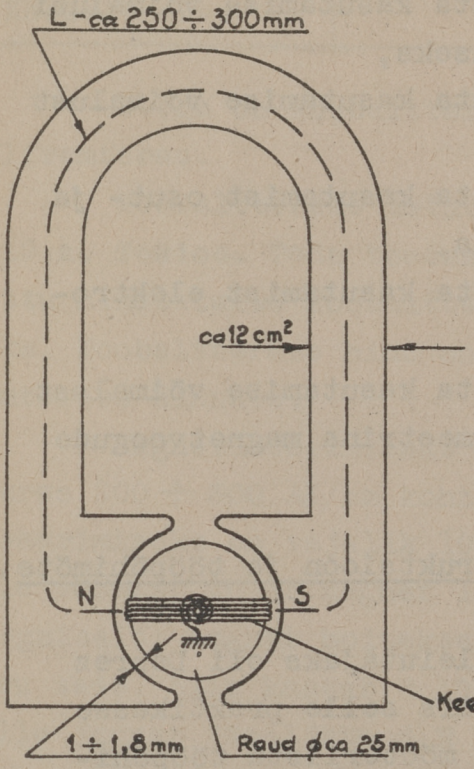
a) keerdkatsa mõõteriista konstruktiivset külge ja töötamispõhimõtet,
b) keerdkatsa mõõteriista kasutamise võimalusi vahelduvvoolu mõõtmiseks,
c) keerdkatsa mõõteriista kasutamise võimalust ristkatsa riistana,
d) keerdkatsa mõõteriista kasutamist osut- ja peegelgalvanomeetrina,
e) keerdkatsa mõõteriista kasutamist elektrokardiograafina,
f) keerdkatsa mõõteriista kasutamise võimalust ballistilise galvanomeetrina magnetvoogude mõõtmiseks.

a) Keerdkatsa mõõteriista konstruktsioon ja tööpõhimõte.

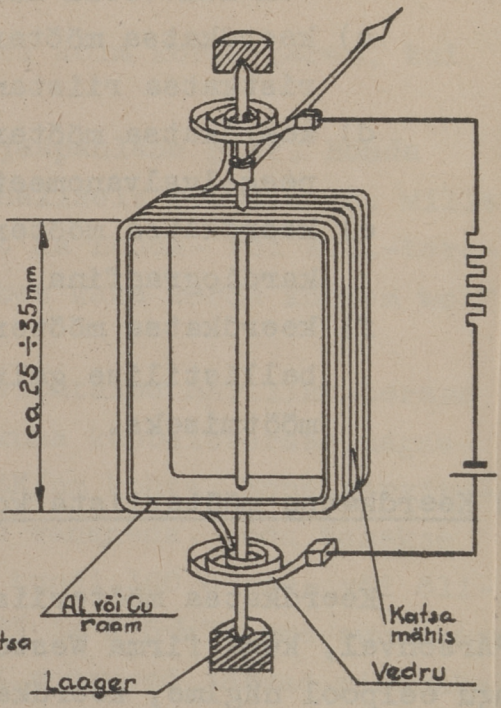
Keerdkatsa mõõteriista leiutajaks oli Deprez d'Arsonval, kuna firma Weston viis selle praktikasse. Nagu eelpool nägime, keerdkatsa mõõteriista tööpõhimõte seisab selles, et püsivas magnetväljas pöördub katsa, mida läbib mõõdetav voolutugevus. Et keerdkatsa

pöörduks võimalikult tugevas magnetväljas, suletakse püsivmagneti tungjooned raua abil, mis on asetatud püsivmagneti pooluste vahele s.o. katsa südamikku. Katsa pöördumise võimaldamiseks on pooluste ja südamiku vahele jäetud kitsas õhuvahe.

Katsa on mähitud alumiiniumist või vasest raamile mis täidab summuti osa, sest alumiiniumist või vasest raam moodustab teatud määral ühe lühiskeeru. Pooli pöörumisel indutseeritakse selles raamis pöörisvoolud, mis liikumisel avaldavad pidurdavat mõju.



Joon. 60.



Joon. 61.

Vastukeerdmomendi tekitamiseks kasutatakse spiraalvedru. Ühtlasi kasutatakse viimast voolu juhtimiseks keerdkatsasse. Keerdkatsa mõõteriist on puht alalisvoolu mõõteriist.

Normaalehitusega mõõteriista headuse kraad $\gamma = 1,0 \div 2,0$, kusjuures keerdkatsa mass $m = 1,0 \div 3,0$ grammi, induktsioon $B = 500 \div 1500$ gaussi, amperkeerdude arv $zJ = 0,3 \div 1,0$ Ak ja elektriline keerdmoment $M_d = 0,4 \div 1$ cmgr.

Mõõteriista elektriline pöördemoment on:

$$M_d = k_1 . J . z . B$$

kus:

J - keerdkatsat läbistav voolutugevus amprites,
z - keerdkatsa mähise keerdude arv,
B - püsivmagneti induktsiooni suurus gaussides.

Mõõteriista mehaaniline vastukeerdmoment on:

$$M_{meh.} = k_2 . \alpha$$

kus:

α - mõõteriista hälve suurus.

Kuna $M_d = M_{meh.}$

siis $k_1 . J . z . B = k_2 . \alpha$

k_1, k_2, z ja B on konstantsed suurused, mida tähistame k-ga.

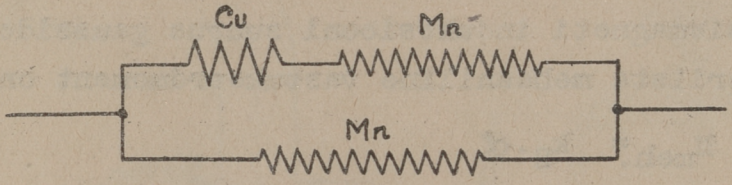
Seega: $\boxed{\alpha = k . J}$, s.o. mõõteriista hälve on proportsionaalne voolutugevusega ja skaala ühtlaste jaotustega.

Kuna spiraalvedrud on tundlikud temperatuuri tõusule ja ületemperatuur suurendab katsa takistust, siis selle tõttu tuleb hoiduda keerdkatsariista ülekoormusest.

Enam kasutatava mõõteriista andmed on järgmised: voolutugevus 0,150 A, sisetakistus 1,0 oomi ja pingelang 0,150 V.

Suurim tundlikkus, mis on saavutatud keerdkatsa mõõteriistaga, on 10^{-7} A hälve ühe kraadi kohta.

Temperatuuri tõusuga 10°C võrra, suureneb mähise vase takistus 0,3% võrra. Vea vähendamiseks lülitakse mõõteriista poolile manganiinist eeltakistus. Viimane muutub vähe temperatuuri tõusul. Peale selle mõõteriista justeerimise otstarbeks lülitakse veel mõõteriistaga rööbiti üksteine manganiinist takistus, millega veelgi vähendatakse üldviga.



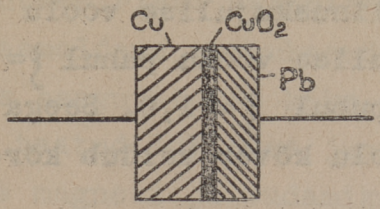
Joon. 62

Keerdkatsariista omatarvidus on 0,025 ÷ 0,05 W.

b) <u>Keerdkatsa mõõteriista kasutamise võimalusi vahelduvvoolu mõõtmiseks</u>.

Nagu meie eelpool nägime, on võimalik mõõta keerdkatsariistaga ainult alalist voolu. Et selle ülitäpse mõõteriistaga mõõta ka vahelduvvoolu, tuleb vool alaldada. Üheks mõõtetehnikas kasutatavaks alaldajaks on n.n. Kuprox alaldaja, mis on leiutatud 1923./24.a. Westinghouse Com-

pany's ameeriklase L.O.Grondahl'i poolt. Selle kuivalaldaja plaatideks on punane vask ja vaseoksüduul (CuO_2). Õhuke vaseoksüduulist plaat (paar tuhandikku mm) asetatakse suure surve alla punasest vasest ja tinast ketaste vahele. Kui niisugust vase ja vaseoksüduul paari lülitada vahelduvvoolu ringi, siis selgub, et voolu suund on vaselt oksüduulile. Vastupidises suunas aga vool läbi ei pääse. Seega Kuprox alaldajas on voolu suund vaselt vaseoksüduulile.



Joon. 63.

Allpool on toodud andmeid Kuprox alaldaja ühe plaadipaari kohta:

E voltides	i amprites	R oomides
- 4	- 0,0012	3400
- 3	- 0,0008	3900
- 2	- 0,0004	4400
- 1	- 0,0002	4000
0	0	400
+ 1	+ 1,8	0,6
+ 2	+ 5,2	0,4
+ 3	+ 9,0	0,3
+ 4	+ 14	0,3

Neist andmeist on näha, et Kuprox alaldaja töötab võrdlemisi ideaalselt. Sarnast ühe plaadipaariga alaldajat võib kasutada hääde tagajärgedega näiteks akkude laadimiseks. Mõõtetehnikas kasutatakse n.n. Grätz'i lülitust,

kus alaldatakse mõlemad vahelduvvoolu laine pooled. Niisuguse lülituse puhul mõõdab mõõteriist vahelduvvoolu või -pinge keskmist väärtust (U_k), kuna harilikult vahelduvvoolu tehnikas on tarvis teada voolu või pinge efektiivseid suurusi ($U_{ef.}$). Selle tõttu tuleb voolu kuju tegur $\xi = \frac{U_{ef.}}{U_k}$ arvesse võtta. Siinuskujulise voolu puhul on $\xi = 1,11$, kolmnurkse kujulise voolu puhul $\xi = 1,15$ ning täisnurkse voolu kuju puhul $\xi = 1,0$. Seega mõõteriist ei mõõda täpselt kui voolu kõver kaldub kõrvale siinuskujulisest vormist.

Mõõtmisel tuleb veel arvesse võtta, et Kuprox alaldajais tekib võrdlemisi suur pingelang.

Vaatamata neile puudusile, kasutatakse mõõtetehnikas Kuprox alaldajaid võrdlemisi ohtrasti.

Kuprox alaldajat võib kasutada helisagedustega vahelduvvoolu mõõtmisteks kuni 10000 Hz. Kõrgemate sageduste puhul tuleb arvesse võtta, et Kuprox alaldaja maht on ca $0,01 \div 0,1$ $\mu F/cm^2$ kohta, mille tõttu kõrgesagedusvool läbistab alaldajat. Kasutades plaatide asemel teravikke, vähendades seega kokkupuute pinna suurust, on Kuprox alaldajaga alaldatud voolusi kuni 1,6 MHz minimaalse voolutugevusega 10^{-5} A.

Peale Kuprox alaldaja kasutatakse veel lampning mehaanilisi alaldajaid.

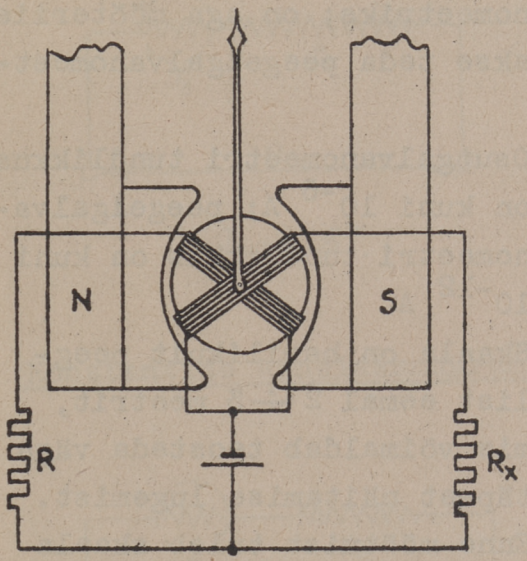


Grätz'i lülitus.

Joon.64.

c) Keerdkatsa mõõteriista kasutamise võimalusi ristkatsariistana.

Kui meie keerdkatsa mõõteriistal ühe katsa asemel kasutame risti üksteisele asetatud kaks katsat ning ühtlasi eemaldame vastukeerdmomendina kasutatavat spiraalvedru, siis saavutatakse kaks elektrilist keerdmomenti M_1 ja M_2, mis teatud lülituse juures üksteisele vastu mõjuvad. Õhuvahe magneti ja südamiku vahel on ebaühtlane, pooluste keskosas on piluvahe väiksem kui äärtel, mille tõttu on ka väljatugevus keskel suurem kui pooluste äärtel. Katsad on lülitatud järjestikku. Ühele katsale on ette lülitatud tuntud takistus R, kuna teisele katsale tundmatu takistus R_x. Momentide M_1 ja M_2 suurused olenevad kumbagit katsat läbistavatest voolutugevustest. Nende voolude suurused olenevad omakorda R ja R_x suurustest.



Joon. 65.

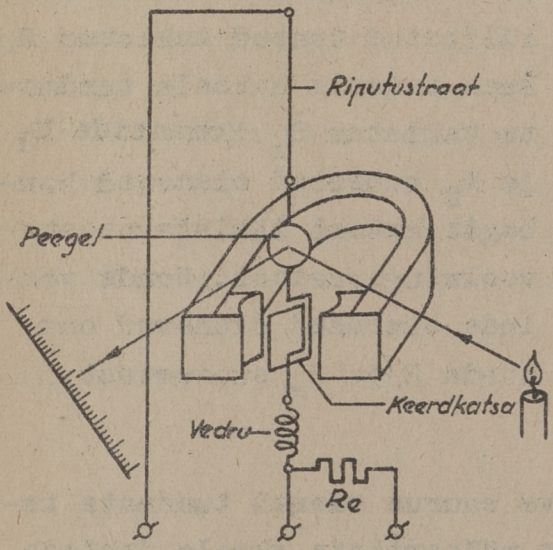
Seega $\boxed{R_x = f(\alpha)}$. Hälve suurus oleneb tundmata takistuse suurusest, võimaldades mõõteriista skaala jaotada otse oomidesse.

Kasutades mitmesuguse suurusega tuntud takistust R, on võimalik selle mõõteriistaga mõõta piirides 10^{-4}

kuni 10^{+8} oomi. Esimesel juhul peab elemendi emj. suurus olema 2 volti, teisel juhul 800 volti.

d) Keerdkatsa mõõteriista kasutamise võimalusi osut- ja peegelgalvanomeetrina.

Galvanomeeter on mõõteriist nõrkade elektrivoolude olelu näitamiseks ja nende tugevuse mõõtmiseks. Moodsad galvanomeetrid varustatakse peaaegu eranditult keerdkatsa mõõtesüsteemiga, kusjuures katsa on riputatud üles peene metalllindi abil. Kui katsa on varustatud osutiga, nimetatakse riista osutgalvanomeetriks; on aga mõõteriist varustatud peegliga, nimetatakse teda peegelgalvanomeetriks.



Joon. 66.

Osutgalvanomeetri tundlikkus on kuni 10^{-6} A; peegelgalvanomeetri tundlikkus on kuni 10^{-12} A.

Skaala on harilikult peeglist eemal 2 ÷ 3 meetrit, mis võimaldab teostada väga täpset näitamise lugemist. Enne mõõtmist tuleb skaala nullseisu seada.

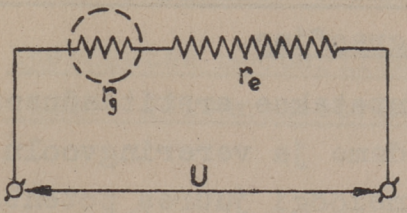
Galvanomeetriga mõõtmisel lähtutakse voolukonstandist C_i. Voolukonstant on arv, millega tuleb korrutada galvanomeetri hälvet, et saada tõelikku vooluväärtust amprites.

On α galvanomeetri hälve ja C_1 voolukonstant, siis mõõdetav voolusuurus amprites on:

$$\boxed{J = C_1 . \alpha}$$

Pingekonstant on arv, millega tuleb korrutada galvanomeetri hälvet, et saada tõelikku pinge väärtust voltides.

Kui r_g - galvanomeetri takistuse suurus oomides,
r_e - eeltakistuse suurus oomides,
J - galvanomeetrit läbistav voolutugevus amprites,
U - mõõdetav pingelangu suurus voltides,



Joon. 67.

siis

$$U = (r_g + r_e) . J$$

$$U = (r_g + r_e) . C_1 . \alpha$$

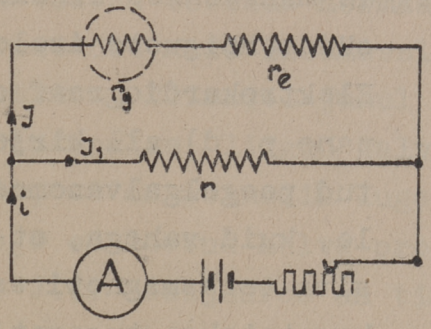
Tähistades:

$(r_g + r_e) . C_1 = C_e$ pingekonstandina ..... (1)

saame:

$$\boxed{U = C_e . \alpha}$$

<u>Konstantide kindlaksmääramisel</u> kasutame lülitust kõrvaltoodud skeemi järgi, kusjuures r on tuntud takistus ning i voolutugevus, mõõdetav täpis ampermeetriga.



Joon. 68.

Siin

$$i = J + J_1$$

$$J_1 = i - J$$

ning $J(r_g + r_e) = r(i - J)$

$$J . r_g + J . r_e = r . i - r . J$$

Siit

$$J = \frac{r . i}{r_g + r_e + r}$$

Teiselt poolt $C_i = \frac{J}{\alpha}$. Asendades J ja α väärtused, saame

$$C_i = \frac{r.i}{(r_g + r_e + r).\alpha}$$

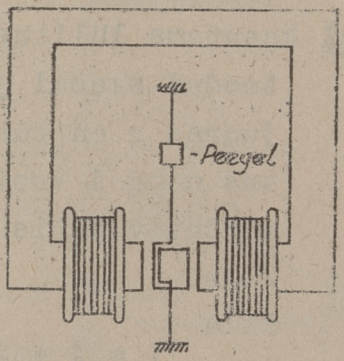
(1) järele $C_e = C_i(r_g + r_e) = \frac{r.i}{(r_g + r_e + r).\alpha} .(r_g + r_e)$

Seega pingekonstant võrdub:

$$C_e = \frac{r.i.(r_g + r_e)}{(r_g + r_e + r).\alpha}$$

e) Keerdkatse mõõteriista kasutamise võimalusi elektrokardiograafina.

Elektrokardiograafi kasutatakse arstiteaduses südamerikete kindlakstegemiseks. Südame ja vereringvoolu ebasümmeetria tõttu tekib iga südamelöögi juures potentsiaalide vahe. Seda on võimalik mõõta või, mis veel parem, vastava võnkekõvera valguskiire abil tundlikule fotopaberile üles joonistada. Niisuguste kõverate järele määratakse kindlaks südamehaiguste iseloom. Elektrokardiograaf on sarnane p. d) all kirjeldatud peegelgalvanomeetrile, kuid vahega, et püsiva terasmagneti asemel kasutatakse tugevat elektromagnetit.



Joon. 69.

Andmeid elektrokardiograafi kohta:

induktsioon B = 15000 gaussi;
piluvahe 2 mm;
katsal on 8 keerdu plaatintraati Ø 0,003 mm;
takistus R = 1500 oomi;
katsa mõõdud: 8 mm kõrge ja 1,2 mm lai;
peegli mõõdud: 0,5 x 0,5 mm.

Kui peegel asub 1 m kaugusel, siis 1 mm hälvele vastab voolutugevus 0,7 mA.

f) Keerdkatsa mõõteriista kasutamise võimalusi ballistilise galvanomeetrina magnetvoogude mõõtmiseks.

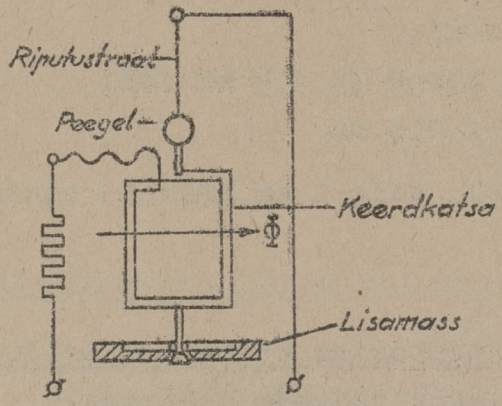
Lühikeste voolutõugete mõõtmiseks kasutatakse ballistilisi galvanomeetreid. Nad on tavalised peegelgalvanomeetrid, kusjuures galvanomeetri liikuv osa on varustatud kettekujulise lisamassiga nagu seda näha joonisel 70. Galvanomeetreid ehitatakse ka selliselt, et nad võivad töötada normaal-peegelgalvanomeetrina ning varustades neid lisamassiga - ka ballistilise galvanomeetrina. Viimasel juhul kui galvanomeetrile antakse vooluimpulss, liigub galvanomeetri osut niivõrd aeglaselt, et on võimalik lugeda osuti maksimaalset hälvet. Seega on loetud hälve proportsionaalne vooluhulgale Q = J.t. Sealjuures on tingimuseks, et ballistilise galvanomeetri omavõnke vältega võrreldes oleks voolutõuge lühikese kestvusega.

Magnetvoo Φ mõõtmine. Magnetvoo muutuse tõttu indutseeritakse poolis elektromotoorne jõud e, mille

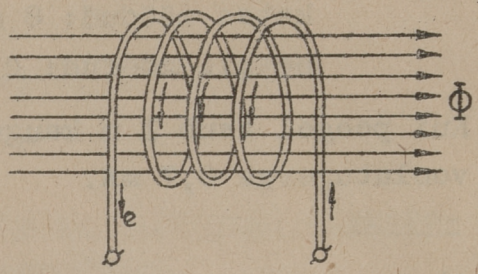
suurus on:

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

kusjuures z on pooli keerdude arv.



Joon. 70.



Joon. 71.

$$edt = - zd\Phi$$

Kui aeg on t_1 , siis magnetvoog on Φ_1

" " " t_2 , " " " Φ_2

$$e\int_{t_1}^{t_2} dt = - z\int_{\Phi_1}^{\Phi_2} d\Phi$$

Seega on voolu hulk võrdne:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \frac{e}{R} dt = - \int_{\Phi_1}^{\Phi_2} \frac{z}{R} d\Phi = \frac{z}{R} (\Phi - \Phi) = C.\alpha$$

Siit magnetvoo muutus suurusest Φ_1 suurusele Φ_2 on võrdne:

$$\Phi_1 - \Phi_2 = \frac{C \,.\, \alpha \,.\, R}{z} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

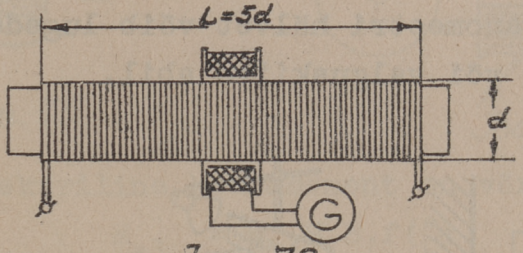
kus C - ballistilise galvanomeetri konstant,
α - " " hälve,
R - " " katsa ja pooli üldtakistus oomides,
z - pooli keerdude arv.

Galvanomeetri konstandi määramine. Konstant määratakse n.n. pika pooli abil (pikkus L on võrdne 5d), sest selle pooli keskkohas on väljatugevus kogu pooli ristlõikes ühesuurune. Väljatugevus määratakse järgmise valemi abil:

$$H = \frac{0{,}4\pi \cdot z_1 \cdot J}{L}$$

kus z_1 - pika pooli keerdude arv,
J - voolutugevus pikas poolis amprites,
L - pika pooli pikkus cm;
H - väljatugevus veberites.

Magnetvoog pikas poolis on: $\Phi_1 = H.S$, kus S - pika pooli ristlõike pindala cm^2.



Joon. 72.

Asetame pika pooli keskkohta ühe väikese pooli, mille ühendame ballistilise galvanomeetriga. Pika pooli kogu magnetvoog Φ_1 läbistab ka väikese pooli, mille keerdude arv on z_2 ning mille takistus ühes ballistilise galvanomeetri takistusega on R_2 oomi.

Katkestades järsku voolu pikas poolis, magnetvoog Φ_1 langeb suurusele $\Phi_2 = 0$. Magnetvoo muutuse tõttu tekib väikeses poolis elektromotoorne jõud, mis omakorda annab voolutõuke ja kutseb esile galvanomeetri hälve α.

Eelpooltoodud valemi (1) põhjal on Φ_1 suurus järgmine

$$\Phi_1 = \frac{C \cdot \alpha \cdot R_2}{z_2} \quad \text{sest} \quad \Phi_2 = 0.$$

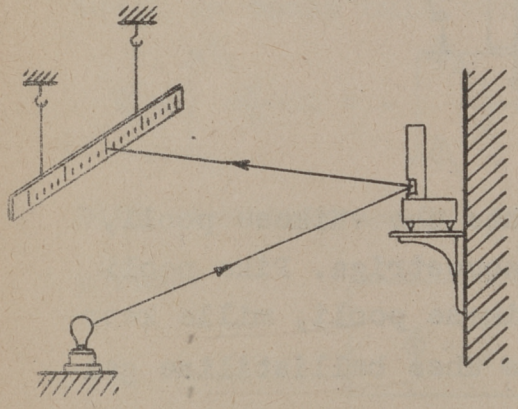
Sellest väljendame:

$$\boxed{C = \frac{\Phi_1 \cdot z_2}{\alpha \cdot R_2}}$$

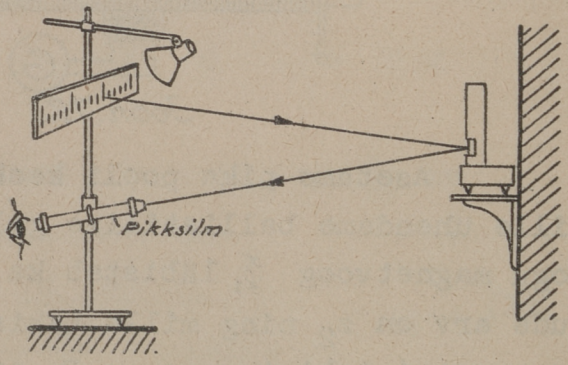
Kui soovitakse mõõta elektrimasina magnetvoogu Φ_3, siis keritakse masina pooli ümber z_3 keerdu. Katkestades järsku voolu masinas, saame hälve α_3. Kui R_3 on mõõteriista ja z_3 keeru üldtakistus, siis

$$\Phi_3 = \frac{C \cdot \alpha_3 \cdot R_3}{z_3}$$

Peegelgalvanomeetri hälvet võib lugeda kahel viisil: kas pikksilma või valguskiire abil.



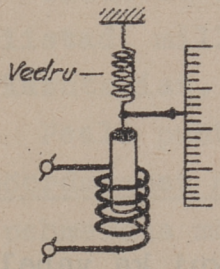
Joon. 73.



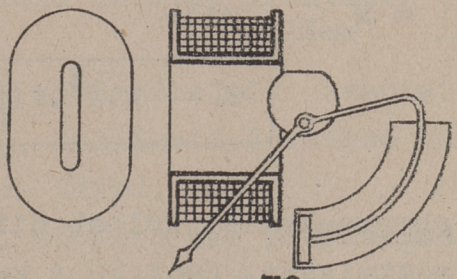
Joon. 74.

B. P e h m e r a u a r i i s t.

Esimene pehmerauariist ehitati Kohrauschi poolt aastal 1884. Ta koosnes poolist, mida läbistas mõõdetav vool ja raudsilindrist, mis oli vedru külge kinnitatud ja asetatud pooli kohale. Kui pooli läbistas elektrivool, tõmbus raudsilinder pooli sisse. Praegusel ajal ei ehitata enam sarnaseid mõõteriistu, sest ka pehmerauariistad nagu kõik teised elektri mõõteriistad, on pöörlemise süsteemile üle viidud. Eelpool üldosas oli toodud ühe sarnase mõõteriista joonis. Neid ehitusviise on palju, kuid kõikide nende riistade põhimõte on kas Kohlrauschi mõõteriista järgi või,nagu eelpool öeldud, kahe pehmeraua tõukamine üksteisest kui nemad asuvad magnetväljas.



Joon. 75.



Joon. 76.

Elektriline keerdmoment on võrdne:

$$M_{el.} = k_1 . H . B . f(\beta)$$

kus

pooli väljatugevus $H = k_2 . J$, s.o. võrdeline pooli läbistava voolutugevusega J,

induktsiooni suurus rauas $B = k_3 . J$, mis on samutigi võrdeline voolutugevusega J ja

$f(\beta)$ on pehmeraua asendi tegur, mida matemaatiliselt

on raske väljendada.

Seega $$M_{el.} = C_1 . J^2 . f(\beta) \quad \text{kus } k_1 . k_2 . k_3 = C_1$$

millest nähtub, et elektriline pöördmoment oleneb voolutugevuse suurusest ja on ruutiseloomuga, millele tuleb $f(\beta)$ korrektuur sisse viia. Nagu juba eelpool nägime, praktikas ei nõuta puhtakujulist ruutiseloomuga skaalat, vaid sagedasti soovitakse, et teatud hälveni skaala oleks võimalikult lineaarne kuna ülejäänud osas võib skaala olla ruutiseloomuga. Sarnast skaala muutust teatud osas saavutatakse raua asetusviisiga $f(\beta)$.

Vastukeerdmomendiks kasutatakse peamiselt spiraalvedru. Seega

$$M_{meh.} = C_2 . \alpha$$

Kuna $M_{el.} = M_{meh.}$, siis

$$\boxed{\alpha = k . J^2 . f(\beta)}$$

Pehmerauariist kõlbab nii alalis- kui ka vahelduvvoolu mõõtmiseks. Kuni 20 A kasutatakse traatmähist, kuni 300 A - lintmähist. Suuremate voolude mõõtmiseks kasutatakse kas šunte või voolumuutjaid.

Mõõteriista omatarvidus on ampermeetrina kuni 300 A mõõtmisel 1,5 ÷ 2,5 W ja voltmeetrina 600 V mõõtmisel 8 ÷ 10 W, millest 1,2 vatti on mõõteriista omatarvidus ning ülejäänud osa eeltakistuse omatarvidus.

Alalisvoolu mõõtmisel esineb hüstereesise viga. Voolu tõusuköver ei ühtu voolu languskõveraga, mille tõt-

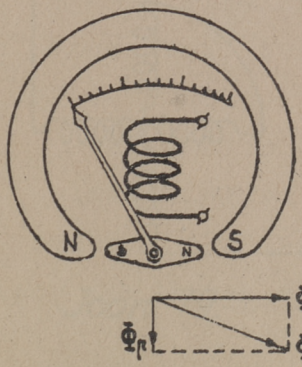
tu tuleb kasutada võimalikult väikese koertsitiivjõuga pehmet rauda. Mõõteviga on harilikult ± 1,0%, kuid ehitatakse mõõteriistu isegi veaga ± 0,2%. Vahelduvvoolu puhul on viga väiksem kui alalisvoolu puhul. Temperatuuriviga voltmeetrite juures on suurem kui ampermeetrite juures. Perioodide väikene kõikumine ei suurenda viga. Kui perioodide arv muutub 50-lt perioodilt 100-le, siis on mõõteviga 5%. Võõrad väljad avaldavad mõju mõõteriista näitamisele, mille tõttu mõõteriist asetatakse raudkesta. Kui mõõtevoolul on harmoonilisi, siis viimased mõjutavad näitamist.

Pehmerauariista on võimalik normaalselt 25 ÷ 50% ülekoormata, mis väga oluline näiteks mootorite käivitamisel.

Üldiselt on pehmerauariistad hinna poolest odavad mõõteriistad, mille tõttu nemad leiavad praktikas väga suurt kasutamist.

Peale puht pehmeraua mõõteriistade kasutatakse veel pöördmagnet mõõteriistu, milliseid loetakse kuuluvaiks pehmeraua mõõteriistade liiki.

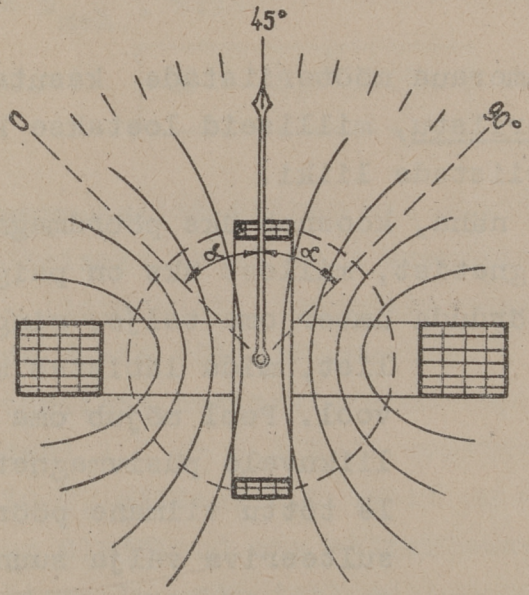
Nagu joonisest näha, koosneb üks pöördmagnet mõõteriist kahest püsivmagnetist, millest üks on paigalseisev kuna teine võib pöörduda ümber oma telje, ning poolist, mida läbistab mõõdetav vool. Pool mõjub oma väljaga liikuvale püsivmagnetile, mille tõttu viimane pöördub resulteeriva välja suunas. Sarnaseid mõõteriistu kasutatakse peamiselt autotehnikas. Nad ei karda põrutusi kuid pole ka tundlikud.



Joon. 77.

C. Elektrodünaamilised mõõteriistad.

Elektrodünaamiline mõõtesüsteem koosneb kahest poolist, milledest üks on kohtkindel, kuna teine on asetatud pöördumisvõimalusega esimese pooli välja. Voolab poolides vool, siis tekib pöördmoment ja poolid püüavad asetuda üksteisega rööbiti. Vastukeerdmomendi tekitamiseks kasutatakse spiraalvedru. Paigalseisev pool ehitatakse lamedana, et väljatugevus oleks vähemalt $\pm$45 kraadi piires võimalikult konstantne. Summutiks kasutatakse õhksummutit. Elektrodünaamiline mõõteriist töötab nii alalis- kui ka vahelduvvooluga. Kasutatakse seda mõõteriista peamiselt täpis mõõtmisteks, kuna tehnilised mõõtmised teostatakse pehmeraua mõõteriistadega.



Joon. 78.

Alalisvoolu puhul on keerdmomendid:

$$M_{el.} = C_1 . J_1 . J_2 \quad \text{ja} \quad M_{meh.} = C_2 . \alpha$$

milledest $$J_1 . J_2 = \frac{C_2}{C_1} . \alpha \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

kus J_1 on esimese ja J_2 teise pooli voolutugevused amprites,
C_1 ja C_2 on konstandid ja
α on hälve suurus.

Vahelduvvoolu puhul on keerdmomendid:

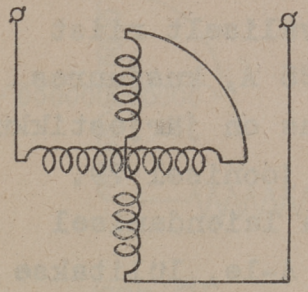
$$M_{el.} = C_1 \frac{1}{T} \int_0^T i_1 . i_2 . dt \quad \text{ja} \quad M_{meh.} = C_2 . \alpha$$

milledest $$\frac{1}{T} \int_0^T i_1 . i_2 . dt = \frac{C_2}{C_1} . \alpha \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

kus i_1 ja i_2 on voolude momentsuurused amprites ja
T on perioodi välde sekundites.

Kasutamine ampermeetrina.

a) Alalisvoolu puhul, oletusega, et $J_1 = J_2 = J$.



Joon. 79.

Seega valem (1) omab järgmise kuju: $$J^2 = \frac{C_2}{C_1} . \alpha$$

Kui $\sqrt{\frac{C_2}{C_1}} = C$, siis

$$\boxed{J = C\sqrt{\alpha}}$$

b) Vahelduvvoolu puhul oletusega, et $i_1 = i_2 = i =$
$= J_{max.} \sin \omega t.$

Seega valem (2) omab järgmise kuju:

$$\frac{1}{T}\int_0^T J_{max.}^2 . \sin^2 \omega t.dt = \frac{C_2}{C_1} . \alpha$$

Kuna $J_{max.} = J_{ef.}\sqrt{2}$

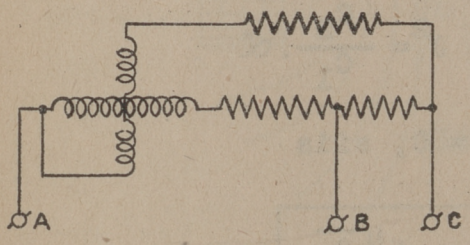
siis $$\frac{2}{T} J_{ef.}^2 \int_0^T \sin^2 \omega t.dt = \frac{C_2}{C_1} . \alpha$$

Integraal $$\int_0^T \sin^2 \omega t.dt = \frac{T}{2}$$

Seega: $\boxed{J_{ef.} = C.\sqrt{\alpha}}$ kui tähistada $\sqrt{\frac{C_2}{C_1}} = C$

Kasutades elektrodünaamilist mõõteriista ampermeetrina, on skaala ruut iseloomuga ning väljendatud nii alalis- kui ka vahelduvvoolu puhul ühe ja sama valemiga. Selle tõttu võib mõõteriista etaloneerida alalisvooluga.

