

**TALLINNA TEHNIKUM.**

---

Käsikirja õigusega

Dipl. ins. **O. Reinwaldt.**

# Üldelektrotehnika

Tallinna Tehnikumi ehitusosakonna 1928/29 a. kursus.



TALLINNAS 1928.

TALLINNA TEHNIKUM.

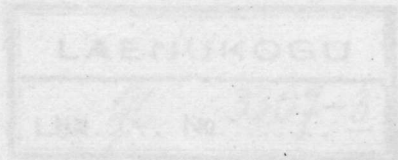
1928



Dipl. ins. O. Reinwald

# Üldelektrotehnika

Tallinna Tehnikumi õhtuosakonna 1928/29 a. kursus



TALLINNAS 1928.

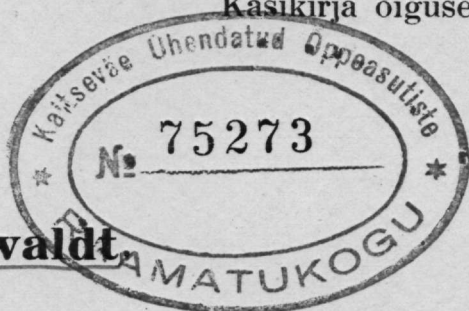


E6 22124

# TALLINNA TEHNIKUM.



Käsikirja õigusega



Dipl. ins. **O. Reinwaldt**

# Üldelektrotehnika

Tallinna Tehnikumi ehitusosakonna 1928/29 a. kursus.

ENSV  
Riiklik Avalik  
Raamatukogu



LAENUKOGU  
Liik. 96. № 3307-3

TALINNA TEHNIKUM

87578

Ar 928B  
Reinwaldt

**AR** Fr. R. Kreutzwald  
nim. ENSV Riiklik  
Raamatukogu 3

71. 432

Üldtehnika

ENS  
Riiklik



LAEN  
L

- II -

Eessõna.

Käesolev väljaanne on kokkuseatud Tallinna Tehnikumi ehitusosakonnale ja temas on püütud anda meie tulevastele ehitusinseneridele elektri tugevvoolu tehnika põhimõistest ümargust teoreetilist ülevaadet. Mõnede peatükkide käsitlemisel ei olnud võimalik jääda konspektiivsuse piiridesse ilma et peatüki sisu arusaadavus selle all ei kannataks, mispärast võivad need peatükid tunduda laiaulatuslistena.

Eriliselt tänan oma assistentide, härrasid K.Puidak'it ja A.Liefländer'it igassuhtes asjatundlikult ja huviga kaastöötamise eest.

Tallinn, 1928 a.

O. Feinwaldt  
Dipl.ins.

**Kursuse kokkuseadmisel kasutatud literatuur:**

1. Allgemeine Elektrotechnik. prof. E.Kittler.
2. Handbuch der Physik. Elektrotechnik. W.Westphal.
3. Elektrotechnik. Starkstromtechnik. Dr. Schenkel.
4. Starkstromtechnik. Dr. K.Hoerner.
5. Beleuchtungstechnik. Dr. L.Bloch.
6. Handbuch der elektrischen Beleuchtung. Herzog & C.Feldmann.
7. Transformatoren. Dr. A.Schreiber.
8. Transformatoren. Dr. G.Benischke.
9. Asynchronmotoren. Dr. G.Benischke.
10. Elektrotechnische Messinstrumente. K.Gruhn.



11. S.S.W. käsiraamatud.

12. S.S.W. ajakirjad.

13. AEG ajakirjad.

Käesolev väljanne on kokkuvõttev ja sisaldab kõiki  
 teaduslikke andmeid, mis on saadud teadusliku  
 uurimise tulemusena. Sellel väljandil on  
 teaduslik väärtus ja see on mõeldud  
 teaduslikele ringkondadele. Väljand  
 sisaldab teaduslikke andmeid, mis on  
 saadud teadusliku uurimise tulemusena.  
 Väljand sisaldab teaduslikke andmeid,  
 mis on saadud teadusliku uurimise  
 tulemusena. Väljand sisaldab teaduslikke  
 andmeid, mis on saadud teadusliku  
 uurimise tulemusena.

O. Reinwald  
Dipl. ins.

Tallinn, 1928 a.

Kirjateoste loetelu:

1. Üldine Elektrotehnika, prof. K. Kistler.
2. Handbuch der Physik. Elektrotechnik. W. Westphal.
3. Elektrotechnik. Starkstromtechnik. Dr. Schenkel.
4. Starkstromtechnik. Dr. K. Höpfer.
5. Beleuchtungstechnik. Dr. J. Bloch.
6. Handbuch der elektrischen Beleuchtung. Herzog & C. Feldmann.
7. Transformatorn. Dr. A. Schreiber.
8. Transformatorn. Dr. G. Benlische.
9. Asynchronmotoren. Dr. G. Benlische.
10. Elektrotechnische Meßinstrumente. K. Gripp.

## S I S U.

### ÜLDINE ELEKTROTEHNIKA.

Magneetväli. Magneetvool ja magneetiline tungjoon.  
Magneetvälja tugevus ja permeabiliteet . Magneetiline energia. Elektriväli ja elektri vool. Pinge.  
Elektromagnetism. Elektrotehnika põhilused. Ohmi seadus ja elektriline takistus. Vastuelektromotoorse jõu lause. Takistuste järjestiku ja paralleel lülitamine. Kirchhofi seadused. Akkumulaatorid ja elemendid. Elementide järjestiku lülitamine. Elementide lülitamine paralleel. Vaheldvoolu seadused. Vaheldvoolude ja pingede liitmine. Vaheldvoolu efektiiv-suurus. Vaheldvoolu võime. Omainduktsioon. Kolmefaasiline vool. Tähtlülitus. Kolmnurklülitus. Voolud kolmnurklülituses. Kolmefaasilise voolu võime. Tähtlülituses Kolmnurklülituses Keerdväli lhk. 1 - 68.

### ELEKTRIMASINAD.

Elektrimasinate üldomadused. Elektrodünaamika põhimõisted. Elektrimasinate üksikosad. Elektrimasinate kasukraad. Elektrimasinate konstruktsioonid. Alalise voolu masinad. Mähised. Dünamoelektriline printsiip.

Peavoolu, haruside ja compound masinad. Alalise voolu dünamod. Alalise voolu mootorid. Vaheldvoolu masinad. Asünkron masinad. Asünkron masina käimalaskmine. Transformaatorid. Transformaatori kaotused ja kasukraad. Transformaatori ehitus. Ökvendajad

lhk. 69 - 104.

#### ELEKTRIJUHED ARVESTAMINE.

Alalise voolu seaded. Vaheld- ja keerd-voolu seaded

lhk. 105 - 116.

#### VALGUSTUSTEHNKA

lhk. 117 - 119.

#### MÕÖDURIISTAD JA MÕÖTMISEVIISID

Pehme-raua riistad. Keerdkatsa riistad. Dünamomeetriselised riistad. Kuumastraat riistad. Induktsioon-ehk Ferraris-riistad. Elektrostaatiliselised riistad. Frekvents- ehk sageduse-mõõtjad. Mõõtmise viisid ja mõõduriistade lülitused. Voolu tugevuse mõõtmine. Pinge mõõtmine. Võime mõõtmine. Takistuse mõõtmine

lhk. 120 - 140.

#### ELEKTRILUGEJAD

lhk. 141 - 144.



## Üldine elektrotehnika.

Füüsikas tundma õpitud magnetismi nähtuseid, nagu: ühenimeliste magneetnabade üksteisest eemaletõukamine, isenimeliste magneetnabade külgetõmbamine jne. meie ligemalt käsitama ei hakka, küll aga püüame süveneda magnetismi enesesse ja nimelt suunas, mis meile näitaks sidet magnetismi ja elektri vahel. Tänapäeva elektrotehnika on magnetismi nähtustega niivõrd tihedalt seotud, et meil põhiteadmisteta magnetismis on võimata õiget ettekujutust saada masinate ja aparatuuride töötamisviisist.

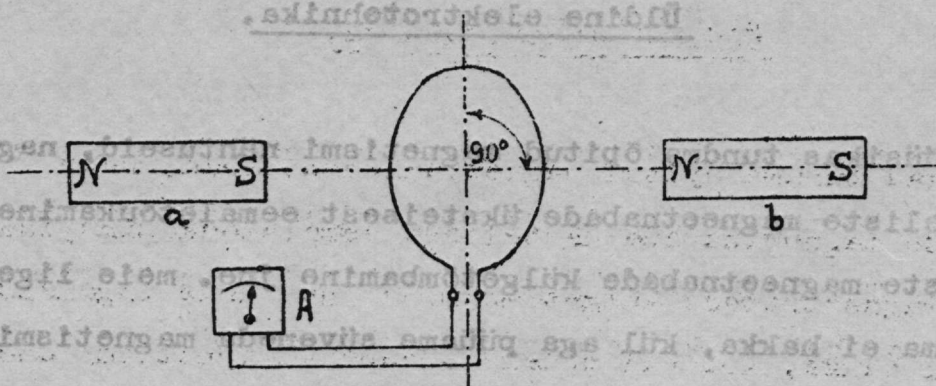
Teadusele ei ole senini korda läinud kindlaks teha, mis magnetism on. Olemas on küll teooriid, millele tuggeb teadus ja mille abil ta suurt osa magnetismi nähtustest nii füüsikaalselt kui ka matemaatiliselt seletab. Suurima poolehoiu osaliseks on saanud Faraday-Maxwelli teoorii, mille põhijoontega püüame tutvuneda järgmiste katsete abil.

Olgu meile antud:

1. kaks permanent-magneeti a ja b
2. üks vasest traatsilmus
3. aparaat, mis võimaldab elektrivoolu olemasolu kindlaks tegemist, ühtlasi ära näidates voolu suurust ja sihti - A,
4. magneetnabade järjekord NS - NS.

Joonisest 1 näeme, et magneetide vahele paigutatud traatsilmuse pind on perpendikulaarne permanent - magneeti-

de teljele.



Joon 1.

**Katse 1.** Tõmbame traatsilmuse järsku silmuse pinna suunas magneetide vahelt välja, siis näeme, et voolunäitaja näitab voolu ainult silmuse liikumise ajal kindlas sihis ja suuruses, mida voolunäitaja osutise väljalöögi ulatuse ja sihi järele otsustame.

**Katse 2.** Muudame eelmist katset selles mõttes, et paigutame traatsilmust magneetide telje suunas kas edasi ehk tagasi, siis saame traatsilmuse väljatõmbamisel täpselt neid samad andmed, kui katsel 1.

**Katse 3.** Keerates magneetisi  $180^\circ$  all ümber, nii et magneetide nabade järjekord oleks SN - SN, märkame, et silmuse väljatõmbamisel lööb voolunäitaja osutis vastupidises sihis välja, kuid välja löögi suurus jääb sellejuures endiseks.

**Katse 4.** Paigutame traatsilmuse nii, et tema pind on paralleelne magneetide teljele ja kordame silmuse väljatõmbamist, näeme, et ampermeeter, 5% voolunäitaja ei näita mingisugust väljalööki.

Nende nelja katse tulemusena võime kokkuvõttes öelda järgmist:



1. magneetide vahelises ruumis peab valitsema iseäralik olukord, mis kutsub juhe silmuses tema liigutamisel voolu esile. Eemaldades magneetisi, võime eelpool käsitatud katseid korrata nii palju kui soovime, ilma et voolunäitaja näitaks mingisugust voolu s|t magneetide eemaldamisega kadus ka silmust ümbritsev iseäralik olukord.
2. rahuseisakus olevas silmuses ei teki mingisugust voolu.
3. vool kutsutakse esile traatsilmuse väljatõmbamisel s|t traatsilmuse liigutamisel.
4. Katse 2 järel peab valitsema terves magneetide vahelises ruumis üks ja seesama muutmatu iseäralik olukord.
5. Katses 3 kirjeldatud magneetide järjekorra muutmise tagajärjel muutus voolusihth vastupidiseks, millest järeldada võime, et magneetide vahel valitsev olukord pidi ka oma sihti muutma.
6. Katse 4 näitab, et voolusünnitamisel on tähtis, kuidas traatsilmus on paigutatud magneetnabade vahele.

Kirjeldatud katsetest selgub, et meil on võimalik luua energiaallikat, kui meil on olemas magneetid, mille vahel silmust liigutame. Saadud elektri vool võib tööd teha, lampid hõõguma panna jne.

See resultaat vastab Faraday-Maxwelli teooriale ja on



aluseks kõigi magneetelektriliste nähtuste seletamisel.

Väljamannes käesolevatest katsetest võime ettekujutada, et meil, valides vastavas suuruses magneetid ja vastava traatsilmuse paigutuse, on võimalik elektri energiat sünnitada soovitavas hulgas. Tuleks ainult leida vastavaid vahetuid magneetiliste ja elektriliste suuruste vahel, milleks tutvuneme kõigepealt magneetiliste suurustega.

### Magneetväli.

Käsitatud katsetest nägime, et magneetide vahel valitsev olukord - magneetiline tung (jõud) - peab olema vektoriinne suurus, sest tema on määratud suuruse ja sihiga. Ruumala, milles on olemas niisugused vektoriaal-suurused, nimetatakse magneetväljaks. Vektor märgitakse tähega  $B$ , mis on ühtlasi magneetinduktsiooni vektoriks.

### Magneetvool ja magneetiline tungjoon.

Magneetiliste nähtuste seletamiseks on käsitatud magneetvälja mõiste veel puudulik. Kujutame ette, et magneetväli ei saa omada vaba kuju, vaid ta oleks piiratud mingisugusest mõeldavast torust ja et magneedi hulk liiguks (voolaks) selles torus ning meie tahame kindlaks teha selle magneetvooli suurust.

Olgu meil:

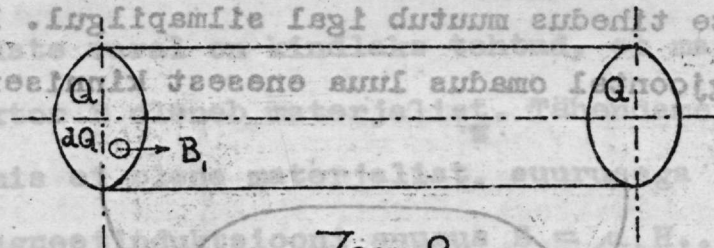
$Q$  - põiklõige ehk pind

$dQ$  - selle põiklõike ehk pinna element

$B_1$  - magnetinduktsiooni vektori keskmine suurus  
ühe pinnauksuse kohta

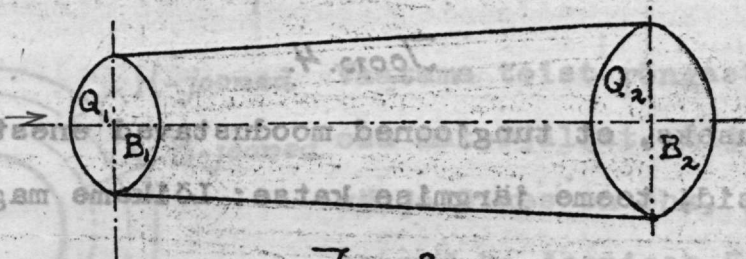
siis on pinnast ehk põiklõikest läbivoolav magneedi hulk

$N = \int B_1 \cdot dQ$ . On  $B_1 = \text{const.}$  terve pinnal  $Q$  ja kõikide pinnaelementide summa  $\int dQ = Q$ , siis on läbivoolav magneedi hulk (magneetvool)  $N = B_1 Q$ .



Joon. 2.

Kui magneetvoolu  $N$  ümbritseva toru põiklõige on pidevalt muutuv, joon.3., siis on magneetvoolu suurus voolu sissetungimise pinnal  $N = B_1 Q_1$  ja väljatungimise pinnal  $N = B_2 Q_2$ . Kui  $Q_2 > Q_1$ , siis peab olema  $B_2 < B_1$ .



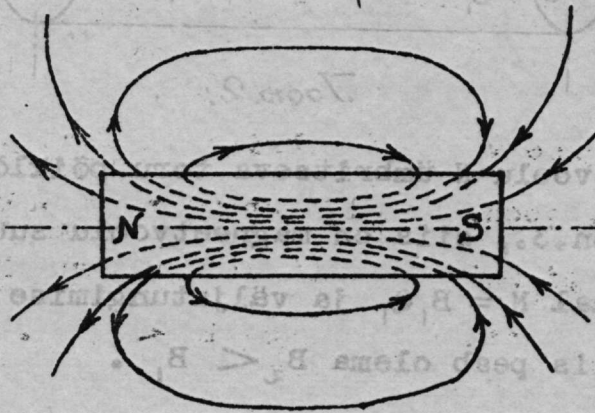
Joon. 3.

Väga otstarbekohane on magneetvoolu ettekujutada magneetiliste tungjoonte kimbuna, kus juures nende tungjoonte arv ühe ruutsentimeetri peale on mõõduks magnetinduktsioonile  $B$ , võimaldades sellega eelmiste võrrandite seletamist ja piltlikult ettekujutamist.

Induktsiooni  $B$  ettekujutamine tungjoontena leiab üldist

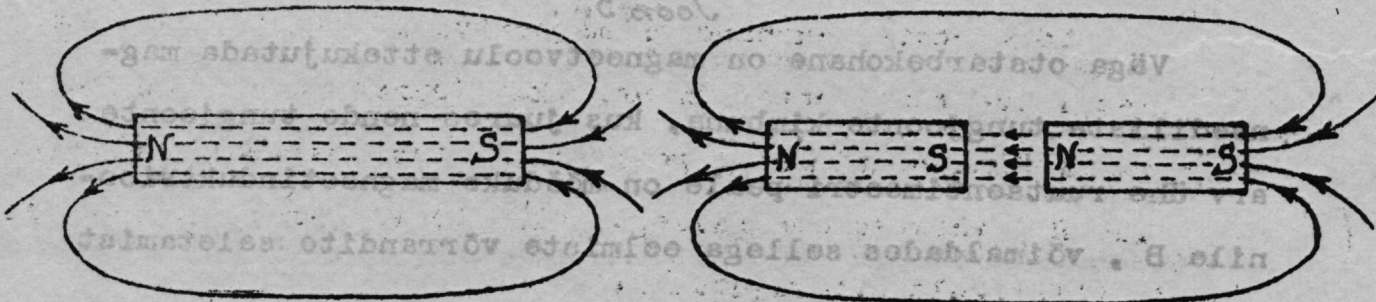


tarvitamist. Joonisest 3 näeme, et tungjoonte tihedus -  
- tungjoonte arv ühe ruutsentimeetri peale - pinnas  $Q_1$   
on suurem kui pinnas  $Q_2$  s/o  $B_2 < B_1$ . Üldiselt tuntud katse  
järelle, kus magnetvälja saab riputatud rauapuru, võime  
neid tungjooni teha silmale nähtavaks. Liikudes niisuguse  
tungjoone sihis, näiteks joonises 3 vaadatud torus, näeme,  
et tungjoonte tihedus muutub igal silmapilgul. Pääle selle  
on neil tungjoontel omadus luua enesest kinniseid ringisid.



Joon. 4.

Tõestuseks, et tungjooned moodustavad enestest kinni-  
seid ringisid, teeme järgmise katse: Lõikame magnetpulga



Joon. 5.