Lülitused ampermeetrina. Elektrodünaamiline mõõteriist ampermeetrina kasutatakse max. kuni 10 A. Tavaliselt riist ehitatakse 0,25 A, kusjuures poolide lülitus on järjestikku nagu näidatud joonisel 79. Mõõtepiirkonna laiendamisel 2,5 , 5 ja 10 A-le, lülitakse aga paigalseisev ja liikuv pool



Joon. 80.

rööbiti. Paigalseisvast poolist voolab läbi peavool kuna liikuvat pooli läbistab vaid osa sellest. Mõõtepiirkonna laiendamine sünnib joonisel 80 toodud skeemi kohaselt kasutades vastavaid eeltakistusi. Kui mõõteriist lülida vooluringi klemmide AC kaudu, siis mõõtepiir on näiteks 5 A, kui aga klemmide AB kaudu, siis mõõtepiir on 10 A.

Mõõtepiirkonna laiendamine üle 10 A alalisvoolu puhul šuntide abil ei ole kohane, kuna mõõteriista poolide võrdlemisi suure takistuse tõttu pingelang šundis omab liig suure väärtuse. Üle 10 A vahelduvvoolude mõõtmisel saab aga kasutada voolutrafosid.

Kasutamine voltmeetrina. Kui poolid lülitada nagu ampermeetrigi puhul järjestikku ning varustada mõõteriist eeltakistusega, siis võib teda kasutada voltmeetrina.

Siin $J_1 = J_2 = J$.

Kui R on kahe pooli ja eeltakistuse üldtakistus oomides, siis mõõdetav pingelang voltides on:

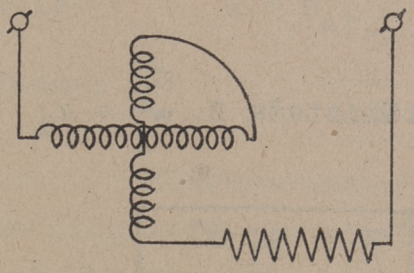
$$E = R.J$$

Asetades $J = C.\sqrt{\alpha}$ eelmisesse avaldusse, saame:

$$E = R.C.\sqrt{\alpha}$$

Väljendades $R.C = k$, saame

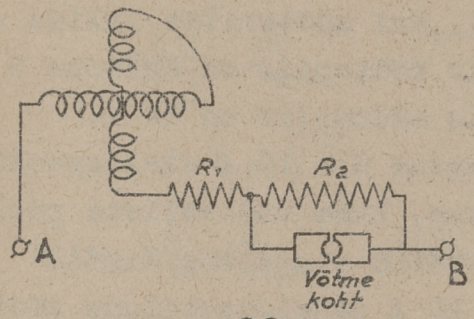
$$\boxed{E = k.\sqrt{\alpha}}$$



Joon. 81.

Elektrodünaamilise voltmeetri skaala on ruut iseloomuga nagu ampermeetrigi skaala.

Lülitused voltmeetrina. Mõõtepiirkonna laiendamiseks kasutatakse eeltakistusi nagu joon.82 näidatud. Väiksema mõõtepiiri puhul kasutatakse takistust R_1, milleks lühistatakse takistus R_2 võtme abil. Suurema mõõtepiiri puhul kasutatakse takistust $R_1 + R_2$, mille puhul on võti vastavast pesast välja võetud.



Joon. 82.

Kasutamine vattmeetrina.

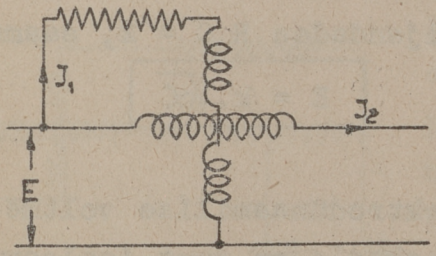
a) Alalisvoolu puhul.

Lülime ühe pooli vooluringi ja teise pooli üle eeltakistuse pingeringi ning oletame, et $J_1 = \frac{E}{R}$ ja $J_2 = J$. Seega valem (1) omab järgmise kuju:

$$\frac{E}{R} \cdot J = \frac{C_2}{C_1} \cdot \alpha \qquad \text{millest} \qquad E \cdot J = R \frac{C_2}{C_1} \cdot \alpha$$

Teiseltpoolt teame, et võime $N = E \cdot J$, mis asendades eelmisega, annab:

$$N = R \frac{C_2}{C_1} \cdot \alpha$$



Joon. 83.

Kui tähistada $R. \frac{C_2}{C_1} = k_1$

siis

$$\boxed{N = k_1 . \alpha}$$

vattides.

b) Vahelduvvoolu puhul.

Kui oletada, et $i_1 = \frac{e}{R}$ ja $i_2 = i$, siis valem (2) omab järgmise kuju:

$$\frac{1}{T}\int_0^T e.i.dt = R\,\frac{C_2}{C_1}\,.\alpha$$

kus: e - pinge momentväärtus $e = E_{max.}.\ \sin\ \omega t$

i - voolu momentväärtus $i = J_{max.}.\ \sin(\omega t \pm \varphi)$ ..(3)

R - peab olema võimalikult oomiline takistus

φ - pinge- ja vooluvektori vaheline nihkenurk.

$E_{max.} = \sqrt{2}\ .\ E_{ef.}$ ja $J_{max.} = \sqrt{2}\ .\ J_{ef.}$

Asendades saame:

$$\frac{2}{T}\,E_{ef.}.J_{ef.}\int_0^T \sin\ \omega t.\sin(\omega t \pm \varphi).dt = R\,\frac{C_2}{C_1}.\alpha$$

Kuna integraal $\int_0^T \sin\ \omega t.\sin(\omega t \pm \varphi).dt = \frac{T}{2}\cos\varphi$

siis $N = E_{ef.}.\ J_{ef.}.\ \cos\varphi = k_1.\alpha$

Saame: $\boxed{N = k_1.\alpha}$ vattides.

Elektrodünaamilise vattmeetri skaala on lineaarne ning väljendatud nii alalis- kui ka vahelduvvoolu puhul ühe ja sama valemiga (s.o. kumbagi juhul mõõdetakse vattvõime), mille tõttu võib mõõteriistu etaloneerida alalisvooluga.

Nagu keerdkatsa mõõteriist on täpis mõõteriist alalisvoolu mõõtmiseks, nii on seda elektrodünaamiline mõõteriist vahelduvvoolu puhul.

Nagu eelpool nägime, võib pinge ja voolu vaheline nihkenurk (3) olla kas positiivne või negatiivne. Mõlemal juhul vattmeeter mõõdab vattvõimet. Seega on vattmeetriga võimalik mõõta nii induktiivset kui ka mahtuvuslist koormust.

Perioodide muutusel 50 Hz kuni 100 Hz mõõteviga on 0,1 %. Kuni 1000 Hz on mõõteviga tajutav tingimusel, kui $\frac{L\omega}{R}$ on püsiv suurus. $L\omega$ mõju vähendamiseks tuleb oomiline takistus R valida võimalikult suur. Üle 1000 Hz on soovitav kasutada kuumustraat mõõteriistu.

Nii amper- kui ka voltmeeter varustatakse manganiinist valmistatud eeltakistusega, et vähendada temperatuuri muutuse mõju.

Elektrodünaamiline vattmeeter on mõjutatav võõrastest väljadest, sest võõras väli võib samuti mõjuda liikuvale poolile nagu paigalseisvagi pooli väli. Juhul kui mõlema pooli amperkeerdude arv on väike, siis elektrodünaamiline vattmeeter on kergesti mõjutatav võõrastest väljadest. Näiteks: kui võõra välja suurus on viis weberit, siis mõõteviga on ca 5 ÷ 10 %. Mõõteriista mõjutava võõra välja tekitajaks on sagedasti mõni läheduses olev suureampriline voolujuht.

Voolujuhist tekitatud väljatugevus määratakse kindlaks Hopkinsoni seaduse alusel:

$$H = 0{,}2 \frac{J}{x}$$

kus H - väljatugevus weberites,

J - voolutugevus amprites,
x - juhtme kaugus mõõteriistast cm.

Näiteks: kui J = 1000 A

kaugus:	väljatugevus:	mõõteviga %:
x = 20 cm.	H = 10 weberit	ca 11%
x = 40 "	H = 5 "	" 5%
x = 100 "	H = 2 "	" 0,5%
x = 200 "	H = 1 "	" 0,1%

Mõõteviga võib vähendada mõõteriista plekkkarpi asetamisega, s.o. kapseldades mõõteriist, siis

kaugus:	mõõteviga kapseldatud mõõteriista puhul %
x = 20 cm.	0,5 %
x = 40 "	0,25 %
x = 100 "	0,1 %

Mõõteriista viga võib ka sellega vähendada, kui paigalseisev pool ehitada suure amperkeerdude arvuga, näiteks 400 Ak, kuna liikuv pool väikese amperkeerdude arvuga, näiteks 3 ÷ 15 Ak. Suurest amperkeerdude arvust tingitult hoiab paigalseisev pool liikuvat pooli tugeva välja all, mille tõttu võõrad väljad ei avalda resulteerivale väljale suurt mõju. Sel teel saab viga teatud piirini vähendada kuid mitte kõrvaldada, sest ei ole võimalik meelevaldselt suurendada amperkeerdude arvu.

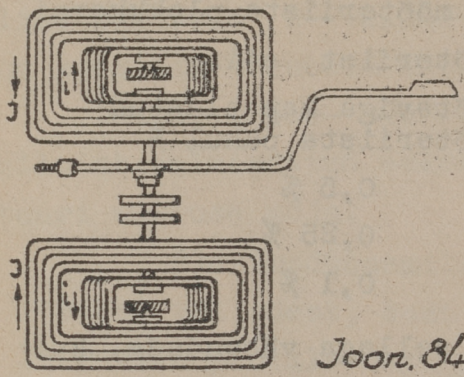
Sellise võõrast väljast tingitud mõõtevea kõrvaldamine on kõige tõhusam astaatiliste mõõteriistade tarvitusele võtmisega.

Astaatilised mõõteriistad.

Astaatiline mõõteriist koosneb kahest mõõtesüsteemist. Kumbki süsteem koosneb paigalseisvast ja liikuvast poolist. Paigalseisvad poolid on lülitatud järjestikku ja sarnaselt, et nende voolud oleksid üksteisele vastupidi suunatud. Liikuvad poolid on samutigi lülitatud järjestikku ja nii, et ka nende voolud oleksid suunatud vastupidi.

Esimese süsteemi pöördmoment on: $M_1 = (+e).(+J) = +N$

Teise " " ": $M_2 = (-e).(-J) = +N$



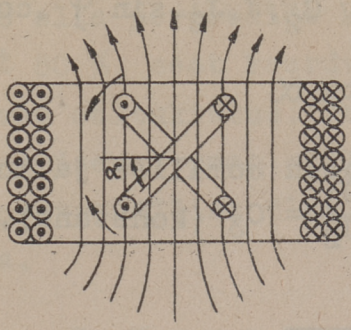
Joon. 84.

Seega mõlema süsteemi keerdmomendid on positiivsed. Asetades voolujuhtme sarnase mõõteriista lähedusse selgub, et juhtme ümber tekkinud väli suurendab väljatugevust ühel süsteemil, kuna teisel süsteemil vastavalt vähendab.

Cos φ mõõtja.

Cos φ otsene mõõtmine toimub cos φ mõõtja abil. Selleks kasutatakse elektrodünaamilist ristkatsa mõõteriista mis koosneb kahest üksteisest 90 kraadi all kinnitatud poolist ja on asetatud pöörlevalt peavoolust läbistatava pooli välja. Paigalseisev pool on harilikult ettenähtud viie amprilisele voolutugevusele, mille tõttu mõõteriist lülitakse 5A mõõtepiiriga voolumuutja sekundaarpoolega. Pöörlevad poolid, nagu näha

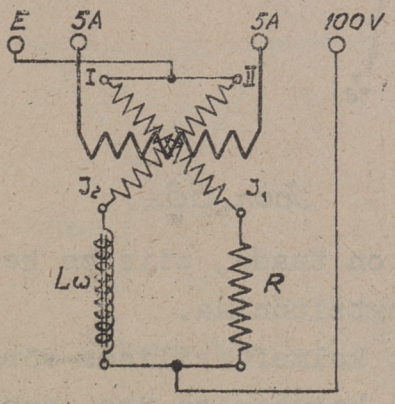
joonisest, on lülitatud 100 V pingele, seega harilikult pingemuutja sekundaarpoolega. Kuna sellel mõõteriistal puuduvad vastukeerdmomendina kasutatavad spiraalvedrud, siis koormamata olekus pole mõõteriista pöörlevatel poolidel kindlat asendit.



Joon. 85.

Esimesele pöörlevale poolile on ette lülitatud oomiline takistus R. Pöörleva pooli voolutugevus J_1 on nihutatud teatava nurga φ võrra paigalseisva pooli voolu J suhtes. Nihkumine sünnib kas ette- või tahapoole vastavalt sellele, kas on tegemist induktiivse või mahtuvuslise koormusega, sest võrgu pinge E on faasis vooluga J_1.

Teisele pöörlevale poolile on ette lülitatud induktiivne takistus, mille tõttu teise pöörleva pooli vool J_2 nihutatakse esimese pöörleva pooli voolust J_1 90 kraadi ja paigalseisva pooli voolust J $90^\circ - \varphi$ võrra tahapoole.



Joon. 86.

Seega tekivad järgmised keerdmomendid:

1) paigalseisva pooli ja esimese pöörleva pooli vahel:

$$M_1 = C_1.J.J_1.\cos\varphi \;.\; \sin\alpha$$

2) paigalseisva pooli ja teise pöörleva pooli vahel:

$$M_2 = C_2.J.J_2\cos(90^\circ-\varphi).\sin(90^\circ-\alpha) =$$

$$= C_2.J.J_2.\sin\varphi \;.\; \cos\alpha$$

Tasakaalu korral peavad momendid olema võrdsed, s.o.

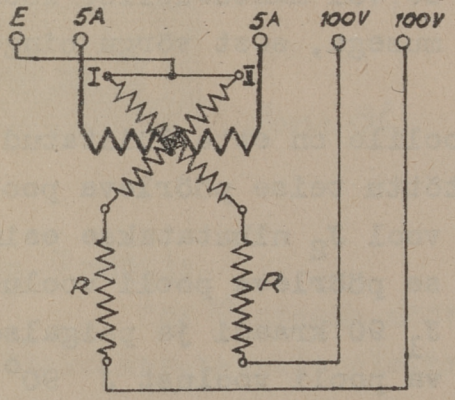
$$C_1.J.J_1.\cos\varphi.\ \sin\alpha = C_2.J.J_2.\sin\varphi\ .\cos\alpha$$

millest: $$\operatorname{tg}\varphi = \frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{J_1}{J_2}.\operatorname{tg}\alpha$$

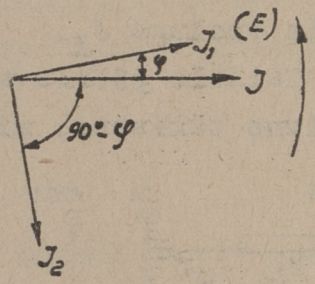
Voolutugevused J_1 ja J_2 on määratud oomilise ja induktiivse takistuse järgi, seega $\frac{J_1}{J_2} = C_3$ (konstant).

Tähistame: $\frac{C_1}{C_2}.C_3 = C$

Saame: $$\boxed{\operatorname{tg}\varphi = C.\operatorname{tg}\alpha}$$



Joon. 87.



Joon. 88.

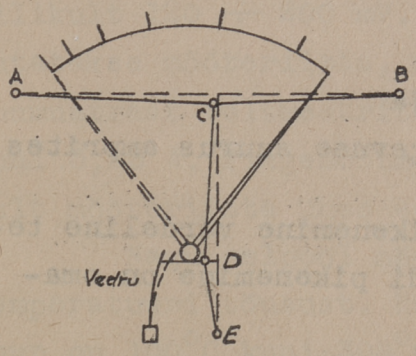
Kui tangens funktsioon on teada, siis on kerge mõõteriista gradueerida cos funktsioonina.

Kasutades cos φ mõõtjat kolmefaasilises võrgus, langeb induktiivne eeltakistuse kasutamine ära, sest nihkenurk kahe faasi vahel on juba olemas (joon.87).

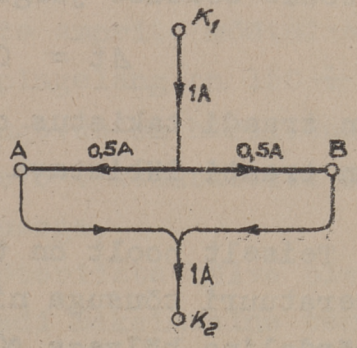
Mõõteriista viie amprilise voolupooli pingelang on 50 Hz juures 1 ÷ 4 V. Pingepool tarvitab ühefaasilise mõõteriista puhul 0,06 A ja kolmefaasilise mõõteriista puhul 0,003 A. Ühefaasilisel mõõteriistal ei tohi olla perioodide muutus üle ± 5 % ja pinge kõikumine üle ±10%, sest sellega muutub induktiivse takistuse suurus, mis peab aga olema konstantne. Kolmefaasilise voolu puhul võib olla perioodide kõikumine ± 20 % ja pinge kõikumine ± 50 %, sest keerdvoolu mõõteriistal puudub induktiivne eeltakistus. Arvestades pingepoolide üleliigse soenemisega, peab selle järele valvama, et enam kui kümne protsendilist ülepinget kasutatakse ainult lühemat aega.

D. Kuumustraat mõõteriistad.

Mõõtesüsteem koosneb pingutatult ülesseatud plaatiniridium või plaatinhõbe traadist, mida läbistab mõõdetav vool (vaata joon.4 ja 89).



Joon. 89.



Joon. 90.

Traadi materjal peab olema suure joonpaisumise teguriga ning kõrge sulamistemperatuuriga. Voolu mõjul traat soeneb ja selle tagajärjel pikeneb. Pikenemine kantakse üle osutile mehaanilisel teel. Mõõteriista võib kasutada alalis- kui ka vahelduvvoolu mõõtmiseks. Vahelduvvoolu puhul mõõdetakse efektiiv suurusi. Kuumustraat ei võimalda suurt koormust ega ülekoormust, sest riistas kasutatav väikese läbimõõduga traat muutub pikkuselt väiksemagi voolumuutuse tagajärjel.

Suuremate voolutugevuste mõõtmiseks kasutatakse voolu jagamise süsteemi nagu näha joonisel 90 ja 91 toodud skeemidel. Esimese skeemi järgi mõõdetakse üht amprit, kuna kuumustraati läbistab ainult pool amprit. Teisel juhul mõõdetakse viis amprit ja kuumustraati läbistab samutigi ainult pool amprit. Kui voolutugevus on üle viie ampri, kasutatakse šunti, mida ehitatakse normaalselt kuni 500 amprit. Ilma harudeta kuumustraate ehitatakse kuni 1 A, sest juba selle voolutugevuse juures peab traadi läbimõõt olema võrdlemisi suur (ca 0,2 mm).

Joule seaduse järgi on traadi temperatuuri tõus:

$$\Delta t = C_1 . R . J^2$$

kus R on traadi takistus oomides ja
J on traati läbistava voolutugevuse suurus amprites.

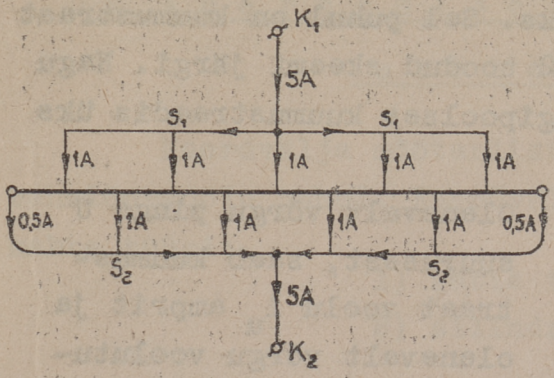
Teiselt poolt on traadi pikenemine võrdeline tema temperatuuri tõusuga ning traadi pikenemine on omakorda võrdeline hälvega α.
Seega hälve

$$\alpha = C_2 . \Delta l = C_3 . \Delta t = C_1 . C_3 . R . J^2$$

Kui tähistada $C_1 . C_3 . R = C$, siis

$$\alpha = C . J^2$$

Siit selgub, et hälve oleneb voolu ruut suurusest. Vastukeerdmomendi tekitamiseks kasutatakse vedru. Summutus on elektromagnetiline.



Joon. 91.

Kuumustraat mõõteriistad on kohased kõrgesageduse voolude ja pingete mõõtmiseks ning selle mõõtmisel tekkiv viga on ligikaudu järgmine:

30000 Hz juures - 1 %
300000 Hz " - 2÷4 %

Mõõteriista omatarvidus on ca 1 vatt ühe ampri kohta. Näiteks: kui ampermeeter mõõdab 150 A, on omatarvidus ca 150 vatti.

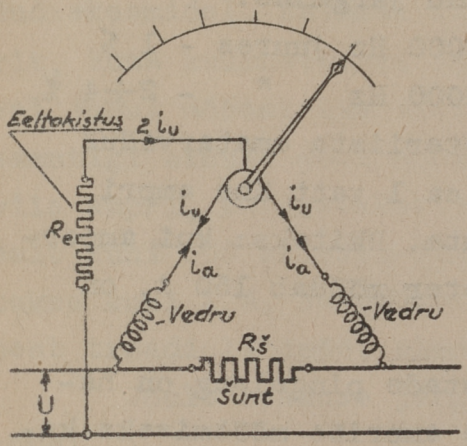
Viie ampriliste mõõteriistade pingelang on harilikult 120 ÷ 200 mV. Suuremate amprite mõõtmiseks kasutatakse mõõteriista, millede pingelang on 150 ÷ 250 mV. Kuumustraat voltmeetrite voolutugevus on harilikult 0,08 kuni 0,25 A. Pingemõõtmistel üle 3 V kasutatakse harilikult mõõteriista ühes eeltakistusega.

Nagu eelpool nägime, mõõteriista hälve oleneb temperatuuri tõusust. Kuumustraadi maksimaalne temperatuur on 100°C kuni 300°C olenevalt konstruktsioonist. Kui kuumustraadi maksimaalne hälve on 100°C juures, siis ruumi temperatuuri muutus näiteks 20°C võrra, kutsuks

esile hälve 1/5 maksimaalsest hälvest. Selle vea kompenseerimiseks asetatakse kuumustraadi kinnitusklemmid sama temperatuuriteguriga alusele.

Võime mõõtmine kuumustraatriistaga.

Peale amper- ja voltmeetri kasutatakse kuumustraat mõõteriistu ka võime mõõtmiseks. Sel puhul on kuumustraat mõõteriist lülitud joonisel 92 toodud skeemi järgi. Nagu skeemist näha, ei voola kumbagipoolses kuumustraadis üks ja sama voolutugevus.



Joon. 92.

Olenevalt võrgu pinge U suurusest, saab kuumustraat voolu i_u amprit ja olenevalt võrgu voolutugevuse J suurusest, saab kuumustraat voolu i_a amprit.

Seega kuumustraadi paremal poolel voolab

$$i_u + i_a \text{ amprit}$$

ja vasemal poolel

$$i_a - i_u \text{ amprit.}$$

Selle tagajärjel tekib kuumustraadi kummagil poolel isesugune traadi pikenemine ning nende diferents annab resulteeriva mõju.

$$D = C.\ (i_u + i_a)^2 - C.(i_a - i_u)^2 = 4C.i_u.i_a = C_1.i_u.i_a$$

Kuna $i_a = C_2.J$ ja $i_u = C_3.U$, siis

$D = C_1.C_2.C_3.J.U$. Tähistades $C_1.C_2.C_3 = k$

saame: $\boxed{D = k.N}$

Sellest nähtub, et kuumustraatriist vattmeetrina kasutamiseks omab lineaarse iselqomuga skaala.

E. K e e r d v ä l j a ehk F e r r a r i s m õ õ t e r i i s t a d.

Keerdvälja mõõteriistad on kasutatavad ainult vahelduvvoolu puhul. Keerdvälja mõõteriistu ehitatakse kahte tüüpi:

1) ketta tüüp,
2) silindri tüüp.

Ketta tüüp.

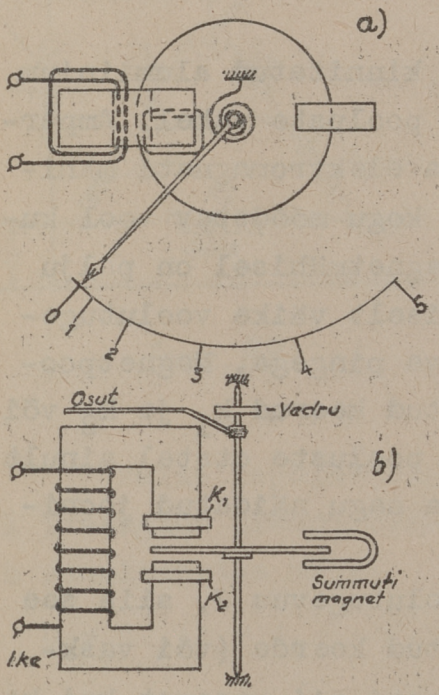
Osutiga seotud teljele on kinnitatud alumiinium ketas, mis pöördub elektromagneti pooluste vahel. Ampermeetrina ehitatud keerdväljariista elektromagneti mähisel on vähe keerde ja sealt läbib kogu mõõdetav vool kuna voltmeetriks ehitatud riista magnetmähisel on palju enam keerde ja sealt läbib suhteliselt väike voolutugevus. Viimane on võrdeline mõõdetava pingega. Magnetpooluste otstele on asetatud lühistatud keerud k_1 ja k_2 või vaskplaadid. Lühistatud keerud on pooluste otstel ainult poole ristlõikepinna suuruse avaga nagu näidatud joonisel.

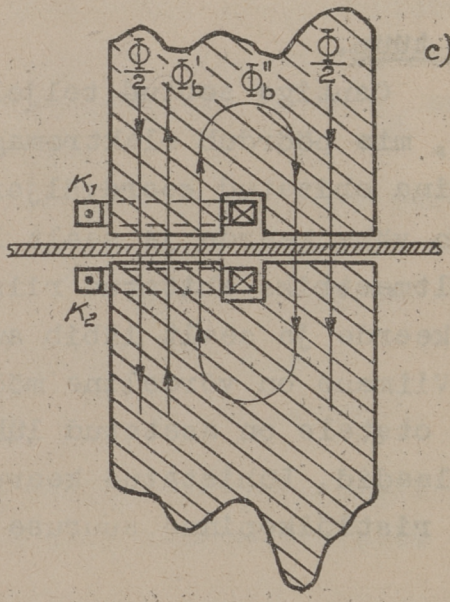
Kui elektromagnetit läbib voolutugevus J, siis see tekitab magnetvoo Φ . Kui lühistatud keerde (või vaskplaate) ei oleks, siis elektromagneti nii vasemat kui ka

paremat poolt läbistaks magnetvoog $\frac{\Phi}{2}$. Et aga vasemal pool on lühistatud keerud, siis selle poole magnetvoog on väiksem kui paremal pool. Põhjuseks on lühiskeerdudes (või vaskplaatides) induktsiooni tagajärjel tekkinud voolud, mis on möödetavast voolust J ligikaudu 180° võrra nihutatud ja tekitavad algmagnetvoole vastusuunatud magnetvoo. Seega vasemat ja paremat poolt läbivad erinevad magnetvood indutseerivad alumiiniumkettas erinevad voolud. Nende voolude ja algmagnetvoogude koosmõjul tekib pöördmoment.

Vastupöördmomendi tekitab vedru. Mõõteriista skaala on ruut iseloomuga.

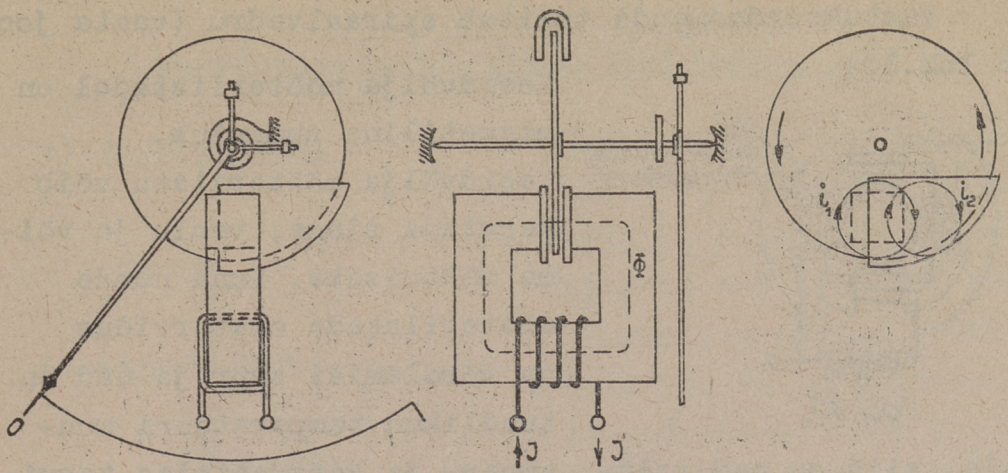
Ketta süsteemi kasutatakse peamiselt elektrivoolulugejate juures.





Ketta tüüp lühiskeerdudega

Joon. 93 a,b,c.



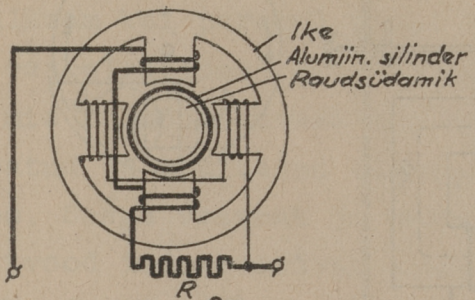
Ketta tüüp vaskplaatidega.

Joon. 94 a,b,c.

Silindri tüüp sarnaneb töötamispõhimõttelt lühisankru assünkroonmootorile. Neljapooluslisele raudike poolustele on asetatud kaks paari magnetmähiseid. Pooluste vahel asub teljele kinnitatud alumiiniumsilinder. Telg on varustatud osutiga. Magnetilise takistuse vähendamiseks on alumiiniumsilindri sisse asetatud raudsüdamik. Viimane on selliselt kinnitatud, et tal ei oleks pöördumisvõimalust. Foucault voolude vähendamiseks raudike kui ka südamik ehitatakse isoleeritud raudplekkidest.

Kaks poolide paari on ruumiliselt nihutatud 90° ja ajaliselt nihutatud mingi nurga võrra. Ühel poolide paaril on jäme mähistraat ja vähe keerde, teisel paaril peenikene mähistraat ja palju keerde. Selle tagajärjel on viimasel paaril suurem induktiivne takistus kui esimesel paaril, mille tõttu nende poolide paaride voolud on üksteisest nihutatud teatud nurga võrra. Neist asjaoludest tingitult tekib keerdväli ja selle välja sisse asetatud alumiiniumsilinder pöördub keerdvälja suunas.

Vastukeerdmomendi tekitab spiraalvedru (vaata joonis 5 lhk.10).



Joo.95.

Keerdvälja mõõteriistadel on magnetiline summutus. Keerdvälja mõõteriistu võib kasutada pinge, voolu ja võime mõõtmiseks. Kuna nende mõõteriistade omatarvidus on võrdlemisi suur ja nad on tundlikud temperatuuri muutustele, siis on nad volt-, amper- ja vattmeetrina tarvituselt kadumas. Neid mõõteriistu kasutatakse aga peamiselt vooluluge jatena.

Keerdväljariistal temperatuuri muutus $\pm 10^{o}C$ tekitab vea ± 2 %. Samuti oleneb hälve sageduse suurusest. Keerdvälja mõõteriistu ehitatakse ainult sagedustele 20 ÷ 100 Hz.

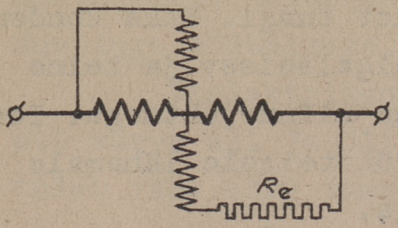
Mõõteriista headest omadustest võiks nimetada tema lihtsat ehitusviisi, suurt keerdmomenti ja liikuvate poolide puudumist.

Allpool on näitena toodud andmed kahe firma ampermeetri kohta:

SSW ampermeeter		Westinghouse ampermeeter	
Omatarvidus	15,5 VA	Omatarvidus	7 VA
Pingelang	3,1 V	Pingelang	1,4 V
Keerdmoment	4,9 cmgr	Keerdmoment	1,0 cmgr
Hälve	120°	Hälve	90°
Pöördsüsteemi kaal	14 gr.	Pöördsüsteemi kaal	10 gr.
Hääduse kraad	0,7	Hääduse kraad	0,32

Keerdvälja mõõteriista lüliskeeme.

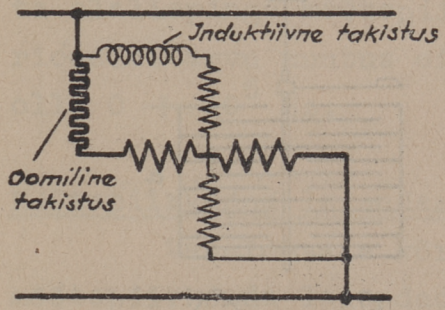
a) Ampermeeter.



Joon. 96.

Ampermeetril on kaks pooli - üks jäme- ja teine peenejuhtmeline. Viimasele on ette lülitatud eeltakistus. Peenejuhtmelise mähise induktiivne takistus on niivõrd suur, et saavutatakse voolu ajaline faasinihe ca 90°. Skaala on ruut iseloomuga

$$\alpha = k_1 . J^2$$

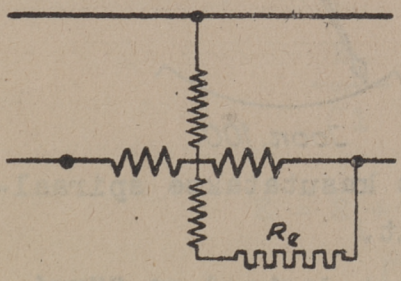


Joon. 97.

b) Voltmeeter.

Nii peene kui ka jämedajuhtmeline pool lülitakse võrguga rööbiti, kusjuures jämedajuhtmelisele poolile lülitakse ette oomiline ja peenejuhtmelisele poolile induktiivne takistus. Sellega saavutatakse ajaline faasinihe. Skaala on ruut iseloomuga

$$\alpha = k_2 U^2$$



Joon. 98.

c) Vattmeeter.

Jämedajuhtmeline pool lülitakse võrku järjestikku, kuna peenejuhtmeline pool üle eeltakistuse rööbiti võrguga. Skaala on lineaarne

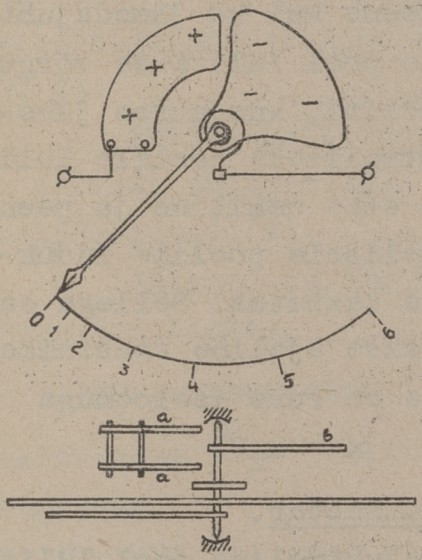
$$\alpha = k_3 . N = k_3 . U . J . \cos \varphi$$

F. Elektrostaatilised mõõteriistad.

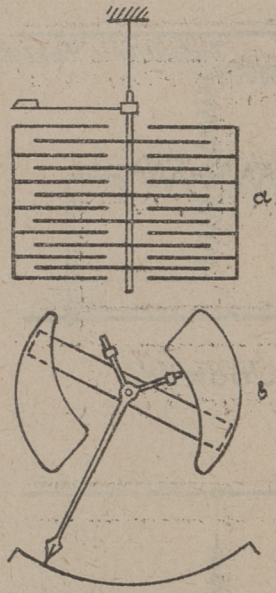
Elektrostaatilise mõõteriista juures kasutatakse osuti liikumiseks vajaliku pöördmomendi saavutamiseks laetud kondensaatori plaatidevahelist tungi. Kaks kondensaatori plaati, milledest üks on paigalseisev ja teine liikuv, ühendatakse üks pluss-, teine miinusjuhtmega. Isenimeliselt laetud plaadid tõmbuvad üksteisele lähemale ning tekkiv hälve on ruut iseloomuga.

$$\alpha = k.U^2$$

Seda ruut iseloomu on võimalik soovikorral muuta, valides plaatidele vastavad kujud.



Joon. 99.



Joon. 100.

Vastukeermomendi tekitajaks kasutatakse spiraalvedru ja summutiks - magnet summutit.

Elektrostaatiliste mõõteriistade kaod on äärmiselt väikesed.

Mida väiksem on (pinge) mõõtepiir, seda enam peab olema plaatide paare (enamasti 10 ÷ 15 plaatide paari). Ilma eelkondensaatorita elektrostaatilist mõõteriista võib kasutada nii alalis- kui ka vahelduvpinge mõõtmiseks. Eelkondensaatorite kasutamisel ainult vahelduvpinge mõõtmiseks.

Dielektrikuna kasutatakse õhku, suruõhku kuni 20 atü surve all ja õli. Õli võib kasutada ainult seal, kus tuleb vähe ette temperatuuri kõikumisi. Vastasel korral ei ole mõõteriista näitamised konstantsed. Suruõhu kasutamisel on plaatide vahed väiksemad või sama plaatide vahekauguse juures on võimalik mõõta kõrgemat pinget.

Olenevalt firmast on elektrostaatilise mõõteriista alalispinge mõõtepiir paarist voldist kuni 30 kV. Perioodide arvu muutus ei mõjuta mõõtetulemusi. Muutus võib olla $0 \div 10^6$ Hz.

Mõõtepiirkonna laiendamine.

Vahelduvate kõrgepingete mõõtmiseks on võimalik mõõtepiirkonda laiendada mõõteriistale kondensaatori ette lülimisega.

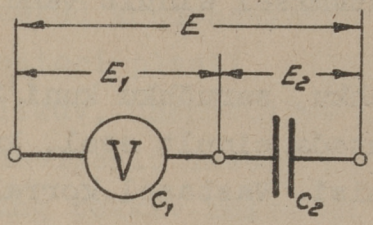
Kuna kondensaatori klemmpinge on mahtuvusele vastuvõrdeline, siis

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{C_1}{C_2} \; ; \quad E_2 = E_1 \frac{C_1}{C_2}$$

$$E = E_1 + E_2 = E_1 + E_1 \frac{C_1}{C_2} = E_1 \left(1 + \frac{C_1}{C_2}\right)$$

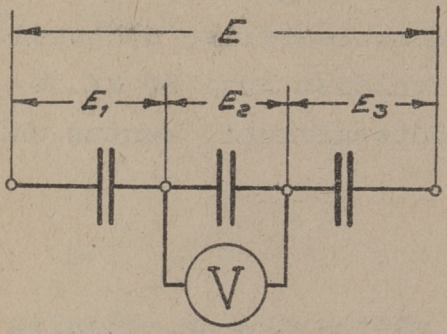
$$\boxed{E = E_1 \frac{C_1 + C_2}{C_2}}$$

Siin E on mõõdetav pinge voltides,
E_1 - voltmeetri mõõtepiir,
C_1 - mõõteriista mahtuvus,
C_2 - eelkondensaatori mahtuvus.



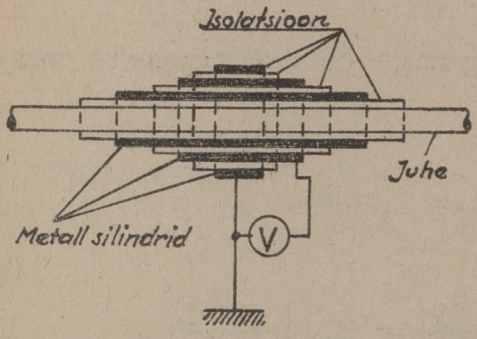
Joon. 101.

Näide: Voltmeetri mahtuvus on: C_1= 19 cm, eelkondensaatori mahtuvus on C_2 = 1 cm. Voltmeetri mõõtepiir 2000 V.
Seega mõõdetav pinge
$E = 2000 \cdot \frac{19 + 1}{1} = 40.000$ V.



Joon. 102.

Sagedasti kasutatakse ka teist mõõtepiirkonna laiendamise võimalust, lülides järjestikku rida ühesuuruse mahtuvusega kondensaatoreid ning mõõtes elektrostaatilise voltmeetriga pinget ühe kondensaatori klemmidel. Siis on $E = n.E_1$, kusjuures E_1 - ühe kondensaatori klemmpinge ja n - kondensaatorite arv.



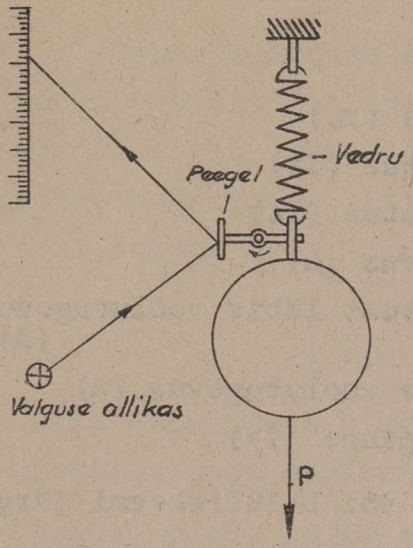
Joon. 103.

Kondensaatoreid võib monteerida ka läbiminevatele juhtmetele nagu seda näha joonisel 103. Mõõtepiirkonna laiendamisega on võimalik mõõta pingesid kuni 1000 kV sagedusega 15 kuni 500 Hz. Elektrostaatiliste mõõteriistade mõõtetäpsus eelkondensaatorite kasutamisel on ca ± 3 %.

Kõrgemate (üle 1000 kV) alalis- kui ka vahelduvpingete mõõtmiseks kasutatakse suure läbimõõduga (125 cm) kuule kaaluga 150 kg, millest üks ripub vedru otsas. Kahe erinimeliselt laetud kuuli vahel tekib külgetõmbetung, mille suurus oleneb elektri pinge suurusest. 1000 kV pinge mõõtmisel on vedru pikenemine

$$\Delta L = 1 \text{ mm.}$$

ning selle juures külgetõmbetungi suurus on p = 900 gr. Pikenemine kantakse kangi ja peegli kaudu üle 200 cm pikkusele skaalale. Sel viisil mõõdetud pinge suuruses esineb viga ± 1 %.



Joon. 104.

- oOo - -

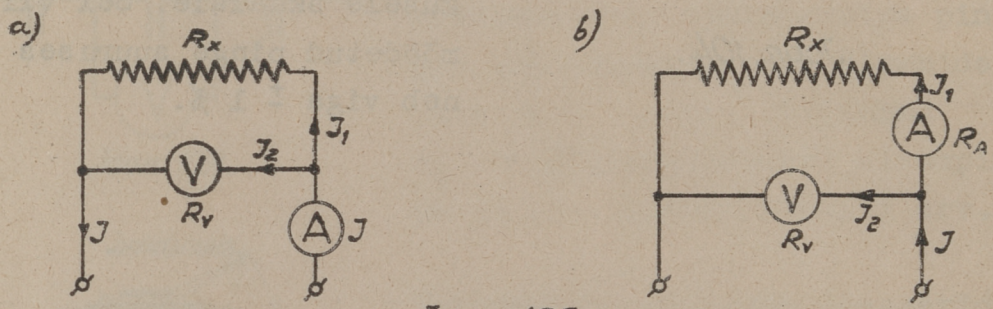
15. KAUDSED MÕÕTMISED.

1. Oomiliste takistuste mõõtmine.

A. Volt- ja ampermeetri meetod.

Tähistame: R_x - tundmatu takistus (Ω)
R_v - voltmeetri takistus (Ω)
R_a - ampermeetri takistus (Ω)
J - üldine voolutugevus (A)
J_1 - mõõdetavat takistust läbiv voolutugevus (A)
J_2 - voltmeetrit läbiv voolutugevus (A)
U - voltmeetri klemmpinge (V)

Takistust on võimalik mõõta kas a või b lüliskeemi järgi (joon.105).



Joon. 105.

Korrektuuri tegemata on tundmatu takistuse suurus:

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

Tehes lülituse skeemi a järgi, voltmeeter mõõdab pingelangust R_x klemmidel, kuna ampermeeter mõõdab peale J_1 veel J_2 voolu suuruse. Selle tõttu tuleb ampermeetri näi-

tamisest lahutada J_2 suurus. Seega

$$R_x = \frac{U}{J - J_2} = \frac{U}{J - \frac{U}{R_v}}$$

Tehes lülituse skeemi b järgi, ampermeeter mõõdab voolutugevust mis läbistab takistuse R_x kuna voltmeeter mõõdab peale takistuse R_x pingelangu veel ampermeetri pingelangu $R_a.J_1$. Selle tõttu tuleb voltmeetri näitamisest suurus $R_a.J_1$ lahutada. Seega

$$R_x = \frac{U - R_a.J_1}{J_1}$$

Lülitust a kasutatakse väikeste ja keskmiste takistüste, kuna lülitust b - suurte takistuse mõõtmiseks.

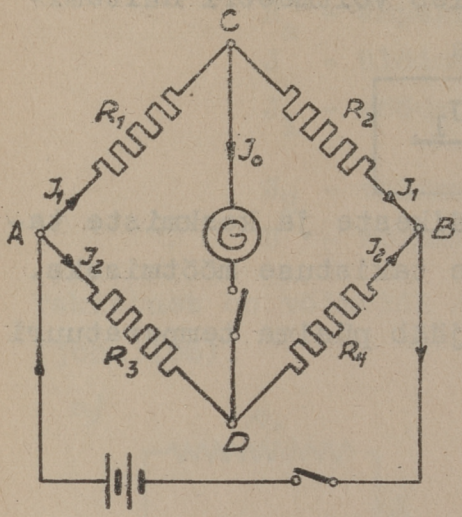
Märkus: peale selle korrektuuri jääb püsima temperatuuri muutustest tingitud viga.

B. Wheatstone'i silla meetod.

Üheks populaarsemaks takistuste mõõtmisviisiks on takistuste määramine Wheatstone'i silla abil. Seda meetodit kasutatakse peamiselt keskmise suurusega takistuste mõõtmiseks s.o. piirides 10^{-1} kuni 10^6 oomi. Vähemaid takistusi ($< 10^{-1}$ oomi) mõõdetakse Thomsoni sillaga, kuna suurumaid ($>10^6$oomi) voltmeetri meetodi abil.

Wheatstone'i silla juures kasutatakse null meetodit, mis on väga otstarbekohane mõõteviis, sest mõõteriista vooluta olekut on võimalik fikseerida suure täpsusega. Mõõtmisel kasutatakse kas osut- või peegelgalvanoskoopi.

Joonistelt näeme, et vool hargneb kaheks punktis A. Üks osa voolust läbib takistuse R_1 ja R_2 ja teine osa takistuse R_3 ja R_4. Punktis B need voolud ühinevad uuesti. Kui vool ei läbi galvanoskoopi, s.o. $J_0 = 0$, siis punktide C ja D potentsiaalid on ühesuurused. Pingelang punktide A ja C vahel on võrdne pingelangule punktide A ja D vahel ning pingelang punktide C ja B vahel on võrdne pingelangule punktide D ja B vahel.



Joon. 106.

Selle tõttu võime kirjutada:

$$R_1 . J_1 = R_3 . J_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

$$R_2 . J_1 = R_4 . J_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Jagades (2) võrrandi (1)-ga, saame:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{R_4}{R_3}, \text{ millest } R_4 = R_3 \frac{R_2}{R_1}$$

Viimasest avaldisest selgub, et kolme tuntud takistuse abil on võimalik leida neljas tundmatu takistus.

Tavaliselt asendatakse takistused R_1 ja R_2 kalibreeritud traadiga, millel asub liugkontakt.

$$R_1 = \rho . \frac{L_1}{S}$$

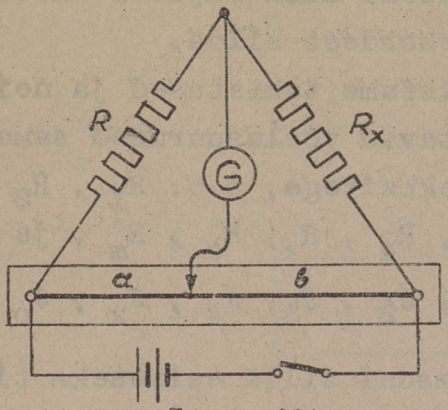
$$R_2 = \rho . \frac{L_2}{S}$$

kus ρ - kalibreeritud traadi eritakistus
L_1 ja L_2 - traadi vastavate osade pikkused meetrites,
S - traadi põiklõike pind mm^2.

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{L_2}{L_1} = \frac{b}{a}$$

Seega $\boxed{R_x = R . \frac{b}{a}}$ tingimusel, et

galvanoskoop ei anna hälvet.



Joon. 107.

Tuntud takistus R peab ligikaudu võrduma määratavale tundmatule takistusele R_x, sest siis liugkontakt asub ligikaudu kalibreeritud traadi keskkohas ja saadakse minimaalse veaga mõõtetulemus. kui R ei võrdu ligikaudu suurusele R_x, siis mõõteviga on suur.

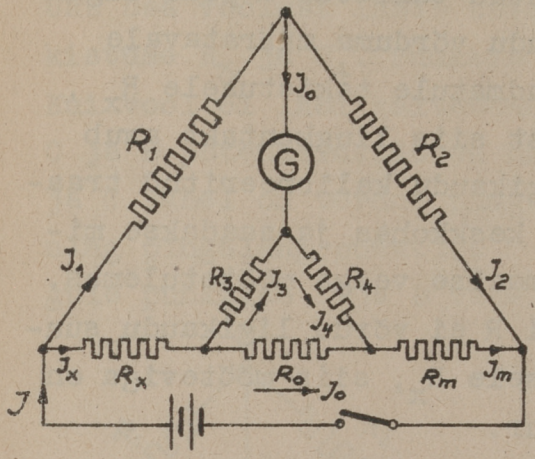
Mida väiksemaid takistusi mõõdetakse selle meetodiga, seda suurem on viga, sest mõõtmisvigade põhjustajaks on ühendusjuhtmed, millede takistust selle mõõtemeetodi juures arvesse ei võeta.

C. Thomsoni silla meetod.

Thomsoni silla abil on võimalik mõõta takistusi, millede suurus on 10^{-1} kuni 10^{-6} oomi. Thomsoni sillaga mõõtmisel ühendusjuhtmete takistused ei mõjuta mõõtetulemusi, sest võrdlustakistuste suurused võetakse harilikult mitte vähemad kui 10 oomi, s.o. palju suuremad kui ühendusjuhtmete ja ühenduskohtade takistused. Selle tõttu võib ühendusjuhtmete ja -kohtade takistused jätta arvesse võtmata.

Ka Thomsoni silla juures kasutatakse null meetodit, kusjuures nullpunkt määratakse samutigi kas osut- või peegelgalvanoskoobi abil. Mõõtetulemuse täpsustamiseks on mõnikord soovitav voolusuunda muuta ja võtta ar-

vesse tulemuste keskmine suurus. Mõõteviga on ± 0,2 %.



Joon. 108.

Thomsoni sild kujutab enesest kahekordset silda.

Tähistame takistused ja neile vastavad voolusuurused samade indektsitega, s.o. R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_x, R_o , R_m , ja J_1 , J_2 , J_3, J_4 , J_x , J_o , J_m

Thomsoni silla esimeseks tingimuseks on, et galvanoskoobi hälve oleks null, siis

$$J_1 = J_2 \quad \text{ja} \quad J_3 = J_4$$

$$J = J_x + J_1 = J_m + J_2$$

Seega $J_x = J_m$

Kirchhofi teise seaduse põhjal võime kirjutada:

$$\left.\begin{aligned} R_1 . J_1 &= R_3 . J_3 + R_x . J_x \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1) \\ R_2 . J_2 &= R_4 . J_4 + R_m . J_m \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2) \end{aligned}\right| \quad J_1 = J_2$$

Jagades esimese võrrandi teisega, saame:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3 . J_3 + R_x . J_x}{R_4 . J_4 + R_m . J_m} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Thomsoni silla teiseks tingimuseks on, et:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

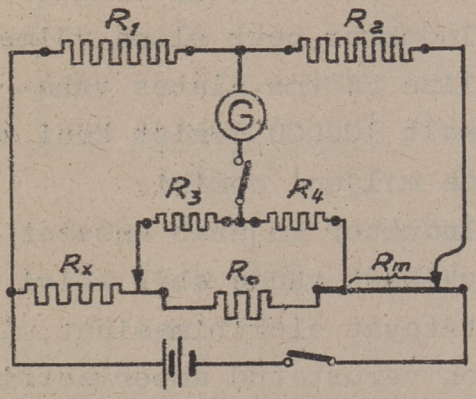
Seega muutub (3) võrrand:

$$\frac{R_3}{R_4} = \frac{R_3 \cdot J_3 + R_x \cdot J_x}{R_4 \cdot J_4 + R_m \cdot J_m}$$

$$\frac{R_3}{R_4} R_4 \cdot J_4 + \frac{R_3}{R_4} R_m \cdot J_m = R_3 \cdot J_3 + R_x \cdot J_x .$$

Kuna $J_3 = J_4$ ja $J_m = J_x$, siis

$$R_x = R_m \cdot \frac{R_3}{R_4}$$



Joon. 109.

Siin R_x - tundmatu takistuse suurus,

R_3 ja R_4 - tuntud takistuste suurused nagu

R_1 ja R_2 tingimusel, et

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$$

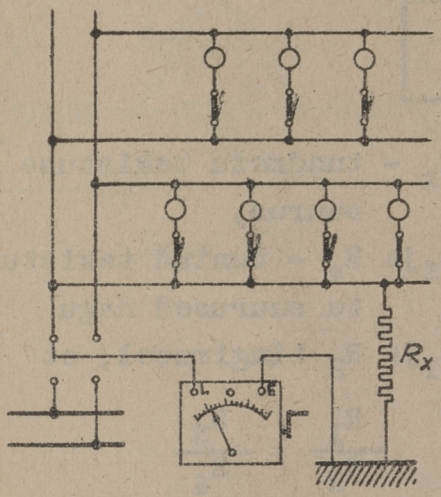
R_m - muutliku takistuse suurus,

R_o - ühendusjuhtmete takistuse suurus, tingimusel, et $R_o < R_x$ ja R_m

D. Takistuste mõõtmine induktoriga.

Isolatsioon-takistuse mõõtmise juures on üles seatud teatavad tingimused. Isolatsioon-takistuse mõõtmine (tugevvoolu seadmetes) peab sündima vähemalt 100 V pingega. Isolatsioon-takistuse suurus kahe juhtme ning juhtme ja maa vahel peab olema vähemalt 1000 korda suurem võrgu pingest, kusjuures mõõtmisel peavad kõik voolutarvitajad

- lambid, mootorid, küttekehad, trafod j.t. olema juhtmestikust lahti ühendatud ja kõik kaitsmed, lülitid, armatuurid olema sisse lülitatud. 220 V võrgu pinge puhul peab olema isolatsiooni takistus seega vähemalt 220.1000 = 220000 Ω. Üksikud valgustuskehad (armatuurid), lülitusesemed, kaitseelemendid j.t. peavad omama isolatsiooni takistuse vähemalt 1 MΩ, kusjuures mõõtmine peab sündima 500 V pingega (vaata VDE 0710 §12).



○ Lamp väljakeeratud

Joon. 110.

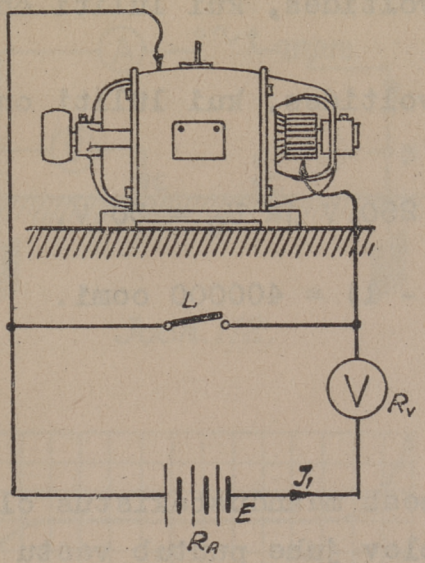
Neid mõõtmisi teostatakse harilikult induktoriga. Induktor peab olema võimeline mõõtma alates vähemalt 100000 oomist kuni mõne miljoni oomini. Induktor kujutab enesest väikest vända abil käivitatavat elektrimasinat, mis on varustatud ampermeetriga ja mille skaala on jaotatud oomidesse. Lühiühenduse korral on hälve maksimaalne ja märgitakse skaalale null oomiga. Lõpmata suure takistuse puhul on hälve null ja märgitakse skaalale ∞ oomiga.

Induktor mõõdab takistust enamvähem ligikaudselt, mis on aga küllaldane isolatsioon-takistuse suuruse määramiseks.

E. Voltmeetri meetod.

Nagu eelpool öeldud, võib suuri takistusi mõõta induktoriga kuid see mõõtmine pole küllalt täpis. Täpse-

maks meetodiks on voltmeetri meetod. Suure takistusega voltmeeter (R_v = 30000 kuni 100000 oomi) lülitakse mõõdetava isolatsioontakistusega järjestikku (vaata joonis 111) ning teostatakse kaks mõõtmist. Esimesel mõõtmisel on lüliti L suletud. Sel puhul tähistame:



Joon. 111.

E - akku e.m.j. (V)
J_1 - voolutugevus (A)
R_v - voltmeetri sisetakistus (Ω)
R_a - akku sisetakistus (Ω)

ning saame:

$$E = J_1(R_v + R_a) \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

Teisel mõõtmisel on lüliti L avatud. Sel puhul on J_2 - voolutugevus (A) ja $R_{isol.}$ - isolatsiooni takistus (Ω) ning saame:

$$E = J_2(R_v + R_{isol.} + R_a) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Esimesel mõõtmisel on ahela voolutugevus:

$J_1 = \frac{U_1}{R_v}$ ja teisel mõõtmisel: $J_2 = \frac{U_2}{R_v}$.

Asetades avaldatud voolu väärtused (1) ja (2) valemisse ning lugedes akku sisetakistuse $R_a = 0$, sest R_a on võrreldes R_v väga väike, saame:

$$E = \frac{U_1}{R_v}R_v = \frac{U_2}{R_v}(R_v + R_{isol.}) \text{ ja } U_1 = U_2 + \frac{U_2 \cdot R_{isol.}}{R_v}$$

Siit välja tuues $R_{isol.}$, saame:

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

kusjuures U_1 - voltmeetri hälve voltides, kui lüliti on suletud ja

U_2 - voltmeetri hälve voltides, kui lüliti on avatud.

Näide: R_v = 100000 oomi, U_1 = 250 V ja U_2 = 50 V.

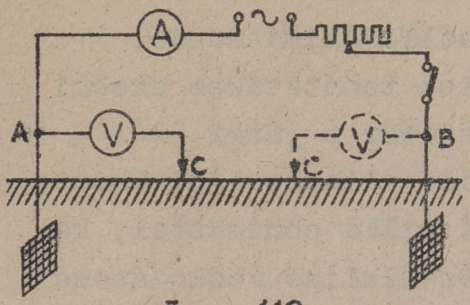
$$R_{isol.} = 100000.\left(\frac{250}{50} - 1\right) = 400000 \text{ oomi}.$$

F. Maandustakistuse mõõtmine.

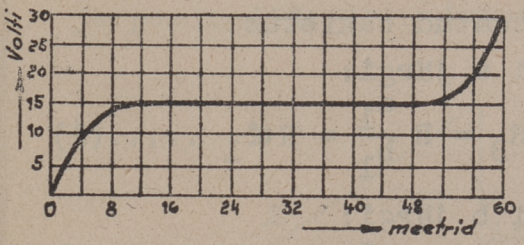
Vastavalt VDE normidele peab maandustakistus olema sarnane, et juhul kui pinge all olev juhe puutub vastu aparaadi keret, siis kere ja maa vaheline pinge ei tohi olla üle 65 V. See norm ei ole ühtlane igas olukorras, vaid tuleb arvesse võtta töökoha iseloom ning võrgu nimipinge suurus maa suhtes. Näiteks kaevandustes peab olema maandustakistus: $R_{maa} < \frac{65 \text{ V}}{2{,}5 \text{ x kaitsmete nimisuurus (A)}}$

Kui maandada kaks plaati A ja B mõnekümne meetri kaugusel üksteisest ja neid pingestada vahelduvvooluga U, siis voolab läbi maa vool J. Mõõtes elektrostaatilise voltmeetriga pingelangu maanduse A ja punkti C vahel selgub, et pingelang maanduste A ja B läheduses on väga suur kuna nendest kaugemal jääb pingelang enamvähem konstantseks. See on tingitud sellest, et maanduse A või B juures on maa põiklõike pind võrdlemisi väike, mille tõttu takistus on

sel kohal väga suur ning ühtlasi tekib suur pingelang. Maandusest kaugenedes maa põiklõike pind järjest kasvab, mille tõttu takistus ja ühtlasi pingelang vähenevad. Maandustest A või B-st 10 meetri kaugusel on maandustakistus praktiliselt null ja sealt peale pingelang jääb püsima konstantsena. Maandustakistuse määramisel mõõdetakse pingelangu maanduse ja koha C vahel, mille kaugus maandusest on tavaliselt 15 meetrit, s.o. joonis 112 järele vahemaa A ja C või B ja C vahel.



Joon. 112.



Pingelanguse kõver kahe maanduse vahemiku kohta.

Joon. 113.



Voolude maa sees voolamise skeem.

Joon. 114.

Seega maanduse A takistus on:

$$R_A = \frac{U_A}{J}$$

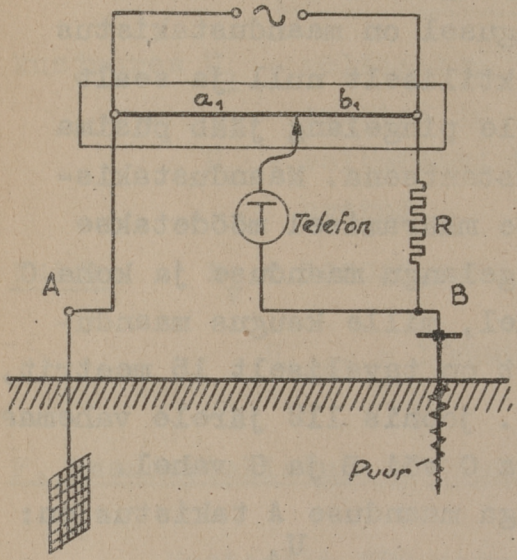
ja maanduse B takistus:

$$R_B = \frac{U_B}{J}$$

Siin U_A on pingelang maanduse A ja punkti C vahel, mis asub ca 15 m kaugusel maandusest A ning U_B on pingelang maanduse B ja punkti C vahel, mis asub ca 15 m kaugusel maandusest B.

Maandustakistuse mõõtmine teostatakse harilikult Wiechert'i meetodil, kasutades kahte abimaandust B ja C.

Abimaandus C asub umbes 15 meetri kaugusel kuna abimaandus B umbes 30 meetri kaugusel maandusest A. Abimaanduse C takistuse suurus ei mõjuta mõõtetulemusi, sest mõõtmise momendil vool ei voola läbi selle abimaanduse.



Joon. 115.

Mõõtmist teostatakse skeemi a ja skeemi b järgi.

Mõõtmine viiakse läbi Wheatstone'i silla põhimõttel, kasutades alalise voolu asemel vahelduvat voolu ja galvanoskoobi asemel telefoni.

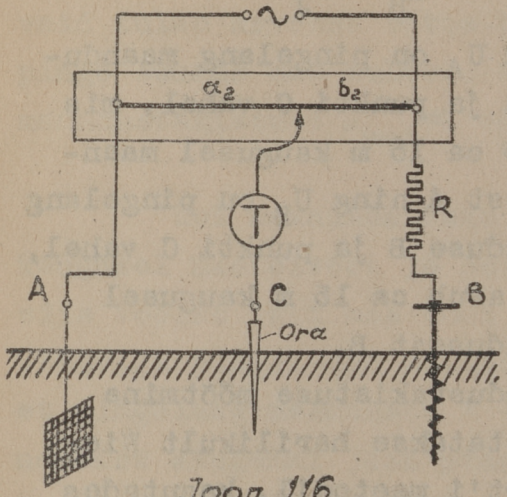
R on tuntud takistus.

Skeemi a järgi:

$$R_A + R_B = R\frac{a_1}{b_1} = R\alpha_1 \quad .....(1)$$

Skeemi b järgi:

$$R_A = (R_B + R)\frac{a_1}{b_2} = (R_B + R)\alpha_2 \quad .....(2)$$



Joon. 116.

Elimineerides valemitest (1) ja (2) suuruse R_B, saame:

$$R_A = R.\alpha_2.\frac{1+\alpha_1}{1+\alpha_2}$$

Abimaandused B ja C teostatakse kas mõne toru, puuri või ora maasse torkamise teel.

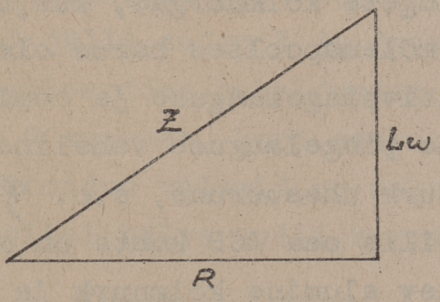
2. Induktiivsuse mõõtmine.

Induktsioonpoolid võivad olla kahte liiki:

a) poolid raudsüdamikuta - nende omainduktsiooni tegur L on rippumatu voolutugevusest ja voolu sagedusest kuid selle juures ei tohi pool omada mahtuvust;

b) poolid raudsüdamikuga - nende omainduktsiooni tegur L oleneb voolutugevusest ja voolu sagedusest.

Raudsüdamikuta pooli omainduktsiooni tegurit saab mõõta Wheatstone'i silla põhimõttel, kasutades vooluallikana mõnda kesksagedusega sumisejat. Raudsüdamikuga poolide omainduktsiooni tegurit mõõdetakse kindla voolu suuruse ja perioodide arvu juures, väljudes takistuste kolmnurgast. Tähistades:



Joon. 117.

R - oomiline takistus (Ω)

Z - näivtakistus (Ω)

Lω - induktiivne takistus (Ω)

L - omainduktsiooni tegur (Henrydes)

ω - ringsagedus ($\omega = 2\pi f$)

f - perioodide arv sekundis,

siis näivtakistuse suurus on

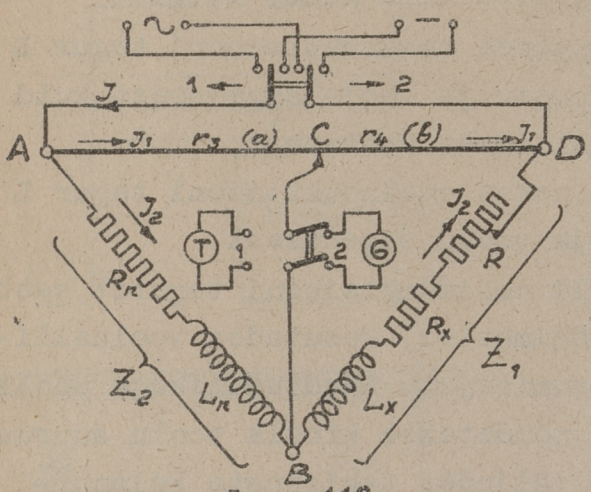
$$Z = \sqrt{R^2 + L^2 . \omega^2}$$

millest

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{\omega}$$

Mõõtmine Wheatstone'i silla põhimõttel.

Koostame lülituse kõrvaltoodud skeemi kohaselt, kusjuures



Joon. 118.

R_x - mõõdetava seadme oomiline takistus oomides,

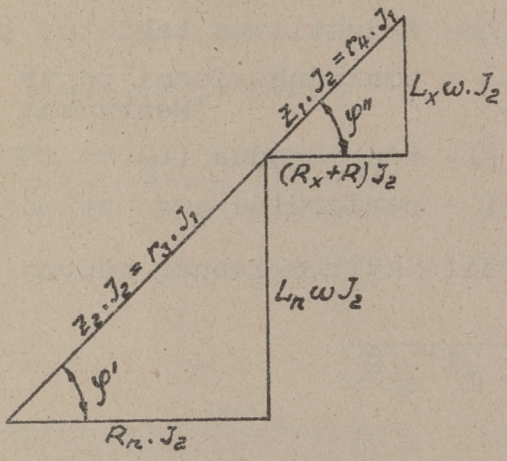
L_x - mõõdetava seadme omainduktsiooni tegur Henrydes,

R_n - võrdluspooli oomiline takistus oomides,

L_n - võrdluspooli omainduktsiooni tegur Henrydes,

R - muudetav tuntud oomiline takistus.

Kujundame silla poolte kohta pingete kolmnurgad, kusjuures olgu tingimuseks, et silla mõlemapoolses harus oleks



Joon. 119.

näivpingelanguse ja oomilise pingelanguse vaheline nurk ühesuurune, s.o. $\varphi' = \varphi''$. Silla osa ACB kohta on maksev alumine kolmnurk ja silla osa BCD kohta on maksev ülemine kolmnurk. Pingekolmnurkade sarnasuse põhjal võime kirjutada:

$$\frac{r_3 \cdot J_1}{r_4 \cdot J_1} = \frac{R_n \cdot J_2}{(R_x+R)J_2} = \frac{L_n \cdot \omega \cdot J_2}{L_x \cdot \omega \cdot J_2}$$

Pärast koondamist saame: $\frac{r_3}{r_4} = \frac{R_n}{R_x + R} = \frac{L_n}{L_x}$

Saadud kahes võrrandis võib asendada r_3 - a-ga ja r_4 - b-ga ning kirjutada võrrandid eraldi:

$$\frac{R_n}{R_x + R} = \frac{a}{b} \; ; \; \frac{L_n}{L_x} = \frac{a}{b}$$

Nendest võrranditest saame väljendada:

$$R_x = R_n \cdot \frac{b}{a} - R \qquad L_x = L_n \cdot \frac{b}{a}$$

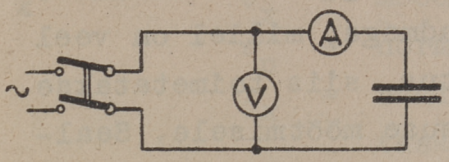
L_x mõõtmisel tuleb sild tasakaalu seada nii alalis- kui ka vahelduvvooluga.

Mõõtekäik.

Asetame lülitid seisu 1 ja otsime liugkontakti abil koha, mil toon telefonis on kõige nõrgem. Siis asetame lülitid seisu 2 ja muudame takistuse R suurust kuni saame väikseima galvanomeetri hälve. Järgnevalt asetame lülitid jälle seisu 1 ja jatkame toimingut samas järjekorras reguleerides vaheldumisi liugkontakti asendit ja takistuse R suurust, kuni saavutame võimaliku toonimiinimumi. Eeltoodud valemid on maksvad saavutatud toonimiinimumi ja ühtlasi hälve nulli korral.

3. Mahtuvuse mõõtmine.

Kondensaatorite mahtuvust on võimalik mõõta volt- ja ampermeetri abil kasutades üldvalemit



Joon. 120.

$$U = R_c \cdot J ,$$

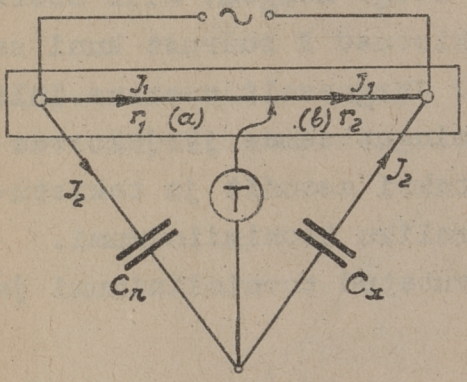
kusjuures R_c - kondensaatori takistus $R_c = \frac{1}{c \cdot \omega}$

Asendades R_c väärtuse valemisse,

saame $U = \frac{J}{c\omega}$, millest $\boxed{C = \frac{J}{U \cdot \omega}}$

kusjuures C - kondensaatori maht faraadides,
U - mõõdetud vahelduvvoolu pinge voltides
J - " " voolutugevus ampreis
ω - ringsagedus; $\omega = 2\pi f$
f - perioodide arv sek.

Kui voolu perioodide arv on tundmatu ja puuduvad kohased mõõteriistad, on kondensaatori mahtuvust võimalik mõõta Wheatstone'i silla abil, kasutades võrdluseks tuntud mahtuvusega kondensaatorit. Mõõtmine sünnib kesksagedusvooluga, kasutades tooni miinimumi kindlaksmääramiseks telefoni. Silla tasakaalu korral on:



Joon. 121.

$$r_1 \cdot J_1 = \frac{J_2}{C_n \omega} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

$$r_2 \cdot J_1 = \frac{J_2}{C_x \omega} \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

Jagades esimene võrrand teisega ja asendades r_1 - a-ga ning r_2 - b-ga, saame:

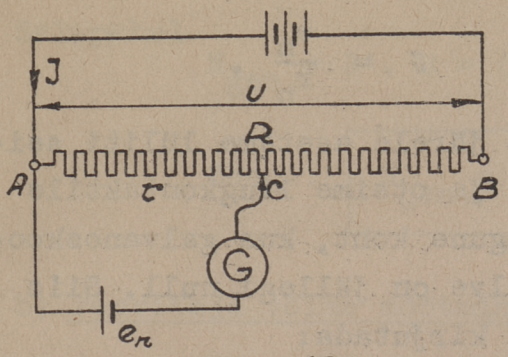
$$\boxed{C_x = C_n \frac{a}{b}},$$

kusjuures C_x - tundmata kondensaatori mahtuvus F,
C_n - tuntud " " F.