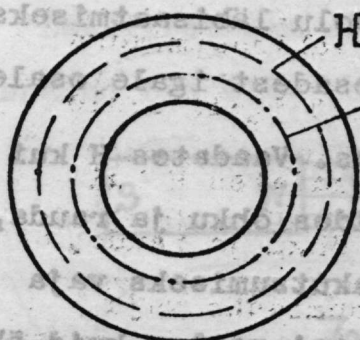


keskelt pooleks, vaata joon. 5, saades seeläbi kaks iseseisvat magneeti nabadega NS ja NS. Jälgides tungjoonte käiku, näeme, et need tungjooned kujutavad kinniseid ringseid; oleks see teisiti, siis ei saaks meie kahte iseseisvat magneeti.

Magneetvälja tugevus  $H$  ja permeabiliteet  $\mu$ .

Kogemuste varal on kindlaks tehtud, et magneetinduktsiooni vektor  $B$  oleneb materjalist. Tähendame magneetvälja tugevust, mis ei olene materjalist, suurusega  $H$ , siis on üldiselt magneetinduktsiooni suurus  $B = \mu \cdot H$ , kus  $\mu$  on materjali konstant.

Kui võtta kaks rauast rõngast ja nendes jälgida magneetinduktsiooni, siis näeme, et homogeen-materjalist rõngal joon. 6 on  $\mu = \text{const.}$  ja magneetinduktsioon igas teekon-na punktis konstant  $B = \mu \cdot H = \text{const.}$



Joon. 6.

Vaatame teist rõngast, millel on osa materjalist väljalõigatud ja väljalõikes on õhk, joon. 7, siis peavad ka joonises 7 näidatud tungjooned kinnised olema.

Joonises 8 vaatame, kui suur peab olema magneetvälja tugevus, mis suudaks rõngas väljakutsuda magneetinduktsiooni  $B = 12000$  tungjoont ühe ruutsentimeetri peale, kui teada on, et rõnga



Joon. 7.



Joon. 8.

materjali konstant  $\mu_1 = 1000$  ja rõnga väljalõikes oleva aine, s/o, õhu  $\mu_2 = 1$ . Rõnga jaoks tarvisminev magnetvälja tugevus  $H$  s/o. magnet-tungjoonte arv ühe ruutsentimeetri peale õhus on:

$$H_1 = \frac{B}{\mu_1} = \frac{12000}{1000} = 12 \text{ tungjoont rauale}$$

$$H_2 = \frac{B}{\mu_2} = \frac{12000}{1} = 12000 \text{ tungjoont õhule rõnga}$$

väljalõikes. Kui tungjoonte teekond läheb mitmesugustest materjalidest läbi, siis on vaja magnetvoolu läbisaatmiseks igast teekonna isesugusest materjalist osadest igale osale vastavalt isesuurune magnetvälja tugevus. Vaadates  $H$  kui magnetiseeriva tungi peale, näeme võrreldes õhku ja rauda, et magnetinduktsioonide  $B = 12000$  väljakutsumiseks vaja rauda jaoks  $H_1 = 12$  tungjoont ruutsentimeetri peale, kuid õhule 1000 korda rohkem s/o.  $H_2 = 12000$ .

Elektrimasinate ehituses tuleb sellepärast õhuvahed võimalikult väikesed hoida ja neid ehitatakse isegi juba kuni  $0,1\text{m/m}$ .



Vaatame kahte plaati, millest üks I on positiivne (+)

ja teine II negatiivne (-). Elektri vool ja magnetväli nende vahel

Magneediline energia.

$dW = dL_m = H \cdot B \cdot \kappa \cdot dv$

Katseliselt on kindlaks tehtud, et mahuelemendis  $dv$  olev magneediline energia  $dL_m$  on proportsionaalne  $dL_m = H \cdot B \cdot \kappa \cdot dv$ , kus  $\kappa$  on proportsionaalsuse tegur, magneediline energia tervele ruumile oleks  $L_m = \kappa \int \mu \cdot H^2 \cdot dv$ ; kui terve maht  $\mathcal{V} = \int dv$  ja  $H, B = \text{const.}$ , siis oleks

$L_m = \kappa \cdot \mu \cdot H^2 \cdot \mathcal{V}$

Seniste arutluste juures ei pööranud meie tähelepanu magneetide polariteedile NS., väljaarvatud sissejuhatavad katsed. Arusaadav, kui meie tegemist teeme magneetvooluga, siis huvitab meid seejuures magneetvoolu siht enam kui polariteet. Et aga voolu siht oleneb polariteedist, siis tähendame, et tungjooned jooksevad N → S, põhjanabast lõunanabasse.



Joon. 9.



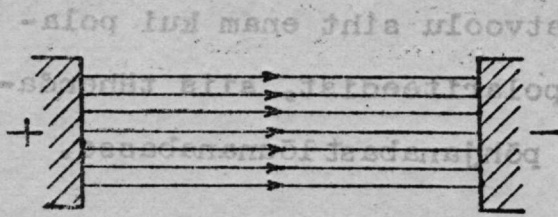
Joon. 10.

Niimoodi vabaneksime polariteedi mõistest, mis raskusi võiks teha polariteedi kindlakstegemisel, näiteks kinnises rõngas joon 10., kus puuduvad harilikult ettekujutatava magneetpulgaga kaks otsa.



### Elektri väli ja elektri vool.

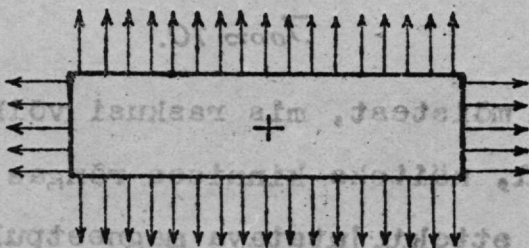
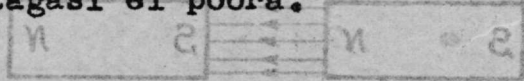
Põhisikas on küllaldaselt seletatud nähtust elektriga laetud kuulidest, millised üksteist kas külgetõmbavad või äratõukavad, sellejärel missugused laengud on antud kuulidele. Meid huvitab selle tuntud katse juures asjaolu, et mitte ükski kuulid ei muutu „elektriliseks“ vaid ka kuulide vaheline ruum, sest muidu ei oleks kuulide liikumine mõeldav (kaugele mõju). Tegelikult on ka nii, et iga elektriliselt laetud keha kiirgab välja elektrilisi tungjooni, kusjuures ruumala, milles leiduvad elektrilised tungjooned, nimetatakse elektri väljaks. Märkime, et elektri välja siht on positiivselt (+) laetud kehalt negatiivselt (-) laetud kehale.



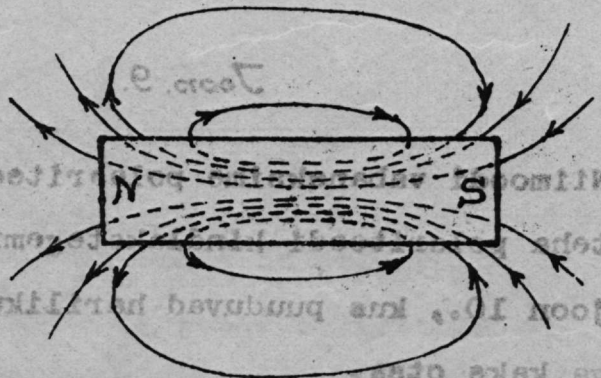
Joon. 11.

Mitmesuguste katsete varal on kindlaks tehtud, et elektri välja tungjooned ei ole kinnised, nagu seda magneetilised tungjooned on, vaid nad on su-

nitud ruumi, kust ise enam tagasi ei pööra.

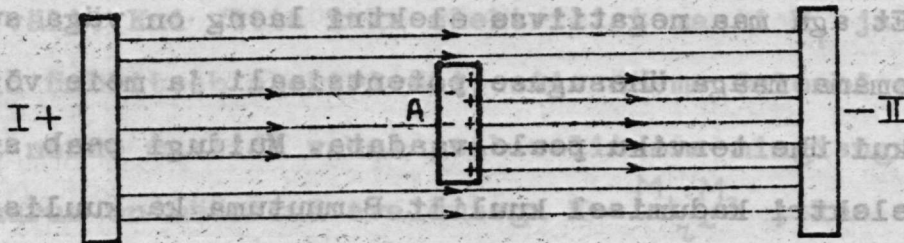


Joon. 12.



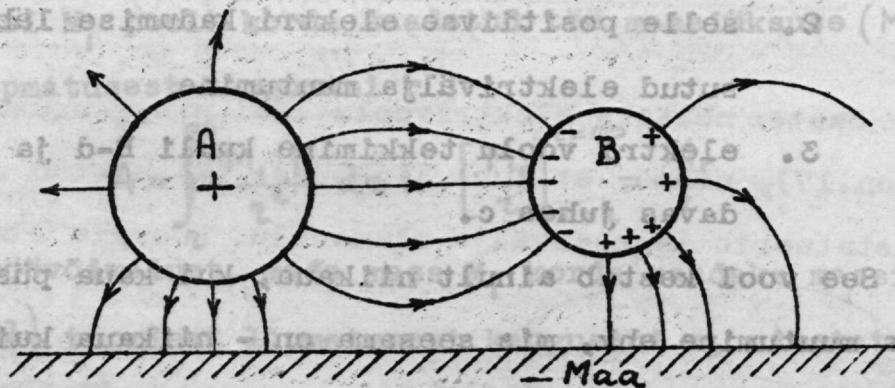
Joon. 13.

Vaatame kahte plaati, millest üks I on positiivse (+) ja teine II negatiivse (-) elektriga laetud ja nende vahele asetaksime ühe kolmanda elektri tungjooni mittejuhtiva ja elektriliselt mittelaetud plaadi A. Meie arusaamise järel peaks plaat A saama laetud nii positiivse kui ka negatiivse plaadi poolt s.o. kahesuguse elektriga. Joontel, mis langevad plaadilt I plaadile A on mingisuguse siht ja II-lt A-le langevatel joontel on mingisugune teine siht (negatiivne). Selle nähtuse põhjal võivad mingisugusel kehal olemasolla positiivne ja negatiivne elekter.



Joon. 14.

Võtame kaks üksteise lähedale paigutatud kuuli, millest üks on laetud positiivselt (kuul A), teine aga laadimata (B).

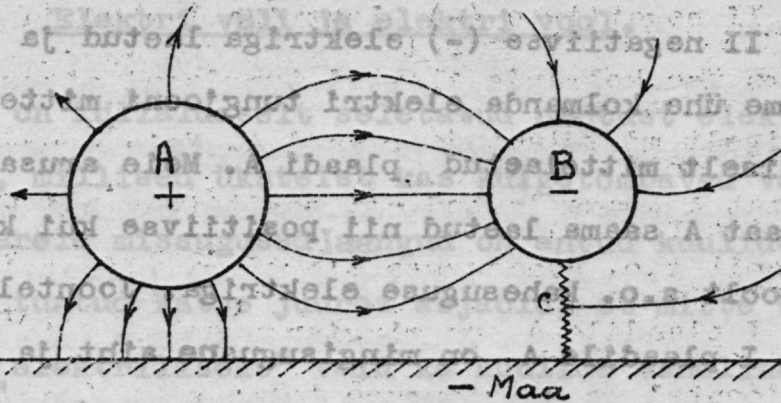


Joon. 15.

Eelmise seletuse järel peaks siis laadimata kuul B kandma kahesugust laengut. Võtame arvesse, et need kuulid asuvad maa ligiduses, milline on negatiivselt laetud ja mille laeng on



väga suur võrreldes kuulide laenguga.



Joon. 16.

Kuuli B ühendamisel juhe c kaudu maaga anname võimaluse kuuli B positiivsel elektril ühinemiseks maa negatiivse elektriga. Et aga maa negatiivse elektril laeng on väga suur, peab kuul B omama maaga ühesuguse potentsiaali ja meie võime kuuli ja maa kui ühe terviku peale vaadata. Muidugi peab siis positiivse elektril kadumisel kuulilt B muutuma ka kuulisi ümbritsev elektril väli (vaata joon. 15 ja 16).

Kuuli B ja maa ühendamise tagajärg on kokkuvõttes:

1. positiivse elektril kadumine kuulilt B,
2. selle positiivse elektril kadumise läbi väljakutsutud elektrilvälja muutumine
3. elektril voolu tekkimine kuuli B-d ja maad ühendavas juhes c.

See vool kestab ainult niikaua, kui kaua püsib elektril välja muutumine ehk, mis seesama on - niikaua kui on liikumises elektril hulgad.

### Pinge.

Pingeks nimetatakse elektriliste masside potentsiaalide



vahet. Selle mõiste selgituseks võtame võrdluse mehaanikast. Antud on mass  $m$  ja maskera kiirendus  $g$  ning raskusejõu  $P$  vektoriaalne suurus, siis on  $k = mg$ . Tõstes massi  $m$  kõrgusele  $h_1$  kõrgusele  $h_2$ , siis on tehtud töö  $A = k h$ , kus  $h = h_2 - h_1$ . Võrdlevalt oleksid  $h_1$  ja  $h_2$  elektriliste masside potentsiaalid ja  $h$  - potentsiaalide vahe s.o. pinge.

Magnetismi juures õppisime tundma magneetvälja mõistet, mille järele on magneetväli ruumala, mille igas punktis võime leida magneetilise tungjoone vektorit. Samasugune on ka elektri väli. Kui võtta kaks elektrilist massi  $M_1$  ja  $M_2$ , milliseid ümbritseb elektriväli, siis näeme Coulombi seadusest, et nende masside vahel peab valitsema mingisugune jõud, mille suurus on määratud avaldusega  $K = \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2}$ , kus  $r$  on masside vaheline kaugus.

Lõpmata väikesel teekonnal  $dr$  jõu  $k$  poolt kordasaadetud töö  $dA = k \cdot dr$  (võrdle mehaanikaga). Võtame massi  $M_2 = 1$ , siis on massi  $M_1$  poolt korda saadetud töö massiüksuse ( $M_2 = 1$ ) toomisel lõpmatuses kauguseni  $r$

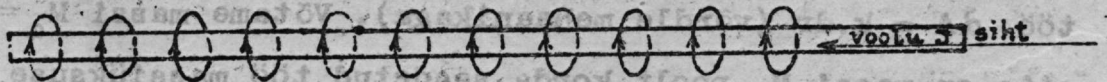
$$A = \int_r^{\infty} \frac{M_1 \cdot 1}{r^2} \cdot dr = - \left[ \frac{M_1}{r} \right]_{r=r}^{r=\infty} = \frac{M_1}{r}$$

Seda töövõimalust, mida mass  $M_1$  korda saadaks massiüksuse ( $M_2 = 1$ ) toomisel lõpmatuses kauguseni  $r$ , nimetatakse massi  $M_1$  potentsiaaliks  $V$ . Mehaanikas vastab potentsiaalile  $V$  kõrgus  $h$ , ja kahe punkti potentsiaalide vahe on pinge. On meil  $M_1 = M_2$ , siis on tehtud töö  $A = V \cdot M_1$ .

### Elektromagnetism.

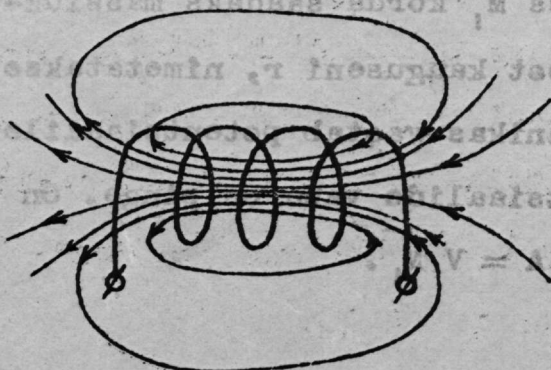
Selles peatükis käsitame elektriliste ja magneetiliste väljade vastastikuseid mõjusid. Eelpool nägime, et magneetvälja mõju vähendamine kuni nullini - traatsilmuse väljatõmbamine magneetide vahelt - kutsus silmuses voolu esile. Oleneb voolu väljakutsumine traatsilmust ümbritseva magneetvälja muutumisest, siis peab juhes vool sündima ka sel juhusel, kui meie juhe paigale jätame ja magneetvälja tugevust muudame nullist maksimumini ehk ümberpöörduvalt.

Teiselt poolt nägime, et elektri vool sünnib olemasolevate elektriväljade muutumise tagajärjel, millest järeldada võime, et magneetilised väljad peavad tingimata väljakutsuma elektrilised väljad, sest elektri vool tekitab ainult elektrivälja muutumisel.

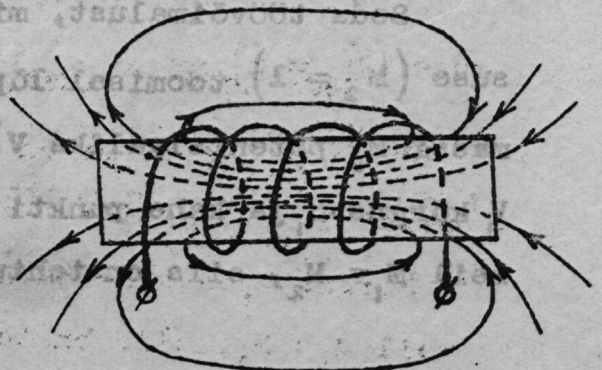


Joon. 17.

Saates näiteks elektrivoolu läbi mingisuguse elektrijuhe (joon. 17), näeme, et juhe ligidusse paigutatud magneetnõel konstateerib magneetvälja olemasolu. Energia alalhoiu seadu-



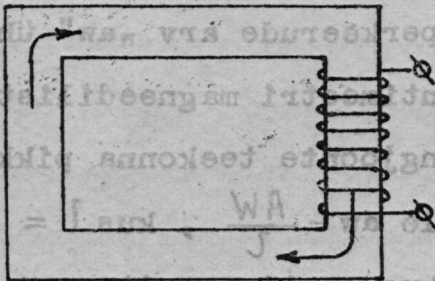
Joon. 18.



Joon. 19.



se järele kutsub elektrivälja muutumine (vool juhes) samatugevusega magnetvälja esile ja ümberpöörduvalt - magnetvälja muutumine sünnitab elektrivälja.



Joon. 20.

Tugevama magnetvälja saamiseks tuleb võtta palju üksteise kõrvale paigutatud juhesid (keeruseid), sest siis on resulteerivaks magnetväljaks üksikute keerude magnetväljade summa. Paigutades spiraali (keerudesse) rauda, läbistavad tungjooned ka teda, sünnitades sellel läbi elektromagneedi. Joonistest 18 ja 19 paistab silma, et osa magneetilistest tungjoontest ei lähe läbi raua, vaid saavad väljaspool spiraali seotud. Konstruktiivselt võib elektromagneedile anda niisugune kuju, joon.20, mis võimaldab võimalikult paljude tungjoonte sidumist raua kaudu, arvesse võttes, et õhu magneetiline takistus on palju suurem, kui raua oma.

Magneetilisi tungjooni, mis rauda ei läbista, nimetatakse puistetungjoonteks ja seda nähtust ennast - puisteks.