Selle juures C_n suurus peab ligikaudu võrduma C_x suurusele. Juhul, kui tegemist seadmega, millel on veel peale mahtuvuse ka oomiline takistus, siis toimetatakse mõõtmisi analoogiliselt induktiivsuse mõõtmisele. Sealjuures tuleb silmas pidada, et alalisvooluga mõõtmisel kondensaatorid lühistatakse.

4. Pinge kaudne mõõtmine.

A. Vastuvoolu meetod.



Joon. 122.

Olgu:

U - mõõdetav pinge (V)

e_n - normaalelemendi e.m.j.
e_n = 1,0185 V.

R - takistus AB (Ω)

r - takistus AC (Ω)

J - voolutugevus (A)

Otsime punktile C niisugune koht, kus galvanomeetri hälve on null, siis võime kirjutada:

$$J = \frac{U}{R} \quad \text{ja} \quad J = \frac{e_n}{r}$$

Seega $\frac{U}{R} = \frac{e_n}{r}$, millest $\boxed{U = e_n \frac{R}{r}}$

Sel mõõtmisel peab olema takistus R kalibreeritud traadist.

B. Kompensatsiooni meetod.

Selle meetodiga on võimalik mõõta elementide e.m.j. võrdluse teel normaalelemendiga. Kuna mõõtmine sünnib vooluta olekus, siis ei mõjuta elementide sisetakistused ega polarisatsiooni voolud mõõtetulemusi.

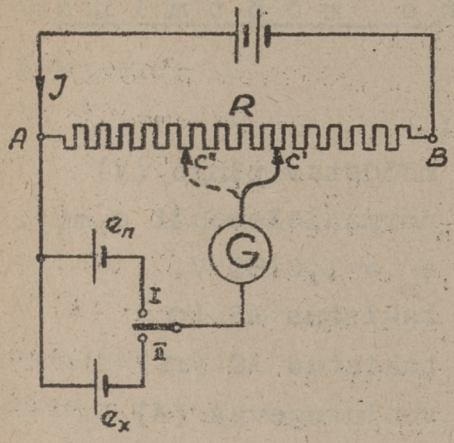
Olgu:

e_x - mõõdetava elemendi e.m.j. (V)

e_n - normaalelemendi e.m.j. e_n = 1,0185 V.

r_x - takistus AC' (Ω), kui e_x elemendiga on tasakaal saavutatud,

r_n - takistus AC' (Ω), kui e_n elemendiga on tasakaal saavutatud.



Joon. 123.

Asetame lüliti seisu I ja otsime liugkontaktile niisugune koht, kus galvanoskoobi hälve on null. Siis võime kirjutada:

$$J = \frac{e_n}{r_n} .$$

Selle järele asetame lüliti seisu II ja otsime liugkontaktile niisugune koht, kus galvanoskoobi hälve on jällegi null. Siis võime kirjutada:

$$J = \frac{e_x}{r_x} .$$

Seega:

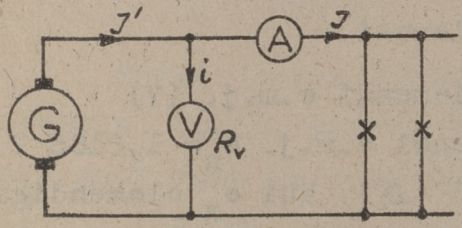
$$\frac{e_n}{r_n} = \frac{e_x}{r_x} , \text{ millest } \boxed{e_x = e_n \frac{r_x}{r_n}}$$

Sel mõõtmisel peab olema takistus R kalibreeritud traadist.

5. Võime kaudne mõõtmine.

A. Võime mõõtmine alalisvoolu puhul.

Tuleb eritella kahesugust mõõtmist: kas soovitakse mõõta generaatori või tarvitaja võimet.



Joon. 124.

a) Generaatori võime mõõtmine. Lülitus teostatakse vastavalt juurdelisatud skeemile.

Olgu:

$N_{gen.}$ - generaatori võime (W)

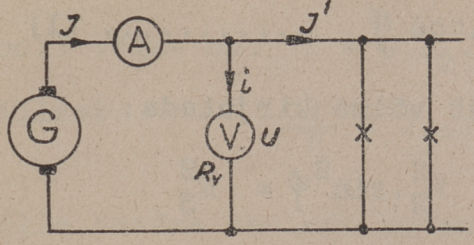
J' - generaatori voolutugevus (A)

J - ampermeetri poolt mõõdetud voolutugevus (A)
U - generaatori pinge (V)
R_v - voltmeetri sisetakistus (Ω).

Sel puhul $$N_{gen.} = J' . U = (J + \frac{U}{R_v}) . U = J.U + \frac{U^2}{R_v}$$

Seega: $$\boxed{N_{gen.} = J . U + \frac{U^2}{R_v}}$$

b) Tarvitaja võime mõõtmine. Lülitus teostatakse vastavalt juurdelisatud skeemile.



Joon. 125.

Olgu:
$N_{tarv.}$ - tarvitaja võime (W)
J' - tarvitaja voolutugevus (A)
J - ampermeetri poolt mõõdetud voolutugevus (A)
U - tarvitaja pinge (V)
R_v - voltmeetri sisetakistus (Ω).

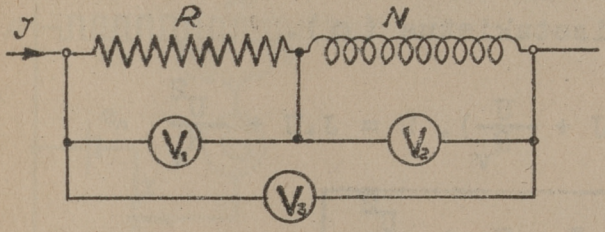
Sel puhul $$N_{tarv.} = J' . U = (J - \frac{U}{R_v}) . U = J.U - \frac{U^2}{R_v}$$

Seega: $$\boxed{N_{tarv.} = J.U - \frac{U^2}{R_v}}$$

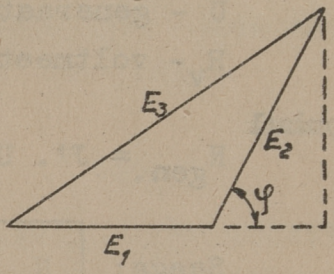
B. Võime mõõtmine vahelduvvoolu puhul.

a) Võime mõõtmine kolme voltmeetri meetodil. Pooli võime N määramiseks teostame lülituse vastavalt juurdelisatud skeemile, ühendades mõõdetavale poolile ette üks tuntud

suurusega oomiline takistus R. Järgnevalt mõõdame kolm pinget nagu näidatud skeemil.



Joon. 126.



Joon.127.

Pooli võime on: $N = E_2 . J . \cos\varphi = E_2 . \frac{E_1}{R} \cos\varphi$,

millest: $N \cdot R = E_1 . E_2 . \cos\varphi$ ..... (1)

Selle seadme pingete kolmnurgast võime kirjutada:

$$(E_1 + E_2 . \cos\varphi)^2 + E_2^2 . \sin^2\varphi = E_3^2$$

Pärast sulgude avamist ja arvesse võttes, et

$$\sin^2\varphi + \cos^2\varphi = 1 ,$$

saame: $$E_1 . E_2 . \cos\varphi = \frac{E_3^2 - E_2^2 - E_1^2}{2}$$ ..... (2)

Asendades (2) valemi andmed valemisse (1), saame

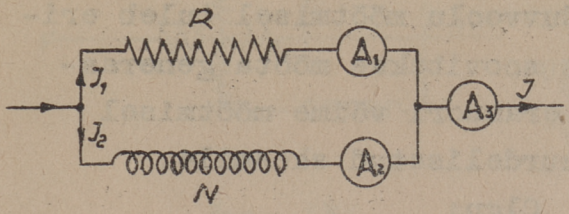
$$2N . R = E_3^2 - E_2^2 - E_1^2 ,$$

millest:

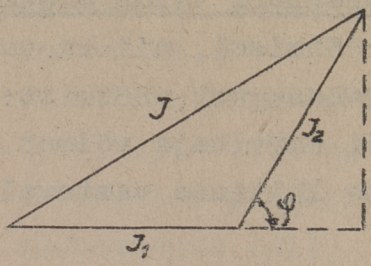
$$\boxed{N = \frac{E_3^2 - E_2^2 - E_1^2}{2R}}$$

Nagu arvutusest näha, on võimet võimalik mõõta kolme voltmeetri ja ühe takistuse R abil. See meetod ei ole aga küllalt täpis.

b) <u>Võime mõõtmine kolme ampermeetri meetodil</u>. Pooli võime N määramiseks teostame lülituse vastavalt juurdelisatud skeemile, ühendades mõõdetava pooliga rööbiti üks tuntud oomiline takistus R. Järgnevalt mõõdame kolm voolutugevust, nagu näidatud skeemil.



Joon. 128.



Joon. 129.

Pooli võime on: $N = U.J_2.\cos\varphi = R.J_1.J_2.\cos\varphi$,

millest $$\frac{N}{R} = J_1.J_2.\cos\varphi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Selle seadme voolude kolmnurgast võime kirjutada:

$$(J_1 + J_2.\cos\varphi)^2 + J_2^2.\sin^2\varphi = J^2.$$

Pärast sulgude avamist ja arvesse võttes, et

$$\sin^2\varphi + \cos^2\varphi = 1 \text{ , saame}$$

$$J_1.J_2.\cos\varphi = \frac{J^2 - J_1^2 - J_2^2}{2} \quad \ldots\ldots (2)$$

Asendame (2) valemi andmed valemisse (1), saame:

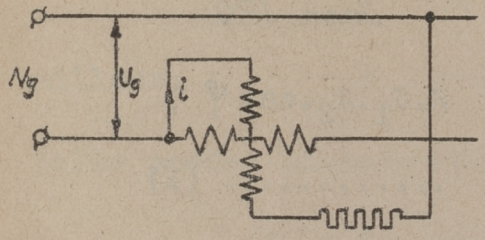
$$\frac{N}{R} = \frac{J^2 - J_1^2 - J_2^2}{2}$$

millest

$$\boxed{N = \frac{R}{2}(J^2 - J_1^2 - J_2^2)}$$

Nagu arvutusest näha, on võimet võimalik mõõta kolme ampermeetri ja ühe tuntud takistuse R abil. See meetod ei ole aga küllalt täpis.

c) <u>Generaatori võime mõõtmine vattmeetriga</u>. Nagu alalisvoolu mõõtmisel, nii ka vahelduvvoolu mõõtmisel tuleb eritella kahesugust mõõtmist: kas soovitakse mõõta generaatori või tarvitaja võimet. Generaatori võime mõõtmisel teostame lülituse vastavalt juurdelisatud skeemile.



Joon. 130.

Olgu:

$N_{gen.}$ - generaatori võime (W)
N - vattmeetri poolt mõõdetud võime (W)
$U_{gen.}$ - generaatori pinge (V)
$J_{gen.}$ - generaatori voolutugevus (A)
R - vattmeetri pingepooli üldtakistus (Ω)

Generaatori võime on: $N_{gen.} = U_{gen.} \cdot J_{gen.} \cdot \cos\varphi$

Vattmeeter mõõdab: $N = U_{gen.}(J_{gen.} \cdot \cos\varphi - i) =$

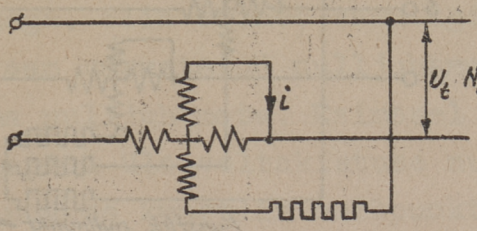
$= U_{gen.} \cdot J_{gen.} \cdot \cos\varphi - U_{gen.} \cdot i =$

$= N_{gen.} - \frac{U^2_{gen.}}{R}$

Seega:

$$N_{gen.} = N + \frac{U^2_{gen.}}{R}$$

d) Tarvitaja võime mõõtmine vattmeetriga. Lülitus teostatakse vastavalt juurdelisatud skeemile.



Joon. 131.

Olgu:

N_t - tarvitaja võime (W)
N - vattmeetri poolt mõõdetud võime (W)
U_t - tarvitaja pinge (V)
J_t - tarvitaja voolutugevus (A)
R - vattmeetri pingepooli üldtakistus (Ω).

Tarvitaja võime on:

$$N_t = U_t . J_t . \cos \varphi$$

Vattmeeter mõõdab:

$$N = U_t . (J_t \cos \varphi + i) =$$

$$= U_t . J_t . \cos \varphi + U_t . i =$$

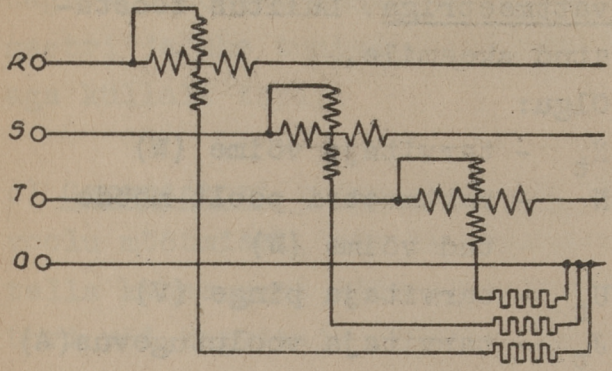
$$= N_t + \frac{U_t^2}{R} .$$

Seega:

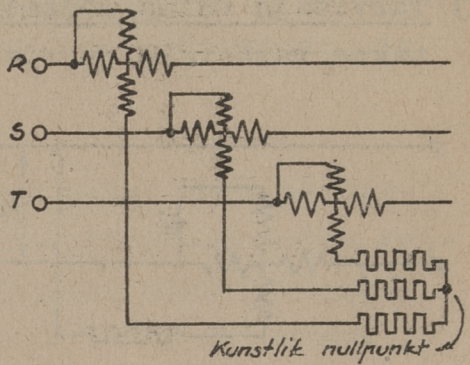
$$\boxed{N_t = N - \frac{U_t^2}{R}}$$

C. Võime mõõtmine keerdvoolu puhul.

a) Võime mõõtmine kolme vattmeetriga. Siin esineb kaks juhust: kolmefaasiline süsteem varustatud nulljuhtmega ja kolmefaasiline süsteem ilma nulljuhtmeta. Esimesel juhul lülitakse vattmeetrite pingepoolid üle eeltakistuste nulljuhtmele, kuna teisel juhul luuakse kunstlik nullpunkt.



Joon. 132.



Joon. 133.

Olgu:

faasi pinged - U_1 , U_2 , U_3

faasi voolud - J_1 , J_2 , J_3

võime tegurid - $\cos\varphi_1$, $\cos\varphi_2$, $\cos\varphi_3$

Võime määratakse valemiga:

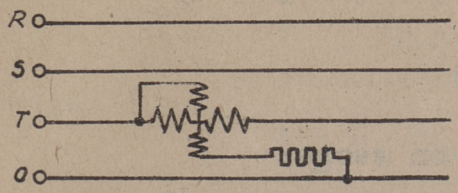
$$N = U_1 . J_1 . \cos\varphi_1 + U_2 . J_2 . \cos\varphi_2 + U_3 . J_3 . \cos\varphi_3$$

Kui C on vattmeetri konstant ja $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ on vattmeetrite hälved, siis on võime:

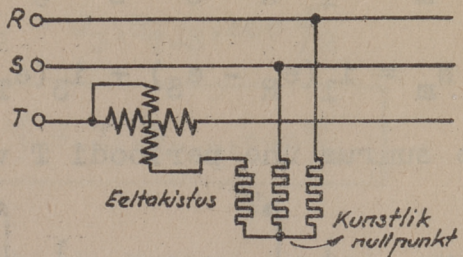
$$\boxed{N = C(\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3)}$$

Nagu valemist on näha, keerdvoolu võimet on võimalik mõõta kolme vattmeetri abil. Seda meetodit kasutatakse harvem, sest meetod tingib kolme vattmeetri tarvitusele võtmist. Võimet on aga teatud juhul võimalik lihtsamalt mõõta - ühe ja kahe vattmeetri abil.

b) <u>Võime mõõtmine ühe vattmeetriga</u>. Kui kolmefaasilises süsteemis on kõik faasid ühtlaselt koormatud, siis on võimet võimalik mõõta ühe vattmeetriga korrutades tulemus kolmega. Siin esineb samutigi kaks juhtu: kolmefaasiline süsteem varustatud nulljuhtmega ja kolmefaasiline süsteem ilma nulljuhtmeta. Esimesel juhul lülitakse vattmeetri pingepool üle eeltakistuse nulljuhtmele, kuna teisel juhul luuakse kunstlik nullpunkt.



Joon. 134.



Joon. 135.

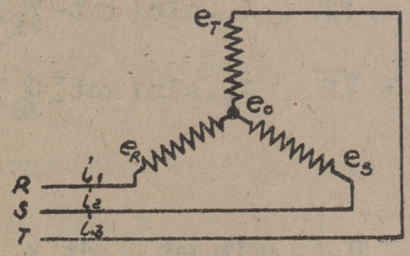
Kui C on vattmeetri konstant ja

α on vattmeetri hälve, siis võime on väljendatud valemiga:

$$N = 3\alpha C .$$

c) <u>Võime mõõtmine kahe vattmeetriga</u> (Aroni lülitus).

Seda võime mõõtmise meetodit kasutatakse kõige enam.



Joon. 136.

Olgu:

faasi voolu momentväärtused:

$$i_1 , \quad i_2 , \quad i_3$$

faasi pinge momentväärtused:

$$e_R - e_0 , \quad e_S - e_0 , \quad e_T - e_0$$

Võime momentväärtused on siis:

$$N_m = i_1(e_R - e_0) + i_2(e_S - e_0) + i_3(e_T - e_0) \ldots\ldots (1)$$

Kirchhoffi seaduse põhjal:

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0 \quad \text{ja} \quad i_2 = -i_1 - i_3$$

Asetades i_2 momentväärtuse (1) avaldisse, saame:

$$N_m = i_1(e_R - e_0) - i_1(e_S - e_0) - i_3(e_S - e_0) + i_3(e_T - e_0)$$

$$N_m = i_1(e_R - e_0 - e_S + e_0) + i_3(e_T - e_0 - e_S + e_0)$$

$$N_m = i_1(e_R - e_S) + i_3(e_T - e_S)$$

Võime suurus ühe perioodi T vältel on seega:

$$N = \frac{1}{T}\int_0^T N_m dt = \frac{1}{T}\int_0^T i_1(e_R - e_S)dt + \frac{1}{T}\int_0^T i_3(e_T - e_S)dt$$

$N = N_1 + N_2$. Siin $e_R - e_S$ ja $e_T - e_S$ on liitpingete momentväärtused.

Asendame pinge ja voolu momentväärtused nende funktsioonidega:

$$e = \sqrt{2} \cdot U_{ef.} \cdot \sin \omega t \quad \text{ja} \quad i = \sqrt{2} \cdot J_{ef.} \cdot \sin(\omega t \pm \varphi)$$

kus $U_{ef.}$ ja $J_{ef.}$ on pinge ja voolu efektiivväärtused.

$$e_R - e_S = \sqrt{2} \cdot U_{R-S} \cdot \sin \omega t \; ; \; i_1 = \sqrt{2} \cdot J_1 \cdot \sin(\omega t \pm \varphi_1)$$

$$e_T - e_S = \sqrt{2} \cdot U_{T-S} \cdot \sin \omega t \; ; \; i_3 = \sqrt{2} \cdot J_3 \cdot \sin(\omega t \pm \varphi_2)$$

Võime on väljendatud:

$$N = \frac{1}{T}\int_0^T \sqrt{2} \cdot J_1 \cdot \sin(\omega t \pm \varphi_1) \cdot \sqrt{2} \cdot U_{R-S} \cdot \sin \omega t \cdot dt +$$

$$+ \frac{1}{T} \int_0^T \sqrt{2}.J_3.\sin(\omega t \pm \varphi_2).\sqrt{2} \cdot U_{T-S}.\sin \omega t.dt$$

Kuna $$\int_0^T \sin(\omega t \pm \varphi) \cdot \sin \omega t.dt = \frac{T}{2} \cos \varphi$$

siis

$$N = \frac{1}{T} .2.J_1.U_{R-S}. \frac{T}{2} \cos \varphi_1 + \frac{1}{T}.2.J_3.U_{T-S}. \frac{T}{2} \cos \varphi_2 =$$

$$= J_1.U_{R-S}.\cos \varphi_1 + J_3.U_{T-S}.\cos \varphi_2$$

Seega:

$$\boxed{N = J_1.U_{R-S}.\cos \varphi_1 + J_3.U_{T-S}.\cos \varphi_2}$$

kusjuures

U_{R-S} on liitpinge efektiivväärtus faaside R ja S vahel,

U_{T-S} on liitpinge efektiivväärtus faaside T ja S vahel,

J_1 on liinivoolu efektiivväärtus mõõdetud R faasis,

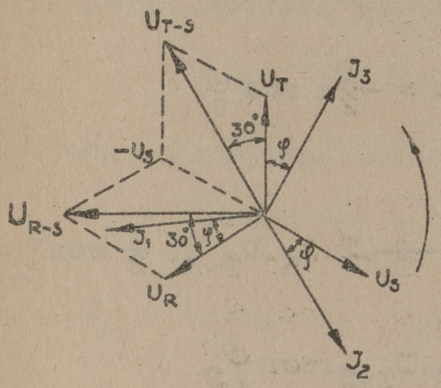
J_2 on liinivoolu efektiivväärtus mõõdetud T faasis,

φ_1 on nurk J_1 ja U_{R-S} vahel,

φ_2 on nurk J_3 ja U_{T-S} vahel.

Nagu lõppvalemist näha, on keerdvoolu võimet võimalik mõõta kahe vattmeetri abil silmas pidades tingimust, et $i_1 + i_2 + i_3 = 0$. Kui näiteks kolmefaasiline süsteem on varustatud nulljuhtmega ja viimase voolutugevus ei võrdu nulliga, siis ei ole võimalik võime määramisel kasutada kahe vattmeetri mõõtesüsteemi, vaid tuleb kasutada kolme vattmeetri mõõtemeetodit.

Aroni lülituse vektordiagramm.



Joon. 137.

Oletame, et liitpinged on ühesuurused, s.o.:

$$U_{R-S} = U_{T-S} = U ,$$

et liinivoolud on ühesuurused, s.o.

$$J_1 = J_3 = J \quad \text{ja}$$

et nihkenurgad faasipinge U_R ja voolu J_1 ning faasipinge U_T ja voolu J_3 vahed on ühesuurused, s.o. võrdsed φ-le, sel juhul esimene vattmeeter mõõdab: $N_1 = U.J.\cos(\varphi - 30^\circ)$

ja teine vattmeeter: $N_2 = U.J.\cos(\varphi + 30^\circ)$

$$N = N_1 + N_2 = U.J\left[\cos(\varphi - 30^\circ) + \cos(\varphi + 30^\circ)\right] = U.J.\sqrt{3}.\cos\varphi$$

Seega kolmefaasiline võime on väljendatud järgmise üldvalemiga:

$$\boxed{N = \sqrt{3} \; . \; U.J.\cos\varphi}$$

Vattmeetrite hälvete olenevus cos φ suurusest.

$$N_1 = U.J.\cos(\varphi - 30^\circ) = c_1.U.J$$
$$N_2 = U.J.\cos(\varphi + 30^\circ) = c_2.U.J$$

Vaatame nüüd kuidas vattmeetrite hälved muutuvad olenevalt nihkenurga φ suurusest.

$\varphi = 0$	$c_1 = +0{,}86$	Mõlema vattmeetri hälved
$\cos\varphi = 1$	$c_2 = +0{,}86$	on positiivsed ja võrdsed.

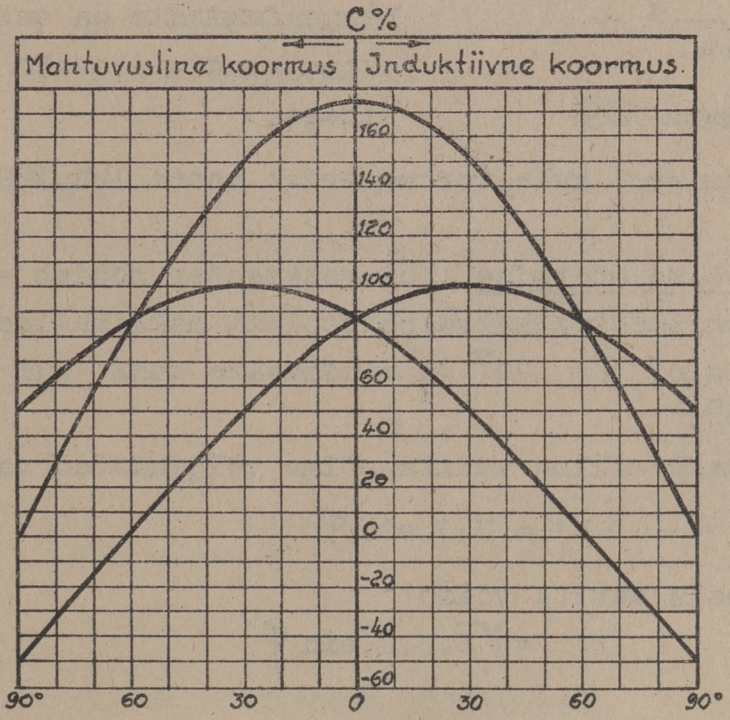
$\varphi = 30^\circ$ $\cos\varphi = 0{,}86$	$c_1 = +1{,}0$ $c_2 = +0{,}5$	Mõlema vattmeetri hälved on positiivsed ja $N_2 = \frac{N_1}{2}$.
$\varphi = 60^\circ$ $\cos\varphi = 0{,}5$	$c_1 = +0{,}86$ $c_2 = 0$	Ühe vattmeetri hälve on positiivne ja teisel null.
$\varphi = 90^\circ$ $\cos\varphi = 0$	$c_1 = +0{,}5$ $c_2 = -0{,}5$	Mõlema vattmeetri hälved on võrdsed kuid üks on positiivne ja teine negatiivne.

Seega võime väljendatakse üldvalemiga:

$$N = c.(\alpha_1 + \alpha_2)$$

kusjuures α_1 ja α_2 on vattmeetrite hälved ja

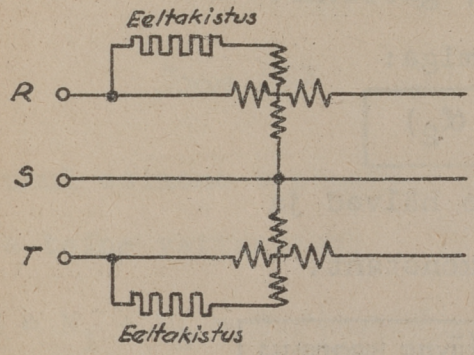
c on vattmeetri konstant.



Joon. 138.

Nagu eeltoodud tabelist ja joonisest näha, on mõlema vattmeetri hälved positiivsed kui cos φ on 1,0 ja 0,5 vahel. Sel juhul tulevad vattmeetrite hälved liita. Kui cos φ on 0,5 ja 0 vahel, siis on ühe vattmeetri hälve positiivne ja teise - negatiivne. Sel juhul tuleb vattmeetrite hälved lahutada.

Vattmeetreid tuleb monteerida sümmeetriliselt ja panna tähele, et ümberlülitid oleksid asetatud samutigi sümmeetriliselt. Kui sel juhul mõlemad vattmeetrid annavad hälveid, siis tuleb need liita. Kui aga üks vattmeeter annab hälve ja teine mitte, siis tuleb teise vattmeetri pingemähise otsad ümberlülitada ning hälved lahutada. Ümberlülimise kergendamiseks on vattmeetrid varustatud vastavate ümberlülititega.



Joon. 139.

Cos φ määramisest kahe vattmeetriga vaata lhk.129.

d) <u>Vatita võime mõõtmine</u>. Kui vattmeeter mõõdab vatita võimet, siis vattmeetri hälve peab olema maksimaalne kui cos φ = 0, s.o. $\varphi = 90^{\circ}$ ja minimaalne siis, kui cos φ = 1, s.o. $\varphi = 0^{\circ}$.

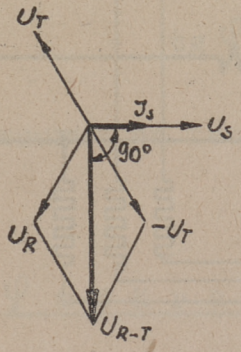
Seega on ühefaasiline vatita võime väljendatud valemiga:

$$N' = U.J.\sin\varphi$$

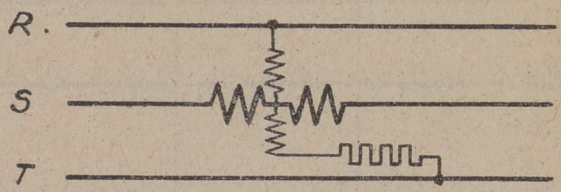
või keerdvoolu vatita võime:

$$N'' = \sqrt{3}.U.J.\sin\varphi$$

Selle nõude täitmiseks tuleb pingevektor vooluvektorist tahapoole nihutada 90° võrra. Nagu vektordiagrammist näha, see nõue on täidetud kui vattmeetri voolumähis lülitada S faasi ja pingemähis R ja T faaside vahele.

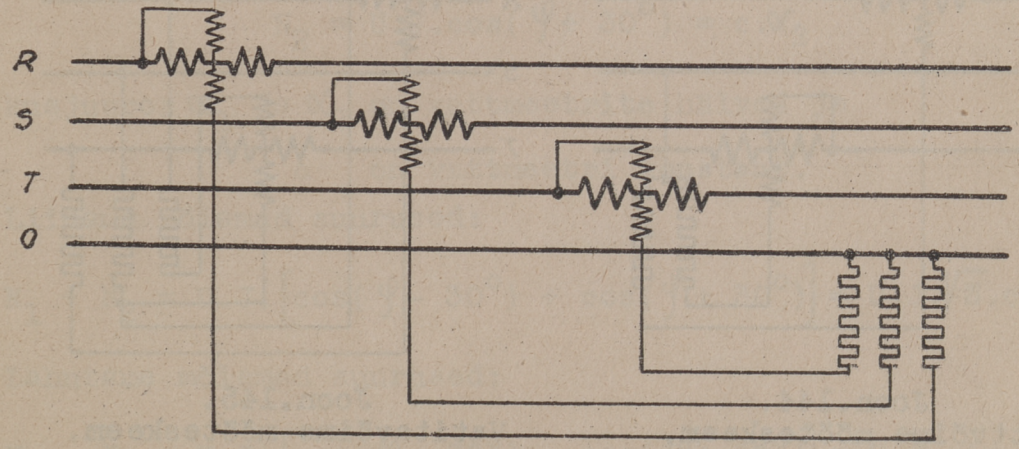


Joon.140.

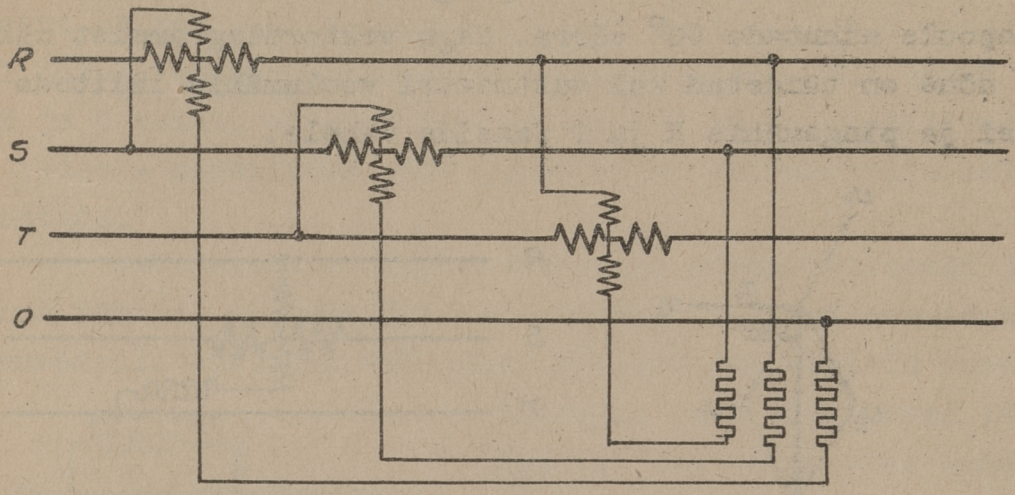


Joon. 141.

Toimides analoogiliselt nulljuhtmega kolmefaasilise süsteemi iga faasi juures, siis vattvõime ja vatita võime mõõteskeemid on järgnevad:

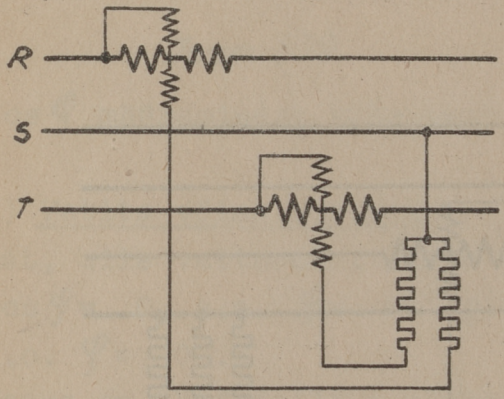


Joon.142. Vattvõime mõõteskeem.

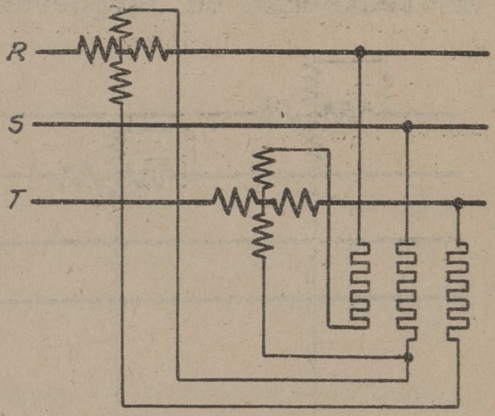


Joon.143. Vatitavõime mõõteskeem.

Kahe vattmeetriga mõõtmisel on kolmefaasilise vattvõime ja vatitavõime mõõteskeemid järgnevad:



Joon.144.
Vattvõime mõõteskeem.



Joon.145.
Vatitavõime mõõteskeem.

Kui vattvõime ja vatitavõime on mõõdetud, siis on kerge määrata cos φ suurus, sest:

vattvõime on $N = \sqrt{3} \cdot U.J.\cos\varphi$ ..... (1) ja
vatitavõime on $N'' = \sqrt{3} \cdot U.J.\sin\varphi$ ..... (2).

Jagades teise võrrandi esimesega, saame:

$$tg\,\varphi = \frac{N''}{N}$$

Kui $tg\,\varphi$ suurus on teada, siis $\cos\varphi$ suuruse leidmine on kerge.

6. Cosφ määramine kahe vattmeetriga.

Kumbagi vattmeetri võime on väljendatud järgmiste valemitega:

$$N_1 = U.J.\cos(\varphi - 30^\circ) = c.\alpha_1$$

$$N_2 = U.J.\cos(\varphi + 30^\circ) = c.\alpha_2$$

kusjuures α_1 ja α_2 on vattmeetrite hälved ja

c on vattmeetri konstant.

Liidame mõlemad suurused:

$$N_1 + N_2 = U.J.\left[\cos(\varphi - 30^\circ) + \cos(\varphi + 30^\circ)\right] = U.J.\sqrt{3}.\cos\varphi$$

Lahutame mõlemad suurused:

$$N_1 - N_2 = U.J.\left[\cos(\varphi - 30^\circ) - \cos(\varphi + 30^\circ)\right] = U.J.\sin\varphi$$

Teisalt:

$$N_1 + N_2 = c \cdot (\alpha_1 + \alpha_2)$$

$$N_1 - N_2 = c \cdot (\alpha_1 - \alpha_2)$$

Seega võime kirjutada:

$$U.J.\sin\varphi = c.(\alpha_1 - \alpha_2) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

$$U.J.\sqrt{3}\cdot\cos\varphi = c.(\alpha_1 + \alpha_2) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Jagades esimese võrrandi teisega, saame:

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

millest:

$$\boxed{\cos\varphi = \frac{1}{2}\cdot\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\sqrt{\alpha_1^2 - \alpha_1\cdot\alpha_2 + \alpha_2^2}}}$$

See on võrdlemisi täpis meetod cos φ määramiseks.

Märkus: φ on nihkenurk faasipinge ja faasivoolu vahel.

-- oOo --

16. MAGNETILISED MÕÕTMISED.

A. Hüstereesise kaod.

Nagu eelpool nägime, magnet on hea, kui tema remanents magnetism ja koertsitiivjõud on suured, sellega on magneti hüstereesise silmuse pindala suur. Teiselt poolt: kui sooviksime magneti magnetvoo suunda muuta, peaksime selleks kulutama hulk energiat. Selle tõttu terasmagnete ei kasutata elektromagnetite raudsüdamikuna.

Raual on remanents magnetism ja koertsitiiv jõud magnetiga võrreldes väikesed, mille tõttu hüstereesise silmuse pindala on väike ja ühes sellega ka hüstereesise kaod on väikesed.

Hüstereesise kadude suurus oleneb magnetilise aine omadusist, induktsiooni B suurusest ning perioodide arvust.

Steinmetzi valemiga on kadusid võimalik määrata kuni B = 7000 gaussi. Üle selle induktsiooni suuruse kasutatakse Richteri valemit (Vaata lähemalt üldelektrotehnika kursus).

Hüstereerise kadu on Steinmetz'i valemi järgi:

$$N_h = \frac{\eta \cdot B_{max.}^{1,6} \cdot f \cdot 10^{-4}}{\gamma}$$

kus: N_h - hüstereesise kadu W/kg.

η - Steinmetz'i tegur olenevalt magneti materjali sordist. $\eta = 0,0007 \div 0,0033$

$B_{max.}$ - maksimaalne induktsiooni suurus gaussides

f - voolu sagedus Hz

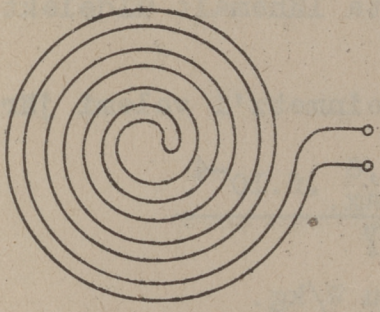
γ - magneti materjali erikaal. $\gamma = 7,5 \div 7,7$

Nagu valemist näha, tuleb kadude määramiseks mõõta $B_{max.}$. Seda mõõdetakse kas vismut spiraaliga või Köpseli aparaadiga.

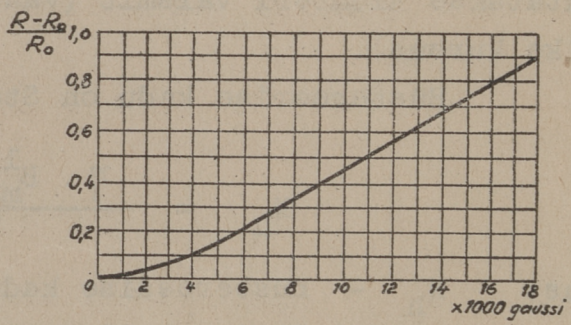
a) Induktsiooni mõõtmine vismut spiraaliga.

Vismuti elektriline takistus suureneb, kui teda asetada magnetvälja. Vismut traat keritakse bifilaarselt spiraali läbimõõduga 6 kuni 20 mm. Isolatsiooniks kasutatakse vilgukivi. Vismut spiraali takistus on harilikult 5 kuni 20 oomi. Takistust tuleb mõõta minimaalse voolutugevusega, sest vismuti takistus oleneb ühtlasi temperatuuri suurusest. Ühe kraadi temperatuuri tõusuga suureneb vismuti takistus 0,4 % võrra (seega viga on 80 gaussi). Mõõtmisel peab magnetväli olema risti spiraaliga.

Iga vismut spiraaliga antakse harilikult kaasa normitud kõver. Nagu kõverast näha, võib mõõtmisi teostada alates ca 1000 gaussist. B suurenemisele 1000 gaussi võrra, vastab takistuse tõus ca 5 %.



Joon. 146.



Joon. 147.

Diagrammis esinevad suurused:

R_o on vismut spiraali oomiline takistus 0 gaussi juures,
R on " " " " B " " .

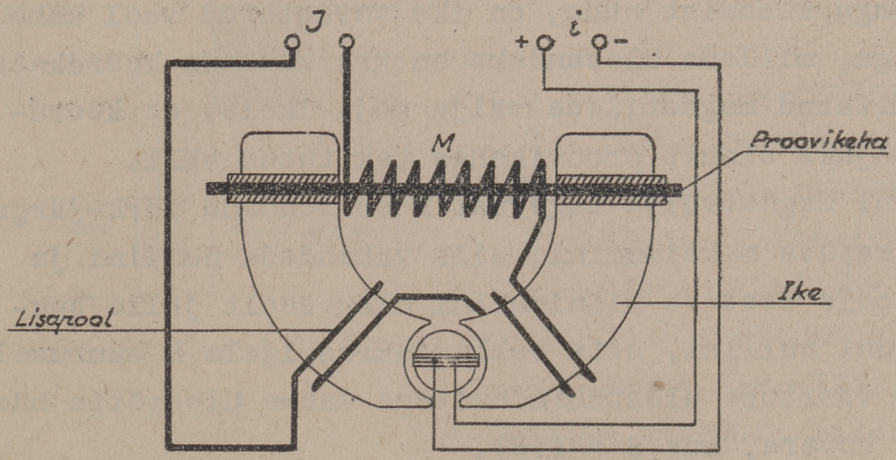
b) Induktsiooni mõõtmine Köpseli aparaadiga.

Uuritav materjal lülitakse järjestikku ikega, mille läbimõõt proovikehaga võrreldes on suur. Proovikeha valmistatakse ristlõike pinnaga 5x5 mm s.o. 25 mm^2 ja pikkusega 250 ÷ 280 mm. Ike ristlõike pindala on 4000 mm^2. Proovikehale on paigutatud magnetiseerimismähis M, mis on dimensioneeritud sarnaselt, et tekkiv väljatugevus weberites oleks võrdne sajakordse voolutugevusega amprites, s.o.:

$$H = \frac{0,4 . \pi . z . J}{L} = 100 . J$$

Magnetiseerimismähise takistus on 1,8 oomi. Vooluallikana kasutatakse:

välja puhul kuni 150 weeberit - 6 V akut ja
välja puhul kuni 600 weeberit - 12 V akut.



Joon. 148.

Ikes olevasse õõnsusesse on paigutatud keerdkatsa, mille mähisest juhitakse läbi kindel voolutugevus, mille suurus on määratav vahekorraga:

$$i(mA) = \frac{500}{S}$$, kus S on proovikeha ristlõike pindala mm^2.

Keerdkatsa hälve on proportsionaalne rauas valitseva induktsiooni suurusega, mille tõttu mõõteriist mõõdab otsekohe induktsiooni suurust piirides $\pm$ 20000 gaussi.

Köpseli aparaat kujutab enesest teatud määral ümberpöördud keerdkatsa mõõteriista. Kuna keerdkatsa mõõteriistal on välja suurus konstantne ja voolutugevus keerdkatsas muutlik, siis Köpseli aparaadis on katsa voolu suurus konstantne ja väljatugevus muutlik.

Et ike tõkestust ei ole viidud nullini, siis väga täpsetel mõõtmistel tuleb teha vastav parandus.

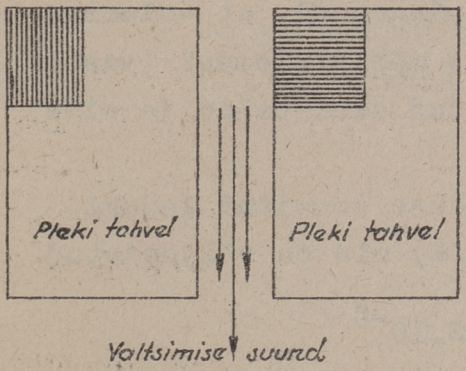
Nagu skeemist näha, on ike varustatud veel kahe lisapooliga, millede ülesandeks on ära kaotada keerdkatsa poolt tekitatud magnetilise välja mõju ikele, et keerdkatsale mõjuks ainult proovikehas tekitatud väli.

Kui magnetvälja tugevust H suurendada järk-järgult nullist teatava maksimumini, siis vähendada nullini ja teisele poole teatava miinimumini ning sealt jälle suurendada kuni nullini, siis selle juures igale H suurusele vastava B väärtuse ülestähendamisega saame ülesvõtta hüsteresisise kõvera, kus B = f(H).

B. Kadude mõõtmine rauas Epsteini aparaadiga.

Magnetilisest materjalist koostatud elektri masinaosades, mis pidevalt ümbermagnetiseeritakse, tekib peale hüstereesise kadude veel kaod pöörisvoolude tõttu. Mõlemate kadude summa moodustab rauas tühijooksu kao. Selle kao mõõtmiseks koostatakse uuritavast plekisordist neli plekkide pakki ja moodustatakse neist magnetiline ahel. Seda magnetiseeritakse normaalse sagedusega kuni normaalse induktsioonini ja mõõdetakse selle juures tarvitatud elektriline võime.

Plekkide pakid koostatakse nii, et pooled plekid oleks lõigatud ühes ja pooled teises valtsimise suunas. Harilikult võetakse pleki 10 kg. Riba pikkus on 50 cm ja paki ristlõike pindala 3x3 cm. Plekid isoleeritakse siidpaberiga ja ristlõike pindala S määratakse kaalumise teel.

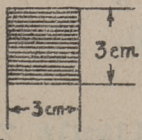


Joon. 149.

$$S = \frac{P}{4.L.\gamma}$$

kus
S - ristlõike pindala cm^2,
P - pleki raskus gr,
L - plekiriba pikkus cm,
γ - pleki erikaal(dünamo pleki puhul $\gamma = 7,7$ ja ligeeritud pleki puhul $\gamma = 7,5$).

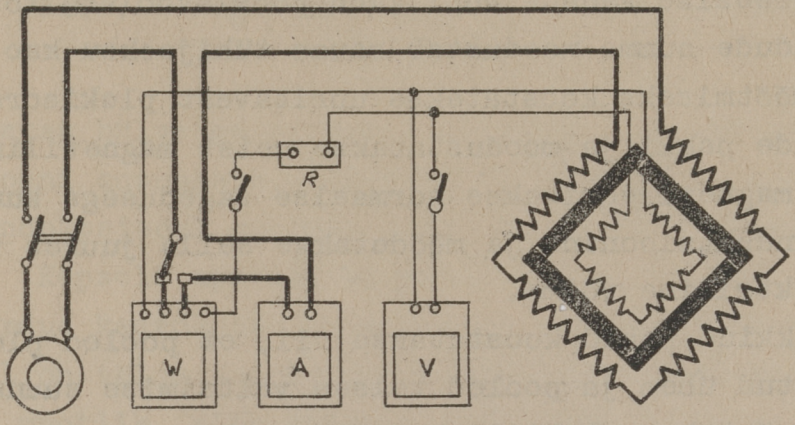
Normaalne sagedus, mille juures teostatakse mõõtmised, on 50 Hz. Normaalne induktsioon, mille juures teostatakse mõõtmised ,on



Joon. 150.

B = 10000 gaussi, harvem B = 15000 gaussi.

Raua magnetiseerimiseks kasutatakse mähist, millel on 4 x 150 keerdu ja missugune on paigutatud raudsüdamiku neljale küljele. Selles mähises tekkiv kadu mõõdetakse



Joon. 151.

vattmeetri abil. Peale selle on raudsüdamiku neljale küljele mähitud veel üks teine 4 x 150 keerdu mähis, millele lülitakse voltmeeter ja vattmeetri pingepool, et esimeses mähises tekkiv pingelang ei mõjutaks mõõtetulemusi (vaata joonis 151). Raudsüdamikule on mähitud alul teine ja siis esimene mähis.

Mõõtmise teostamiseks arvutatakse soovitud induktsioonile vastav teise mähise e.m.j. E, mis on väljendatud valemiga:

$$E = 4.\xi.f.Z_2.B.S.10^{-8}$$

kus: E - emj. teises poolis (V)

ξ - voolu kuju tegur. Kui B = 10000, siis ξ = 1,11

" B = 15000, " ξ = 1,14

f - sagedus Hz (harilikult f = 50)

Z_2 - teise pooli keerdude arv (harilikult Z_2 = 600).

B - induktsiooni suurus gaussides (harilikult B = 10000 gaussi).

S - raua ristlõike pind cm^2.

Kui E on saavutanud nõutud suuruse, siis loetakse võime vattmeetril, kusjuures enne mõõtmist tuleb voltmeeter vooluringist välja lülida.

Et ka cos φ ca 0,5 juures saada suuremat vattmeetri hälvet, selleks koormatakse üle vattmeetri voolumähis, mille tõttu mõõtmised tulevad teostada kiiresti.

Tühijooksu kaod rauas on väljendatud valemiga:

$$N = \frac{N_1 - \frac{E^2}{R}}{10}$$

kus:

N - kaod rauas W/kg,

N_1 - vattmeetril loetud võime W,

E - emj. teises mähises V,

R - vattmeetri pingepooli takistus oomides (harilikult R = 2000 oomi).

-- oOo --

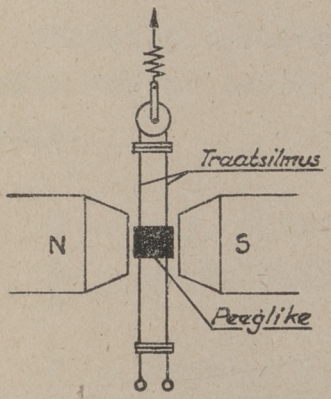
17. OSTSILOGRAAF.

Ostsilograafe kasutatakse päämiselt kahte tüüpi: 1) Blondeli süsteemi ja 2) katoodkiirte ostsilograafi. Ostsilograaf võimaldab uurida nõrkvoolu iseloomu, jälgida ja registreerida muutuvaid elektrilisi suurusi lülitusprotsessidel jne. Tugevvoolutehnikas võib ostsilograafiga uurida näiteks: rändlaineid, demonstreerida eraldi voolu ja pinge kõveraid, näidata nihkenurga φ suurust ja eraldada põhilainest harmonilisi.

A. Blondeli ostsilograaf.

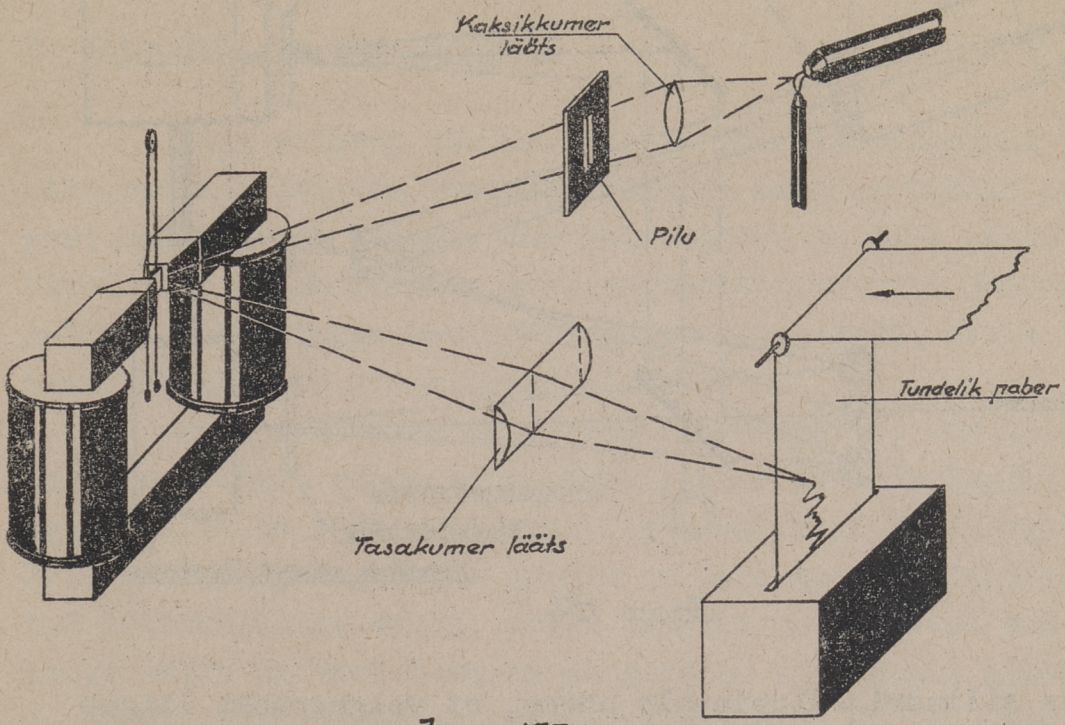
Blondeli ostsilograafi mõõteorgani moodustab tugevasse magnetvälja asetatud traatsilmus, mida läbistab uuritav voolutugevus (vaata kardiograaf). Neid traatsilmuseid võib olla 3 kuni 6 tükki, olenevalt ostsilograafi tüübist.

Mõõtesilmus, mis koosneb väga peenikesest metallindist, omab väga väikese inertsi, mille tõttu ta võib teha kaasa väga kiireid võnkumisi. Silmuse omavõnkesagedus on silmuse tüübist olenevalt 2000 kuni 12000 Hz. Mitme vooluliigi üheaegseks jälgimiseks kasutatakse 3 kuni 6 silmust korraga. Maksimaalne uuritav voolusuurus on harilikult 0,02 kuni 0,1 A. Tundlikul plaadil ühe millimeetrilise hälve annab voolutugevus, mille suurus ca 0,003 A.



Joon. 152.

Aparaadiga võib teostada ülesvõtteid tundlikule paberile, mille pikkus on kuni 5 m ja laius 9 cm ning milline liigub kiirusega kuni 2 m/sek.

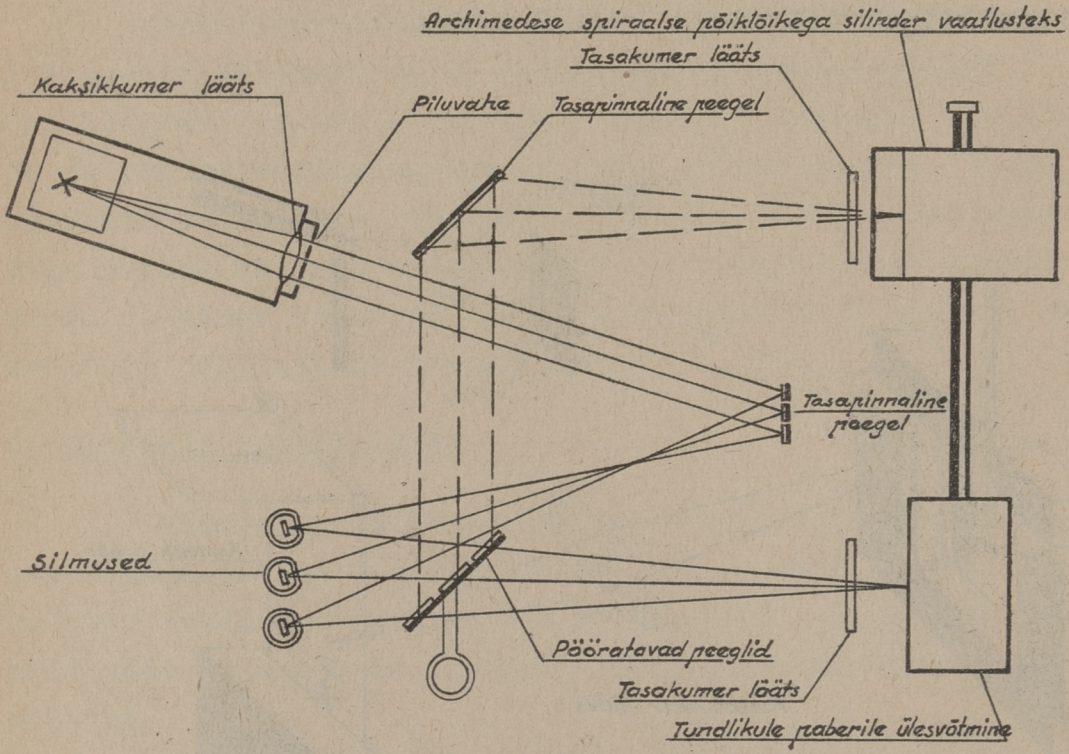


Joon. 153.

Traatsilmusele kinnitatud väikesesse peeglisse sattuv valguskiir juhitakse läbi mitmesuguste läätsade ja peeglite süsteemi valgustundlikule paberile või tehakse otseselt nähtavaks Archimedese spiraali kujulise ristlõike pinnaga silindril (jälgi joonised 153 ja 154).

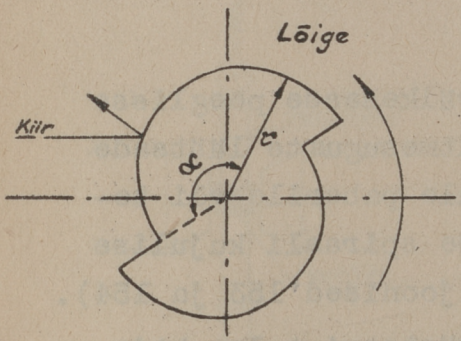
Läbi peeglite ja läätsade süsteemi tulev kiir langeb Archimedese spiraalikujulise ristlõike pinnaga

silindri külgpinnale. Kui see silinder tiirleb sünkroonselt uuritava vooluga skeemil näidatud suunas, siis vaa-



Joon. 154.

dates silindri külgpinnale näeme, et valguspunkt liigub ühtlase kiirusega silindri pinnal paremalt vasemale. Kui samal ajal silmus võngub uuritava voolu toimel, siis näeme, et valguspunkt silindri pinnal liigub eelmisele suunale risti, s.o. silindri telje suunas. Nende kahesuunalise valguspunkti liikumise tulemusena



Joon. 155.

näemegi silindri pinnal uuritava voolu paigalpüsivat pilti.

Kui soovitakse minna vaatluselt ülesvõttele, siis tuleb aparaadis vastavad peeglid kõrvale pöörata. (Vaata joonis 154).

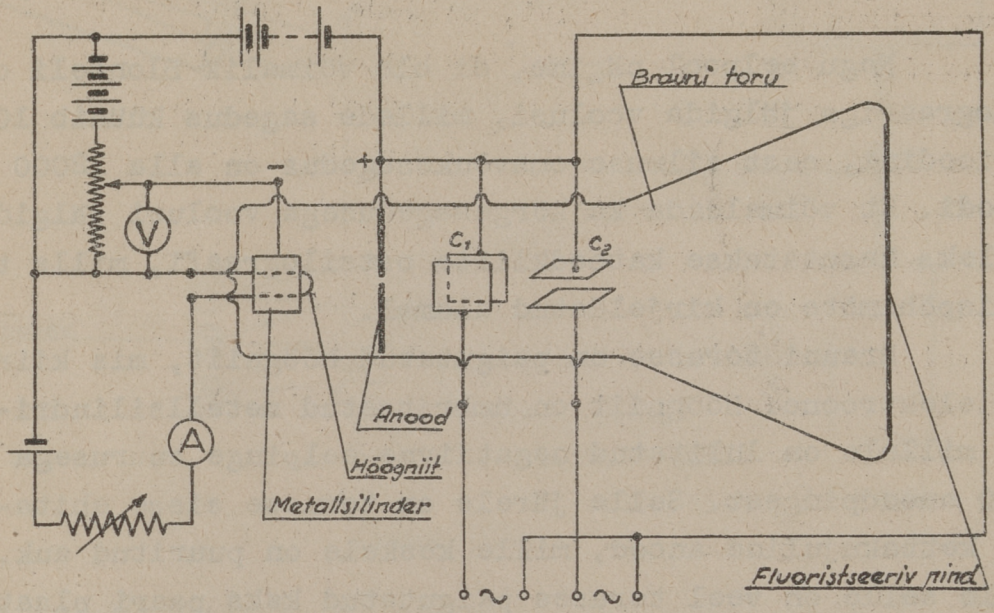
B. Katoodkiirte ostsilograaf.

Nagu eelpool nägime, ei ole võimalik Blondeli ostsilograafiga jälgida voolusi, millede sagedus küünib 10000 perioodini, sest silmuse omavõnkesagedus on alla 12000 perioodi. Et võimaldada ka kõrgesagedusega voolusi jälgida, selleks kasutatakse katoodkiirte ostsilograafi, mille töötamispõhimõte on kirjeldatud alamal.

Brauni torusse on paigutatud hõõgniit, mis kiirgab elektroone. Hõõgniit on ümbritsetud metallsilindriga, millele on lülitatud negatiivne eelpinge suurusega 1/10 anoodpingest. Selle järele on torusse sisse ehitatud kettakujuline anood, mille keskele on puuritud auk. Peale selle on veel torusse paigutatud kaks paari plaate C_1 ja C_2. Need plaatide paarid on asetatud 90° all üksteise suhtes. Toru on täidetud argooniga ca 0,01 mm Hg samba rõhu all.

Hõõgniidist väljakiirganud elektroonid koondatakse metallsilindri negatiivse pinge tõttu väga peenikeseks kimbuks. Viimasele antakse anoodpinge poolt suur algkiirus. See elektroonide kimp tungib läbi anoodis oleva avause ja langeb fluorestseeriva kihiga kaetud Brauni toru otspinnale, tekitades seal valguslaigu. Olenevalt silindri negatiivse pinge suurusest, on võimalik valguse

laiku kas suurendada või vähendada. Seda katoodkiirte vihku nihutatakse algseisakust kas elektrivälja või magnetvälja mõjul. Esimesel juhul uuritav vool ühendatakse ühe plaatide paariga, teisel juhul aga plaatide paari asemel vastava magnetpooliga. Brauni torus sünnib kiirte kõrvalekallutamine kahe plaatide paari poolt.



Joon. 156.

Kui ühendame ühe plaatide paari vahelduvvoolu pingega, siis katoodkiir kaldub kõrvale teatavas kindlas suunas. Kuna vahelduvvool on perioodiline, siis plaadid laetakse samuti perioodiliselt, mille tõttu ka katoodkiir perioodiliselt kallutatakse algseisakust ühele või teisele poole. Seega katoodkiirte perioodiline kallutus tekitab Brauni toru fluoristseerival pinnal sirge joone. Ühendades lisaks eelmisele veel teise plaatide paari vahelduvvoolu pinge alla, mis on faasis ja samade perioo-

dide arvuga esimese pingega, siis nende kahe voolu koosmõjul katoodkiir tekitab toru otsapinnale samuti sirgjoone, kuid mingisuguse teise nurga all.

Kui aga mõlemale plaatide süsteemile anda sama perioodilised kuid faasis nihutatud vahelduvvoolu pinged, siis nende kahe voolu koosmõjul katoodkiir tekitab toru otsapinnal ellipsi- või ringikujulise joone. Ellipsi telje ja algjoone järgi võib määrata pingete nihkenurga suurust.

Kui ühe plaatide paari pinge on siinuse kujuline ja teise plaatide paari pinge ükskõik millise kujuga, kuid kindlaperioodiline, siis saame paigalseisvad Lissajous kujundid, milledest võib konstrueerida pingete kõveraid.

Lülides ühele plaatide paarile pinge, mis suureneb perioodiliselt proportsionaalselt ajaga ja siis järsku langeb nullini, ning teisele plaatide paarile uuritava pinge, siis saame tulemusena n.n. normaalkõverad täisnurkseis kordinaatides.

Pinge, mis oleks aja proportsionaalne funktsioon, saavutatakse kondensaatori laadimise teel. Järsk mahalaadimine sünnib üle huumlambi.

Et elektroonide mass on väga väike, siis elektroonide vool jälgib praktiliselt momentaalselt kõiki pingemuutusi. Selle ostsilograafiga on võimalik jälgida sadandesse tuhandetesse perioodidesse küünivaid elektrivoolude võnkumisi. Samuti nagu Blondeli ostsilograafi juures, võib jälgimise asemel kasutada foto seadet, kusjuures tundlik lint liigub kiirusega kuni 50 m/sek. Maksimaalne joonestamise kiirus on praegu praktiliselt saavutatud 15 km/sek.

18. SÜNKROONMASINATE LÜLIMINE RÖÖBITI.

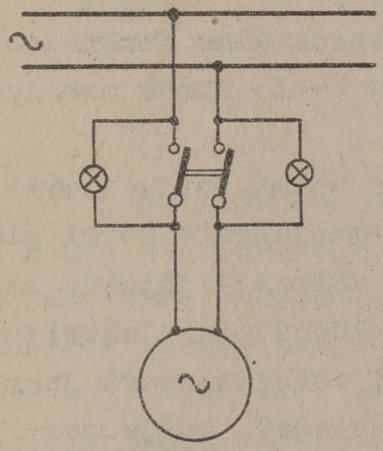
Sünkroonmasinate lülimiseks rööbiti, peavad olema täidetud järgmised tingimused:

1) mõlema masina pinged peavad olema ühesuurused,
2) " " sagedused " " võrdsed ja
3) " " pingete faasid peavad kokku langema.

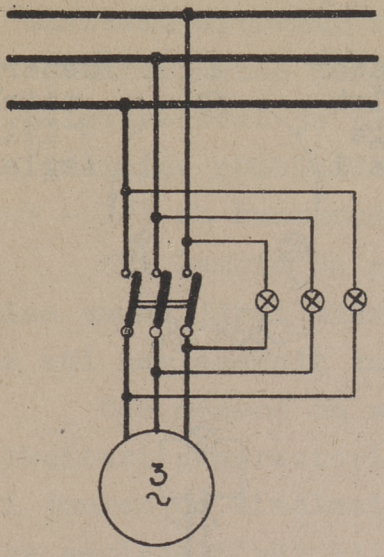
Masinate pinge suurust reguleeritakse ergutusvoolu abil; masinate sagedust - masinate tiirude arvuga. Faasiühtluse kontrollimiseks on mitu meetodit:

a) pimelülitus,
b) helelülitus,
c) tiirleva valguse süsteem,
d) faasiühtluse kontroll voltmeetri abil,
e) " " sünkronoskoobi abil.

a) Pimelülitus. Kõige populaarsem meetod sünkroonmasinate lülimiseks rööbiti on pimelülituse kasutamine. Seda teostatakse hõõglampidega nagu näidatud joonisel 157. Hõõglambid lülitakse võrgu ja rööbiti lülitava sünkroonmasina vahele. Kui võrgu ja sünkroonmasina voolusagedused on peagu võrdsed, siis lambid hakkavad perioodiliselt helenduma ja kustuma seda väiksema sagedusega, mida väiksem on rööbiti lülitava masina ja võrgu sageduste vahe. Lülimine tuleb teostada momendil, mil lambid on kustunud.



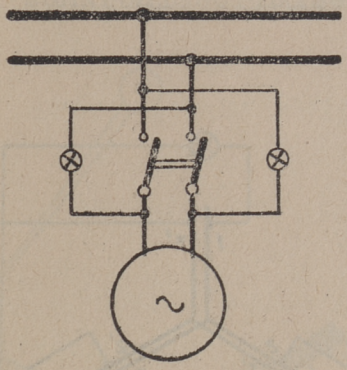
Joon. 157.



Joon. 158.

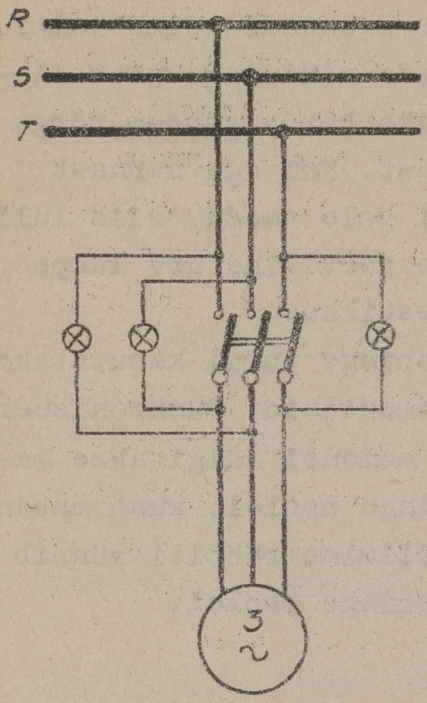
Kolmefaasilise voolu puhul tuleb kasutada kolme lampi. Lampide nimipinge peab olema kaks korda suurem võrgu pingest. Kui aga sarnast lampi pole saada, siis lülitakse tarviline arv lampe järjestikku.
Kõrgepinge puhul kasutatakse pingemuutjaid. Sünkroniseerimise momenti jälgitakse madalpinge poolel, kuna masinate lülimine rööbiti sünnib kõrgepinge poolel.

b) Helelülitus. Vähem populaarsem meetod sünkroonmasinate lülimiseks rööbiti on helelülitus. Selle lülituse juures tuleb sünkroonmasin sisse lülida hetkel, mil lambid heledalt hõõguvad. Kuna lampide maksimaalset helendust on raskem määrata kui kustunud olekut, siis seda lülitust kasutatakse harva.



Joon. 159.

c) Tiirleva valguse süsteem. Väga suurte masinate lülimiseks rööbiti kasutatakse tiirleva valguse süsteemi. Lambid lülitakse vastavalt joonisel 160 toodud skeemile.

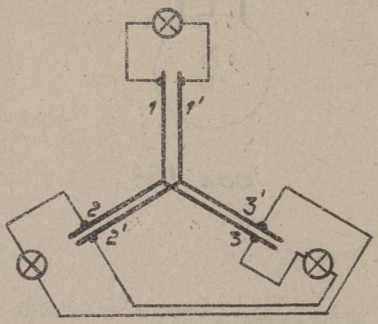


Joon. 160.

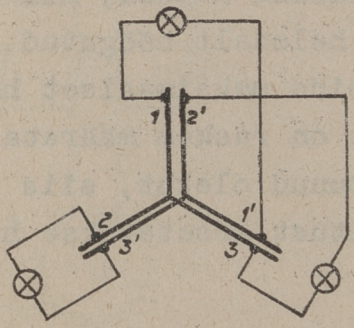
Lampide kustumise suund



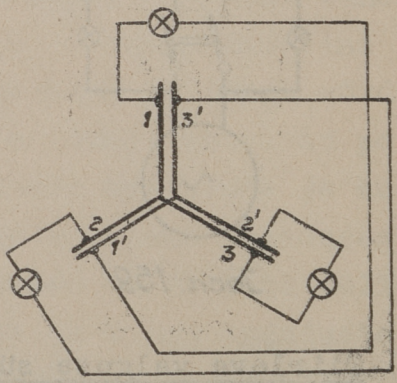
Joon. 161.



Joon. 162.



Joon. 163.



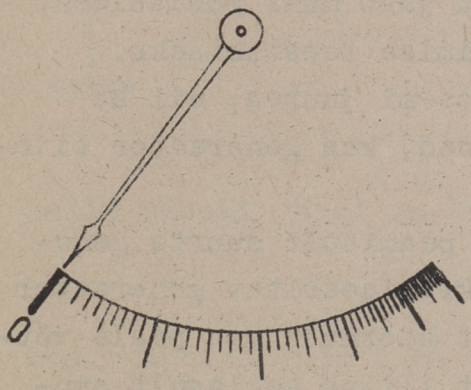
Joon. 164.

Vektorsüsteemid peavad lülimise momendil üksteist katma. Ühe süsteemi kiiremal tiirlemisel ühtuvad süsteemid teatud ajavahemikkude järgi. Nii võib üht süsteemi vaadata kui paigalseisvat ja teist kui aeglaselt liikuvat. Masinate lülimine rööbiti sünnib siis, kui ülemine lamp (juhtmes 1 - 1') on kustunud.

Kui lambid on paigutatud kolmnurka, siis võib kustumise suuna järgi määrata, kas generaator tiirleb kiiremalt või aeglasemalt kui võrgu süsteem.

See meetod on sellepärast hea, et siin ei saa olla eksitust generaatori tiirude reguleerimisel. Selle meetodi juures on kindlasti teada, kas generaator tiirleb liiga aeglaselt või liiga kiiresti. See puudus on aga pimelülimisel olemas.

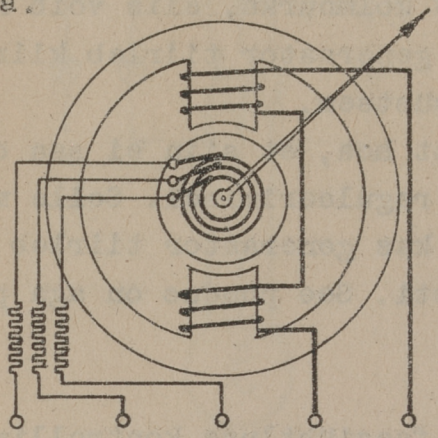
d) Voltmeeter kui sünkronoskoop faasiühtluse kontrollimisel. Eelpool kirjeldatud viiside juures võib lampide asemel sünkroniseerimiseks kasutada n.n. nullvoltmeetrit. Et voltmeetri tundlikkust nullasendis suurendada, selleks kasutatakse voltmeetri eeltakistusena metallist hõõgniit lampi, mille takistus suureneb pinge suurenemisega. Seega on voltmeetri null asendis olles eeltakistuse suurus kõige väiksem ja voltmeeter kõige tundlikum. Lõpphälve juures on eeltakistus ligikaudu 10 kuni 12 korda suurem.