Kogemuste järele oleneb raua magnetinduktsioon:

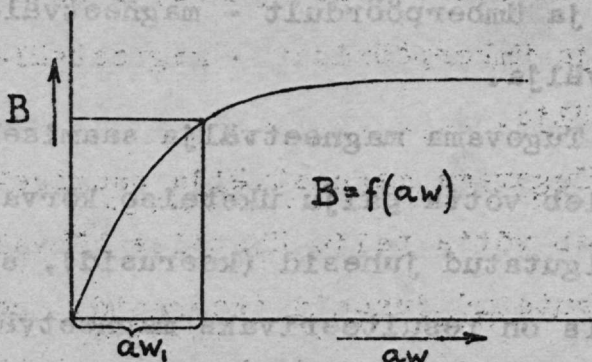
1. keerude arvust ja
2. voolu tugevusest, mis keerudes voolab.

Olgu meil:  $J$  = voolutugevus ja  $z$  = keerude arv, siis on  $B = f(J, z)$ .

Suurus  $Jz$  nimetatakse amperkeerude arvuks. Voolusuurst mõõdetakse, nagu pärast poole näeme, ampeerides.

Magnetinduktsiooni olenevust amperkeerudest ( $B = f(Iz)$ )





Joon.21.

=magneediliste tungjoonte teekonna pikkus sentimeetrites.

kujutame kõveraga, mille ordinaadiks on magneetinduktsioon B ja abstsissiks amperkeerude arv "aw" ühesentimeetri magneediliste tungjoonte teekonna pikkusele  $aw = \frac{AW}{l}$ , kus  $l =$

Oletame, et meil on vaja 50 cm. teekonna pikkusest 15000 magneedilist tungjoont läbisaata, siis otsime kõverjoonest B = 15000 vastava amperkeerude arvuühe sentimeetri teekonna pikkusele  $aw = 20$ ; muidugi on siis 50 cm. teekonna jaoks vajaline amperkeerude arv  $AW = aw \cdot l = 20 \cdot 50 = 1000$ . Varem saime tähendatud, et  $AW = J \cdot z$ , mis jätab meile täiesti vaba võimaluse tegurite J ja z valimiseks.  $AW = 1000$  jaoks võime võtta:

- 10 keeru - 100 Amp ehk
- 100 " - 10 " "
- 5000 " - 0,2 " jne.

Joonis 21 toodud kõverjoon muutub suuremate amperkeerude juures lamedaks, mis tähendab, et raud suudab ainult teatud hulga magneedilisi tungjooni läbi lasta. Rauda, mille magneetiline läbilaske võimalus on viimse võimaluseni kasutatud, nimetatakse magneetiliselt küllastatuks. Neid kõverjooni (joon.21) nimetatakse magneetiseerimise kõverjoonteks ja nad on igale rauasordile isesugused.

## Elektrotehnika põhilauseid.

Eelmises peatükis seletasime mitmesuguseid mõisteid füüsikaalselt, nimetades elektri laengute liikumist vooluks, potentsiaalide vahet pingeks jne. Mehaanikast teame, et töö on mingisuguse keha edasipaigutamiseks teatava aja jooksul tarvitatud energia hulk. Läbib vool  $J$  aja  $t$  jooksul, teekonna  $E = E_2 - E_1$ , siis on tehtud elektriline

$$\text{töö } A = J \cdot t \cdot E.$$

On aeg  $t = 1$ , siis on  $A = E \cdot J \cdot 1 = L =$  aja üksuses teh-

tud töö = võime, mida elektrotehnikas mõõdetakse wattides ehk kilowattides (1 kilowatt = 1000 watti). Võime avalduses ettetulevate suuruste  $J$  ja  $E$  mõõde on senini teadmata.

Mingisugust suurust mõõta tähendab seda suurust võrrelda juba tuntud suurusega. Et neid

"tuntud suuruseid" ühtlustada, on rahvusvaheliselt kokkulepitud, et:

1. vool üks ampeer on see voolu hulk, mis suudab ühe sekundi jooksul lahutada hõbenitraadi lahust 1,118 milligrammi hõbedat;
2. takistus üks oom ( $\text{Ohm}, \Omega$ ) on elavhõbedast valmistatud niidi takistus, kui selle niidi pikkus on 106,3 ja pöiklõige üks ruutmillimeeter;
3. pinge üks volt on see pinge, mis suudab takistusest üks ohm läbisaata voolu suuruses üks ampeer.



Ohmi seadus ja elektriline takistus.

Läbistab elektri vool juhet, siis soojeneb viimane ja seda sünnitatud soojuse hulka võime kalorimeetriga mõõta. On kindlaks tehtud, et elektri voolu läbi juhes sünnitatud soojuse hulk on proportsionaalne :

1. juhe takistusele  $W$
2. voolu ruudule  $J^2$  ja
3. ajale  $t$  s.o.

$$EJt = RJ^2t.$$

Jagades selle avalduse mõlemad pooli suurusele  $Jt$ , saame üldiselt tuntud Ohmi seaduse

$$E = JR, \quad J = \frac{E}{R}$$

mille järele  $J$  on päriproportsionaalne pingele  $E$  ja vastu-  
proportsionaalne takistusele  $R$ .

Elektri juhe takistus  $R$  oleneb juhe dimensioonidest:

ta on seda suurem, mida suurem on juhe pikkus  $l$  ja seda väiksem, mida suurem on juhe põiklõige  $q$  :  $w = \frac{l}{q}$  . Takistus ei

ole kõikidel materjalidel ühesuurune, mispärast eelpool toodud avaldust  $R = \frac{l}{q}$  tuleb täiendada materjali elektrilisi omadusi iseloomustava teguriga  $\sigma$  :  $R = \sigma \cdot \frac{l}{q}$  .

Segeli tarvitakse asemel tema vastupidist suurust  $k = \frac{1}{\sigma}$  , mis on 2000 juures vasele 57

alumiiniumile 32

rauale 9 .

See materjali iseloomustav tegur  $k$  ehk  $\sigma$  ei ole püsiv suurus. Tema olenevust temperatuurist võetakse arvesse soo-



justeguriga  $\alpha$ , mis näitab kui suur on takistuse juurekasv juhel, mille takistus on üks oom, kui juhe temperatuur tõuseb ühe Celsiuse kraadi võrra.

Tähendab:

$t_2$  - lõputemperatuuri  $^{\circ}\text{C}$

$t_1$  - algtemperatuuri  $^{\circ}\text{C}$

$t = t_2 - t_1$  - temperatuuri tõusu

$w_1$  - takistust oomides, temperatuuri  $t_1$  juures

$w_2$  - " " " " " " " " " " " "

siis on:

$$R_2 = R_1 + \alpha \cdot R_1 \cdot t = w_1 \cdot (1 + \alpha t)$$

Vasele on soojustegur  $\alpha = \frac{1}{235 + t_1}$ , mille järel vase

takistus oleks temperatuuri  $t$  juures

$$w_2 = w_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)] = w_1 \left[ 1 + \frac{t_2 - t_1}{235 + t_1} \right] = w_1 \frac{235 + t_2}{235 + t_1}$$

ja temperatuuri tõus  $t = t_2 - t_1$ :

$$t_2 - t_1 = \frac{w_2 - w_1}{\alpha \cdot w_1} = \frac{w_2 - w_1}{w_1} \cdot (235 + t_1)$$

### Vastuelektromotoorse jõu lause.

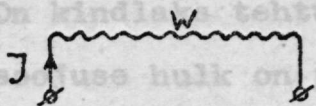
Jõud teeb tööd ainult siis, kui ta on tööle rakendatud.

Pinge olemasolu näitab, et on küll olemas töötegemise võima-

lus, kuid töö saab tehtud ainult siis, kui see pinge rakenda-

takse vooluringis valitsevaid vastupingesid võitma. Neid vastupingesid nimetatakse vastuelektromotoorseteks jõududeks ja nende all mõistame meie kõiki voolutarvitajaid, nagu elektrilampisid, elektrilelementisid, igasuguseid vooluringi takis-

tusi jne. kui nendest vool läbi läheb. Voolab, näiteks, vool  $J$  mingisuguses vooluringis, mille takistus on  $R$ , siis on Ohmi seaduse järelle pinge  $E = J \cdot R$ . Korrutisele

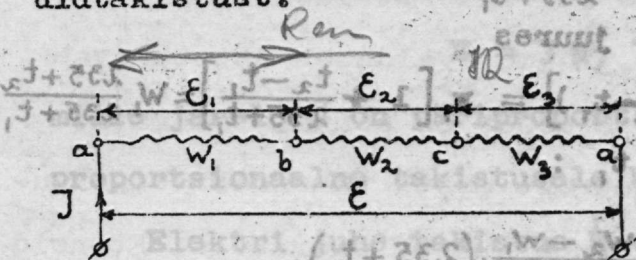


$J \cdot R$  vaatame kui vastuelektromotoorsele jõule (vemj-le) mida rakenduselektromotoorne jõud (remj-d)  $E$  peab võitma, et vooluringist läbi saata voolu  $J$ .

Joon. 23.

Takistuste järjestiku ja paralleelühendamine.

Antud on meie joonisel 24 näidatud viisil üksteise järelle ühendatud kolm takistust ja meie otsime selle ühenduse üldtakistust.



Joon. 24.

Ohmi seaduse järelle peab punktide  $a$  ja  $b$  vahel valitsev remj-d  $E$ , võrduma nende samade punktide vahel olevale vemj-le  $Jw$ . Analoogiliselt

on  $bc$  vahel  $E_2 = Jw_2$  ja  $cd$  vahel  $E_3 = Jw_3$ . Selles ühenduses valitsevad kolm remj-du  $E_1, E_2$  ja  $E_3$  ning nende summa on

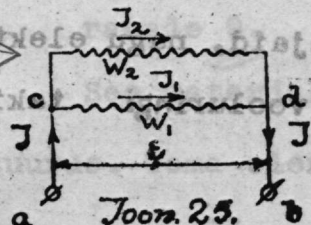
$E = E_1 + E_2 + E_3$ , mis võrdub sama ühenduse vmj-de summale.

$$E_1 + E_2 + E_3 = E = Jw_1 + Jw_2 + Jw_3.$$

$$E = J(w_1 + w_2 + w_3) = J \cdot R.$$

kus üldtakistus  $w = w_1 + w_2 + w_3$  on üksikute järjestiku ühendatud takistuste algebraalne summa.

Joonises 25 on ühendatud kaks takistust



Joon. 25.

paralleel. Näpitsast  $a$  tulev vool  $J$  haruneb punktis  $c$  kaheks vooluks  $J_1$  ja  $J_2$ ,

mille summa on  $J = J_1 + J_2$ . Punktide  $c$  ja



d vahel valitseb ainult üks remj-d E, mis võidab mõlemate takistuste  $w_1$  ja  $w_2$  vemj-u . Seega võime Ohmi seaduse järele kirjutada:

$$E = J_1 w_1$$

$$E = J_2 w_2$$

$$J_1 = \frac{E}{w_1}$$

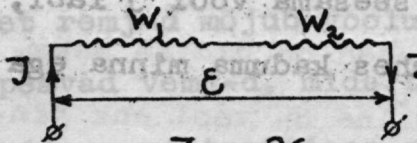
$$J_2 = \frac{E}{w_2} ;$$

$$J = J_1 + J_2 = \frac{E}{w_1} + \frac{E}{w_2} = E \left( \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} \right)$$

$$\frac{J}{E} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} = \frac{1}{w} \quad \text{kus } w \text{ on paralleelühenduses üldine takistus ja}$$

$$\frac{1}{w} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2} + \dots ;$$

Näide 1.



Joon. 26.

Antud:  $J = 3 \text{ Amp.}$

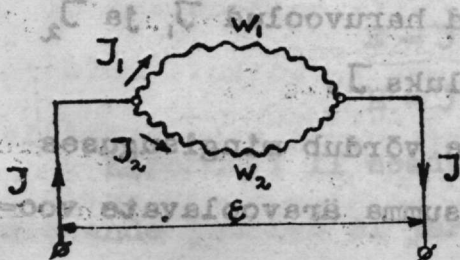
$$w_1 = 3 \Omega$$

$$w_2 = 4 \Omega$$

Otsitakse: E ja R.

Selles näites on takistused  $w_1$  ja  $w_2$  järjestiku ühendatud ja selle voolu ringi üldtakistus on  $w = w_1 + w_2 = 3 + 4 = 7 \Omega$  ja emj Ohmi seaduse järele  $E = J \cdot w = 3 \cdot 7 = 21 \text{ Volt.}$

Näide 2.



Joon. 27.

Antud:  $w_1 = 2 \Omega$

$$w_2 = 4 \Omega$$

$$J = 9 \text{ Amp.}$$

Otsitakse: E;  $J_1$ ;  $J_2$  ja w.

Paralleelühenduse juures leitakse

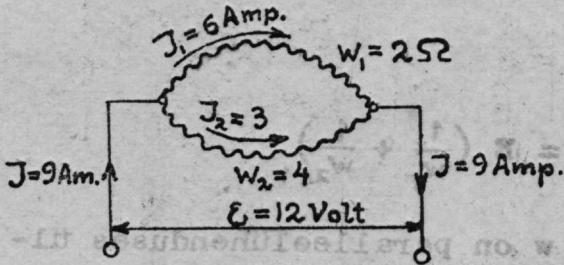


üldtakistus järgmiselt:

$$\frac{1}{W} = \frac{1}{W_1} + \frac{1}{W_2} = \frac{W_1 + W_2}{W_1 \cdot W_2}$$

$$W = \frac{W_1 \cdot W_2}{W_1 + W_2} = \frac{2 \cdot 4}{2 + 4} = \frac{8}{6} = \frac{4}{3} \Omega$$

Ohmi seaduse järele on:



Joon. 28.

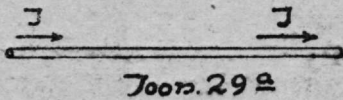
$$E = J \cdot W = 9 \cdot \frac{4}{3} = 12 \text{ Volt}$$

$$J_1 = \frac{E}{W_1} = \frac{12}{2} = 6 \text{ Amp.}$$

$$J_2 = \frac{E}{W_2} = \frac{12}{4} = 3 \text{ Amp.}$$

Kirchhofi seadused.

Vaadates mingit juhet, milles voolab vool (joon 29<sup>a</sup>), näeme, et terve juhe pikku-  
sest voolab üks ja seesama vool  $J$  läbi,  
sest vool ei saa juhes kaduma minna ega  
juurekasvada.



Joon. 29<sup>a</sup>



Joon. 29<sup>b</sup>



Joon. 29<sup>c</sup>

Joonisest 29<sup>b</sup> paistab silma, et vool  
haruneb punktis a kaheks vooluks  $J_1$  ja  
 $J_2$ . Arusaadav, et punktis a ei saa vool  
ei kaduma minna ega suuremaks kasvada,

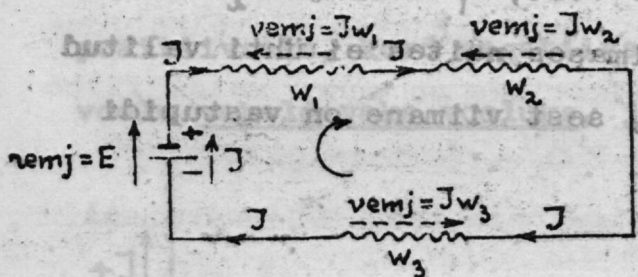
vaid viimasesse tulev vool  $J$  läheb kahe  
haru kaudu samas suuruses edasi. Need haruvoolud  $J_1$  ja  $J_2$   
ühinevad punktis b jälle ühiseks vooluks  $J$ .

Kirchhofi esimese seaduse järele võrdub mingisuguses  
haru punktis juurevoolavate voolude summa äravoolavate voo-

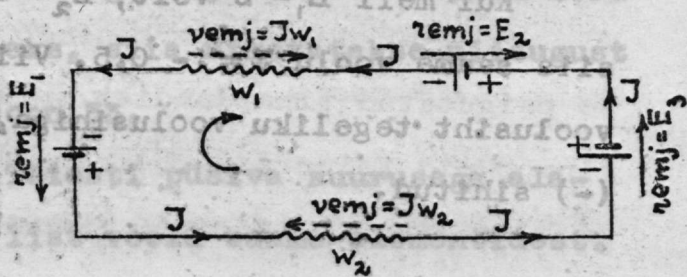
lude summale.

$$i_1 + i_2 = i_3 + i_4 + i_5$$

Teine Kirchhofi seadus ütleb, et mingisuguses kinnises vooluringis võrdub remj-de summa vemj-de summale ehk, mis seesama on, kinnises vooluringis on kõikide elektromotoorsete jõudude summa null. Selle seaduse seletuseks käsitame kolmest takistusest ja ühest vooluallikast (elemendist) koosnevat vooluringi, vaata joon. 30. Elemendi näpitspinge olgu E, mis on ühtlasi selle vooluringi remj-ks. Kujutame ette,



Joon. 30.



Joon. 31.

et remj-d mõjub vooluga, mida ta väljakutsub ühes sihis, siis peavad vemj-d, mida takistused voolu läbimises sünnitavad, mõjuma vastupidises sihis nii voolule kui ka remj-le. Järgides vooluringis valitsevaid emj-sid vabalt valitud suunas  $\curvearrowright$ , märgime jälgimise suunaga ühtivaid emj-sid poosiitivse (+) märgiga ja mitteühtivaid emj-sid negatiivse (-) märgiga, siis peab kinnises vooluringis olema Kirchhofi II seaduse järele kõikide emj-de summa null;

$$E - Jw_1 - Jw_2 - Jw_3 = 0$$

$$E = Jw_1 + Jw_2 + Jw_3$$

Kirchhofi II seaduse selgituseks lahendame veel ühe ülesande joonise 31 järele. Valime selles vooluringis vabalt



mingisuguse voolusihi (vaata joon 31); peaks see valitud voolusihit ebaõige olema, siis saame arvestuses voolule negatiivse märgi. Meil on kinnine vooluring, mille igas osas peab Kirchhofi I seaduse järele voolama ühesuurune vool  $J$ .

Kirchhofi II seaduse järele on:  $Jw_1 + E_2 - E_3 + JW_2 - E_1 = 0$ .

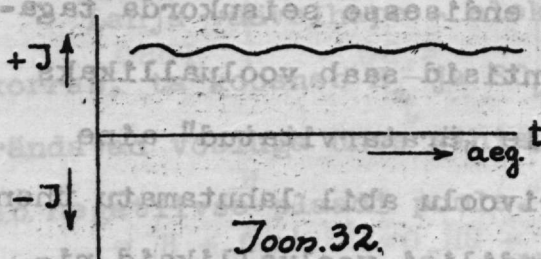
Leiame kui suur on vool, kui meil on antud :  $E_1 = 4$  Volt;  $E_2 = 2$  Volt;  $E_3 = 6$  Volt;  $w_1 = 3\Omega$ ;  $w_2 = 1\Omega$ . Neid arvusid eelmissesse võrrandisse asemele pannes leiame, et vool  $J = + 2$  Amp. Märk + näitab, et meie juhulikult valisime õige voolusihi.

Kui meil  $E_1 = 2$  Volt;  $E_2 = 6$  Volt;  $w_1 = 3\Omega$  ja  $w_2 = 1\Omega$ , siis saame voolu  $J = - 0,5$ . Viimases näites ei ühti valitud voolusihit tegeliku voolusihiga, sest viimane on vastupididi (-) sihitud.

### Akkumulaatorid ja elemendid.

Senini käsitatud nähtused ja seadused on üldise maks-vusega, sellepeale vaatamata, mis kujuline on vool ehk pinge. Voolu kohta tähendasime, et ta sünnib ainult elektri väljade muutumise tagajärjel, tähelepanu pööramata voolu teistele omadustele. Voolu suurus võib olla ajajooksul väga muutlik, ta võib tõusta ja kahaneda. Tähendame ajateljest ülevalpool olevaid voolu suuruseid positiivse (+) ja allpool olevaid negatiivse (-) märgiga, siis on joonises 32 näidatud vool lainetaoline - tema suurus on kõikuv, kuid voolu siht on kogu aeg positiivne. Niisugust kindlasihilist kõikuva suurusega voolu annavad kõik alalise voolu masinad,



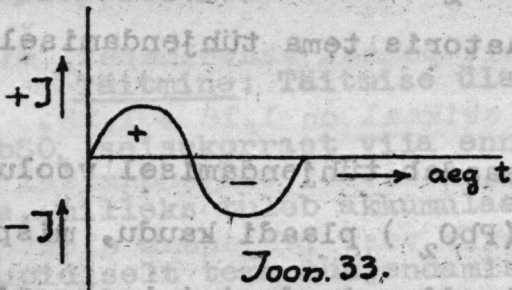


Joon.32.

ja õkvendajad ning voolu ennast nimetatakse alaliseks vooluks. Vooluallika näpitsat, missugusest vool läheb välisvooluringi, märgitakse plussiga (+) ja näpitsat, mille kaudu vool välis-

vooluringist vooluallikasse tagasi tuleb, miinusega (-).

Laine amplituudi (joon 32) võime vastava seadelduse abil kas suurendada ehk vähendada, jättes sellejuures voolusihi muutmatuks. Muudab vool teatud aegade järele oma sihti kord positiivseks, kord negatiivseks, siis nimetatakse niisugust voolu vaheldavaks vooluks, joon.33.



Joon.33.

Täiesti püsiva suurusega alalist voolu saame elementidest. Elementid on vooluallikad, milles vool sünnib keemilise protsessi tagajärjel. Kahjuks ei ole tänini kordaläinud sidet

leida Faraday - Maxwelli teorii ja voolu tekkimise vahel elementis. Elementisid, mis keemilise protsessi tagajärjel voolu annavad, jagatakse kahte suurde liiki:

1. elementideks, millised muutuvad vooluallikateks, kui nendest voolu läbisaadetakse; neid nimetatakse akumulaatoriteks.

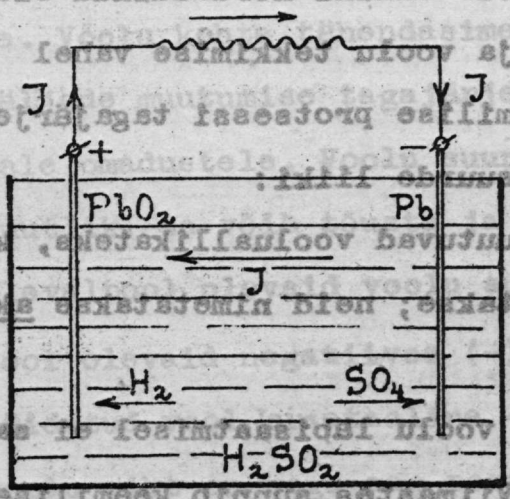
2. elementideks, milliseid voolu läbisaatmisel ei saa vooluallikateks muuta. Viimastes sünnib keemilise protsessi tagajärjel keemiline ühendus, mida elektri

voolu läbistamisel ei saa endisesse seisukorda tagasivida. Niisuguseid elemente saab vooluallikaks muuta ainult siis, kui meile "äratarvitatud" aine asemele (mis andis elektrivoolu abil lahutamatu ühenduse) paneme uue. Sellelaadilisi vooluallikaid nimetatakse galvaanilisteks elementideks.

Tehnikas tarvitatakse peaaesjalikult esimese liigi vooluallikaid, akkumulaatorisi, millistest laialdasemalt tuntakse n.a. tinaakkumulaatorisi.

Tina-akkumulaator koosneb kahest lahjasse väävelhappesest paigutatud tinaplaadist, millest üks on puhas metalliline tina, kuid teine tina ülihapend  $PbO_2$ . Vaatame missugused on keemilised protsessid akkumulaatoris tema tühjendamisel ja täitmisel.

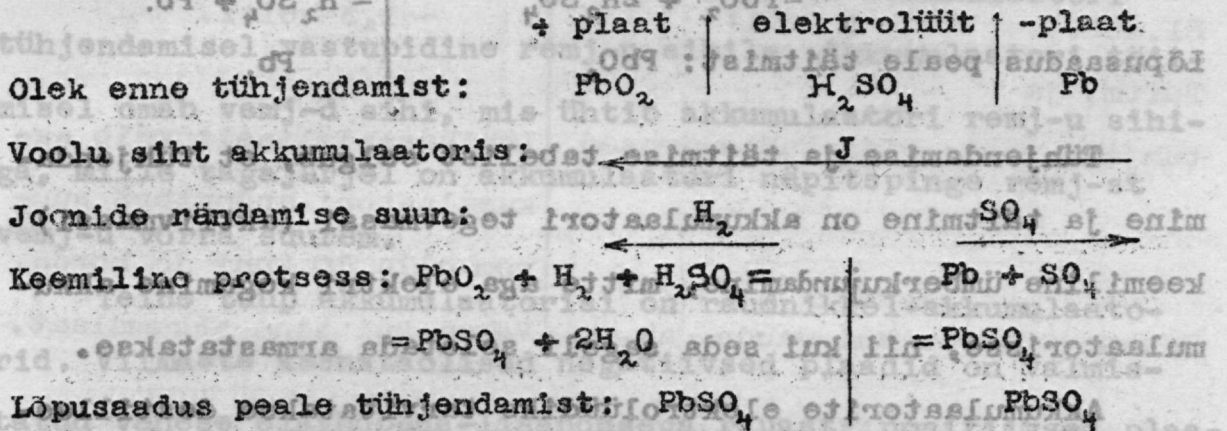
Tühjendamine: Akkumulaator saadab tühjendamisel voolu välisvooluringi tina ülihapendi ( $PbO_2$ ) plaadi kaudu, mis pärast viimast nimetatakse positiivseks plaadiks. Välisvooluringist tuleb vool akkumulaatorisse tagasi negatiivse (Pb) plaadi kaudu. Seega on voolu siht väljaspool akkumulaatorit positiivselt (+) plaadilt negatiivsele (-), vooluallika siseses aga ümberpöörduvalt - negatiivselt plaadilt positiivsele (joon.34).



Joon. 34.

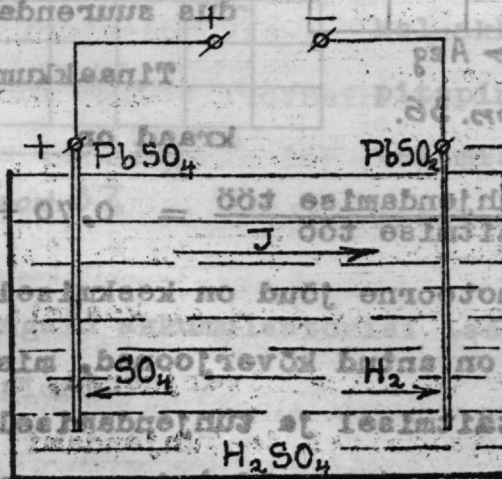


Lahja vävelhape - elektrolüüt - on ioniseeritud seisukorras, ta koosneb  $H_2$  ja  $SO_4$ -ioonidest. Vesiniku-ioonid rändavad vooluga ühes sihis, kuna  $SO_4$ -ioonid vastupidiselt s.o. negatiivse plaadi poole. Tühjendamise protsessi käiku tabelisse koondades saame järgmise pildi:



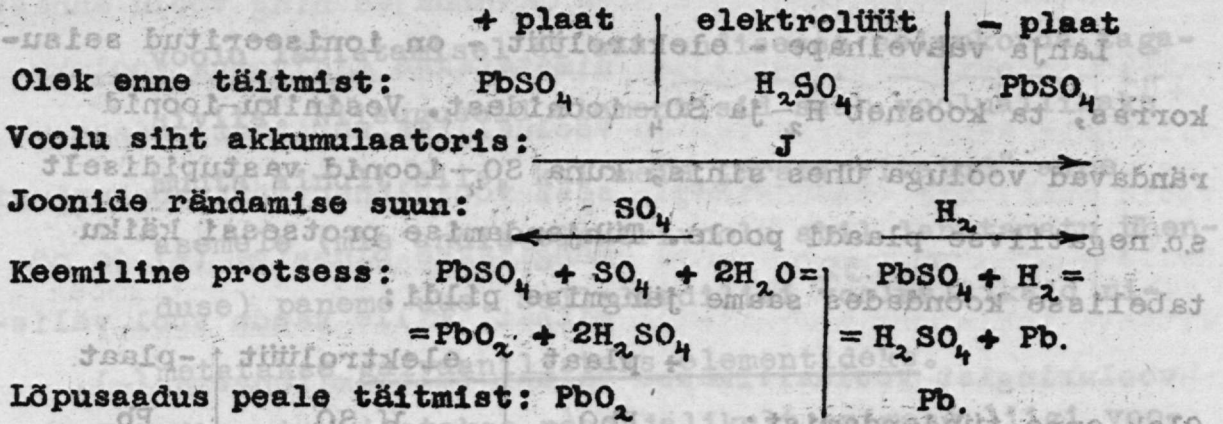
Täitmine: Täitmise ülesanne on akkumulaatori plaatidid

$PbSO_4$  seisukorrast viia enne tühjendamist olevasse seisukorda, milleks tuleb akkumulaatorist elektri vool läbisaata vastupidiselt tema tühjendamise voolule s.t. akkumulaatori +plaat tuleb ühendada täitmiseks kasutatava vooluallika +näpitsaga. Tabelisse koondatult oleks täitmise protsessi käik järgmine:



Joon. 35.





Tühjendamise ja täitmise tabelist selgub, et tühjendamine ja täitmine on akkumulaatori tegevmassi (aktiivmassi) keemiline ümberkujundamine, mitte aga elektri kogumine akkumulaatorisse, nii kui seda sageli seletada armastatakse.

Akkumulaatorite elektrolüüdiks tarvitatakse destilleeritud veega lahjendatud keemiliselt-puhast väävelhapet, mille erikaal on 1,18 + 1,25.

Akkumulaatori tühjendamisel tekib vesi lahjendab elektrolüüti, kuna täitmisel selle vastu saab elektrolüüdi tihedus suurendatud.

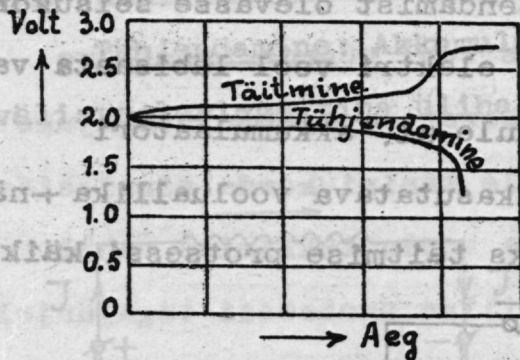
Tinaakkumulaatorite kasu-

kraad on

$$\frac{\text{tühjendamise töö}}{\text{täitmise töö}} = 0,70 \div 0,75.$$

ja nende elektromotoorne jõud on keskmiselt 2 volti.

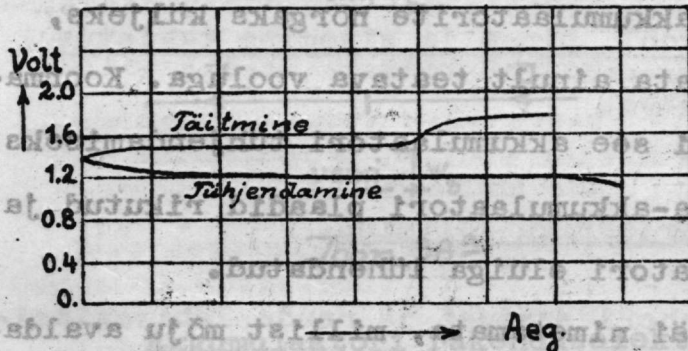
Joonisel 36 on antud kõverjooned, mis kujutavad näpitspinge muutumist täitmisel ja tühjendamisel. Näpitspinge on vooluallika näpitsate (klemmide) juures valitsev vooluallika



Joon. 36.

rakenduselektromotoorne jõud, mis on vooluallika sisemuses valitseva vemj-u võrra kas suurendatud (kui vooluallikas voolu saab) või vähendatud (kui vooluallikas voolu annab). Selle vemj-u suurus on voolu ja vooluallika sisemuses valitseva takistuse korrutis ja tema siht on akkumulaatori tühjendamisel vastupidine remj-u sihile. Akkumulaatori täitmisel omab vemj-d sihi, mis ühtib akkumulaatori remj-u sihiga, mille tagajärjel on akkumulaatori näpitspinge remj-st vemj-u võrra suurem.

Teine tüüp akkumulaatorisi on raudnikkel-akkumulaatorid. Viimaste käsnataolised negatiivsed plaadid on valmistatud vähese elavhõbeda-lisandusega rauast; positiivsed plaadid on nikkelhydraadist ja niklilibledest. Elektrolüüdiks tarvitatakse 21 %-list kaliumi-lehelist lithium-hydroxydi lisandusega. Raudnikkel-akkumulaatorite keskmine elektro-



Joon. 37.

motoorne jõud on ~ 1,3 Volti. Joonisel 37 on näidatud raudnikkel-akkumulaatori näpitspinge kõverjooned täitmisel ja tühjendamisel.

Võrdleme mõningaid akkumulaatorisi iseloomustavaid omadusi mõlematel tüüpidel.

Tina- ja raudnikkel-akkumulaatorite võrdlustabel.

<u>Tina-akkumulaator.</u>	<u>Raudnikkel-akkumulaator.</u>
Hind: Vähem kui raudnik. akkum.	Kallim kui tina-akumul.
Eluiga: 6 - 8 aastat	~ 20 aastat.
El.mot.j.: ~ 2 Volti	~ 1,3 volti.
Täitm. ja tühjend.vool: Piiratud suurused	Lühikeseajaliselt võib akkumulaatori andmetest suurem olla 10 kuni 15 korda.
Raskus: Suurem kui raudn. ak.	Vähem kui tina-akkumulaat.

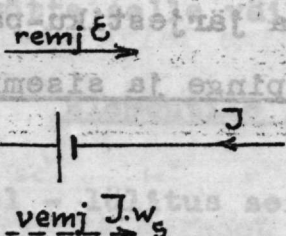
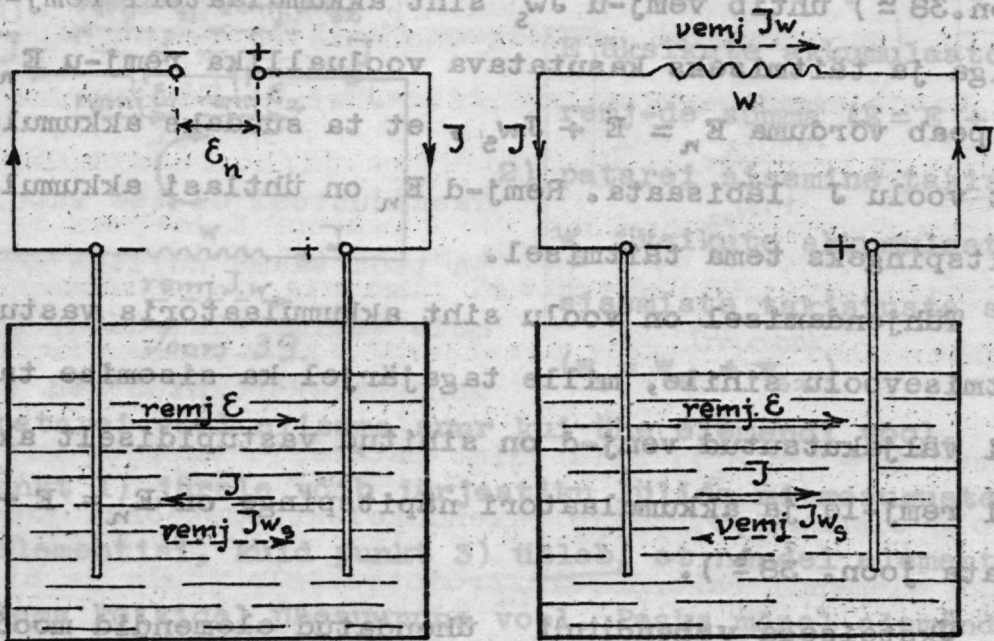
Võrdlustabelist näeme, et olgugi raudnikkel-akkumulaatori hind suurem ja pinge madalam kui tina-akkumulaatoril, võib teda siiski eelistada tema pika eluea ja vähese tundelikkuse pärast voolukõikumise suhtes. Tundelikkus voolu kõikumiste suhtes ongi tina-akkumulaatorite nõrgaks küljeks, mispärast neid võib koormata ainult teatava vooluga. Koormamisel suurema vooluga, kui see akkumulaatori tühjendamiseks on ettenähtud, saavad tina-akkumulaatori plaadid rikutud ja selle tagajärjel akkumulaatori eluiga lühendatud.

Senisel käsitusel jäi nimetamata, millist mõju avaldavad voolule ja pingele akkumulaatori plaatide moodsud. Peab tähendama, et pinge jääb üheks-ja-selleksamaks kõigile ühetüübilistele akkumulaatoritele, vaatamata nende suurusele, kuid voolu suurus oleneb plaatide moodsudest - mida suuremad on plaadid, seda suurema vooluga võib akkumulaatorit koor-

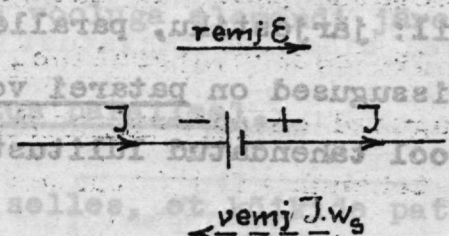


mata.

Järgnevas osas vaatame akkumulaatorite lülitusti täit-  
misel ja tühjendamisel.



Joon. 38<sup>a</sup>



Joon. 38<sup>b</sup>

Akkumulaatori rakenduselektromotoorse jõu siht on alati üks-ja-seesama, vaatamata kas akkumulaator saab tühjendatud või täidetud (vaata joon. 38<sup>a</sup> ja 38<sup>b</sup>). Akkumulaatori elektrolüüt kujutab enesest vooluringis mingisugust elektrilist takistust  $w_s$ , mida nimetatakse akkumulaatori sisemiseks takistuseks. Vastuelektromotoorse jõu lause järele on kõik

vooluringi takistused, kui neid vool läbib, vastuelektromotoorsed jõud, mille siht on vastupidine voolusihile ja suurus võrdub voolu ja takistuse korrutisele. Täitmisel (joon. 38<sup>a</sup>) ühtib vemj-u  $Jw_s$  siht akkumulaatori remj-u  $E$  sihiga ja täitmiseks kasutatava vooluallika remj-u  $E_n$  suurus peab võrduma  $E_n = E + Jw_s$ , et ta suudaks akkumulaatorist voolu  $J$  läbisaata. Remj-d  $E_n$  on ühtlasi akkumulaatori näpitspingeks tema täitmisel.