Joon. 165.

e) Faasiühtluse kontroll sünkronoskoobi abil.

Sünkronoskoop koosneb kahepooliselisest staatorist millele on mähitud ühefaasiline mähis ja mis lülitakse sünkroniseeritava generaatoriga. Rootor, mis on kolmefaasilise mähisega ning varustatud kolme rõngaga ja osutiga, ühendatakse võrguga, millele generaator soovitakse lülida.



Joon. 166.

Ühefaasilises mähises tekib vahelduvväli, kuna kolmefaasilises mähises - keerdväli. Nende väljade koosmõju ongi sünkronoskoobi töötamise aluseks.

Vahelduvväli haarab temast läbiva keerdvälja ja olenevalt vahelduvvälja perioodide arvust, rootor tiirleb kas ühes või teises suunas. Tasakaal saavutatakse momendil, kui keerdväli on vahelduvväljaga faasis. Sel korral osut jääb null positsiooni püsima, millal ongi õige hetk lülimise teostamiseks.

Nagu tiirleva valguse süsteemi juures, nii ka sünkronoskoobil on tähendatud suunad, kas generaator tiirleb kiirelt või aeglaselt.

Seda meetodit kasutatakse peamiselt suurte generaatorite puhul ja juhul, kui sünkroniseeritav generaator peab kohe pärast sünkroniseerimist koormuse oma peale võtma. Lülimine sünnib siis, kui osut liigub aeglaselt suunas: "generaator tiirleb liiga kiiresti". Sünkronoskoop lülitakse võrku, kui perioodide vahe on ca 5 %. Selle momendini kasutatakse faasilampe.

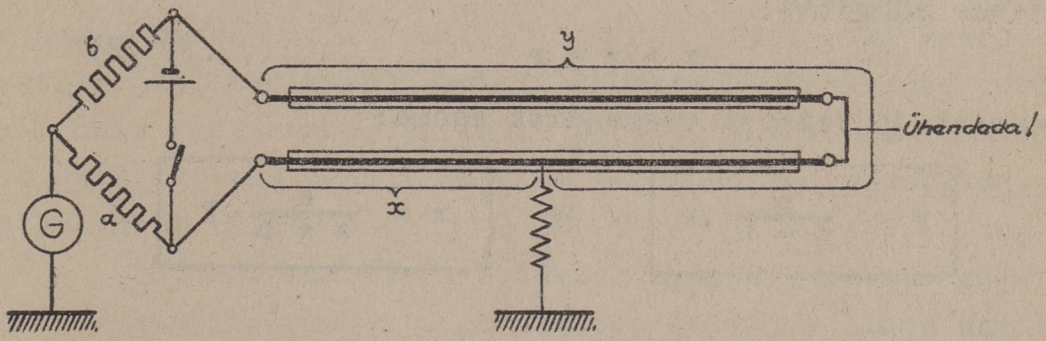
19. KAABLIVIGADE LEIDMINE.

Maa-aluseis kaableis tuleb harilikult ette kahesuguseid vigu:

1) kaablisoon on katkenud ja katkenud koht on maandatud.
2) kaablisoon on katkenud ja katkenud koht ei ole maandatud.

1) Kaablisoon on katkenud ja maandatud. Vea leidmiseks tuleb teostada kaks mõõtmist: esiteks skeemi c ja siis skeemi d järgi, kasutades selleks Wheatstone'i silda.

Skeem c.



Joon. 167.

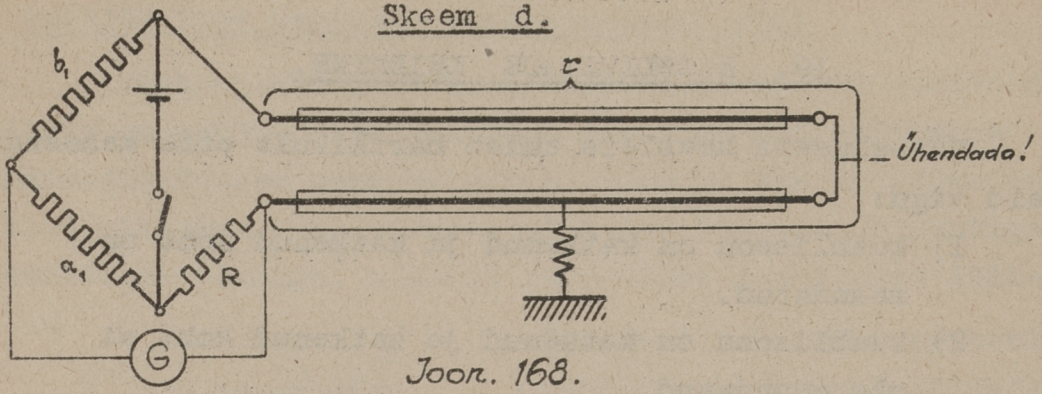
Selle skeemi järgi on tundmata takistuse suurus:

$$x = y \cdot \frac{a}{b} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

kus suurused x ja y on tundmatud takistused oomides.

Skeemi d järgi tuleb mõõtmine teostada ainult siis, kui mõõdetava kaablisoone takistus on tundmata.

Skeem d.



Joon. 168.

Mõõdetava kaablisoone kogutakistus r on: $r = R \frac{b_1}{a_1}$ kusjuures R on tuntud takistus oomides.

Harilikult on aga kaablisoone ristlõike pindala ja kaabli pikkus teada, milliste suuruste abil on mõõdetava kaabli takistus määratav:

$$x + y = r \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

Esimesest ja teisest võrrandist saame:

$$y = \frac{b}{a+b} \cdot r \qquad \text{ja} \qquad x = \frac{a}{a+b} \cdot r$$

Siin x ja y on väljendatud oomides, millest võib arvutada kaablisoone pikkus mõõtekohast kuni katkenud kohani.

Tähelepanu tuleb pöörata sellele, et katkenud koha maandustakistus ei ületaks 500 oomi, sest harilikult suuremate takistuste puhul ei õnnestu vea kindlaksmääramine. Kui takistus peaks ületama 500 oomi, siis tehakse kaablile kõrgepinge läbilöögi katse, millega püütakse sulatada kokku kaablisoone katkenud koht kaabli tina kestaga.

Kui kogu kaabli kohta teostatud mõõtmine ei anna tulemusi, siis juhul kui kaabli ulatuses leidub jatkumuhv, tuleb see avada ja mõõtmised teostada kaabli osade kaupa.

Et mõõtetulemustes kindel olla, korratakse mõõtmisi kaabli teisest otsast.

2) Kui kaablisoon on katkenud ja seal juures ei ole maandatud, siis mõõdetakse kaabli mahtuvus kaabli kahest otsast, ühendades mõõteriist katkenud kaablisoone ja tinakesta vahele. Saadud andmeist leiame kaabliosade pikkused mõõtekohast kuni katkenud kohani.

Kaablivigade leidmiseks kasutatakse sageli seadet, mille töötamisviis on järgmine:

Kaabli soone ja kaabli tinakesta vahele lülitakse kesksagedusega vool. Pooli abil, mida käies piki kaabli asetust hoitakse kaabli kohal, tehakse kesksageduse vool telefonis kuuldavaks. Sattudes pooliga kaablivea kohale, s.o. kohale, kus kaabli soon on katkenud või maantatud, katkeb heli telefonis.

Sarnast kaablivea leidmise seadet kasutatakse suurtes kaablivõrkudes nagu näiteks Tallinna linna tugevvoolu ja telefoni kaablivõrkudes.

-- oOo --

20. TEMPERATUURI MÕÕTMINE.

Temperatuuride mõõtmisi on võimalik teostada elektrilisel teel kasutades selleks vastavaid elektri mõõteriistu. Sellist temperatuuride mõõtmisviisi kasutatakse peamiselt kolmel põhjusel:

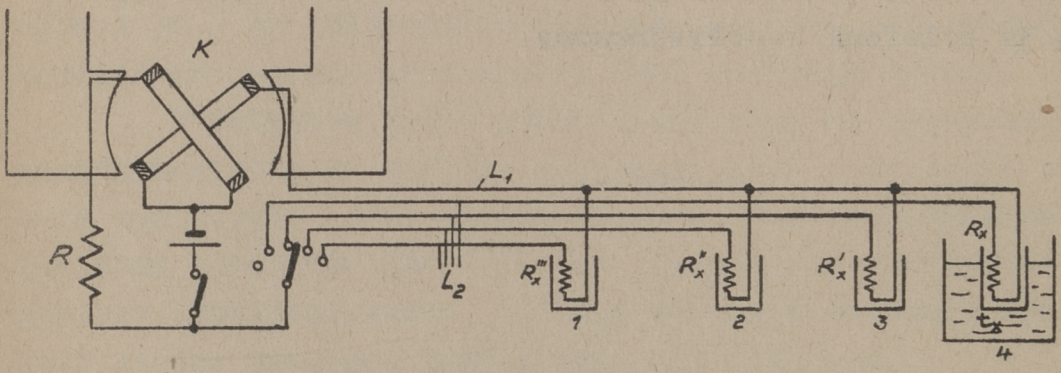
1) täpsuse tõttu;
2) suure mõõtepiiri tõttu - 250 kuni 3500°C ja
3) temperatuuri lugemine võib sündida võrdlemisi kaugel temperatuuri mõõtekohast.

Vaatleme kolme tüüpi elektri termomeetreid.

I) takistustermomeetrid - kohased madalate ja keskmiste temperatuuride mõõtmiseks,
II) termoelektrilised termomeetrid - kohased keskmiste ja kõrgete temperatuuride mõõtmiseks,
III) püromeetrid - kõrgete temperatuuride mõõtmiseks.

I) T a k i s t u s t e r m o m e e t r i d.

a) Temperatuuri mõõtmine ristkatsa mõõteriista abil.



Joon. 169.

Ristkatsa mõõteriista kirjeldus oli juba toodud eelpool. Mõõtetakistus R_x on muutlik temperatuuri muutusega ja tema suurus 0°C juures on: R_o = 90 oomi. Algtemperatuurina võetakse harilikult 20°C, millise temperatuuri juures arvutatakse tuntud takistuse R suurus.

Mõõtetakistus on ümbritsetud kestaga ja paigutatakse sinna, kus on vaja temperatuuri t_x mõõta (joonise kohaselt on R_x paigutatud vedelikku, mille temperatuuri soovitakse mõõta).

Tuntud takistus R peab olema ehitatud materjalist, mille takistus ei olene temperatuurist. Ta on harilikult paigutatud mõõteriista sisse.

Juhtmete L_1 ja L_2 takistused tulevad ainult siis arvesse võtta, kui nende pikkused on väga suured. Harilikkude mõõtmiste juures on juhtmete takistused võrreldes R_x takistusega väikesed, mille tõttu mõõteviga ei ole suur. Soovitakse teostada täpis mõõtmisi ja juhtmete pikkus selle juures on suur, siis tuleb juhtmete takistused arvesse võtta.

Mõõteriista hälve α oleneb R_x ja R suurustest:

$$\alpha = f_1\left(\frac{R_x}{R}\right). \quad \text{Kuna} \quad R_x = R_o(1 + \beta t_x), \text{ siis}$$

$$\alpha = f_1\left[\frac{R_o}{R}(1 + \beta t_x)\right] = f(t_x)$$

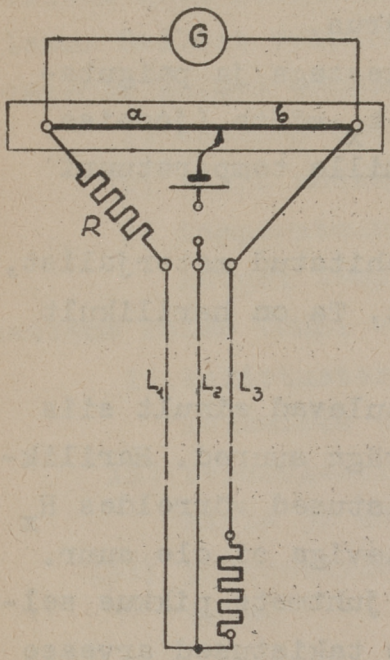
Kui tekib vajadus mõõta erinevate kohtade temperatuure ja sealjuures on kasutada ainult üks mõõteriist, siis tulevad mõõtetakistused R'_x, R''_x jne. asetada soovitud kohtadesse ja ühendada juhtmestiku abil ümberlüliti kaudu mõõteriistaga vastavalt eeltoodud skeemile.

b) Temperatuuri mõõtmine mõõtesilla abil.

Mõõtetakistuse R_x suurust võib mõõta ka Wheatstone'i silla abil, kusjuures mõõtetakistuse suurus on väljendatud tuntud valemiga

$$R_x = r. \frac{b}{a}$$

kus R_x ja R on oomides.



Joon. 170.

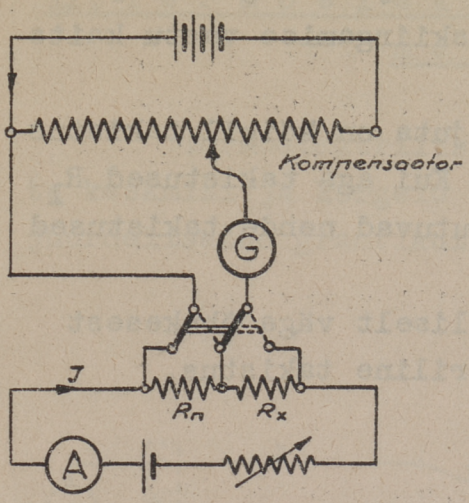
Kuna R suurus on konstantne ja temperatuurist olenematu ning R_x suurus olenev temperatuurist t_x, siis teades mõõtetakistuse R_x suurust algtemperatuuri juures ja aine temperatuuri tegurit, võime määrata temperatuuri t_x.

Juhtme L_2 takistuse suurus ei mõjuta mõõtetulemusi. Juhtmete L_1 ja L_3 takistuste suuruste muutus mõjutab vähe mõõtetulemusi, sest juhtmed L_1 ja L_2 on paigutatud harilikult üksteise lähedusse ja seega muutub nende takistus ühevõrra, mille tõttu suhe b : a muutub vähe.

c) Temperatuuri mõõtmine kompensaatori abil.

Selle meetodiga võib mõõta väga väikesi temperatuuri vahesid, näiteks - 70° ja - 71°C. Selle juures kasutatakse üht normitud takistust R_n ja mõõtetakistust R_x, mis lülitakse üksteisega järjestikku ja milledest juhitakse läbi voolutugevus J.

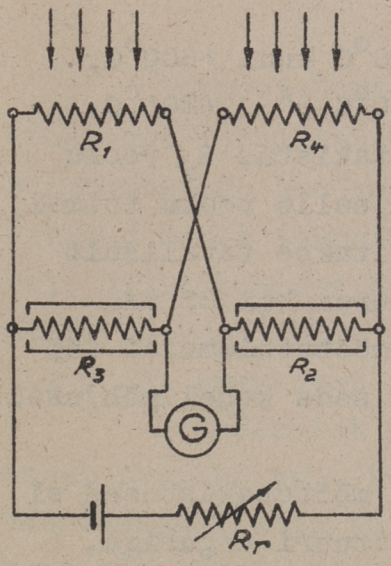
Takistuste R_n ja R_x klemmidel tekib pingelang, mille suurused määratakse kompensaatori abil (kirjeldus



Joon. 171.

lhk.113).
Teades R_x klemmidel pingelangu suurust ja voolutugevust J, leiame R_x suuruse. Viimasest leiame aine temperatuuri teguri abil mõõdetava temperatuuri t_x.
Seda meetodit kasutatakse peamiselt teaduslikkude uurimuste juures.

d) Temperatuuri mõõtmine bolomeetriga.



Joon. 172.

Bolomeetriga mõõdetakse väga väikesi temperatuuri vahesid, mis esile kutsutakse soojuse kiirgamise teel. Võib kindlaks teha temperatuuri vahesid kuni 1/1000°C.
Koostatakse Wheatstone'i sild, mis koosneb neljast ühesuurusest takistusest R_1, R_2, R_3 ja R_4, galvanomeetrist, akust ja reguleeritavast takistusest R_r.
Takistused R_1 ja R_4 on välja lõigatud plekist ja mustaks

värvitud ning asetatud mõõdetavale soojuskiirgamise poolele. Takistused R_2 ja R_3 on soojuskiirgamise vastu kaitstud isoleervaheseinaga.

Ilma soojuse kiirgamise mõjuta on kõigil takistustel üks ja sama oomiline takistus. Kui aga takistused R_1 ja R_4 on soojuskiirte mõju all, muutuvad nende takistused ja galvanomeetril saame hälve.

Takistused ehitatakse tavaliselt väga õhukesest plaatinpaberist, millel suur elektriline takistus.

Andmed mõõtetakistuse R_x kohta.

Ülaltoodud mõõtemeetodite juures on mõõtetakistus R_x valmistatud tavaliselt kas plaatin- või nikkeltraadist, oomilise takistusega 90 oomi $0^\circ C$ juures. Mõõtetakistus muutub plaatina puhul 0,392 % ja nikli puhul 0,675 % ühe $^\circ C$ kohta.

Plaatintraadiga mõõtepiir on $-200^\circ C$ kuni $+600^\circ C$,
nikkel " " " $-200^\circ C$ " $+200^\circ C$.

Ülaltoodud meetodeis on mõõtetakistus R_x voolu all, mille tõttu tema takistus muutub selle voolu toimel. Takistuse muutumise ärahoidmiseks valitakse tavaliselt mõõtmisel väike voolusuurus, mitte suurem kui 25 mA.

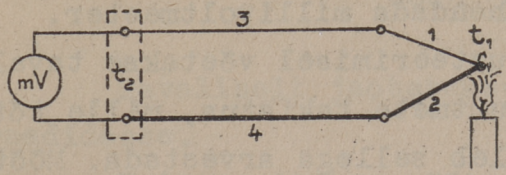
Plaatintraadiga mõõtmisel on mõõtetulemused täpsemad kui nikkeltraadiga mõõtmisel ja seda kahel põhjusel:

1) nikkeltraat oksüdeerub,
2) nikkeltraadist valmistatud mõõtetakistused ei ole kõik ühesuuruse temperatuuri teguriga.

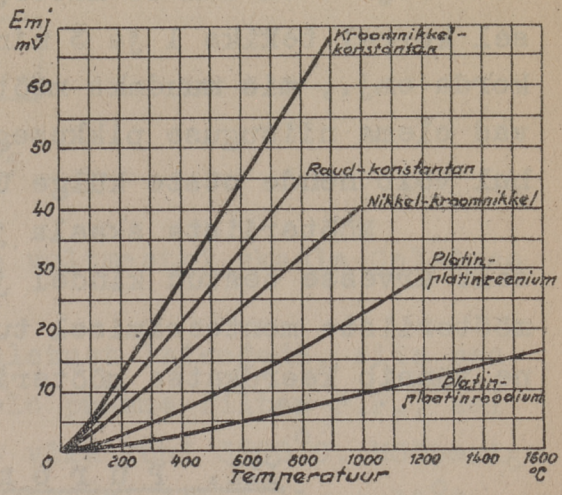
Plaatintraadi juures neid nähteid ei esine. Plaatinast on võimalik valmistada täpselt ühesuguseid takistusi, mille tõttu on neid võimalik vahetada.

II. Termoelektrilised termomeetrid.

Termoelektriliste termomeetritega on võimalik mõõta keskmisi ja kõrgeid temperatuure piirides, nagu näha juurdelisatud graafikuist.



Joon. 173



Joon. 174.

Termoelektriline termomeeter on ehitatud kahest erinevast metallist traadist, mille otsad 1 ja 2 on kokkukeevitatud. Soojendades sellise termomeetri kokkukeevitatud kohta temperatuurini t_1 °C, siis külmadel traadiotstel, mille temperatuur on t_2 °C, tekib elektromotoorne jõud, mille suurust võime mõõta millivoltmeetri abil. See emj. oleneb t_2 suurusest.

Graafikuist nähtub, et mitteväärismetallide paar annab suurema emj. kui väärismetallide paar, kuid mitteväärismetallidega termomeetri mõõteulatus on palju väiksem, kui väärismetallidest termomeetril.

Mitteväärismetallide paariga võib mõõta temperatuure kuni 1000°C, kuna väärismetallide paariga kuni 1600°C.

Graafikul märgitud plaatinreenium ja plaatinroodium on väärismetallid ning sugulased plaatinaga. Plaatinroodium sulab 1970°C, kuna plaatin 1774°C juures.

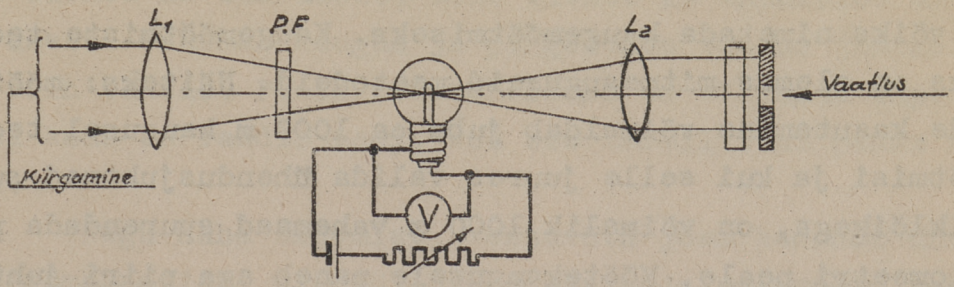
Elektromotoorne jõud ei olene traadi läbimõõdust. Voolutugevus on tavaliselt väike ca 0,02 kuni 1 mA. Traadi osad 3 ja 4 on samast materjalist kui 1 ja 2, sest vastasel korral tekiks 1 ja 3 ning 2 ja 4 ühenduskohtades omakorda emj., mis muudaks mõõtetulemusi. Juhtmed 3 ja 4 peavad olema niisuguse pikkusega, et t_2= 20°C. Alles sel juhul võib nende otste külge ühendada millivoltmeeter.

Mõõteriista skaala justeerimisel võetakse tavaliselt arvesse teatud kindel juhtmete takistus, mille tõttu mõõteriista monteerimisel tuleb sellega arvestada. Mõõtmine sünnib keerdkatsa mõõteriistaga.

III. P ü r o m e e t r i d.

Kui ei ole võimalik termoelementi asetada mõõdetava kõrge temperatuuri asukohta või kui temperatuuri suurus ületab 1600°C, siis kasutatakse temperatuuri mõõtmiseks püromeetreid. Kuumendatud keha kiirgab juba alates 525°C. Kui võrrelda kiiritud valguse tugevust elektri hõõgniidi valguse tugevusega, võib määrata kiirgava keha temperatuuri suurust.

Keha kiirgamise suund on näidatud joonisel. Kiired koondatakse kaksikkumera läätsa L_1 abil. Läätsa L_2 kaudu sünnib vaatlus. Järgnevalt reguleeritakse hõõglambi pinge kuni hõõgniidi kuju kaob, s.o. momendini, kui mõlemad valgused, nii kiirgava kui ka hõõgniidi oma on ühesuurused.



Joon. 175.

Tavaliselt jaotatakse voltmeetri skaala Celsiuse kraadidesse.

Kui soovitakse mõõteulatust laiendada, siis seatakse läätsa L_1 ja lambi vahele punane filter P.F., sel teel on võimalik mõõteulatust viia kuni 3500°C. Mõõteviga on 700°C juures ca 5°C, kuna 3500°C mõõtmisel ca 15°C.

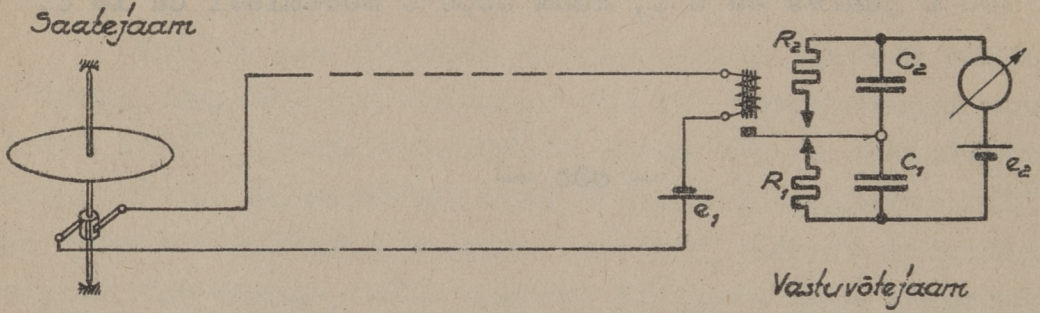
-- oOo --

21. KAUGEMÕÕTMINE.

Juba eelpool kirjeldatud temperatuuride mõõtmisviisi võiks nimetada kaugemõõtmiseks. Kaugemõõtmiste teostamiseks on olemas mitmesuguseid meetodeid. Näiteks: mõõtetrafode kasutamine võimaldab juba ca 1000 m kaugusel teostada mõõtmisi ja kui selle juures valida ühendusjuhtmed suure põiklõikega, on võimalik 1000 m vahemaad suurendada paari kilomeetri peale. Mõõtekaugusele paneb aga piiri juhtmete R, L ja C suurused.

Et teha mõõtmisi olenematuks juhtmete R, L ja C suurustest, on olemas rida meetodeid. Viimasel ajal kasutatakse n.n. impulss-kaugemõõtmise viisi, mille kirjeldus toodud alamal.

Impuls-kaugemõõtmine koosneb peajoontes kahest osast: saate ja vastuvõte jaamast. Saate osas, kus mõõt-



Joon. 176.

mine tegelikult sünnib, monteeritakse tiirleva mõõteriista teljele väikene kollektor, mis on varustatud kahe harjaga. Harjad on ühenduses juhtmete kaudu vastuvõtu jaamaga, kus asub ka vooluallikas aku patarei näol. Olenevalt mõõteriista tiirude arvust, katkestab kollektor voolu liinis ja muudab liinides oleva voolu pulseerivaks vooluks. Voolu impulsi-

de arv oleneb mõõteriista tiirude arvust ja viimane omakorda oleneb mõõdetavast suurusest. Näiteks kui ketta tiirlemine oleneb kW suurusest, siis oleneb ka impulside arv kW suurusest. Vahemaa kaugus ja pingelangu suurus juhtmeis ei ole siin tähtis. Peale traatühenduse on võimalik impulsse edasi anda ka raadio teel, kui see tarviliseks peaks osutuma.

Nagu näha skeemist, vastuvõtu jaam koosneb ühest elektromagnetist, mis lülitatud saate ja vastuvõtu seadmete vahelisse liini, kahest kondensaatorist C_1 ja C_2, galvanomeetrist G ning akudest e_1 ja e_2.

Elektromagnetit läbistab sama voolu impulside arv, kui saatejaamas ja ühtlasi tõmbub ümberlüliti samapalju kordi magneti ankru külge.

Ümberlüliti alumises seisakus tühjeneb kondensaator C_1 üle oomilise takistuse R_1. Samal ajal laetakse teine kondensaator C_2 (vooluring: aku, galvanomeeter, kondensaator C_2, takistus R_1 ja aku) ning galvanomeeter saab voolutõuke. Jõuab voolu impuls vastuvõtujaama, lülitatakse ümberlülit ülemisse seisakusse. Kondensaator C_2 tühjeneb üle oomilise takistuse R_2, kuid samal ajal laetakse esimene kondensaator C_1 (vooluring: aku, galvanomeeter, takistus R_2, kondensaator C_1 ja aku) ning galvanomeeter saab uue voolutõuke.

See ümberlülimise sagedus oleneb saatejaama voolu impulside arvust. Galvanomeetrist voolab läbi ainult kondensaatorite laadimisvool, mille keskmine suurus oleneb kondensaatorite C_1 ja C_2 mahtude suurusest, aku e_2 pinge suurusest ning impulside arvust. Kõik suurused peale impulside arvu on konstant suurused. Seega galvanomeetri hälve on funktsioon impulside arvust ja viimane oleneb oma-

korda saatejaamas mõõdetavast suurusest, näiteks kW arvust.

Galvanomeetri ehitus peab olema niisugune, et ta kõige väiksema ettetuleva impulside arvu juures kindla hälve annab, seega peab galvanomeeter hästi sumbutatud olema. Impulside keskmine arv on ca 2 impulsi sekundis.

Impulsse antakse edasi sagedasti kõrgesagedusvoolu-na kas telefoni juhtmete või kõrgepinge juhtmete kaudu.

Kui kaugus ületab otseühendamise võimalust, võib impulsse võimendada, nagu seda teostatakse tavaliselt telefoni alal.

Impulss-mõõtesüsteemil on mõõtetäpsus ± 3 %.

-- oOo --

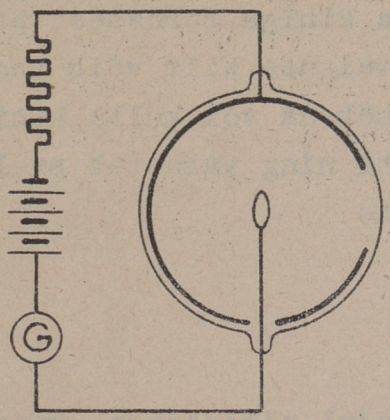
22. VALGUSE TUGEVUSE MÕÕTMINE.

Valguse tugevust mõõdetakse peamiselt:

a) fotorakukese ja

b) fotoelemendi abil.

a) Valguse tugevuse mõõtmine fotorakukese abil.



Joon. 177.

Kõrgvaakuumiga klaaskolbi on paigutatud kaks metallelektroodi A ja K. Aku patareist voolab ainult siis elektrivool üle galvanomeetri G, kui kolbi akna kaudu kolbi tungib valguse kiir, vabastades katoodist K elektroone. Vabastatav elektroonide arv oleneb katoodi materjalist. Kõige rohkem tarvitatakse katoodina kaaliumi või tseesiumi.

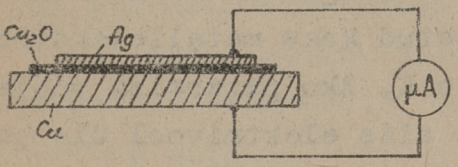
Peale nähtava valguskiire vabastavad ka infrapunased ja ultraviolett kiired elektroone, kusjuures infrapunased kiired vabastavad elektroone tseesiumist ja ultraviolett kiired - kaaliumist. See asjaolu võimaldab tõhusalt kasutada seda meetodit kohtades, kus kiir peab jääma nähtamatuks, näiteks rahakappide kaitsel varaste vastu.

Vooluallika pinge suurus peab olema ca 60 kuni 100 volti, voolutugevus on ca 60 μA lumeni kohta.

See seade ei ole kantava mõõteriistana kasutamist leidnud põhjusel, et klaaskolb on kergesti purunev, seade nõuab eri vooluallikat ning voolutugevus on väga väike.

b) Valguse tugevuse mõõtmine fotoelemendi abil.

Palju suuremat levikut on leidnud fotoelemendi kui fotorakukese kasutamine. Fotoelement koosneb vaskplaadist, mis ühepoolselt on oksüdeeritud. Oksüüdi kord on kaetud elektrolüütilisel teel õhukese hõbeda või kulla kihiga sarnases paksuses, et valguse kiir võib tungida läbi hõbeda või kulla kihi Cu_2O kihti ning vabastab sealt elektroone.



Joon. 175.

Siin on tegemist puhtal kujul alaldajaga, kuna vabanenud elektroonid ei läbista vaseoksüüdi kihti suunas $Cu_2O \longrightarrow Cu$, vaid jäävad peamiselt hõbeda või kulla kihile. Seega tekib potentsiaalide vahe Cu ja Ag vahel.

Kui ühendada Cu ja Ag mõõteriista kaudu, siis on voolusuund $Cu \longrightarrow Cu_2O$ voolutugevusega ca 300 kuni 400 μA lumeni kohta, mida võib mõõta keerdkatsa mõõteriistaga. Mida väiksema sisetakistusega mõõteriista kasutada, seda suurem on voolutugevus vooluringis.

Peale vaseoksüüd fotoelemendi kasutatakse sagedasti veel seleeni, mille takistuse suurus muutub valguse toimel.

Fotoelemendi paremus fotorakukesest on asjaolu,

et siin puudub õrn klaaskolb, ei ole vaja eri vooluallikat ning voolutugevus on märksa suurem kui fotorakukese puhul.

Fotoelementi kasutatakse peamiselt fototehnikas ning mõõteriista skaala on jaotatud tavaliselt luxidesse.

Lähemalt E.T.Z. 1936. lhk. 137 kuni 154.

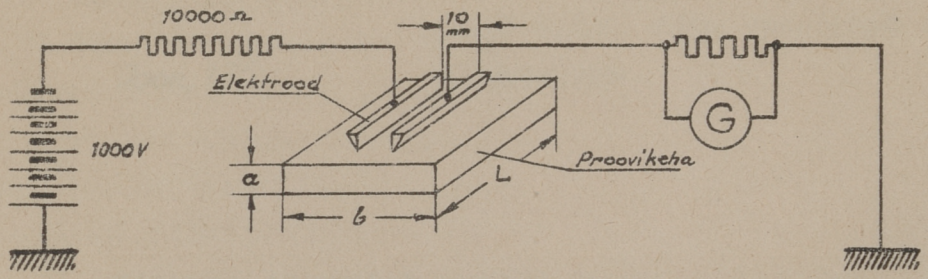
-- oOo --

23. ELEKTRI ISOLEERAINETE PROOVIMINE.

Elektri isoleerainetel tuleb peamiselt määrata 1) nende pindtakistust, 2) nende sisetakistust ning 3) teostada läbilöögi katse.

1. Isoleerainete pindtakistus.

V.D.E. 0302 järele isoleerainete pindtakistust mõõdetakse järgmise skeemi järgi:



Joon. 179.

Proovikeha normaalmõõdud on: L = 120 mm, a = 10 mm ja b = 15 mm, kuid normaalproovikehade mõõtudest ei nõuta kinnipidamist tingimusel, et elektroodid mahuks mõõdetavale pinnale.

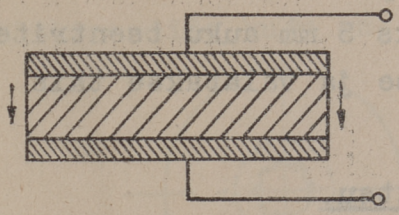
Mõõtmine sünnib pinnal 10 x 1 cm 1000 V alalisvoolu pingega, millele järjestikku lülitud 10000 oomiline eeltakistus.

Enne mõõtmist tuleb isoleeraine pind lihvida ning kummist elektroodid katta 10 cm pikkuselt staniooliga.

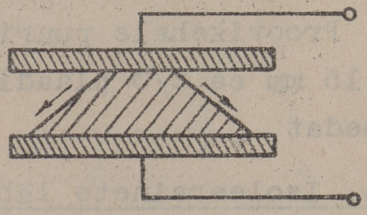
Harilikult ei määrata pindtakistust oomides, vaid kasutatakse selleks võrdlustegurit.

Pindtakistus MΩ	Võrdlustegur
Alla 10^{-2}	0
10^{-2} kuni 1	1
1 " 10^{2}	2
10^{2} " 10^{4}	3
10^{4} " 10^{6}	4
üle 10^{6}	5

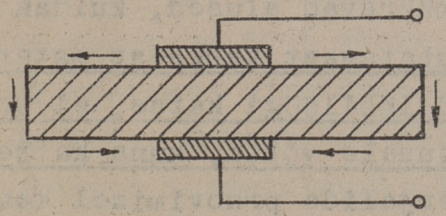
Et elektriaparatuuris vältida pinge ülelööke, mis võivad tekkida ülepinge lainete tagajärjel, tuleb nõrkade kohtade isoleerkihi pinna suurust suurendada nagu näidatud järgnevatel joonistel.



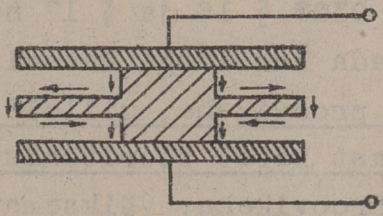
Joon. 180.



Joon. 181.



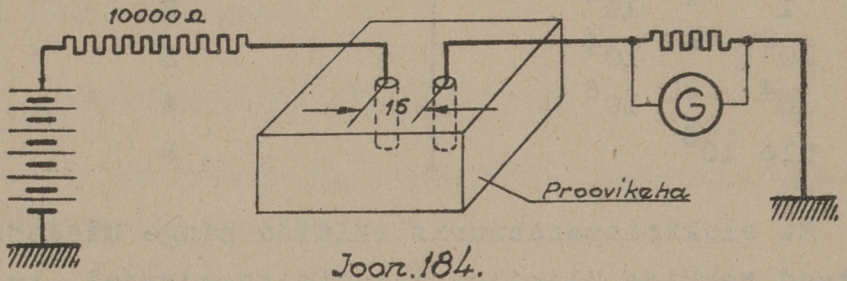
Joon. 182.



Joon. 183.

2. Isoleerainete sisetakistus.

V.D.E. 0303 järele isoleerainete sisetakistust mõõdetakse järgmise skeemi järgi:



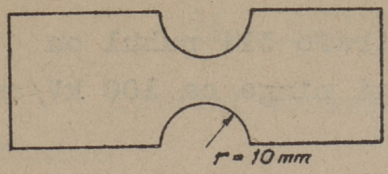
Joon. 184.