Tühjendamisel on voolu siht akkumulaatoris vastupidine täitmisevoolu sihile, mille tagajärjel ka sisemise takistuse läbi väljakutsutud vemj-d on sihitud vastupidiselt akkumulaatori remj-le ja akkumulaatori näpitspinge on  $E_n = E - Jw_s$  (vaata joon. 38<sup>b</sup>).

Üksteisega vahenditult ühendatud elemendid moodustavad nõndanimetatud patarei. Elementisi lülitakse patareiks kolmel viisil: järjestiku, paralleel ja järjestiku-paralleel. Vaatame missugused on patarei vool, pinge ja sisemine takistus eelpool tähendatud lülitustes.

### Elementide järjestiku lülitamine.

Tuletades meele Kirchhofi seadusi ja nende läbivaatamisel käsitatud voolujaotuse leidmise meetodit, võime kirjutada joonise 39 järele:

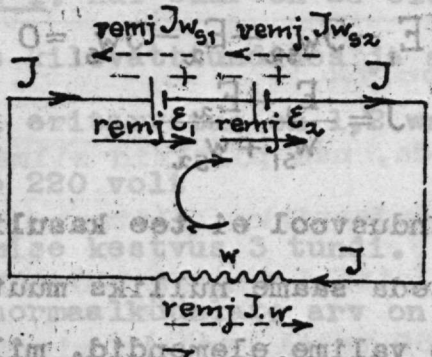
$$E_1 - Jw_{s1} + E_2 - Jw_{s2} - Jw = 0.$$

Lihtsustades seda avaldust, leiame, et

$$E = E_1 + E_2 = J(w_{s1} + w_{s2}) + Jw = Jw_s + Jw.$$



millest järeldada võime, et elementide järjestiku ühendamisel on:



Joon. 39.

- 1) akumulaatori patarei remj-d  $E$  üksikute akumulaatorite remj-de summa ( $E = E_1 + E_2$ )
- 2) patarei sisemine takistus  $w_s$  üksikute akumulaatorite sisemiste takistuste summa ( $w_s = w_{s1} + w_{s2}$ )

3) patarei vool niisama suur kui ühe elementi vool.

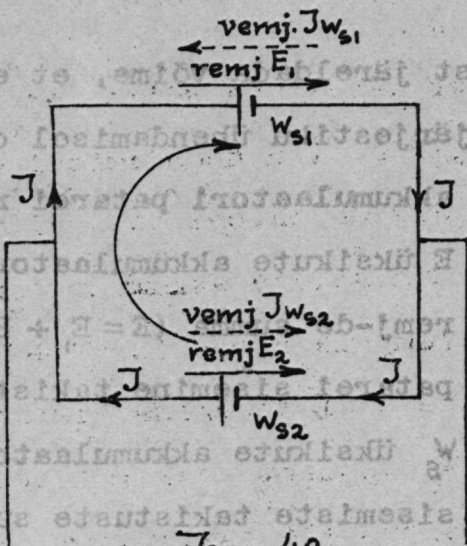
Punkt 1) järele võib järjestiku lülida mitmesuguste remj-dega elementisi, kuid punkt 3) ütleb, et nendel elementidel peab olema kõikidel ühesuurune vool. Peaks mõnel elemendil olema lubatav vool vähem kui teistel elementidel, siis tuleb patarei vool võtta selle väiksema vooluga elementi järele.

Elementide lülitus paralleel.

Paralleel - lülitus seisab selles, et kõikide patareis olevate elementide positiivsed ja negatiivsed näpitsad saavad omavahel ühendatud.

Sellejuures peab silmaspidama, et kõik paralleellülitavad elemendid oleksid ühetüübilised, sest muidu võiksid esile tulla soovimata nähtused: elemendid hakkaksid üksteise peale töötama. Joonisel 40 on ühendatud kaks isesuuruse rakenduselektromotoorse jõuga elementi paralleel. Et nendel elementidel





Joon. 40.

$E_1 \neq E_2$ , siis peab patareis va-  
litsema elementide-vaheline ta-  
sandusvool, mille suurus on

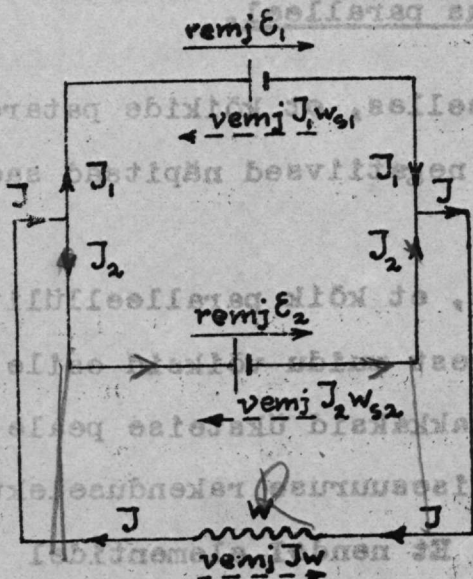
$$E_1 - Jw_{s2} - E_2 - Jw_{s1} = 0$$

$$J = \frac{E_1 - E_2}{w_{s1} + w_{s2}}$$

Tasandusvool ei tee kasulikku tööd  
ja teda saame nulliks muuta, kui  
meie valime elemendid, milliste ra-

kenduselektromotoorsed jõud on

võrdsed ( $E = E_1 = E_2$ ). Siis võime patareile vaadata kui ühele  
suurele elemendile, mille rakenduselektromotoorne jõud võrdub  
üksiku elemendi rakenduselektromotoorsele jõule ja mille vool  
on üksikute elementide voolude summa. Lülituses on kõikide ele-  
mentide sisemised takistused ühendatud paralleel, mispärast  
patarei sisemist takistust  $w_s$  võime leida avalduses:



Joon. 41.

$$\frac{1}{w_s} = \frac{1}{w_{s1}} + \frac{1}{w_{s2}} + \dots$$

Joonise 41 järele on patarei

vool  $J = J_1 + J_2$ , patarei remj

$E = E_1 = E_2$  ja sisemine takistus

$w_s = \frac{w_{s1} \cdot w_{s2}}{w_{s1} + w_{s2}}$ . Ohmi seaduse

järele võime kirjutada, et pata-  
rei vool  $J$  võrdub:

$$J = \frac{E}{R} = \frac{E_1}{R + w_s} = \frac{E_1}{R + \frac{w_{s1} \cdot w_{s2}}{w_{s1} + w_{s2}}}$$

N ä i t e d .

Näide 1. Kui suur on 25 elektrilambi à 16 normaalküünalt  
tarvitus kilovatttundides ja ampeerides, kui antud on:

lambi eritarvitus on 1,2 watti ühe normaalküünla peale  
pinge 220 volt

põlemise kestvus 3 tundi.

Üldine normaalküünlate arv on:  $16 \times 25 = 400$  NK.

400 NK küünalt à 1,2 watti tarvitavad võimet  $1,2 \times 400 = 480$  watti.

$$L = E \cdot J$$

$480 = 220 \cdot J$  millest järgneb, et

$$J = \frac{480}{220} = 2,18 \text{ Amp.}$$

Voolutarvitus kilowatt-tund on:  $480 \cdot 3 = 1440$  watttundi =

$$= 1,44 \text{ kilowatt-tundi.}$$

Näide 2. Kui suur on vool, mida 7,5 PS mootor saab 220  
voldilisest võrgust? Teada on, et 1 PS-le vastab 736 watti.

$$L = 736 \cdot 7,5 = \sim 5510 \text{ watt}$$

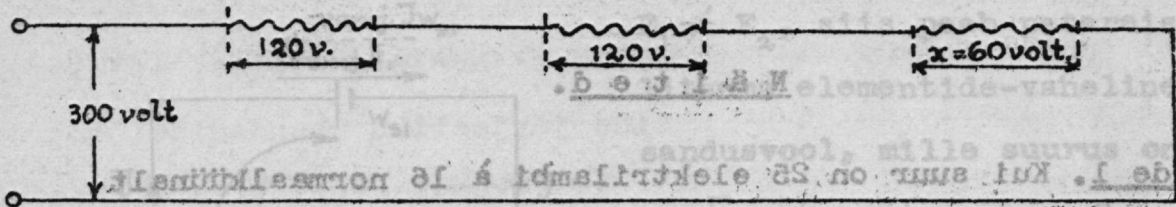
$$L = 5510 = E \cdot J$$

$$J = \frac{5510}{220} = 25,1 \text{ Amp.}$$

Näide 3. Mis tuleks teha selleks, et saaks 300 voldilise  
võrgus tarvitada kahte 120 voldilist lampi? Lambid on 50 küün-  
lalised ja nende eritarvitus on 1,2 watti ühe küünla peale.

Jäsenesest mõistetak, et 120 voldilisi lampide ei saa enne





Teoor. 42.

vahenditult 300 voldi juures tarvitada, nad põleksid silmapilk-  
selt läbi. Tuleks kasutada lampide järjestikku-lülitust, kus-  
juures mõlemad lambid kokku vajaksid siiski ainult 240 volti  
pinget. Üleliigset pinget, suuruses 60 volti, tuleks mingisugu-  
sel teel kõrvaldada ehk hävitada. Ohmi seadusest teame, et pin-  
ge on voolu ja takistuse korrutis. Põlevad lambid, siis voolab  
selles vooluringis vool ja meil jääks üle ainult kindlaks teha  
takistuse suurust, mis kutsuks antud voolu juures esile pinge-  
langemise 60 volti. 120 voldi juures tarvitab lamp ühe küünla  
peale 1,2 watti, millest järgneb, et ühe lambi tarvitus on

$$L = 1,2 \cdot 50 = 60 \text{ watti}$$

$$\text{Näide 3. Kui suur on vool, mis läheb 220 v. juures } L = E \cdot J = 60 = 120 \text{ J}$$

$$J = \frac{60}{120} = 0,5 \text{ Amp.}$$

Ohmi seaduse järel on  $E = J \cdot w$  ja

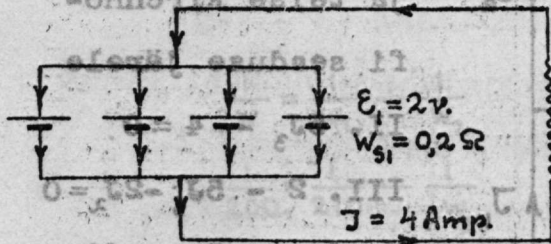
$$w = \frac{E}{J} = \frac{60}{0,5} = 120 \Omega$$

60 voldilise pinge hävitamiseks, kui voolutugevus on 0,5  
Amp. vajame eeltakistust suuruses  $120 \Omega$ .

Näide 4. Neli elementi, milliste remj-d on 2 volti ja si-  
semine takistus  $0,2 \Omega$ , peavad mingisugusest tundmata takistu-



sest läbi saatma voolu, mille tugevus on 4 Amp. Elementid on ühendatud paralleel. Kui suur on tundmata takistus ?



Joone 43.

Elementide paralleelühenduses on patarei remj-d võrdne ühe elemendi remj-le ja patarei sisemine takistus leitakse avaldusest

$$\frac{1}{W_s} = \frac{1}{W_{s1}} + \frac{1}{W_{s2}} + \frac{1}{W_{s3}} + \frac{1}{W_{s4}} ;$$

$$\frac{1}{W_s} = \frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,2} + \frac{1}{0,2} = \frac{4}{0,2} = 20$$

$$W_s = \frac{1}{20} = 0,05 \Omega$$

$$E = E_1 = 2 \text{ volt.}$$

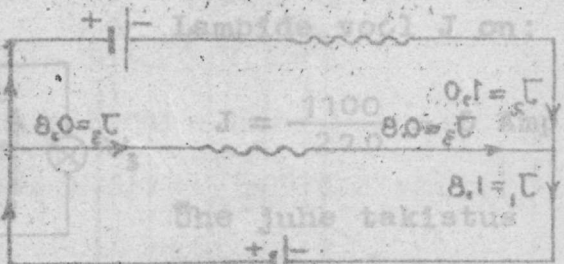
Kirchhofi II seaduse järele on

$$E - Iw - Iw_s = 0$$

$$2 - 4w - 40,05 = 0$$

$$4w = 1,8$$

$$w = 0,45 \Omega$$



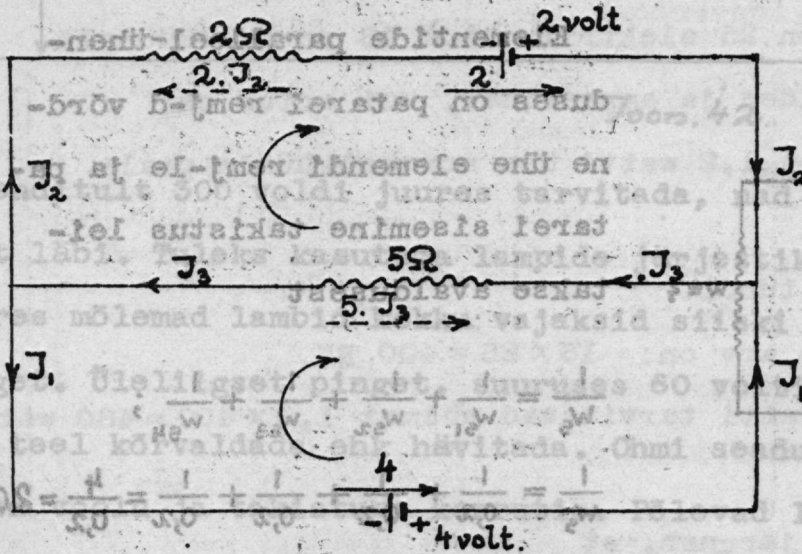
Näide 5. Vask-mähise takistus on 15°C juures 2,5Ω . Kui suur on takistus, kui temperatuur on tõusnud 90°C võrra ja õhutemperatuur on endiselt 15°C.

$$t_1 = 15^\circ \text{C}$$

$$t_2 = t_1 + 90 = 15 + 90 = 105^\circ \text{C}$$

$$W_2 = W_1 \frac{235 + t_2}{235 + t_1} = 2,5 \cdot \frac{235 + 105}{235 + 15} = 3,4 \Omega$$

**Näide 6.** Leida voolujaotus joonisel 44 näidatud lülituses, vooluallikate sisemisi takistusi arvesse võtmata.



Joon. 44.

Esimise Kirchhoffi seaduse järelle on I.  $J_3 = J_1 + J_2$  ja teise Kirchhoffi seaduse järelle II.  $5J_3 - 4 = 0$  III.  $2 - 5J_3 - 2J_2 = 0$

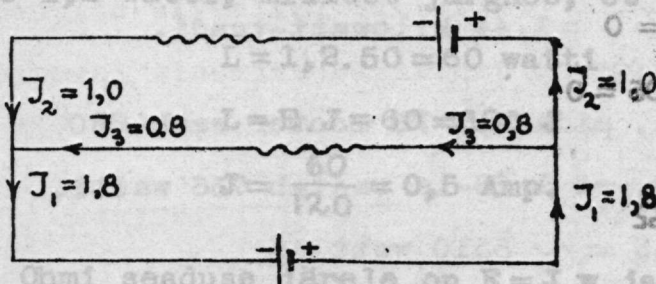
Nendest võrranditest leiame, et:

$$J_1 = 1,8 \text{ Amp.}$$

$$J_2 = -1,0 \text{ "}$$

$$J_3 = +0,8 \text{ "}$$

Lõpulikult voolaksid arvestusest saadud andmete järelle



Joon. 45.

voolud nii kui see joonises 45 on näidatud, kusjuures voolu  $J_2$  siht on oletatud sihile vastupidine.

**Näide 7.** Tarvis on ehitada takistust, mille suurus on

$200\Omega$ . Peale valmistamist selgus, et takistus on  $210\Omega$ . Mis tuleks teha, et saada siiski kogutakistust  $200\Omega$ , ilma et ehitatud takistust ümberehitaksime?

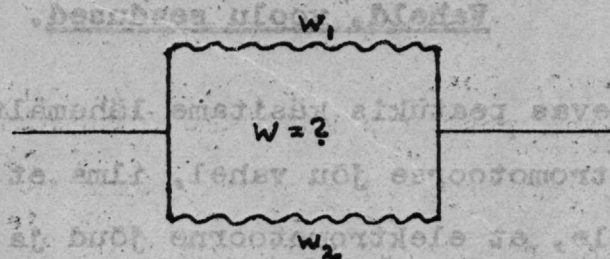
Selleks tuleks ehitatud takistusele  $w_1$  lülida mingisugune takistus  $w_2$  paralleel, et saada nõuetavat üldtakistust  $w$ :



$$w = 200 \Omega$$

$$w_1 = 210 "$$

$$w_2 = ?$$



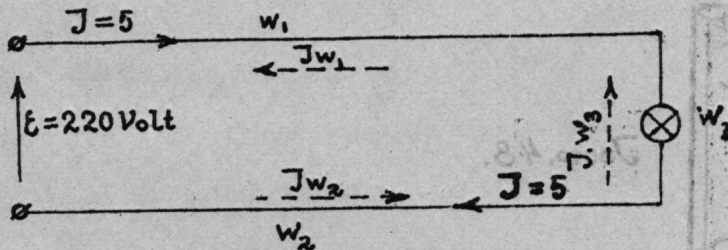
Joon. 46.

$$\frac{1}{w} = \frac{1}{w_1} + \frac{1}{w_2}$$

$$\frac{1}{200} = \frac{1}{210} + \frac{1}{w_2}$$

$$w_2 = 4200 \Omega$$

**Näide 8.** Missuguse pingega põlevad vooluallikast 100 meetri kaugusel olevad elektrilambid, milliste võimetarvitus kokku on 1100 vatti? Vooluallika pinge on 220 volti ja vaskjuhede põiklõige  $q = 6 \text{ mm}^2$ .



Joon. 47.

Lampide vool J on:

$$J = \frac{1100}{220} = 5 \text{ Amp.}$$

Ühe juhe takistus

$$w_1 = \frac{l}{q \cdot \kappa} = \frac{100}{6.57} = 0,294 \Omega$$

Niisuguseid juhesid on kaks ja nendel on võrdsed takistused  $w_1 = w_2$ .

$$220 - J \cdot w_1 - J \cdot w_3 - J \cdot w_2 = 0$$

$$J w_3 = 220 - J (w_1 + w_2) = 220 - J \cdot 2w_1 = 220 - 5 \cdot 2 \cdot 0,294 =$$

$$\sim 217 \text{ volt.}$$

Lampide pinge on 217 volti.

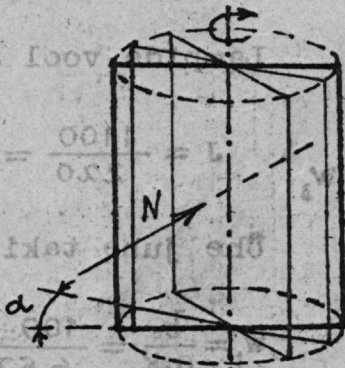
Vaheld. voolu seadused.

Alljärgnevas peatükis käsitame lähemalt vahekorda magneetvälja ja elektromotoorse jõu vahel, ilma et tähelepanu pööraksime asioludele, et elektromotoorne jõud ja viimase poolt väljakutsutav elektri vool tekkivad ainult elektri väljade muutmisel.

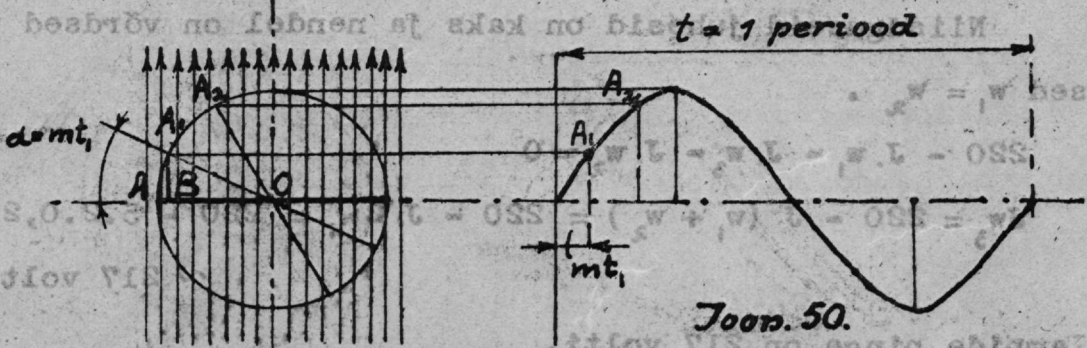
Paigutame traatsilmuse magneetvälja, mille suurust saame vabalt muuta ja tähendame selle magneetvälja tugevust  $N$ -ga, siis on  $dN$  magneetvälja muutumine aja  $dt$  jooksul ja selle tagajärjel sünnitatud elektromotoorne jõud

$$E = - \frac{dN}{dt}$$

Selle asemel, et magneetvälja muuta ja silmist paigal hoida, võime viimase tiirlema panna ja magneetvälja tugevust



Joon. 48.



Joon. 50.

Joon. 49



asendis.

Asend I. Magneet-tungjoonte siht on ~~perpendikulaarne~~ paberipinnale ja silmusepind ühtib paberipinnaga. Niisuguses silmuse asendis on silmusepinda läbistavate magneet-tungjoonte arv maksimum ja selle maksimumi mõõteks olgu  $A_0 = N \max = \bar{N}$ .

$\phi_{\max} = \phi$   
Asend II. Nurga  $\alpha$  võrra keeratud silmusepinda läbistavate tungjoonte mõõteks on silmusepinna projektsiooni suurus OB varem nimetatud paberipinnale ja kolmnurga A, OB järele on

$$OB = A_0 \cos \alpha = A_0 \cos \alpha = \bar{N} \cdot \cos \alpha.$$

Suurus OB on seega magneetvälja tugevus vaatluse all olevas asendis ja meie võime kirjutada, et moment-magneetvälja tugevus

$$\phi = \phi \cos \alpha$$
$$N = \bar{N} \cos \alpha \omega t$$

Arutluste lihtsustamise otstarbel mõõdame nurka  $\alpha$  temale vastava kaarepikkusega. Tiirleva silmuse nurgakiirus  $\omega = 2\pi \frac{n}{60}$ , kus  $n$  = silmuse tiirude arv minutis. Suurus  $m$  on silmuse poolt läbikäidud kaarepikkus. Sündis silmuse keeramine nurga  $\alpha$  võrra aja  $t$  jooksul, siis on sellele nurgale vastav kaarepikkus  $\alpha = 2\pi \cdot \frac{n}{60} \cdot t = m t$  ja meie võime magneetvälja momentsuuruse avaldust kirjutada

$$N = \bar{N} \cdot \cos \alpha = \bar{N} \cdot \cos m \cdot t$$

Elektromotoorne jõud ühele silmusele (keerule) on määratud avaldusega

$$\xi = - \frac{dN}{dt}$$

On meil ühe silmuse ehk keeru asemel  $z$  keeru, siis on

sünnitatud elektromotoorne jõud

$$\mathcal{E} = - \frac{dN}{dt} \cdot z$$

Pannes siia avaldusse momentsuuruse N asemele tema tähenduse, saame

$$\mathcal{E} = - \frac{d(\bar{N} \cos mt)}{dt} \cdot z$$

ja peale differentsimist ning avalduse lihtsustamist leiame, et

$$\mathcal{E} = z \cdot m \cdot \bar{N} \cdot \sin mt.$$

E on maximum, kui  $\sin mt = 1$ , on

$$\bar{\mathcal{E}} = z \cdot m \cdot \bar{N}$$

ja elektromotoorse jõu momentsuurus

$$\mathcal{E} = \bar{\mathcal{E}} \cdot \sin mt.$$

Avaldustest  $N = \bar{N} \cdot \cos mt$  ja  $\mathcal{E} = \bar{\mathcal{E}} \cdot \sin mt$ ; näeme, et mõlemad momentsuurused N ja E muutuvad ühe ja sellesama seaduse järele, sest teatavasti on cosinuse ja sinuse kõverad kujult ühesugused.

Ohmi seaduse järele on vool  $J = \frac{\mathcal{E}}{R}$ ;  $\mathcal{E} = \bar{\mathcal{E}} \sin mt$  ja

$$J = \frac{\bar{\mathcal{E}} \cdot \sin mt}{R}$$

$$J_+ = \frac{\mathcal{E}_+}{R} \quad J_{\text{max}} = \frac{\bar{\mathcal{E}}}{R}$$

Nagu näha, on ka voolul maximum, kui  $\sin mt = 1$ :  $J = \frac{\bar{\mathcal{E}}}{R}$  ja momentvool  $J = \bar{J} \cdot \sin mt$ . Viimane avaldus on õige ainult n.n. „induktsioonivabale koormatusele”. Üldiselt oleks momentvoolu avaldus

$$J = \bar{J} \cdot \sin(mt + \varphi)$$

mille järele voolukõver ei pruugi aja mõttes ühtida elektro-



motoorse jõu kõveraga. Põhjuseid, millistest on tingitud voolukõvera mitteühtimine elektromotoorse jõu kõveraga teatud silmapilgul, õpime edaspidi tundma.

Joonistes 49 ja 50 on näidatud sinuskõvera ehitamiseviis. Kui meie laseme vektoril AO tiirelda punkti O ümber, siis kujutab vektori tipp-punkt A ringjoone, mille raadiuseks on vektori AO suurus. Kanname koordinaatide süsteemi ordinaatidena vektori AO projektsiooni ordinaaditeljele BC ja abstsissiteljele vektori tipppunkti teekonna pikkuse kaare-mõõdus, siis kujutab niimoodi leitud punktide ühendusjoon sinuskõvera. Ringi punktis A<sub>1</sub> on vektor läbikäinud teekonna  $\omega t$ , ja sellele teekonna pikkusele vastab sinuskõveras punkt A<sub>1</sub>, mille ordinaat on vektori A P projektsioon ordinaadi teljele = OL.

Analoogiliselt võime leida sinuskõvera punktisi niipalju kui soovime. Kõikide nende punktide ühendusjoon on sinuskõver. Aeg, mille jooksul vektor ühe tiiru teeb, nimetatakse ühe perioodi kestvuseke. On meil näiteks perioodide arv sekundis 50, siis on ühe perioodi kestvus =  $\frac{a_{eg}}{\text{perioodide arv}} = \frac{1}{50} = 0,02$  sekundit. Ühe perioodi kestvusele vastab nurgamõõdus  $360^\circ$ , sest vektori tipp-punkt kujutab ühe perioodi kestel ringjoone. Perioodide arvu sekundis märgitakse tähega  $\nu$ . Nüüd, kus meil on teada sinus- kui ka cosinus-kõvera ehitamiseviis ja telgede tähendused, võime mõlemaid

$$\Phi = \Phi_0 \cos \omega t \quad \text{ja}$$

$$\mathcal{E} = \bar{\mathcal{E}} \sin \omega t$$

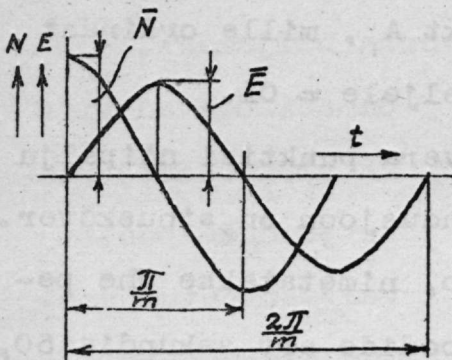
kõveraid võtta ligema vaatluse alla.

Kui  $t = 0$ , siis on  $E = \bar{E} \cdot \sin m \cdot 0 = 0$  ja  $N = \bar{N} \cdot \cos m0 = \bar{N}$

"  $t = \frac{\pi}{m}$  "  $E = \bar{E} \cdot \sin m \cdot \frac{\pi}{m} = 0$  "  $N = \bar{N} \cdot \cos m \frac{\pi}{m} = \bar{N}$

"  $t = \frac{2\pi}{m}$  "  $E = \bar{E} \cdot \sin m \cdot \frac{2\pi}{m} = 0$  "  $N = \bar{N} \cdot \cos m \frac{2\pi}{m} = \bar{N}$

Nagu näha, jääb elektromotoorne jõud magnetväljast vee-  
rand perioodi, s.o.  $90^\circ$  võrra nurgamõõdus, maha, sest kui aeg  
 $t = 0$ , siis on  $N = \bar{N}$  ja  $E = 0$ . Kandes neid suuruseid koordinaati-  
de süsteemi  $E = f(t)$  ja  $N = f(t)$ , saame elektromotoorse jõu ja  
magnetvälja kõverad kui funktsioon ajast (joon.51).



Joon. 51.

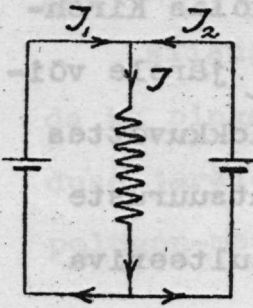
On perioodide arv sekundis  $\nu$ , siis  
on ühe perioodi kestvus  $\frac{1}{\nu}$  sekundit.  
Teiselt poolt nägime et vektori nur-  
gakiirus  $m = \frac{2\pi \cdot n}{60}$ , kus  $n$  on vekto-  
ri tiirude arv minutis ja  $\frac{n}{60}$  - tiir-  
rude arv sekundis, mis sama on kui  
perioodide arv sekundis. Nii on siis  
nurgakiirus  $m = 2\pi \cdot \frac{n}{60} = 2\pi \cdot \nu$  on sel-  
lejärele ühe täisperioodi kestvus  $\frac{1}{\nu} = \frac{2\pi}{m}$ .

### Vaheldvoolude ja pingete liitmine.

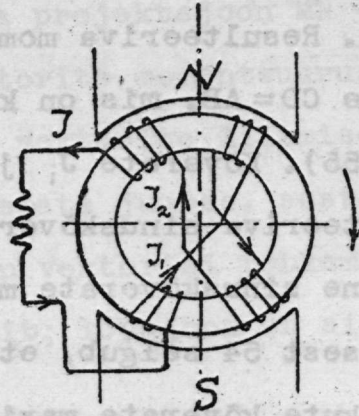
Alalise voolu juures nägime, et mingisuguses harupunktis  
on resulteeriv vool haruvoolude algebraalne summa  $J = J_1 + J_2$   
(joon.52).

Vaheldvoolu juures ei ole see enam nii lihtne, sest va-  
heldvoolusid võime algebraiselt liita ainult siis, kui nende





Joon. 52.

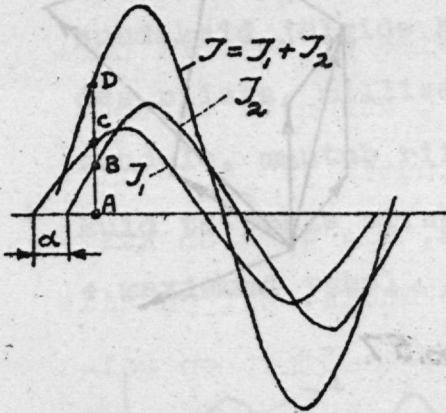


Joon. 53.

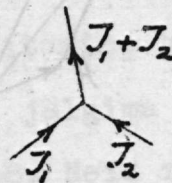
kõverad ajamõttes täies-  
ti ühtivad s.t. kui kõve-  
ratel on nende maximumid  
ja minimumid ühekorraga.  
Niisugusel korral öeldak-  
se, et need voolud on faa-  
sis.

Joonises 53 näidatud üks-  
teise järele ühendatud mä-

hised ei sünnita magnet-tungjoonte sihiga ühesuurust nurka, mis-  
pärast ka nende elektromotoorsete jõudude kõverad ei ühti aja  
mõttes - üks kõver jääb teisest nurga  $\alpha$  võrra hiljemaks.



Joon. 54



Joon. 55.

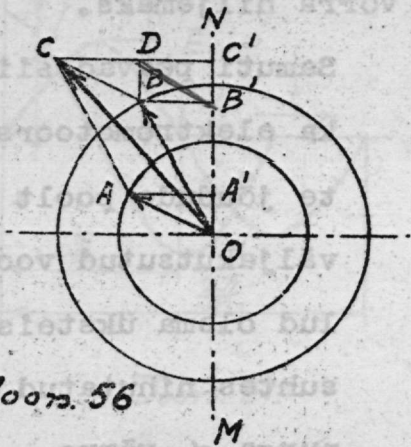
Samuti peavad siis  
ka elektromotoorse-  
te jõudude poolt  
väljakutsutud voo-  
lud olema üksteise  
suhtes nihutatud  
nurga  $\alpha$  võrra.

(joon.54).

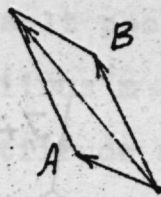
On kindlakstehtud, et ühes juhes voolavad võrdperioodili-  
sed voolud liituvad üheks resulteerivaks vooluks. Alljärgne-  
vas osas püüame selgeks teha, mis moodi sünnib niisuguste voo-  
lude liitmine.

Meil on antud kaks võrdperioodilist sinuskõverat, milli-  
sed ei ole faasis s.t. nad ei ole korraga maximumis ega nullis.

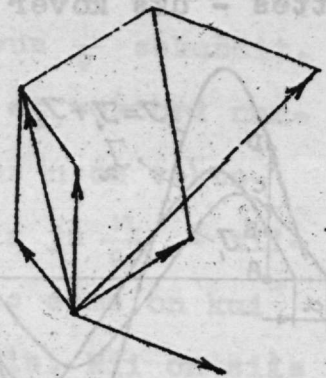
Jgal silmapilgul on kõverate momentsuuruste summa üheks resulteeriva kõvera punktiks. Resulteeriva momentsuuruse AD saame, kui AC-le juure arvame  $CD=AB$ , mis on kooskõlas Kirchhoffi seadusega (joon. 54 ja 55). Kõverate  $J_1$  ja  $J_2$  järele võime punkthaaval ehitada resulteeriva sinuskõvera. Kokkuvõttes oleks resulteeriv kõver võrdne sinuskõverate momentsuuruste algebralisele summale. Joonisest 54 selgub, et resulteeriva kõvera maximum ei võrdu üksikute kõverate maximaalsuuruste algebralisele summale. Võimalik on tõestada, et üksikute sinuskõverate maximaalsuuruste geomeetriline summa võrdub resulteeriva kõvera maximaalsuurusele. Tõestusabinõuna kasutame sinuskõvera ehitamise meetodit. Joon.56.



Joon. 56



Joon. 57



Vektorite OA ja OB projektsjoonid MN-teljale annavad nende üksikute sinuskõverate momentsuurused joonises näidatud silmapilgul suuruses  $A'O$  ja  $OB'$  ja nende summa  $A'O + OB' = OC'$  resulteeriva kõvera momentsuuruse. Summeerides vektorisi AO ka OB geomeetriliselt parallelogrammi seaduse järele, peaks OC võrduma eelpool toodud näite järele resulteeriva kõvera maximaalsuurusele. Kolmnurgad DBC ja  $A'OA$  on sarnased. Kolmnurga külged  $BD = B'C' = OA'$ ;  $\sphericalangle DBC = \sphericalangle A'OA$ ;  $\sphericalangle BDC = \sphericalangle OA'A =$  täisnurgad, järjekordult on  $BC = OA$  ja  $OC$  on vektorite OA ja OB geomeetriline summa.

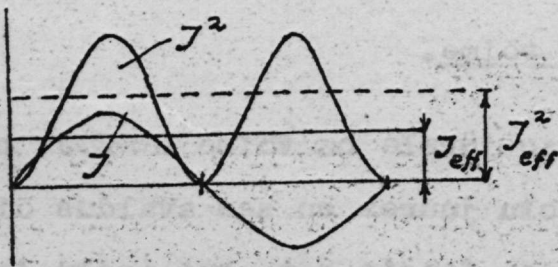


Saadud resulteeriv vektor  $OC$  on resulteeriva sinuskõvera vektoriks, sest tema projektsioon  $MN$  - teljele võrdub igal silmapilgul teiste vektorite momentsuuruste summale.

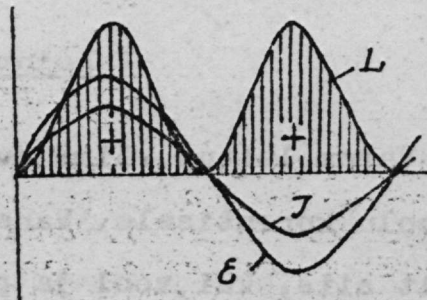
Niisugust vektorite liitmise meetodit võib muidugi kasutada ka pingekõverate juures, sest viimased muutuvad ka sinusseaduse järele. On vektorisi rohkem kui kaks, siis tarvitatakse polügon-meetodit; lõpujoon on siis resulteerivaks vektoriks.

### Vaheldvoolu efektiivsuurused.

Leitud vaheldvoolu momentpingesid ja -voolusid ei ole võimalik otsekohe mõõta, sest puuduvad mõõduriistad, milliste osutise väljalöök oleks proportsionaalne voolule, s.t. millised suudaksid jälgida kõiki voolu sihi ja suuruse muutumisi. Ehitades riista, millise osutise väljalöök on proportsionaalne voolu ruudule, muutub riista näitamine kül rippumatuks voolu sihist, kuid ta peaks siiski veel jälgima ruutvoolu muutumisi nulli ja + maximumi vahel. Joon. 58. Neid ruutvoolu muutumisi ei suuda



Joon. 58.



Joon. 59.

mõõduriistad inertsuse tõttu jälgida ja nad näitavad mingisugust teist keskmist ruutvoolu. Meie teame, et võime on voolu ruudu ja takistuse korrutis ja et ruutvoolu kõver on ühtlasi

ka võime kõveraks, mõõdetud ainult teistsuguses mõõtes. Suuruse poolest igal silmapilgul muutuva ruutvoolu poolt ühe perioodi kestel tehtud tööd võib teha ka mingisugune keskmine ruutvool, kusjuures viimase suurus oleks püsiv. Niimoodi saaksime meie mingisuguse keskmise ruutvoolu, mida riistad tegelikult mõõdavad, kuid riistade skaala on ehitatud vastavalt keskmisele voolule. Niisugust keskmist voolu nimetatakse effektiivvooluks  $J_{\text{eff}}$  ja tema suuruse leiame avaldusest

$$J_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{t} \cdot \bar{J}^2 \int_0^t \sin^2 \omega t \cdot dt}$$

kus  $t$  on ühe perioodi kestvus. Avalduse lahendamisel leiame, et viiekümne perioodilise vaheldvoolu efektiivvool  $J_{\text{eff}} = \frac{\bar{J}}{\sqrt{2}} = 0,707 \bar{J}$ .