Kasutatav alalisvoolu pinge võib olla 110, 220 või 1000 V. Mõõtmisel kasutatakse normaalmõõtudega keha (vaata p.1), kuid neist mõõtudest kinnipidamist ei nõuta.

Proovikehale puuritakse kaks 5 mm auku tsentrite vahega 15 mm ca 2/3 plaadi sügavusse ja valatakse täis elavhõbedat.

3. Isoleerainete läbilöögi katsu.

Tuntuim isoleerainete proovimise meetod on läbilöögi katsu. Seda katset teostatakse eriti õlide puhul. V.D.E. 0303 § 16 ja § 17 normid määravad alused, kuidas toimetada läbilöögi katseid. Kasutatavast tahksest materjalist proovikeha, millele tehtud läbilöögi katse, ei tohi pärast katse sooritamist kasutusele võtta, kuna katse rikub proovikeha. Väiksemate materjalide proovimisel kasutatakse kuuli, millel läbimõõt on 20 mm ning katse kestvuseks on üks minut. Läbilöök oleneb ajast ja kuulide suurusest. Läbilöögi pinge ühikuks on kV/cm kohta, näiteks vilgukivil 400 kV/cm ja marmoril 20 kV/cm kohta.



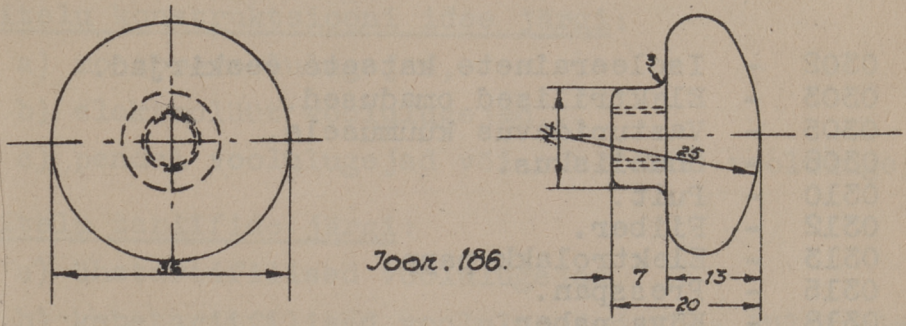
Joon. 185.

Tahksel materjalil tehakse kaks 10 mm raadiusega õnarust, mis kaetakse metalli korraga. Selle järele teostatakse läbilöögi katsu. Tuleb vältida õhuvahesid materjali ja elektroodide vahel.

Õli läbilöögi katsed teostatakse V.D.E.0370 normide järele. Katset võib teostada:

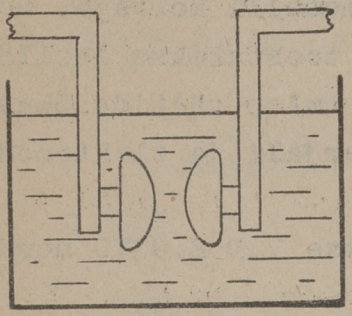
1) kas elektroodide kindla vahemaa juures, tõstes järk-järgult pinge suurust kuni tekib läbilöök, või
2) kindla pinge juures, vähendades järk-järgult elektroodide vahemaad.

Elektroodide kuju on järgmine:



Joon. 186.

Vee sisaldus õlis 0,01 % vähendab õli läbilöögi tugevust ca 50 % võrra. Harilikult teostatakse 6 katset ja võetakse viimasest 5 katsest keskmine. Nõu peab olema kuiv. Katsetatav õli hulk peab olema vähemalt 0,25 liitrit temperatuuril 15 kuni 25°C. Elektroodide õlisse laskmisel peab elektroodide vahe olema vähemalt 45 mm. Läbilöögi pinge ühikuks on kV/cm kohta.



Joon. 187.

Näide: trafo õli puhul on läbilöögi pinge ca 100 kV/cm kohta.
Õhu läbilöögi tugevus oleneb õhurõhumisest ja temperatuurist. Siinuskujulise pinge puhul 760 mm Hg rõhumise ja 20°C juures on õhu läbilöögipinge $U_{ef.}$ = 21 kV/cm või alalisvooluga proovimisel U = 30 kV/cm.

V.D.E. normid, kus käsitatakse isoleeraineid.

0302 - Isoleerainete katsete eeskirjad.
0303 - Elektrilised omadused.
0305 - Vastupidavus kuumusele.
0308 - Õhuniiskus.
0310 - Puit.
0312 - Fiiber.
0313 - Elektrolakk papp.
0315 - Presspan.
0318 - Kõva paber.
0320 - Isoleer pressmaterjal.
0322 - Kõvakumm.
0330 - Kivimid.
0331 - Asbest tooted.
0332 - Vilgukivi.
0335 - Keraamilised kehad alla 1000 V.
0340 - Isoleerpaelad.
0350 - Aparaatide isoleermass.
0351 - Kaablimuhvide isoleermass.
0370 - Lülitite ja transformaatori õli.

24. ELEKTRI VOOLULUGEJAD.

Elektri vooluluge jate ülesandeks on elektritöö mõõtmine.

Elektri vooluluge jaid võib järgmiselt liigitada:

1) Liigitelu voolu järgi:
   a) alalisvoolu-luge jad,
   b) vahelduvvoolu-luge jad, millised jagunevad omakorda - ühefaasilised ja mitmefaasilised luge jad.

2) Liigitelu ühikute järgi:
   a) ampertunni vooluluge jad (Ah vooluluge jad),
   b) kilovatttunni vooluluge jad (kWh vooluluge jad),
   c) aja luge jad (h luge jad).

3) Liigitelu konstruktsiooni idee järgi:
   a) mootor-vooluluge jad,
   b) elektrolüüt vooluluge jad,
   c) pendel vooluluge jad või n.n. Aron vooluluge jad.

4) Liigitelu tariifide järgi:
   a) ühetariifilised vooluluge jad,
   b) kahetariifilised vooluluge jad ühes lülituskella seadmega,
   c) mitmetariifilised vooluluge jad ühes lülituskella seadmega.

5) Liigitelu soodustuse järgi:
   a) ülevoolu luge jad majapidamises,
   b) majapidamis-vooluluge jad suure käimamineku momendiga või n.n. kantavad vooluluge jad,
   c) kasseerivad automaatvooluluge jad,
   d) maksimum võime näitajad.

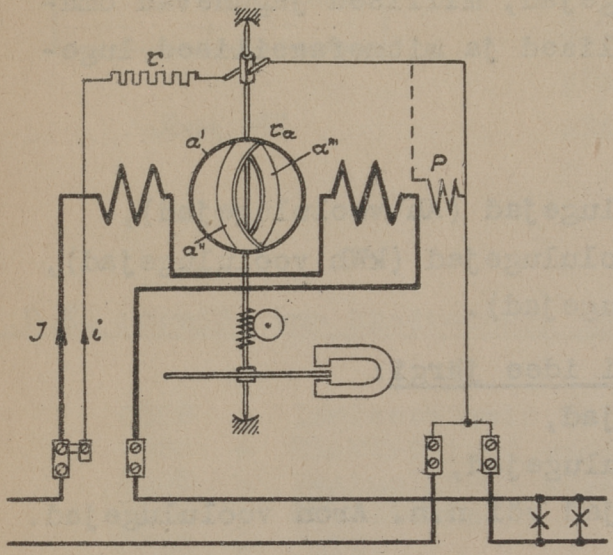
6) Liigitelu võime iseloomu järgi:

a) vattvõime voolulugejad,

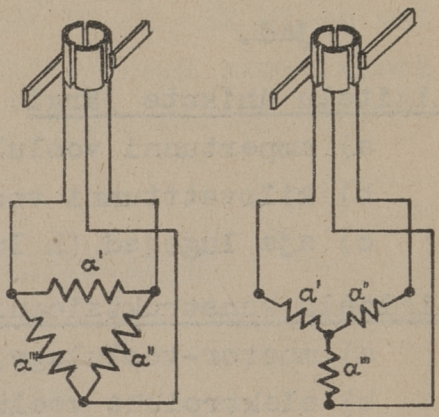
b) vatitavõime voolulugejad.

A. A l a l i s v o o l u l u g e j a d.

1) Elektrodünaamilised kWh voolulugejad.



Joon. 188.



Joon. 189.

Nagu joonisest näha, elektrodünaamiline voolulugeja koosneb rauata paigalseisvast kaheharulisest poolist ja ühest liikuvast süsteemist Liikuv süsteem koosneb mähisest, kollektorist ja võllist, millele on asetatud alumiiniumist ketas. Viimane tiirleb püsiva magneti vahel. Ketta ja püsiva magneti abil tekitatakse vastukeerdmoment Ankrul on suur arv keerde, mis lülitatud vastavalt joonisel 189 toodud skeemile. Ankru mähis on lülitatud eeltakistuse r kaudu rööbiti võrguga, kuna paigalseisev pool on lülitatud võrguga järjestikku.

Kui voolutugevus J läbistab paigalseisvat pooli, tekib viimases magnetvoog Φ , mis on proportsionaalne voolutugevusele J. Magnetvoo Φ ja ankrut läbiva elektrivoolu i toimel tekib voolulugeja keerdmoment, mida võib väljendada järgmiselt:

$M = c.\Phi.i$. Asendades $\Phi = k.J$ suurusega ja väljendades kõik konstantsed suurused ühise konstandina k', siis

$M = k'.J.i$. Kuna voolutugevus $i = \frac{U}{r+r_a} = \frac{U}{R}$

kus U - on võrgu pinge voltides ja R - rööbikmähise üldtakistus oomides, siis

$$M = k'.J.\frac{U}{R} = k''.J.U.$$

Võttes arvesse, et mõõdetava seadme võimet võib väljendada $J.U = W_1$, siis voolulugeja keerdmoment on võrdne:

$$\boxed{M = k''.W_1}$$

See tähendab: voolulugeja keerdmoment on proportsionaalne võimele. See väljendus on täpis, kui voolulugeja ankur püsib paigal. Tiirleb aga ankur, siis tekib viimases vastuelektromotoorne jõud e, ning ankru voolutugevust tuleks väljendada järgmiselt:

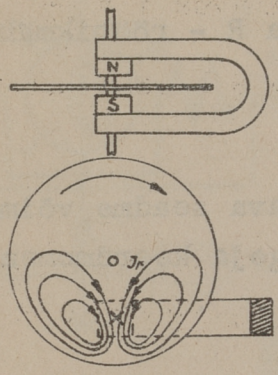
$$i = \frac{U - e}{R}$$

Kuna raudsüdamikuta poolides tekitatav magnetvoog Φ on väike ning ankur tiirleb väga aeglaselt, siis ankrus tekkiva vastuelektromotoorse jõu e suurus on samuti väike võrreldes võrgu pinge suurusega. Sel põhjusel võib e suu-

rust ilma suurema veata jätta arvesse võtmata.

Kui aga vooluluge jat ümberehitada madalamale pingele, siis võib vastuelektromotoorne jõud avaldada mõju i suurusele.

Vooluluge ja vastukeerdmoment. Vastukeerdmoment saadakse püsivmagnetist tekitatud magnetvoo ja alumiiniumkettas tekkivate pöörisvoolude toimel.



Joon. 190.

Alumiinium kettas tekkiv pöörisvoolude e.m.j. E_p on proportsionaalne püsivmagneti magnetvoole Φ_m ja ketta tiirude arvule n_1. Seega

$$E_p = c_1 \cdot \Phi_m \cdot n_1$$

Tekkiva e.m.j. suurusest oleneb ka pöörisvoolude J_p suurus: $J_p = \frac{E_p}{R_1}$

kus R_1 on alumiiniumketta takistus, mis on konstantne. Seega $J_p = c_2 \cdot \Phi_m \cdot n_1$.

Vastukeerdmoment M_v on proportsionaalne voolutugevusele J_p ja magnetvoo suurusele Φ_m, s.o.

$$M_v = c_3 \cdot J_p \cdot \Phi_m = c_3 \cdot c_2 \cdot \Phi_m \cdot n_1 \cdot \Phi_m$$

kus c_2, c_3, Φ_m on konstant suurused. Seega

$$\boxed{M_v = c_4 \cdot n_1}$$

Kuna $M = M_v$, siis $k''.W_1 = c_4.n_1$, millest $\boxed{W_1 = c_5.n_1}$

Võime on proportsionaalne voolulugeja tiirude arvule.

Kui mõõtmist teostada t aja jooksul, siis tehtud töö

$$A_1 = W_1.t = c_5.n_1.t = c_5.n$$

kus n on lugeja tiirude arv t aja jooksul.
Seega töö määramiseks aja t jooksul, tuleb mõõta ainult lugeja tiirud n, missugused loetakse voolulugeja mehhanismi abil.

Harilikult väljendatakse töö A kWh ja aeg tundides, mille tõttu:

$A = c_6.n$, millest $c_6 = \frac{A}{n}$ s.o. kWh arv voolulugeja ühe tiiru kohta.

<u>Voolulugeja konstant C</u> on aga ümberpöördud suurus:

$$\boxed{C = \frac{1}{c_6} = \frac{n}{A}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

s.o. voolulugeja konstant on voolulugeja tiirude arv ühe kWh kohta.

Kui soovitakse võime suurust määrata voolulugeja abil, siis asendades $A = W.t$ eeltoodud valemisse (1), saame väljendada:

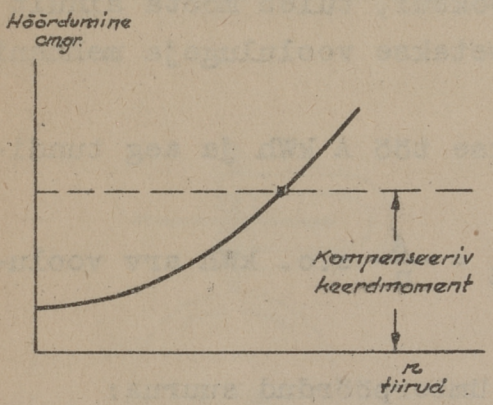
$$\boxed{W = \frac{n}{C \,.\, t}}$$

kus A on töö kWh, W on võime kW, t on aeg tundides ja n on voolulugeja ketta tiirude arv aja t jooksul.

<u>Näide</u>: Voolulugeja konstant C = 2500, mõõtmine sünnib 6 minutit, millise aja jooksul loeti 100 voolulugeja ketta tiiru.

Seega $A = \frac{n}{C} = \frac{100}{2500} = 0,04$ kWh ja $W = \frac{n}{C.t} = \frac{100}{2500.0,1} = 0,4$ kW

Hõõrdumine voolulugejais: 1) hõõrdumine laagrites, 2) hõõrdumine vastu õhku, 3) kollektori harjade hõõrdumine ja 4) ülekande mehhanismi hõõrdumine.



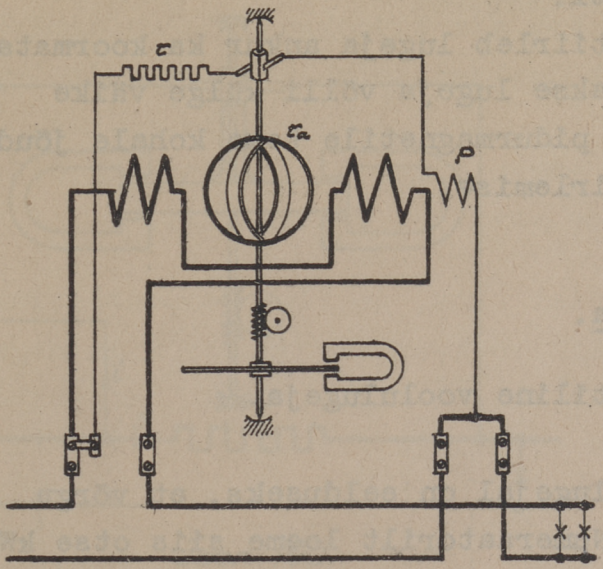
Joon. 191.

Hõõrdumise suurus oleneb lugeja ankru tiirlemise kiirusest. Hõõrdumise tagajärjel tekib voolulugejas vastukeerdmoment, mille kompenseerimise suurus peaks olenema samuti lugeja tiirlemise kiirusest, seda ei ole aga võimalik teostada. Et siiski ligikaudugi kompenseerida hõõrdumise vastukeerdmomenti, on voolulugejasse monteeritud pool P mille abil tekitatakse üks konstantne keerdmoment, mis vastab voolulugeja ketta keskmisele kiirusele (joon.191).

Temperatuuri mõju. Sisselülimise momendil on ankru mähis külm, mille tõttu mähiste takistus on väikseim ja voolutugevus ankrus suurim võrreldes hilisema olukorraga, mil mähisel normaaltemperatuur saavutatud. Seetõttu ankur tiirleb alul kiiremini kui normaalolukorras. Pingepool omab normaalse temperatuuri umbes ühe-tunnilise pinge all olemise järele. Siis on ka voolulugeja näitamine õige.

Pingepool ja lisapool P on kogu aeg ühenduses võrguga, mille tõttu voolulugejal on, vaatamata voolutarvituse suurusele, alati teatud koormus ja ühes sellega teatud

energia kulu. Näiteks, kui pingepooli võime on 1 vatt, teeb see aasta kohta 8760 Wh ≈ 9 kWh (Tegelikult on pingepooli võime suurem kui 1 vatt. Vaata eraldi antud lhk.190).



Joon. 192.

Ruumi temperatuuri muutusega muutuvad mähiste takistused ja ühes sellega ka vooluluge ja keerdmoment. Kuid teiselt poolt: ühes temperatuuri muutusega muutub ka alumiiniumketta takistus, millest oleneb vastukeerdmomendi suurus. Seega vooluluge ja keerdmoment on praktiliselt olenematu ruumi temperatuuri suurusest. Temperatuurist oleneb veel püsivmagneti väljatugevus Φ_m. Viimase ruutsuurusest oleneb omakorda vooluluge ja vastukeerdmoment M_v. Mida suurem on temperatuur, seda nõrgem on Φ_m ja luge ja tiirleb kiiremini. Seda puudust võib kompenseerida pingeringi materjali valikuga sarnaselt, et temperatuuri tõusuga suureneks pingeringi mähise takistus ja seega väheneks keerdmoment.

<u>Välisväljad mõjuvad</u> elektrodünaamilisele vooluluge jale tuntuvalt, mille tõttu tulevad kõik võõrad väljad eemaldada

voolulugeja lähedusest. Isegi rauatükk, mis paigutatud voolulugeja lähedusse, mõjub tema õigele näitamisele.

Elektrodünaamilistes voolulugejates on vähe rauda, sest lühiühenduse puhul magnetiseeruks raudosad ja lugeja ei loeks enam õieti.

"P" katsa mõjul tiirleb lugeja ankur ka koormata. Selle vältimiseks asetatakse lugeja võlli külge väike rauatükike mis "kleepub" pidurmagnetile tema kohale jõudmisel, peatades ankru tiirlemise.

2) Ampertunni voolulugeja.

a) Elektromagneetiline voolulugeja.

Ampertunni voolulugejal on eelduseks, et võrgu pinge oleks konstantne. Numeraatorilt loeme siis otse kWh.

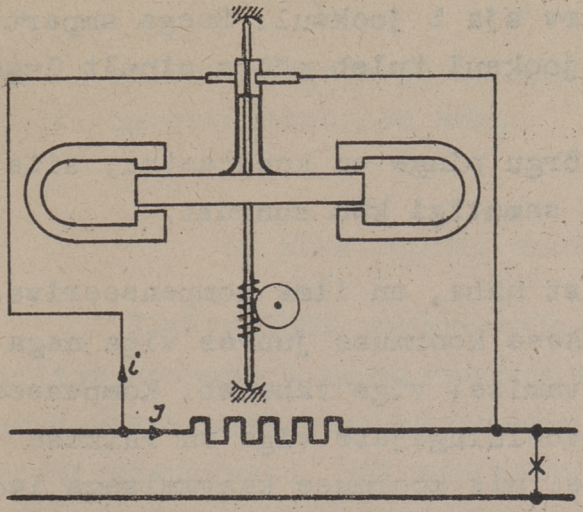
See on ligikaudne kWh mõõtmine, sest võrgu pinge harilikult ei ole kunagi konstantne. Arvesse võttes, et Ah voolulugeja ehitus on palju lihtsam kui kWh voolulugeja ehitus, siis kasutatakse Ah voolulugejaid praktikas rohkem kui kWh voolulugejaid.

Lugeja magnetvoog Φ_m saadakse püsivmagnetist aga mitte mähiste kaudu nagu see oli elektrodünaamilistel voolulugejail.

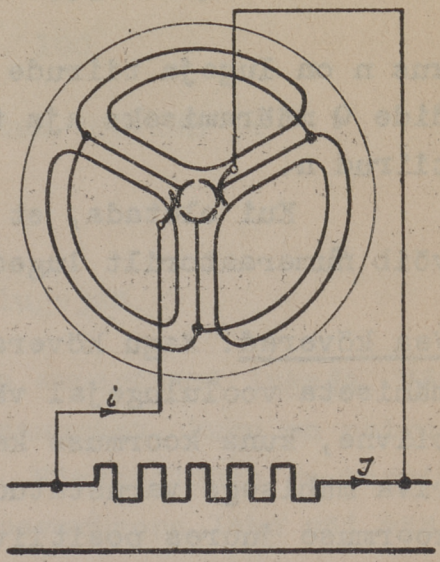
Kolm ankru mähist on paigutatud alumiiniumist kesta sisse ja pöörlevad püsivmagnetite vahel. Mähiste otsad on välja toodud kollektorisse.

Püsivmagnetite magnetvoo Φ_m ja mähiseid läbiva voolu i toimel tekkiv keerdmoment on:

$$M = c' . \Phi_m . i$$



Joon. 193.



Joon. 194.

Nagu joonisest näha, ankurt ei läbista mitte kogu mõõdetav voolutugevus, vaid ainult osa, kuna suurem osa voolust läbib šundi. Seega

$$i = c'' . J \qquad \text{ja} \qquad M = c' . \Phi_m . c'' . J$$

Kuna c', c'' ja Φ_m on konstantsed suurused, siis voolulugeja keerdmoment on väljendatud järgnevalt:

$$\boxed{M = k . J}$$

Seega keerdmoment on proportsionaalne voolutugevusega J.

Vastukeerdmoment on väljendatud nagu elektrodünaamiliste voolulugejate puhul valemiga: $M_v = c_4 . n_1$

Kuna $M = M_v$, siis $K.J = c_4 n_1$ ja $J = \frac{c_4}{k} n_1$.

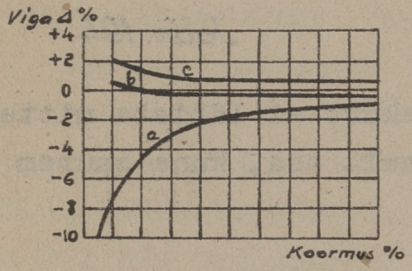
Kui mõõtmist teostada t aja jooksul, siis

$$Q = J.t = \frac{c_4}{k} n_1 t = c_5 n$$

kus n on lugeja tiirude arv aja t jooksul. Seega ampertundide Q määramiseks aja t jooksul tuleb mõõta ainult lugeja tiirud n.

Kui oletada, et võrgu pinge on konstantne, siis võib numeraatorilt lugeda samutigi kWh suurust.

Vea kõverad. Nagu kõveraist näha, on ilma kompenseeriva mähiseta voolulugejal väikese koormuse juures viga negatiivne, kuna koormuse kasvamisel viga väheneb. Kompenseeriva mähisega varustatud voolulugejate viga on väikese koormuse juures positiivne, mis koormuse kasvamisega langeb



Joon. 195

a) kõver - voolulugeja ilma kompenseeriva mähiseta,

b) kõver - voolulugeja normaal kompenseeriva mähisega,

c) kõver - voolulugeja ülekompenseeriva mähisega.

V.D.E. 0418 normide kohaselt võib alalisvoolu lugeja viga olla maksimaalselt:

$$\pm \Delta = 3 + 0{,}3 \frac{W_n}{W}$$

kus Δ on viga väljendatud protsentides,

W_n - voolulugeja nimivõime suurus vattides,

W - mõõdetud võime vattides.

See valem on kehtiv juhul, kui mõõdetud võime suurus on piirides 5 % kuni 100 % voolulugeja nimivõimest.

Voolulugeja vea suurus Δ määratakse valemiga:

$$\Delta\,\% = \frac{A' - A}{A} \cdot 100$$

kus A' on voolulugeja poolt mõõdetud töö kWh ja
A on arvutatud töö kWh.

b) Elektrolüüt vooluluge jad.

Elektrolüüt voolulugeja on ampertunni lugeja. Mõõteriist koosneb U kujulisest klaasanumast, kuhu on paigutatud väärismetallist elektroodid. Elektrolüüte on tarvitusel mitmesuguseid, näiteks nõrk fosvorhappe lahu või väävelhappe lahu. Elektrolüüsil eralduv vesinik tõuseb U torusse ja selles torus oleva lahuse seisu järgi määratakse voolutarvitus, kuna eraldanud gaasi hulk on proportsionaalne Ah arvule.

Selle voolulugeja paremus seisab selles, et tegistreerimine algab juba minimaalse voolutarvituse juures. Halvemaks küljeks on asjaolu, et voolulugeja nõuab teatava ajavahemiku järgi kallutamist vesinikuga täidetud toru tühjendamiseks. Kui toru täitub, siis kallutus sünnib automaatselt. Jääb sel puhul lugem tegemata, on see hiljem võimata teostada.

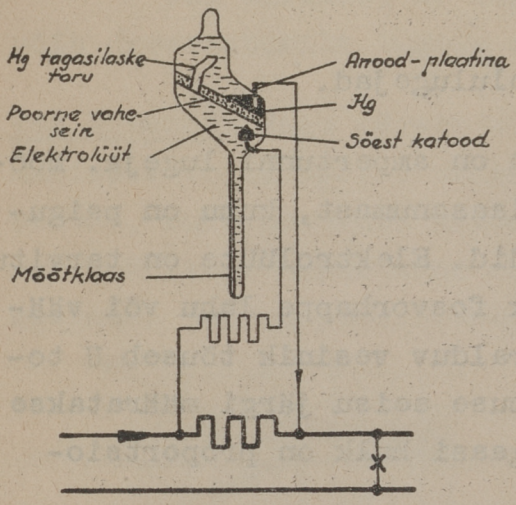
Elektrolüüt voolulugeja on kasutatav ainult alalisvoolu puhul.

Mõõtetäpsus 5 $\frac{+}{-}$ 150 % nimikoormuse vahel $\pm$ 3 %.

Pingelang ca 0,5 V.

Elektrolüüti läbistav voolutugevus ca 0,0001 A.

Lugeja kaal ca 1,3 kg.



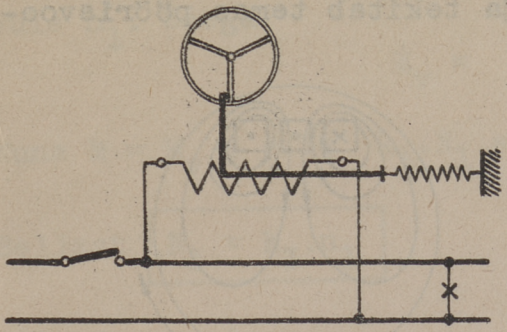
Joon. 196.

Elektrolüüt vooluluge jas kasutatakse ka elavhõbejoodi (HgJ_2) ja joodkaaliumi (KJ) lahu. Vooluluge ja ehitusviis on toodud kõrval joonisel. Läbiva voolu toimel tekivad katoodile elavhõbeda tilgakesed. Need ei jää aga sõele pidama ja langevad mõõtetorusse. Faradey seaduse järgi eraldunud elavhõbeda hulk on vooluhulga mõõduks.

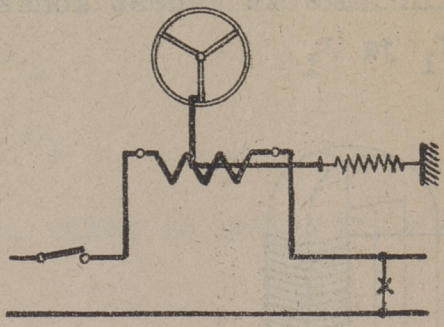
c) Aja vooluluge ja.

Aja vooluluge ja koosneb magnetmähisest ja kella mehhanismist. Kella mehhanism on ühenduses numeraatoriga, mis registreerib magnetpooli läbiva voolu kestvust. Nagu alltoodud skeemidest näha, kella mehhanism astub tegevusse siis, kui magnetmähise südamikuga ühenduses olev kang vabastab kellamehhanismi ratta. See toimub aga sel juhul, kui vool läbistab magnetmähise. Kui vool katkeb, peatab

kang kellamehhanismi. Aja voolulugejaid ehitatakse rööbik- ja järjestikku lülitusele.



Joon. 197.



Joon. 198.

Rööbikühenduse puhul tuleb aja voolulugeja lülitada tarvitaja vooluringile, et voolu katkemisel rööbikmähis jääks pingetuks.

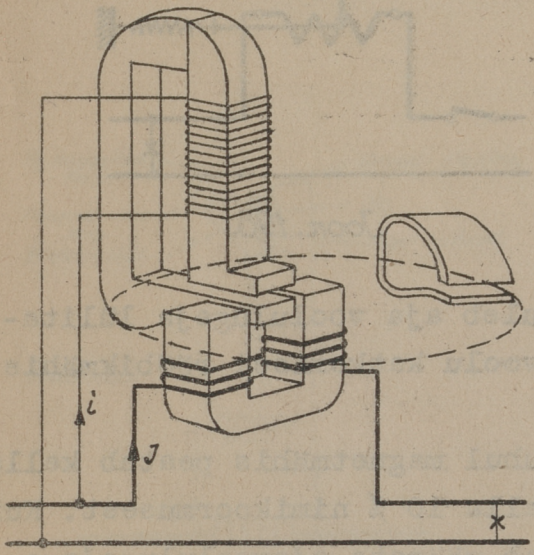
Järjestikku lülimise puhul magnetmähis peatab kella mehhanismi kui koormus langeb alla 10 % nimikoormusest. Kui koormus on konstantne, siis saab määrata ajavoolulugejaga tööd: A = kW.h.

B. Vahelduvvoolulugejad.

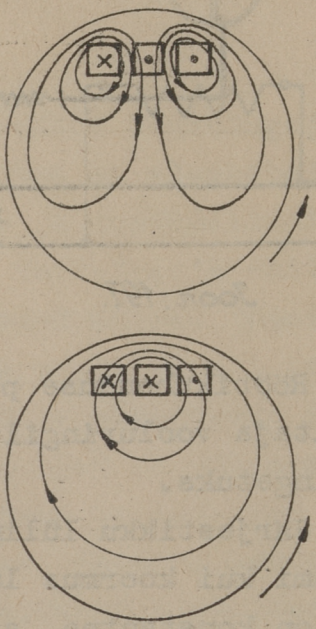
a) Induktsioon ehk n.n. Ferraris kWh voolulugeja.

Voolulugeja koosneb kahest elektromagnetist, millest üks on lülitud võrguga järjestikku, kuna teine rööbiti. Nende kahe elektromagneti vahel tiirleb alumiiniumist ketas.

Mõõdetav vool läbistab võrguga järjestikku ühendatud mähist, mille tõttu tekib magnetvoog Φ_i, mis on proportsionaalne voolutugevusega J. Magnetvoog Φ_i läbistab alumiiniumketta kahest kohast ja tekitab temas pöörisvoolud J_1 ja J_1.



Joon. 199.



Joon. 200.

Rööbiti lülitud mähisest voolab läbi võrgu pinge U suurusest olenev voolutugevus J_u, mille tagajärjel tekib magnetvoog Φ_u, mis on proportsionaalne pingega U. See magnetvoog, läbistades alumiiniumketast, tekitab temas pöörisvoolu J_p. Nende pöörisvoolude ja magnetvoogude toimel tekib keerdmoment, mis on proportsionaalne mõõdetava vattvõimega.

$$M = k_1 . J . U . \cos \varphi = k_1 . N_1$$

kus N_1 on võime vattides.

Vastukeerdmoment tekitatakse sama tiirleva alumiiniumketta ja ühe püsivmagneti abil. Eelpool nägime, et tekkiv vastukeerdmoment on proportsionaalne ketta tiirude arvule n_1. Seega

$$M_v = k_2 . n_1$$

Kuna $M = M_v$, siis $k_1 . N_1 = k_2 . n_1$

Sellest $\boxed{N_1 = k_3 . n_1}$ s.o. võime on proportsionaalne tiirude arvule n_1.

Kui mõõtmist teostada t aja jooksul, siis tehtud töö A_1 on:

$$A_1 = N_1 . t = k_3 . n_1 . t = k_3 . n$$

kus n on lugeja tiirude arv aja t jooksul.

Seega töö määramiseks aja t jooksul, tuleb mõõta ainult lugeja tiirud n, missugused loetakse voolulugeja mehhanismi abil.

Harilikult väljendatakse töö A kWh-es ja aeg tundides, mille tõttu

$$A = k_4 . n$$

millest $k_4 = \frac{A}{n}$ s.o. kWh arv voolulugeja ühe tiiru kohta.

Voolulugeja konstant C on aga ümberpöördud suurus.

$\boxed{C = \frac{1}{k_4} = \frac{n}{A}}$ s.o. voolulugeja konstant on voolulugeja tiirude arv ühe kWh kohta.

Kui soovitakse määrata võime suurust voolulugeja abil, siis asendades A = N.t eeltoodud valemisse, saame väljendada:

$$N = \frac{n}{C.t}$$

kus A on töö kWh,
N on võime kW,
t on aeg tundides,
n on voolulugeja ketta tiirude arv t aja jooksul.

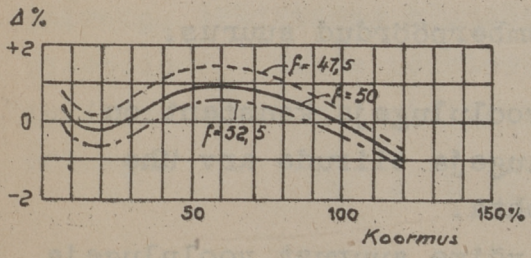
Näide: Voolulugeja konstant C = 2500, mõõtmine sünnib 6 minutit, millise aja jooksul loeti 100 voolulugeja ketta tiiru.

Seega $A = \frac{n}{C} = \frac{100}{2500} = 0{,}04$ kWh ja

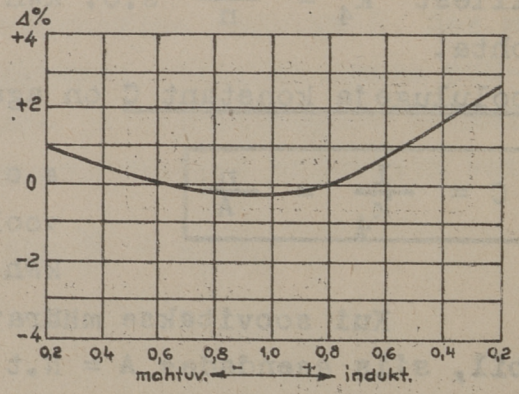
$$N = \frac{n}{C.t} = \frac{100}{2500.0{,}1} = 0{,}4 \text{ kW}.$$

Vea kõverad. Nagu kõveraist näha, on väikese koormuse puhul viga positiivne. Koormuse kasvamisel viga alul väheneb, siis ca 50 % koormuse juures tõuseb maksimaalseks ning üle selle koormuse vea % langeb.

Vahelduvvoolu lugeja töötab kindlal voolusagedusel, näiteks f = 50 per./sek. Madalamatel sagedustel pole nende voolulugejate täpsus enam kuigi hea. Alla 15 per./sek. neid voolulugejaid enam ei ehitata. Muutuva sagedusega võrgus pole võimalik neid kasutada.



Joon. 201.



Joon. 202.

Kõveraist selgub ka kuidas mõjub vea suurusele perioodide arvu muutus ning cos φ suurus nii induktiivse, kui ka mahtuvusliku koormuse puhul.

Vea kõvera parandamine sünnib kõvera nihutamisega ülesse või alla.

V.D.E. 0418 normide alusel võib vahelduvvoolu lugeja viga olla maksimaalselt:

$$\pm \Delta = 3 + 0{,}05\frac{N_n}{N} + 0{,}5\left(1 + 0{,}1\frac{J_n}{J}\right).\operatorname{tg}\varphi$$

kus Δ on viga protsentides,

N_n - voolulugeja nimivõime VA,

N - mõõdetav võime VA,

J_n - voolulugeja nimivoolutugevus A,

J - mõõdetav voolutugevus A,

$\operatorname{tg}\varphi$ - nihkenurga tangensi suurus voolu J ja pinge U vahel.

See valem on kehtiv juhul, kui mõõdetav võime suurus on piirides 5 % kuni 125 % voolulugeja nimivõimest, ning cos φ suurus vahelduvvoolu puhul mitte vähem kui 0,5 ja keerdvoolu puhul mitte vähem kui 0,2.