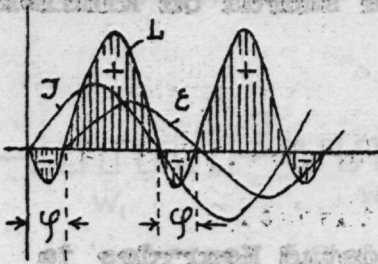
Analoogiliselt võime leida efektiivpinge  $E_{\text{eff}} = \frac{\bar{E}}{\sqrt{2}} = 0,707 \bar{E}$

Effektiivvool ja -pinge erinevad nende tippsuurustest  $\bar{E}$  ja  $\bar{J}$  ainult konstantsuuruse 0,707 poolest, nii et efektiivsuuruste geomeetriline liitmine peab ka õige olema.

### Vaheldvoolu võime.

Varem leitud võime avalduse järele on võime  $L = E \cdot J$  pinge ja voolu korrutisele. Vaheldvoolu juures on see avaldus õige ainult siis, kui vool ja pinge on faasis s.t. kui voolu ja pinge maksimumid ja nullid on mõlematel korraga. Siis on  $L = E_{\text{eff}} \cdot J_{\text{eff}}$  ja võime kõver on alati positiivne, sest momentvoolu ja pinge korrutis on igal silmapilgul positiivne  $(-E)(-J) = +L$  kus  $E$  ja  $J$  on momentsuurused.





Joon. 60.

On aga vool ja pinge üksteisest nihutatud nurga  $\varphi$  võrra, siis muutub osa võimet negatiivseks ja resulteeriv võime ei saa siis enam võrduda efektiiv-voolu ja -pinge korrutisele, vaid peab väiksem olema. Võimalik on tões-

tada, et vaheldvoolu võime on proportsionaalne efektiiv-voolu ja -pinge korrutisele ning voolu ja pinge vahelise nihknurga cosinusele ( $\cos \varphi$ )

$$L = \varepsilon_{\text{eff}} \cdot J_{\text{eff}} \cdot \cos \varphi.$$

### Omainduktsioon.

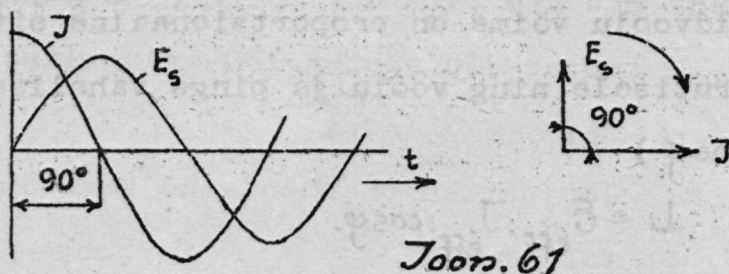
Ülal tehtud katsetest nägime, et kui juhet elektri vool läbib, siis tekivad juhe ümber magnetväljad. Muutub juhes voolav elektri vool mingisuguse seaduse, näiteks sinus-seaduse, järele, siis muutuvad ka juhet ümbritsevad magnetväljad sama seaduse järele. Edasi nägime, et juhet ümbritseb magnetväli ainult siis, kui viimases voolab vool. On vool maximumis, siis on ka elektri juhet ümbritsev magnetväli maximumis ja voolu nullile vastab ka magnetvälja null. Seega peavad vool ja viimase poolt väljakutsutud magnetväli faasis olema.

Teiselt poolt teame, et elektromotoorne jõud sünnib magnetvälja muutumise tagajärjel ja sünnitatud elektromotoorne jõud jälgib magnetvälja  $90^\circ$  võrra. Voolab juhes vaheldvool, siis on juhet ümbritsev magnetväli ka vahelduv ja viimane kutsub juhes esile elektromotoorse jõu, mida nimetatakse omai-

duktsiooni elektromotoorseks jõuks ja mille suurus on kindlaks määratud avaldusega

$$\mathcal{E}_s = -L \cdot \frac{dJ}{dt}$$

kusjuures  $L$  on omainduktsiooni-tegur, mõõdetud Henrydes ja tema suurus oleneb juhede vastastikusest asetusest.



Joon. 61

Voolab juhes alaline vool, siis tekkivad juhe ümber ka magnetväljad, mis aga suuruselt konstantsed on ja mis juhes eneses mitte mingisugust elektromotoorset jõudu esile ei kut-su.

Joonisel 61 on graafiliselt kujutatud omainduktsiooni elektromotoorne jõud  $\mathcal{E}_s$  ja vool  $J$ . Eelpool nägime, et vool  $J$  on magnetvooluga  $N$  faasis, nii et meie võime öelda, et omainduktsiooni elektromotoorne jõud  $\mathcal{E}_s$  jälgib magnetvoolule  $90^\circ$  võrra. Jseäranis selgesti paistab see silma vektordiagrammist joon 61. Käsitletud mõistete selgitamiseks toome alljärgnevad näited.

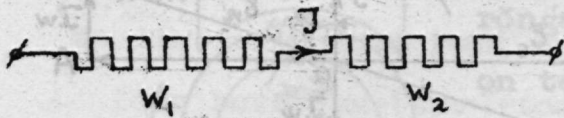
1. Ehitada diagramm voolule ja pingele, kui kaks oomilist takistust on ühendatud järjestiku. Oomilistel takistustel on omainduktsiooni tegur  $L=0$ .

Väljatoodud seaduste järele oleks  $E = \bar{E} \sin. \omega t.$  ja

$J = \bar{J} \sin. \omega t.$  ja voolu ning pinge kõverad on faasis.



Takistuste külge rakendatud elektromotoorne jõud peab



Joon. 62

võrduma vastuelektromotoorse-  
te jõudude algebralisele sum-  
male  $J_{W_1} + J_{W_2} = E_n$ . Vool ja  
pinge on faasis, nii et vastu-  
elektromotoorne jõud on vastu-

sihitud, ehk mis see sama on, ta on nihutatud elektromo-  
toorse jõu suhtes 180-kraadilise nurga võr-  
ra. joon. 62 ja 63.



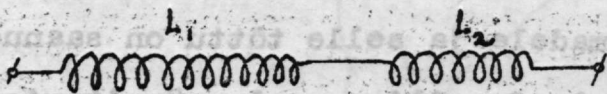
Joon. 63.

2. Järjestiku on ühendatud kaks induktiivset  
takistust.

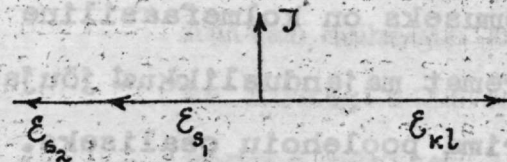
Joonisest 65 on selge kuidas pingete vek-  
torid on sihitud.

3. Tegelikus elus on harilikult oomiline ja  
induktiivne takistus koos, mispärast vaa-

tame, milliseks osutub vektordiagramm, kui meil induk-



Joon. 64.



Joon. 65.

tsioon ja oomiline takistus on järjestiku ühendatud.

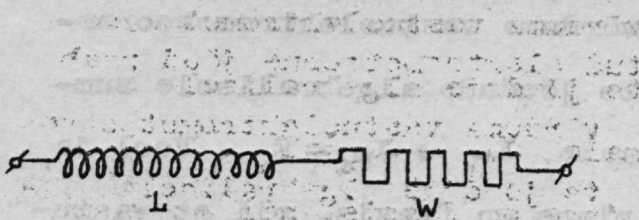
Viimases näites puutume kokku uue mõistega n.n. vaheld-  
voolu takistusega. Võimalik on tõestada, et oma induk-

tsiooni elektromotoorne jõud  $E_s = 2\pi \nu L J$ . Kolmnurgas

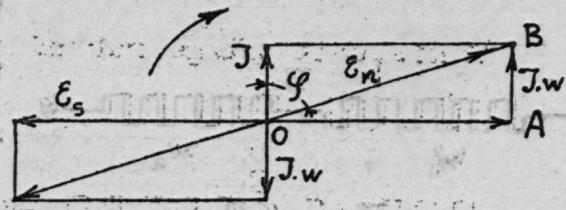
OAB on  $OB = E_n = J\sqrt{W^2 + (2\pi \nu L)^2}$ , kus juures avaldust

<sup>\*)</sup> Joon. 66 ja 67.

$\sqrt{w^2 + (2\pi vL)^2} = \mathcal{N}$  nimetame vaheldvoolu takistuseks ja



Joon. 66



Joon. 67

oomi seadus vaheldvoolule oleks siis  $E = J.\mathcal{N}$ .

Kolmefaasiline vool.

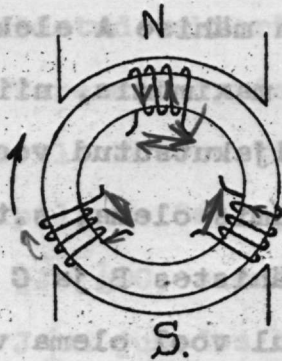
Kirjeldatud vaheldvool leiab tegelikus elus vähe tarvitamist. Ainukene ala, kus teda peasjalikult tarvitatakse, on kaugemaa elektriraudteed, sest seal on võimalus kasulikult tarvitada n.n. kollektormootorisi, mis oma omaduste ja ehituse poolest vastavad raudtee nõuetele. Tänapäeval on tarvitusel peasjalikult kolmefaasiline vool.

Vaheldvoolu mähiste mitmesuguste paigutuste ja ühenduste tulemuseks on kolmefaasiline voolusüsteem, mis võimaldab kõige suuremat majanduslikku jõu jaamadele ja selle tõttu on saanud suurima poolehoidu osaliseks. Kolmefaasilise voolu sünnitamiseks võetakse kolm  $120^\circ$ -lise nurga võrra üksteise suhtes nihutatud mähist, milliseid on võimalik isekeskis kahel viisil ühendada, luues kas täht- ehk kolmnurk- lülituse.

Tähtlülitus.

Joonisel 68 on näidatud kolm mähist, mis on üksteise suhtes nihutatud  $120^\circ$ -lise nurga võrra. Mähised on võrdsete keeru-





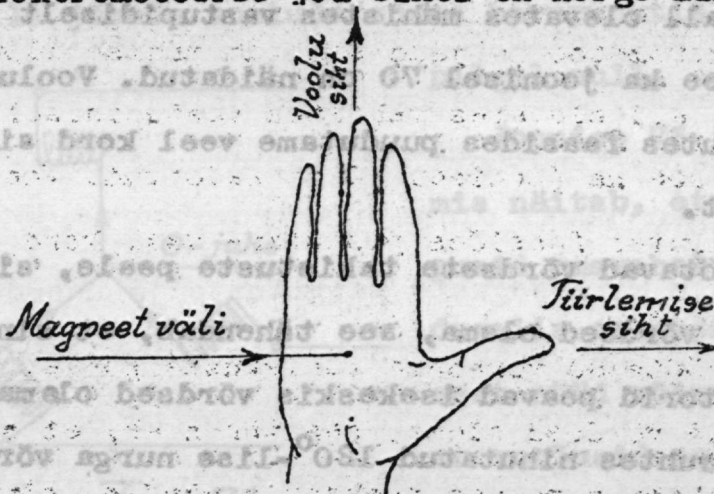
Joon. 68.

de arvuga ja nad on ühes sihis mähitud rõngale, mis tiirleb magnetväljas. Meil on teada, et niisugustes mähistes induktseeruvad sinuskujulised elektromotoorsed jõud. Kui meil on mähiste algused ja lõpud märgitud, siis on joonisel 68 näidatud magnetnabade asetuse ja rõnga tiirlemise

sihi juures põhjanaba all olevas mähises elektromotoorne jõud sihitud lõpult algusesse ja lõunanaba all olevates mähistes alguselt lõppu, see on vastupidiselt.

Elektromotoorse jõu sihti on kerge kindlaks määrata n.n. pare-

ma käe reegli järele:

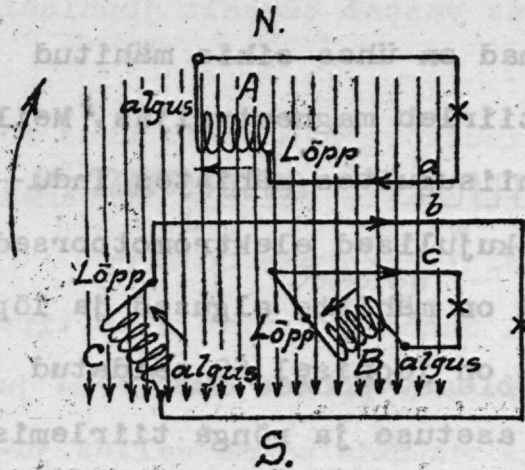


kui meie hoia parema käe nii, et magneettungjooned on sihitud peopesa ja sama käe põial näitab mähiste tiirlemise sihti, siis näitavad sõrmed mähises indutseeritud elektromotoorse

Joon. 69.

jõu sihti. (joon.69).

Meil on antud kolm üksteisest 120°-lise nurga võrra nihutatud mähist ABC võrdsete keerude arvuga ja ühesuguse mähkimise sihiga. Kõik need mähised on ühendatud võrdsete takistustega, järjekult peaksid nende mähiste tippvoolud võrdsed olema. Vaatame kuidas need kolm iseseisvat voolu suhtuvad mingisugusel



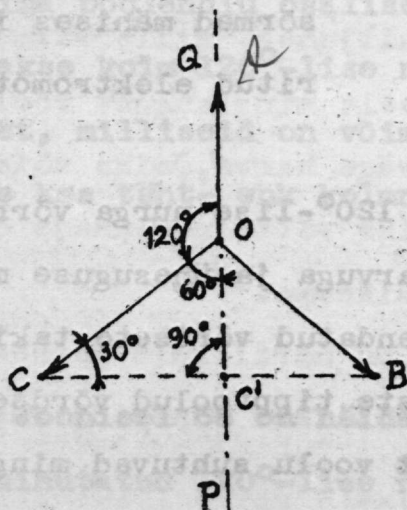
S.

Joon. 70.

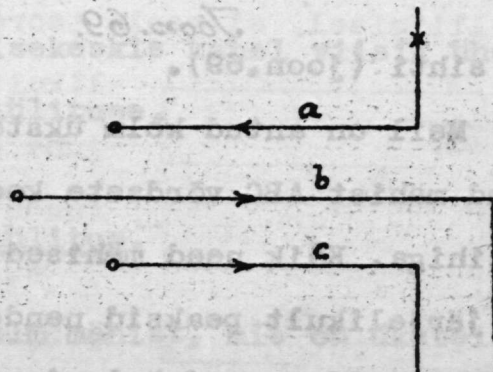
algutsutud. Peatüki alguses tähendasime juba, et põhjanaba all olevas mähises on elektromotoorne jõud sihitud mähise lõpult algusesse ja lõunanaba all olevates mähistes vastupidiselt - alguselt lõppu, nii kui see ka joonisel 70 on näidatud. Voolu suuruste määramiseks üksikutes faasides puudutame veel kord sinus-kõverate konstrueerimist.

Et meie mähised töötavad võrdsete takistuste peale, siis peavad nende tippvoolud võrdsed olema, see tähendab, et sinus-kõveraid sünnitavad vektorid peavad isekeesis võrdsed olema, ainult nad on üksteise suhtes nihutatud  $120^{\circ}$ -lise nurga võrra.

silmapiilgul. Joonisel näidatud silmapilgul on mähise A elektromotoorne jõud maximumis, nii et tema poolt väljakutsutud vool peab ka maximumis olema, s.t. tippvool olema. Mähistes B ja C peab sel silmapilgul vool olema väiksem, sest mähised ei ole otse naba all, kus tippvool saaks väl-



Joon. 71.



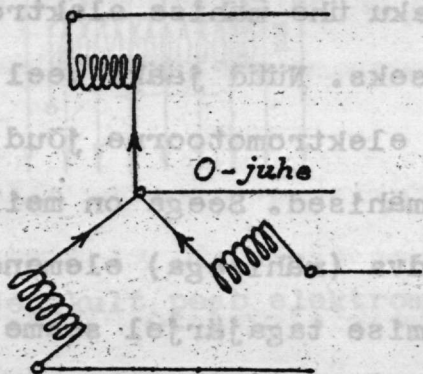
Joon. 72.



Joonisel 70 näidatud mähiste paigutus vastab täpselt joonisel 71 näidatud vektorite asetusele.

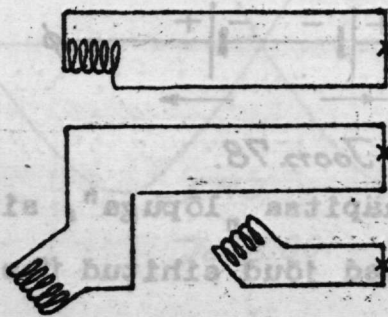
Varemalt õppisime tundma, et sinuskõvera momentsuurus võrdub selle kõvera tippsuuruse projektsioonile teljele PQ samal silmapilgul. Sellejärel oleks  $OA = \bar{J}$ . Kolmnurgas  $CC'O$  on  $OC' = \frac{1}{2}\bar{J} = \frac{1}{2}OC$ , samuti on ka  $OC' = \frac{1}{2}OB$ . Juhes a voolab siis tippvool  $J$  ja juhedes b ning c pool tippvoolust. Kui võtaksime juhed a, b ja c asemel ühe, siis oleks voolude summa selles juhes null.

Ühendame nüüd nende mähiste lõpud isekeskis ja vaatame kas niisuguses ühenduses on Kirchhoffi esimene seadus täidetud, mille järel voolude summa harupunktis peab olema igal silmapilgul null.



Joon. 73.

juhe liitmisel, ei voola teoreetiliselt mingisugust voolu, tege-

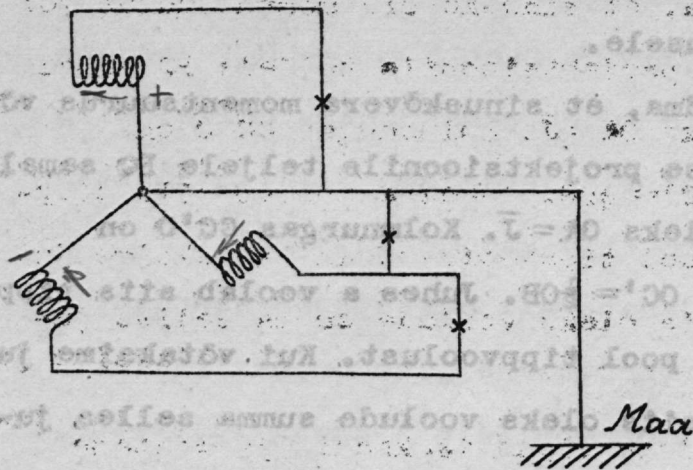


Joon. 74.