Voolulugeja vea suurus Δ määratakse valemiga:

$$\Delta\,\% = \frac{A' - A}{A} \cdot 100$$

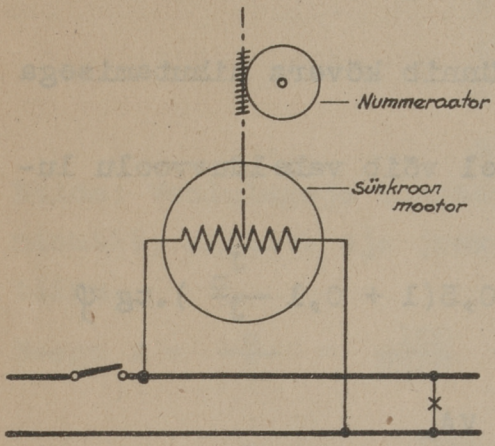
Kus A' on voolulugeja poolt mõõdetud töö kWh ja
A on arvutatud töö kWh.

Vahelduvvoolu lugejad on ülekoormatavad kuni 200 % nimikoormast.

b) Aja voolulugeja.

Aja voolulugeja koosneb numeraatorist ja väikesest induktsioon mootorist. Lugeja tuleb lülida tarvitaja voo-

luringi selliselt, et tarvitaja voolu katkestamisel ka lugeja mootor oleks pingetu. Pidurit ei ole vaja, kuna nume-



raatori mehhanism peatab ise mootori. Mootori telg tiirleb konstantsete tiirudega. See voolulugeja on kasutatav ainult vahelduv- ja keerdvoolu seadmetes. Konstantse koormuse puhul lugeja näidu tundide h korrutis kW-ga määrab töö suuruse A kWh.

Joon. 203.

Mõõteriist ehitatakse ühefaasilisena ja kasutatakse juhul, kui vaja kindlaks teha aparaadi või seadme töötamise aega, arvestamata koormuse suurust.

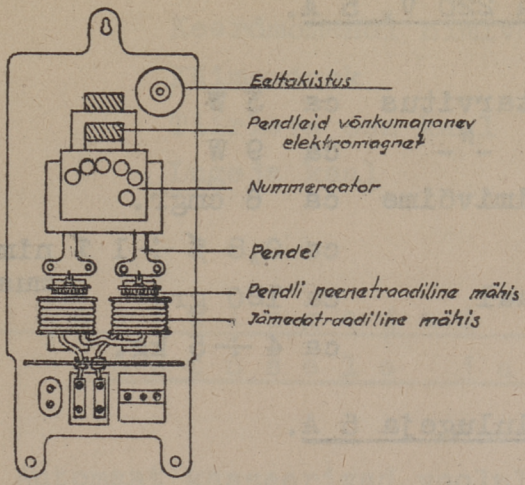
Aja voolulugeja on praktiliselt olenematu pinge ja perioodide võnkumisest.

Pingepooli omatarvitus on ca 2,6 W
Keerdmoment ca 1 cmgr.
Liikuva osa kaal ca 20 gr.
Lugeja kaal ca 1,2 kg.
Vea suurus 10 % pingemuutuse puhul ca 0,3 %
Vea suurus 5 % perioodide muutuse puhul ca 0,6 %

c) Pendel või n.n. Aron voolulugeja.

See voolulugeja koosneb kahest pendlimehhanismist. Pendleid moodustab peenetraadiline pool, mille mähised on ühendatud rööbiti võrguga. Pendlid võnguvad jämedatraadi-

liste poolide kohal, mida läbib tarvitaja vool.



Joon. 204.

Mõlemate pendlite peenetraadiliste poolide mähised omaette ja jämedatraadiliste poolide mähised omaette on ühendatud järjestikku. Tarvitaja voolust läbistatav pool avaldab pendlite käigule mõju selliselt, et üks pendel hakkab kiiremini ja teine aeglasemalt võnkuma, kui vooluta olekus. Pendlite võnkumiste diferents on võrdeline võime tarvitusega ja kantakse üle diferentsiaal hammasrataste abil numeraatorile. Pendlite normaalne võnkumine saavutatakse elektromagneti abil.

Pendel voolulugejad ehitatakse nii alalis- kui ka vahelduvvoolule. Arvesse võttes nende keerulist ehitusviisi kasutatakse neid praktikas vähesel arvul.

- - oOo --

C. Tehnilised andmed vooluluge-jate kohta.

Alalisvoolu kWh voolulugeja 220 V, 5 A.

Pingepooli omatarvitus	ca 3 W	
Voolupooli -"-	ca 9 W	
Keerdmomendi nimivõime	ca 6 cmgr.	
Käimaminek	ca 0,8 % ÷ 1 %	nimikoormusest.
Tiirleva osa kaal	ca 120 gr.	
Lugeja kaal	ca 4 ÷ 5 kg.	

Alalisvoolu ampertunni voolulugeja 5 A.

Omatarvitus ca 1,4 W ampri kohta, s.o. 7 W.

Keerdmomendi nimivõime	ca 12 cmgr.	
Käimaminek	ca 0,4 % ÷ 1 %	nimikoormusest.
Tiirleva osa kaal	ca 70 gr.	
Lugeja kaal	ca 2,5 kg.	

Vahelduvvoolu lugeja 220 V, 5 A.

Pingepooli omatarvitus	ca 0,5 ÷ 0,6 W Cos φ = 0,3
Voolupooli -"-	ca 0,9 W
Keerdmomendi nimivõime	ca 5,0 cmgr.
Käimaminek	ca 0,3 % nimikoormusest.
Tiirleva osa kaal	ca 20 ÷ 30 gr.
Lugeja kaal	ca 1,4 kg (olenevalt firmast 1,0 kuni 2,0 kg)

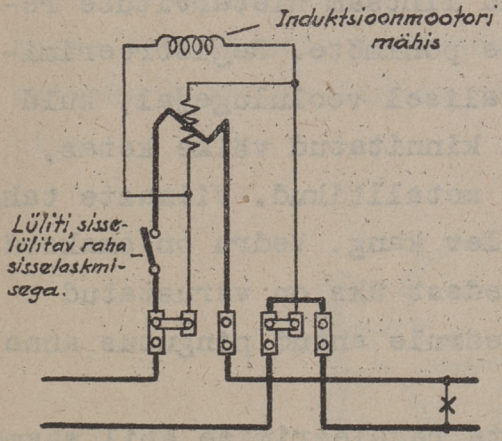
Keerdvoolu lugeja 3 x 220 V, 30 A (Aroni lülitus).

Pingepooli omatarvitus	ca 2 x 0,6 W, Cos φ = 0,3
Voolupooli -"-	ca 2 x 1,0 W
Keerdmomendi nimivõime	ca 8 ÷ 12 cmgr.
Käimaminek	ca 0,3 ÷ 0,5 % nimikoormusest.
Tiirleva osa kaal	ca 70 gr.
Lugeja kaal	ca 4 ÷ 5 kg.

D. V o o l u l u g e j a d v a s t a v a l t s o o d u s t u s e l e j a t a r i i f i d e l e.

1) Automaat kasseerivad voolulugejad.

Töötamispõhimõte seisab selles, et voolulugeja hakkab tööle ja annab tarvitajale voolu ainult siis, kui lugejale juurdelisatud kasseerijasse sisselasta vastav raha.

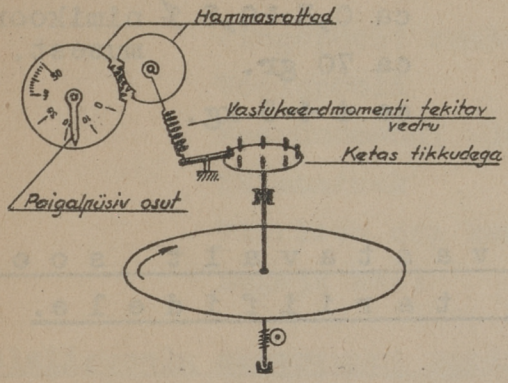


Joon. 205.

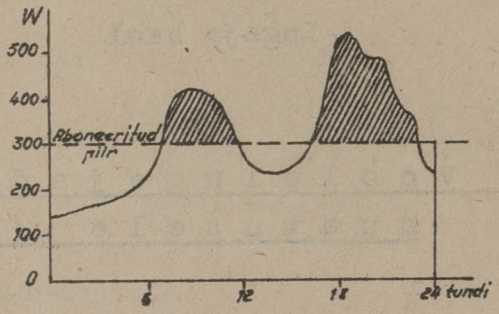
Lugejad on ehitatud selliselt, et raha sisselaskmise järele vastavat lülitit keerates, lugeja hakkab registreerima ja võimaldab tarvitajale saada elektrivoolu sisselastud rahade väärtuses. Harilikult on voolulugejad veel varustatud mehhanismiga, milline automaatselt näitab ettemakstud summa suuruse.

2) Ületarvitus voolulugejad.

Ületarvituse voolulugeja ülesandeks on registreerida voolutarvitust, mis ületab teatava võime piiri. Neid voolulugejaid kasutatakse vastavalt tariifidele hinnasoodustuse saamiseks jõu või kütte otstarbeks.



Joon. 206.



Joon. 207.

Ületarvituse voolulugeja registreerimise süsteem asub tööle hetkel, kui etteseatud voolutarvituse võime piir ületatakse.

Joonisel 206 on näidatud lihtsam ületarvituse registreerimise süsteemi töötamise põhimõte. Registreerimise süsteem on ehitatud nagu tavalisel voolulugejal, kuid pöörleva telje ülemisse otsa on kinnitatud väike ketas, millel asuvad ühtlaste vahedega metalltikud. Viimaste taha jääb pidama vedruga ühenduses olev kang. Vedru on omakorda ühenduses hammasratastega, milledest üks on varustatud skaalaga. Hammasrataste kaudu vedrule antud pingutus annab teljele vastukeerdmomendi.

Skaalaga varustatud ratta reguleerimise abil saame anda vastukeerdmomendi, mis vastaks teatavale etteseatud piirile. Kui tarvitus ületab selle piiri, siis

telje keerdmoment ületab vedrust tekitatud vastukeerdmomendi ja telg hakkab pöörlema, registreerides ületarvituse vastavale numeraatorile.

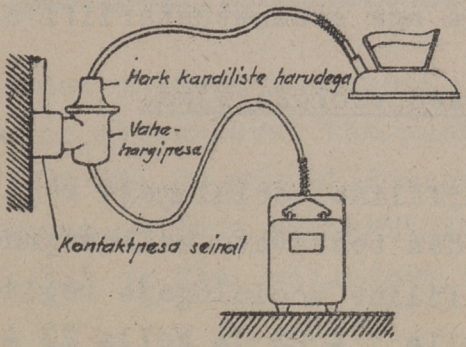
Selline ületarvituse vooluluge ja ehitatakse ka ühisesse kesta tavalise lugejaga ja ühendatakse temaga järjestikku. Tavaline lugeja registreerib siis üldise tarvituse ja ületarvituse lugeja piiri ületava osa.

Neid vooluluge jaid ehitatakse nii alalis- kui ka vahelduvvoolule.

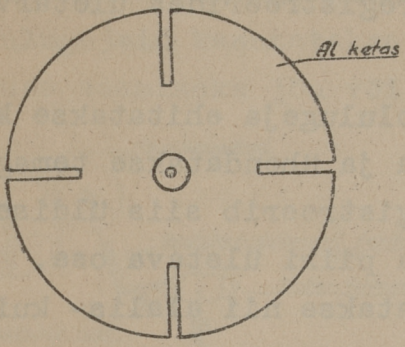
3) <u>Majapidamis-vooluluge jad suure käimamineku momendiga või n.n. kantavad vooluluge jad.</u>

Neid vooluluge jaid kasutatakse vastavalt tariifidele hinnasoodustuse saamiseks jõu või kütte otstarbeks kohtades, kus pole kütte või jõu otstarbeks eri juhtmeid.

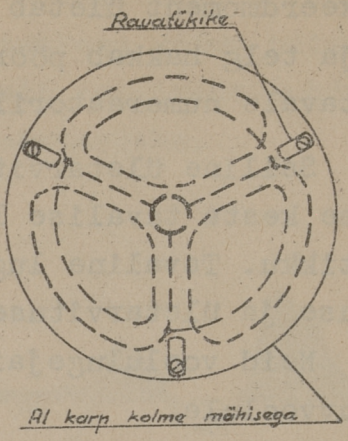
Hinna soodustust saavutatakse sel teel, et võetakse tarvitusele raskendatud käimaminekuga vooluluge ja. Näiteks Tallinna linnas on käimaminek ette nähtud 200 vatiga.



Joon. 208.



Joon. 209.



Joon. 210.

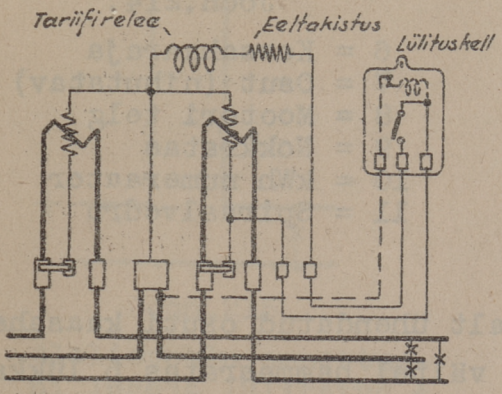
Vahelduvvoolu lugejal raskendatud käimaminek saavutatakse seega, et alumiiniumkettale tehakse radiaalsed sisselõiked, nagu näha joonisel 209. Käimaminek oleneb nende sisselõigete laiusest ja pikkusest. Alalisvoolu mootorvoolulugejal kinnitatakse ankrule väikesed rauatükikesed iga 120° järele. Elektromagnetid tõmbavad rauatükikesed oma külge, takistades ankru pööramist. Rauatükikeste pikkuse reguleerimisega on võimalik käimamineku keerdmomenti muuta.

Pea vooluluqeja registreerib kogu voolutarvituse, kantav vooluluqeja aga soodustustariifi alla kuuluva osa.

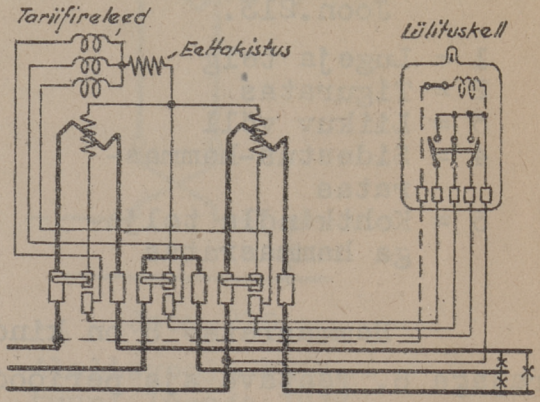
4) Mitmetariifilised voolulugejad.

Mitmetariifiline vooluluqeja registreerib voolutarvitust eraldi osades teatavate kellaaegade vahemikkudel, näiteks kahetariifiline vooluluqeja registreerib eraldi voolutarvitust kella 7 ÷ 23 ja kella 23 ÷ 7-ni.

Sellist registreerimist saavutatakse sel teel, et mõõteriista sisse ehitatakse kaks või kolm eri numeraatorit, millised vastavate releede abil lülitakse teatavatel kellaaegadel sisse ehk välja. Releede käivitamisel kasutatakse lülituskella, mis võib olla eraldi või voolulugeja sisse ehitatud. Vastavad lülituskellad ehitatakse mehaaniliselt või elektriliselt üleskeeratavatena.



Joon.211.
Keerdvoolu kahetariifi lugeja, lülitav eraldi asuva lülituskella abil.

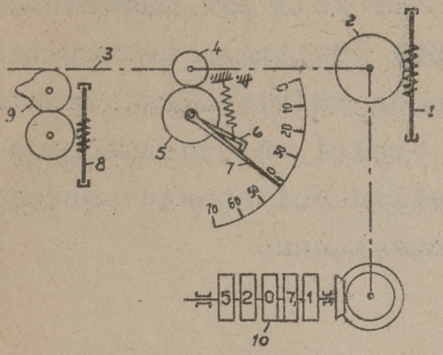


Joon.212.
Keerdvoolu kolmetariifi lugeja, lülitav eraldi asuva lülituskella abil.

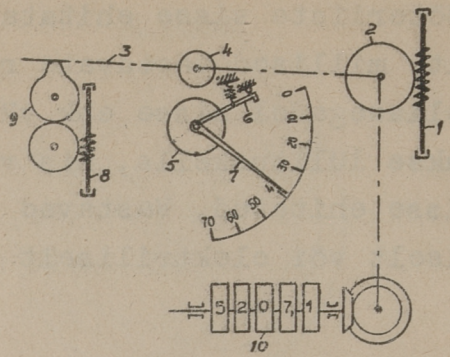
5) Tippkoormuse näitajaga voolulugejad.

Tippkoormuse näitaja ülesandeks on näidata tarvitaja kõige suuremat ettetulevat koormust teatava aja vältel, näiteks 15, 30 või 60 minutilise perioodi kestel.

Tippkoormuse näitaja skemaatiline ehitusviis on toodud joonistel 213 ja 214, milledest selgub tema töötamise põhimõte.



Joon.213.



Joon.214.

1 = Lugeja telg
2 = Tiguratas
3 = Liikuv võll
4 = Sidestus-hammasratas
5 = Kohtkindla teljega hammasratas
6 = Kaasahaaraja
7 = Osut (nihutatav)
8 = Mootori telg
9 = Nokkratas
10 = kWh numeraator
11 = Spiraalvedru

Hammasratas 5 on kindlalt ühendatud osuti kaasahaarajaga 6. Teatava aja perioodi vältel hammasratas 5 lükkab kaasahaaraja 6 abil osuti 7 edasi teatud asendini. Aja perioodi möödumisel nokkratas 9, milline tegevusse rakendatakse tavalisele vooluluegejale rööbiti lülitud mootori abil, lahutab hetkeks liikuva võlli 3 kaudu hammasrattad 4 ja 5, võimaldades vedrul 11 kaasahaaraja algasendisse tõmmata.

Sarnane lahutamine toimub iga aja perioodi välte lõpul. Olenedes maksimaalsest koormusest teatava aja perioodi jooksul, nihutatakse osut kõige suuremale näidule.

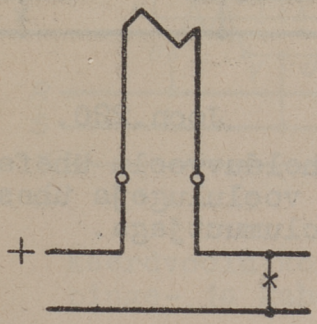
Eelkirjeldatud tippkoormuse näitaja on kohane vahelduvvoolule. Alalisvoolu puhul kasutatakse mootori asemel elektromagnetit, mis hetkeks lühistatakse teatud ajavahemikkude järele, lühistus sünnib kellamehhanismi abil.

Lühistatud elektromagneti ankur pääseb vedru mõjul lahti ja vabastab kaasahaaraja hammasratta.

Tippkoormuse näitajaid ehitatakse ka mitmefaasiliste ja mitmetariifiliste vooluluegjate juurde.

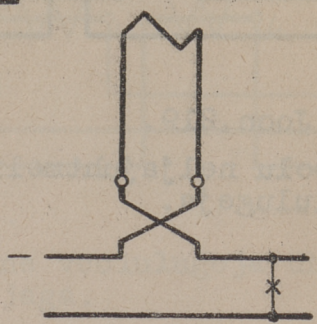
Tippkoormuse alusel arvutab elektrijaam võimemaksu suurust.

E. Vooluluegjate lülitusskeemid.



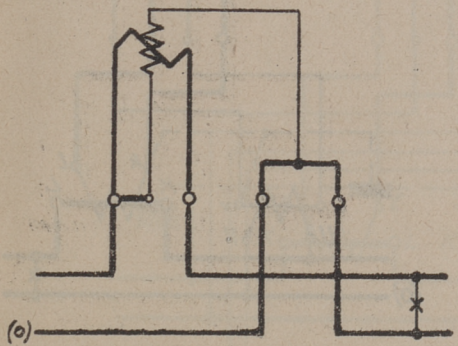
Joon.215.

Alalisvoolu ampertunni lugeja lülitatud + juhtmetesse.



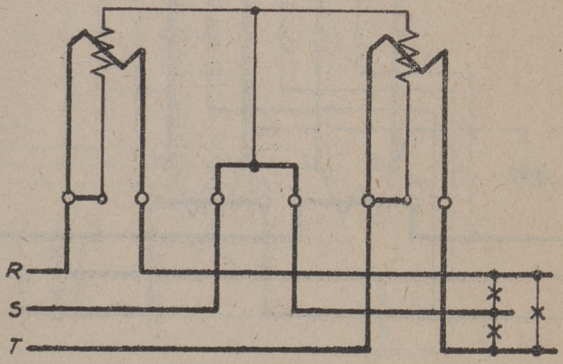
Joon.216.

Alalisvoolu ampertunni lugeja lülitatud - juhtmesse.



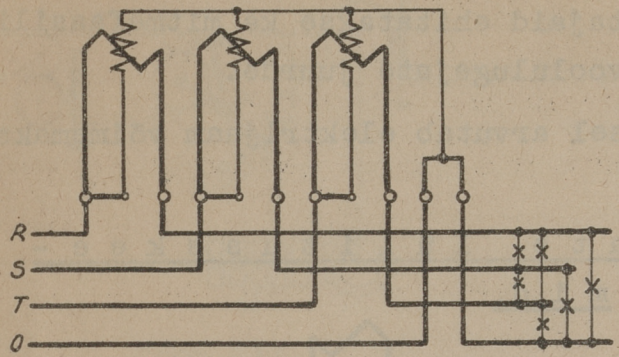
Joon.217.

Alalis- ehk vahelduvvoolu kahejuhtmeline vooluluegja.



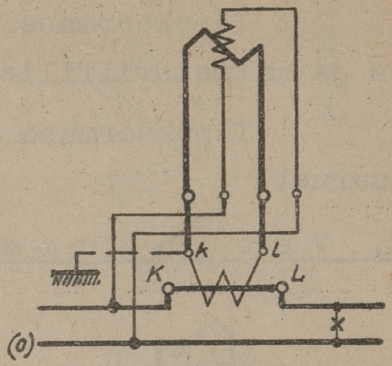
Joon.218.

Keerdvoolu kolmejuhtmeline vooluluegja, ilma nulljuhtmeta.



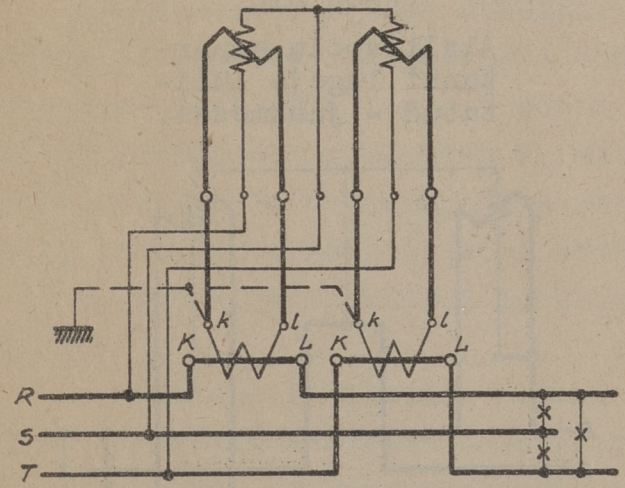
Joon.219.

Keerdvoolu neljajuhtmeline vooluluge ja.



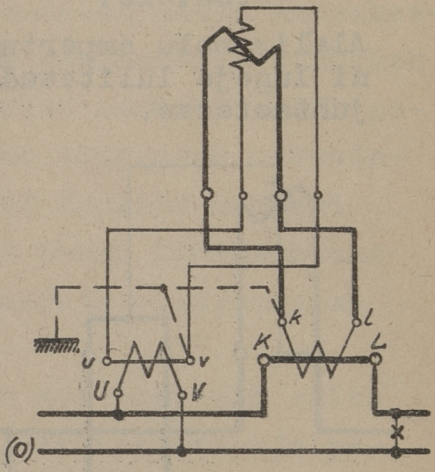
Joon.220.

Vahelduvvoolu ühefaasi vooluluge ja ühes voolumuutjaga.



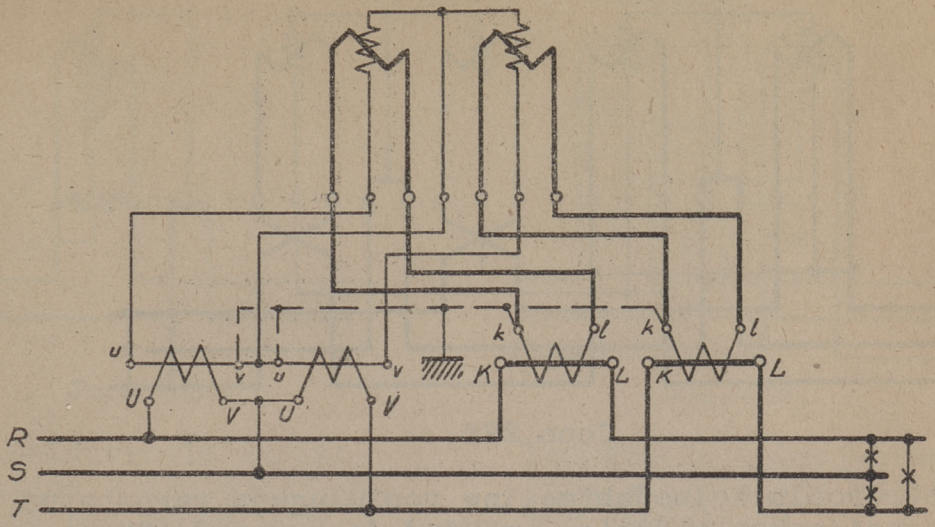
Joon.221.

Keerdvoolu kolmejuhtmeline vooluluge ja ühes kahe voolumuutjaga.



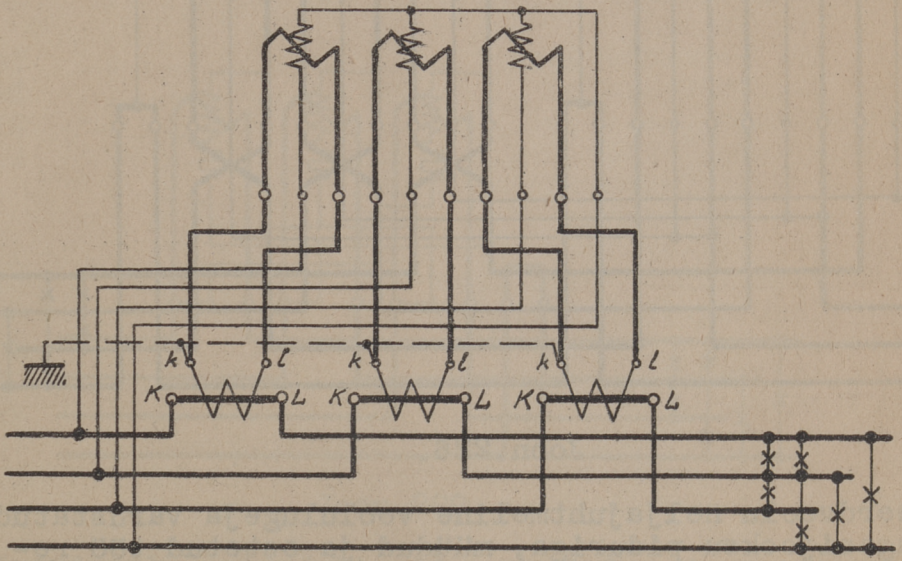
Joon.222.

Vahelduvvoolu ühefaasi vooluluge ja ühes voolu- ja pingemuutjaga.



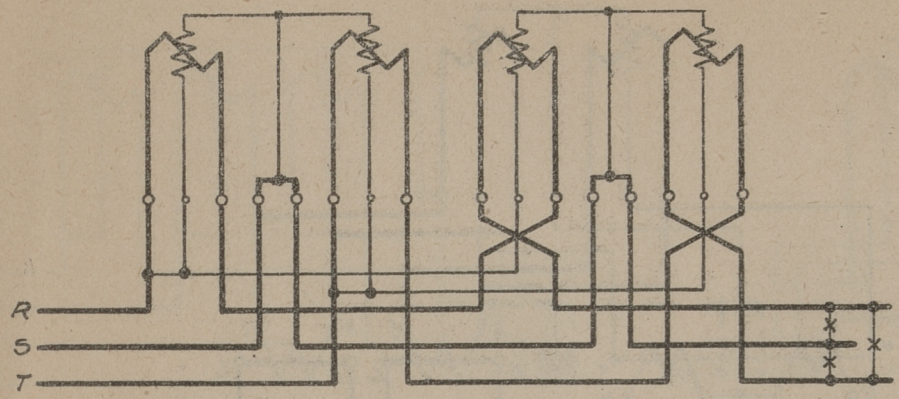
Joon.223.

Keerdvoolu kolmejuhtmeline voolulugeja ühes kahe pinge- ja kahe voolumuutjaga.



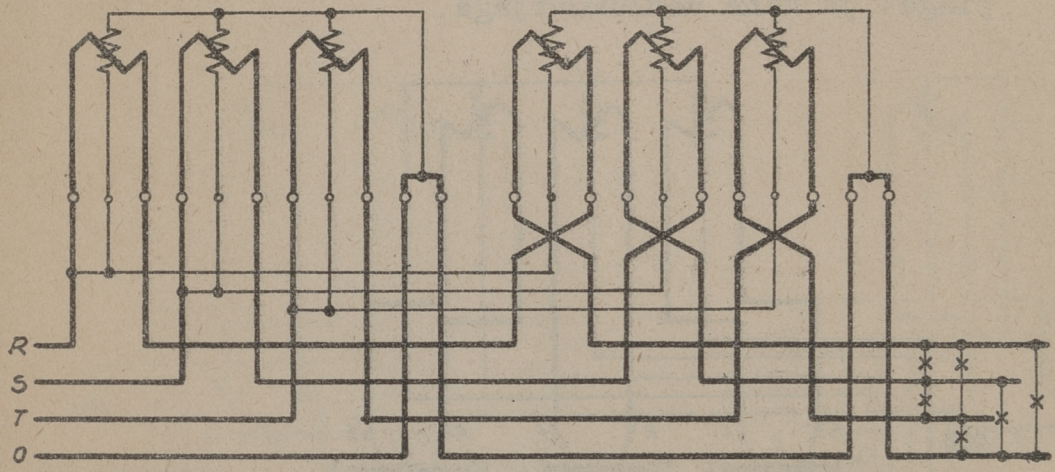
Joon.224.

Keerdvoolu neljajuhtmeline voolulugeja ühes kolme voolumuutjaga.



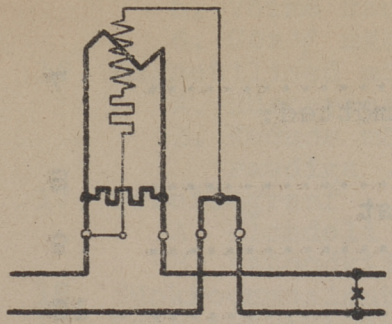
Joon.225.

Keerdvoolu kolmejuhtmeline vooluluge ja varustatud tagasijooksu piduriga, müüdud ja ostetud töö registreerimiseks.



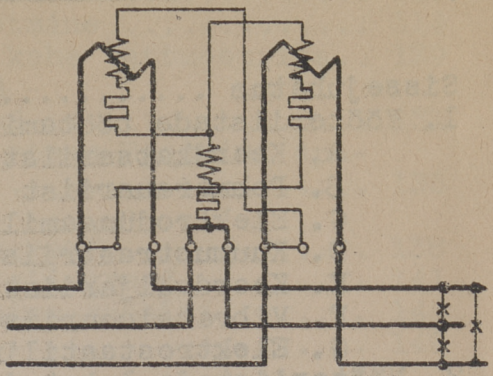
Joon.226.

Keerdvoolu neljajuhtmeline vooluluge ja varustatud tagasijooksu piduriga, müüdud ja ostetud töö registreerimiseks.



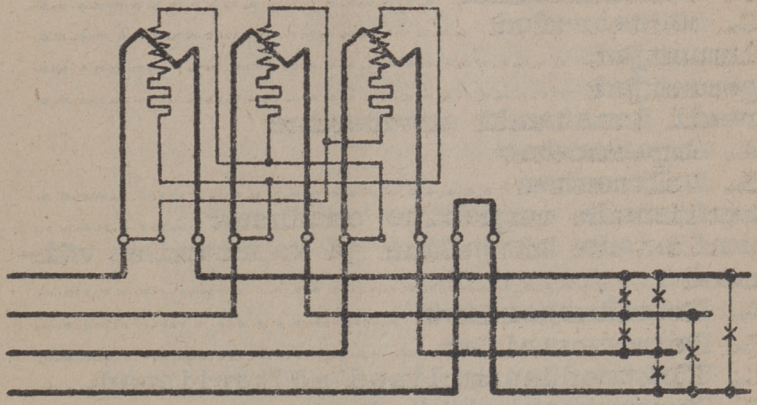
Joon.227.

Vahelduvvoolu ühefaasiline vooluluge ja vatita töö mõõtmiseks.



Joon.228.

Keerdvoolu kolmejuhtmeline vooluluge ja vatita töö mõõtmiseks.



Joon.229.

Keerdvoolu neljajuhtmeline vooluluge ja vatita töö mõõtmiseks.

S I S U K O R D.

Sissejuhatus 7
1. Mõõteriistade töötamise põhimõtted:
   A. Keerdkatsariist
   B. Pehmerauariist 8
   C. Elektrodünaamiline riist
   D. Kuumustraatriist 9
   E. Keerdväljariist
   F. Vibratsioonriist 10
   G. Elektrostaatiline riist 11
2. Mõõteriistade lubatud kõrvalekaldumise piirid 12
3. Mõõteriistade märgid ja proovipinged 14
4. Mõõteriistade väline ehitusviis 17
5. Mõõteriistade skaalad ja osutid 20
6. Mehaanilised üldnõuded mõõteriistade kohta 21
7. Elektrilised üldnõuded amper- ja voltmeetri kohta 26
8. Kokkuvõte mõõteriistade omatarvituse ja sisetakistuse kohta 28
9. Mõõtepiirkonna laiendamine 32
   A. Šundid
   B. Eeltakistused 34
   C. Mõõtetrafod 36
10. Voolumuutjad 39
11. Pingemuutjad 46
12. Aparaadi konstandi arvutamine
   A. Ampermeeter
   B. Voltmeeter 51
13. Mõõteriistade magnetite omadused 55
14. Mõõteriistade kirjeldus ja kasutamise võimalused 57
   A. Keerdkatsariist 57
   B. Pehmerauariist 71
   C. Elektrodünaamilised mõõteriistad... 74
   D. Kuumustraatriistad 85
   E. Keerdvälja ehk Ferraris mõõteriistad 89
   F. Elektrostaatilised mõõteriistad.... 94
15. Kaudsed mõõtmised
   1. Oomiliste takistuste mõõtmine 98
   2. Induktiivsuse mõõtmine 109

3. Mahtuvuse mõõtmine..... 111
4. Pinge kaudne mõõtmine 113
5. Võime kaudne mõõtmine 114
6. Cos φ määramine kahe vattmeetriga.. 129
16. Magnetilised mõõtmised
A. Hüstereesise kaod 131
B. Kadude mõõtmine rauas Epsteini aparaadiga 135
17. Ostsilograaf
A. Blondeli ostsilograaf 138
B. Katoodkiirte ostsilograaf 141
18. Sünkroonmasinate lülimine rööbiti 144
19. Kaablivigade leidmine 149
20. Temperatuuri mõõtmine
I. Takistustermomeetrid 152
II. Termoelektrilised termomeetrid 157
III. Püromeetrid 158
21. Kaugemõõtmine 160
22. Valgusetugevuse mõõtmine 163
23. Elektri isoleerainete proovimine 166
24. Elektri voolulugejad 171
A. Alalisvoolu lugejad 172
1. Elektrodünaamilised kWh lugejad. 172
2. Ampertunni voolulugeja 178
B. Vahelduvvoolu lugejad 183
a) Induktsioon kWh voolulugeja 183
b) Aja voolulugeja 187
c) Pendel või n.n.Aron voolulugeja. 188
C. Tehnilised andmed voolulugejate kohta 190
D. Voolulugejad vastavalt soodustustele ja tariifidele 191
1. Automaatkasseerivad voolulugejad 191
2. Ületarvitus-voolulugejad 192
3. Majapidamisvoolulugejad suure käimamineku momendiga (kantavad voolulugejad) 193
4. Mitmetariifilised voolulugejad.. 194
5. Tippkoormuse näitajaga voolulugejad 195
E. Voolulugejate lülitusskeemid 197

ENSV Teaduste Akadeemia Keskraamatukogu

- - oOo - -

KAUBATEADUSE INSTITUUT TARTU ÜLIKOOL

26. X 57
10. 12 63
18. 06 6