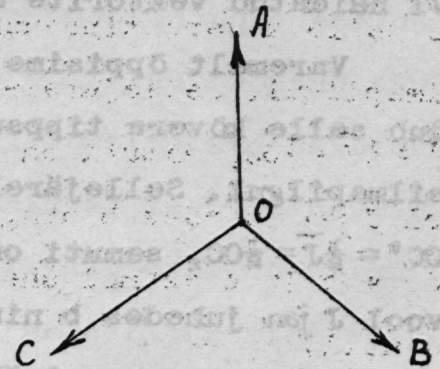
Joonise 73 järel on  $\bar{J} = \frac{1}{2}\bar{J} + \frac{1}{2}\bar{J}$ , mis näitab, et meie võime mähiste lõpusid omavahel ühendada. Niisugune ühendusviis on majandusliselt väga kasulik, sest nüüd võime kuue juhe asemel neid sama voolusid nelja juhega juhtida. Nõnda nimetatud nulljuhes, mille saime kolme juhe liitmisel, ei voola teoreetiliselt mingisugust voolu, tegelikult aga väga harva, miks võime nulljuhe põiklõike võtta peajuhede omast tunduvalt väiksema.

Nulljuhe on harilikult maandatud, põhjustel, millised edaspidi käsitamist leiavad.

Edasi käsitame pingete suhtumisi ehk elektromotoorseid



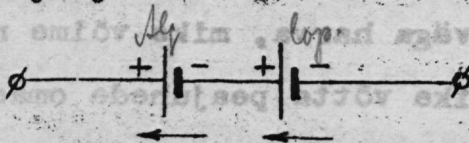
Joon. 75.



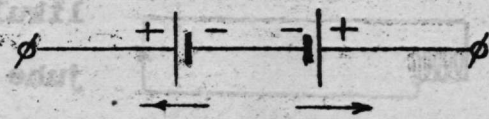
Joon. 76.

jõudusid kolmefaasilises vaheldvoolu süsteemis. Jgas  $120^\circ$  võrra nihutatud mähises saab indutseeritud võrdne elektromotoorne jõud, sest nende mähiste keerude arvud on võrdsed.

Faasi OA elektromotoorne jõud vastaku ühe mähise elektromotoorsele jõule ja olgu tema tippsuuruseks. Nüüd jääks veel üle kindlaks teha, kui suur peaks olema elektromotoorne jõud AC, millise annavad mõlemad ühte ühendatud mähised. Seega on meil tegemist kahe elektromotoorset jõudu andva (mähisega) elemendiga, milliste elektromotoorsete jõudude liitmise tagajärjel saame elektromotoorse jõu AC. Meie võime neid elementisi (mähiseid) võrrelda alalise voolu elementidega, milliseid võime ühendada kas järjestiku ehk vastamisi. Märgive selles võrdluses alalise



Joon. 77.



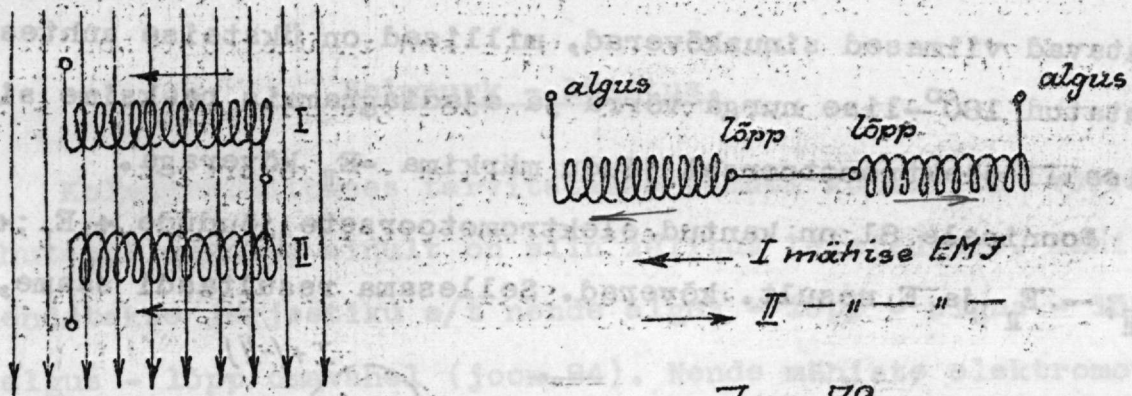
Joon. 78.

voolu elemendi +näpitsa "algusega" ja -näpitsa "lõpuga", siis on joonise 77 järele kõik elektromotoorsed jõud sihitud ühele poole ja resulteeriv elektromotoorne jõud võrdub üksikute elek-



tromotoorsete jõudude summale. Ühendades neid elementisi vastamisi, näeme, et resulteeriv elektromotoorne jõud on nende elementide elektromotoorsete jõudude vahe  $E = E_1 - E_2$ . Vaheldvoolude ühendamisel tähe järele tuleb sama nähtus esile. Siin ühendatakse kaks elementi (mähist) vastamisi. Esialgu käsitame ainult kahte faasi ja üldistame siis saadud tulemusi.

Antud on kaks mähist põhjanaba all niisuguses asendis, millises neis sünnitatud elektromotoorne jõud on maximumis. Joonisest selgub, et mähis II on mähisele I vastu lülitatud,

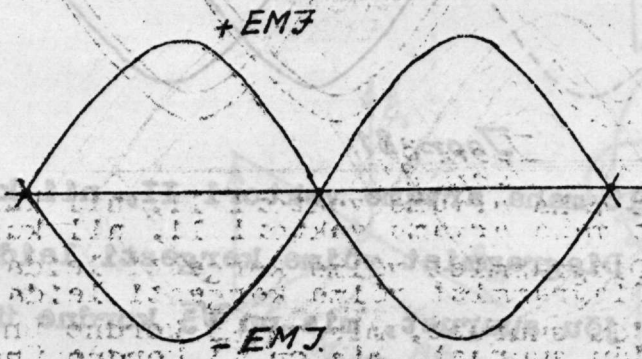


Joon. 79.

järjekult peab elektromotoorsete jõudude summa null olema

( $E_I - E_{II} = 0$ ) kui mähiste elektromotoorsed jõud on võrdsed. Seega on siis võimalik, et kaks ühes-

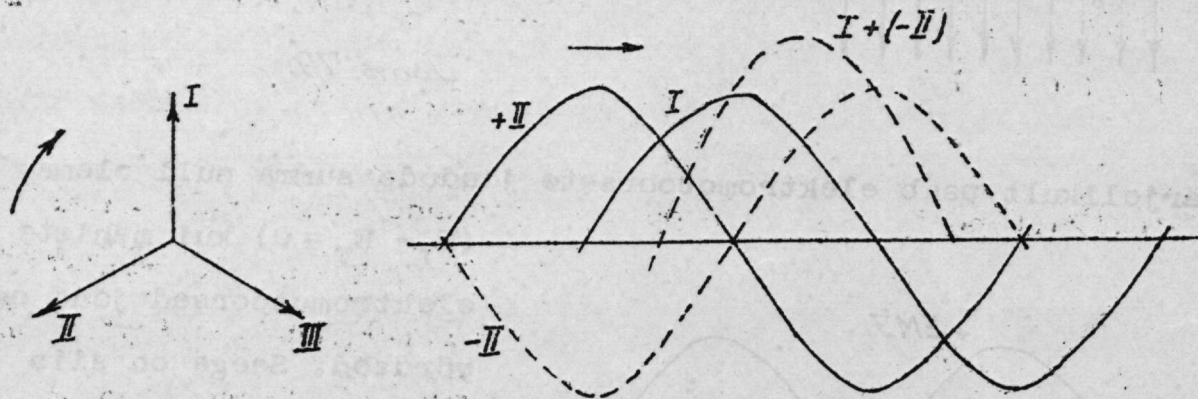
ja-sellessamas asendis olevat mähist võivad anda positiivset ja negatiivset elektromotoorset jõudu,



Joon. 80.

milliste ajadiagrammist (joon.80) näeme, et mähise II vektor on mähise I vektori suhtes nihutatud  $180^\circ$ -lise nurga võrra. Kui võtta ühe mähise (I) elektromotoorse jõu siht mingisuguses asendis sellesamas süsteemis oleva teise mähise (II) suhtes positiivseks, siis on teise mähise (II) elektromotoorne jõud mähiste süsteemis alati negatiivse sihiga. Seda saame ühendades antud mähiste lõppusid omavahel. Seega on meil antud süsteemis tegemist kahe mähisega, milliste muutlikud elektromotoorsed jõud mõjuvad süsteemis vastamisi. Lastes niisuguse mähistesüsteemi elektromotoorsete jõudude vektorisi tiirelda, kujutavad viimased sinuskõverad, millised on üksteise suhtes nihutatud  $180^\circ$ -lise nurga võrra ja ajadiagrammis peaksime siis mähise II elektromotoorset jõudu märkima  $-E_{II}$  kõveraga.

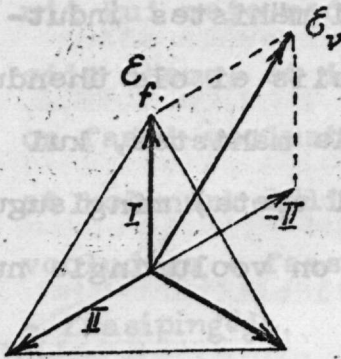
Joonisele 81 on kantud elektromotoorsete jõudude  $+E_I$ ;  $+E_{II}$ ;  $-E_{II}$  ja  $E$  result. kõverad. Sellesama resultaadi saame,



Joon. 81.

kui vektorid I geomeetriliselt maha arvame vektori II, nii kui see joonisel 82 on näidatud. Diagrammist võime kergesti leida resulteeriva elektromotoorse jõu suurust, mis on  $\sqrt{3}$  kordne ühe faasi elektromotoorne jõud  $= E_v = \sqrt{3} E'$  ja seda resulteerivat





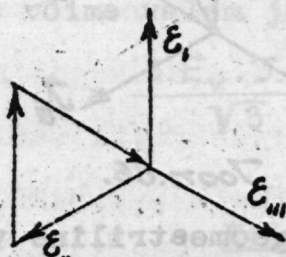
Joon. 82.

elektromotoorset jõudu nimetame edaspidi liitpingeks. Kokkuvõttes leiame, et tähtühendus võimaldab meil kaheksuguse pinge - faasi ja liitpinge - saamist, kusjuures viimane tõttab faasipingele  $30^\circ$  võrra ette.

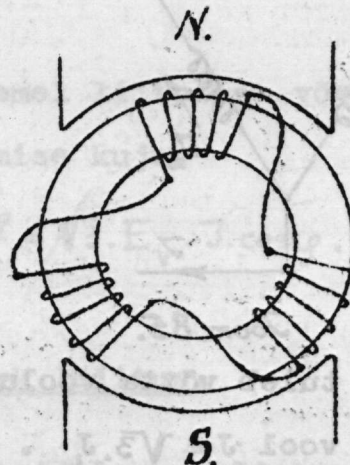
Täht ühendust tarvitatakse ka ilma nulljuheta, kuid siis on liitpingeks tarvituspinge (Tallinnas; liitpinge 230 volt).

### Kolmnurk - lülitus.

Kolmnurklülituses tarvitatakse samuti kolme  $120^\circ$  võrra nihutatud mähist, ainult on siin lülitus teistsugune. Mähised ühendatakse järjestiku s/t nende algus - lõpp - algus - lõpp - algus - lõpp omavahel (joon.84). Nende mähiste elektromotoorseid jõudusid, millised mähistesüsteemi suhtes kõik ühes sihis mõjuvad, võime geomeetriliselt liita ja joonisel 83 näeme, et



Joon. 83.

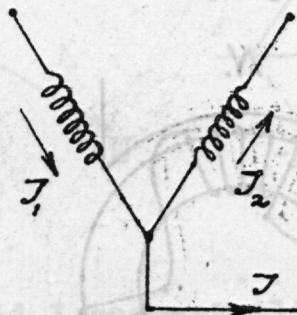


Joon. 84.

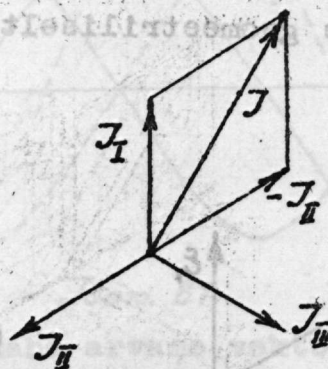
liitmise tulemuseks on kinnine kolmnurk. Kui mähistes indutseeritud elektromotoorsed jõud on võrdsed, siis ei ole ühenduspunktides mingisugust pinget. Samuti ei voola mähistes, kui masin tühjalt jookseb (kui masinalt voolu ei võeta) mingisugust voolu, sest elektromotoorsete jõudude summa on vooluringis null.

### Voolud kolmnurklülituses.

Nagu tähendatud ühendatakse selle lülituse juures mähised ehk elektromotoorset jõudu sünnitavad elemendid järjestiku. Tähtühenduse juures õppisime tundma elektromotoorsete jõudude ja voolude geomeetrilist liitmist mähiste süsteemis. Kui vaadelda kahte kõrvuseisvat mähist kolmnurklülituses, siis näeme, et mõlemates mähistes on voolud sihitud süsteemi suhtes ühele poole. Tahaksime nende mähiste vahelt voolu  $J$  võtta, siis on meile selge, et võetav vool  $J$  peaks olema mähistes voolavate voolude vahe  $J = J_1 - J_2$  (joon.85). Et meil on tegemist vaheld-



Joon. 85.



Joon. 86.

vooludega, siis tuleb võtta voolude geomeetiline vahe. Joonise 86 järele on vool  $J = \sqrt{3} \cdot J_1$ . Joonistades neid mähiseid kolmnurga järele ja tähendades nendes voolavate voolude sihid,



nii kui meie seda geometrilise arvestamise juures tarvitasime siis näeme, et igast mähiste sõlmpunktist võetakse voolu, mis on faasi voolust  $\sqrt{3}$  korda suurem. Kokkuvõttes olgu tähendatud, et kolmnurk lülituses on meil tegemist kahesuguse suurusega vooludega - faasi ja liitvoolu - ning üheaainsama pingega - faasipingega.

Kolmefaasilise voolu võime.

Tähtlülitus.

Tähtlülituses võrdub kolmefaasilise voolu võime üksikute faaside võimete summale

$$L = E_f^I \cdot J_1 + E_f^{II} \cdot J_2 + E_f^{III} \cdot J_3$$

ja kui faaside nihkumine voolu ja pinge vahel esile tuleb, siis on võime

$$L = E_f^I \cdot J_1 \cos \varphi + E_f^{II} \cdot J_2 \cos \varphi + E_f^{III} \cdot J_3 \cos \varphi$$

Kui faasid on ühtlaselt koormatud, siis muutub võime-avaldus palju lihtsamaks ja

$$L = 3 \cdot E_f \cdot J \cdot \cos \varphi$$

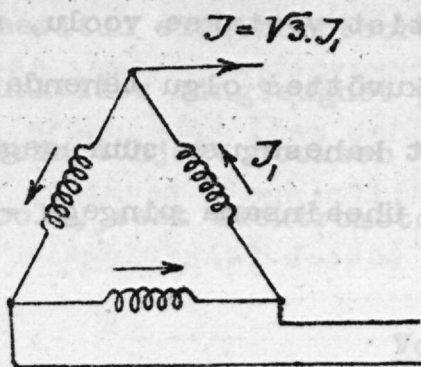
On meil faasipinge asemel liitpinge võetud  $E_v = \sqrt{3} \cdot E_f$ ,

siis omab võime valem järgmise kuju:

$$L = \frac{3 \cdot E_v \cdot J \cdot \cos \varphi}{\sqrt{3}} = \sqrt{3} \cdot E_v \cdot J \cdot \cos \varphi = 1,73 E_v J \cos \varphi$$

Kolmnurk lülitus.

Võrdselt koormatud faasidele on võime samuti  $L = 3 E_f \cdot J \cdot \cos \varphi$ ,



Joon. 87.

kus aga faasi voolu asemele võime võtta liitvoolu  $J_v = \sqrt{3} \cdot J_f = 1,73 \cdot J_f$  ja võime

$$L = 1,73 \cdot E_f \cdot J_v \cdot \cos \varphi$$

Võrreldes võime avaldusi täht- ja kolmnurklülitustes, näeme, et meil on vaja üldvõime saamiseks võtta kahe juhe vaheline pinge ja juhes

voolav vool, vaatamata mähiste lülituse peale, nii et meie võime võimeavalduse kirjutada kolmefaasilise ehk keerdvoolu jaoks üldkujul

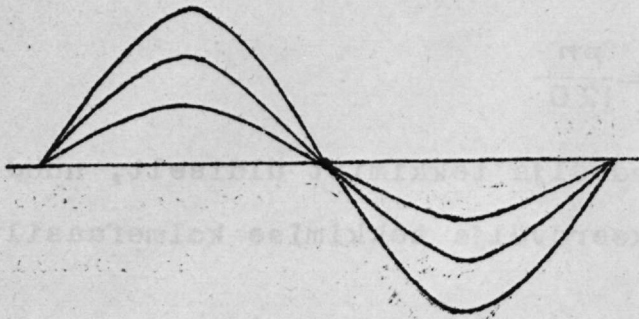
$$N = 1,73 \cdot E \cdot J \cdot \cos \varphi.$$

### Keerdväli.

Keerdvälja kirjeldajana ja tema mõjutusviisi ülesleidjana peame nimetama Ferrarist. Tema poolt ülesleitud keerdvälja põhimõtte järele ehitatakse nüüd palju aparate ja mõõduriistu, näiteks asünkroonmootoreid, paljuid voolumõõtjate tüüpe ja mõõduriistu.

Keerdvälja põhimõiste selgituseks käsitame mitmefaasilist kohtkindlat vaheldvoolu mähist, millest sinuskujulist vaheldvoolu läbi saadame, siis indutseerub igas faasi mähises ruumiliselt kohtkindel, kuid suuruselt muutuv sinuskujuline vahelduv magneetväli. Vahelduva magneetvälja maksimum oleneb väljastpoolt mähisesse saadetud vaheldvoolu moment-suurusest, kusjuures välja amplituud alatas muutub (joon.88). On meil niisugu-

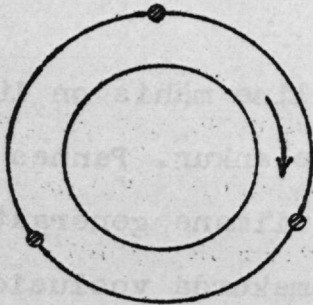




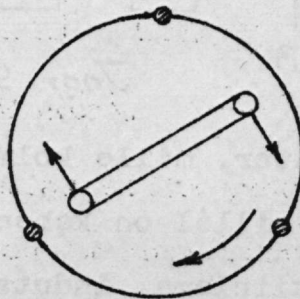
Joon. 88.

seid faasi mähiseid mi-  
tu, siis annavad viima-  
sed koos ühe resulteeri-  
va välja, milline ruumi-  
liselt ei ole enam koht-  
kindel, vaid liikuv. Nii-  
suguseid väljasid nime-  
tatakse keerdväljadeks.

Paigutades faaside mähiseid tsilindrile, siis hakkab keerd-  
väli tiirlema, kuna mähised ise sellejuures jäävad muidugi pai-  
gale. On mähiseid kandvas tsilindris veel mõni teine rauast tsi-  
linder, siis muutub viimane keerdvälja mõjul magneetiliseks ja  
ta saab keerdväljast kaasavõetud (joon.89).



Joon. 89.



Joon. 90.

rauast tsilindri ase-  
mele otsesides oleva  
silmuse (joon.90), siis  
saavad silmuses keerd-  
välja liikumise tõttu  
voolud indutseeritud.  
Need voolud kutsuvad  
elektrodünaamilistel

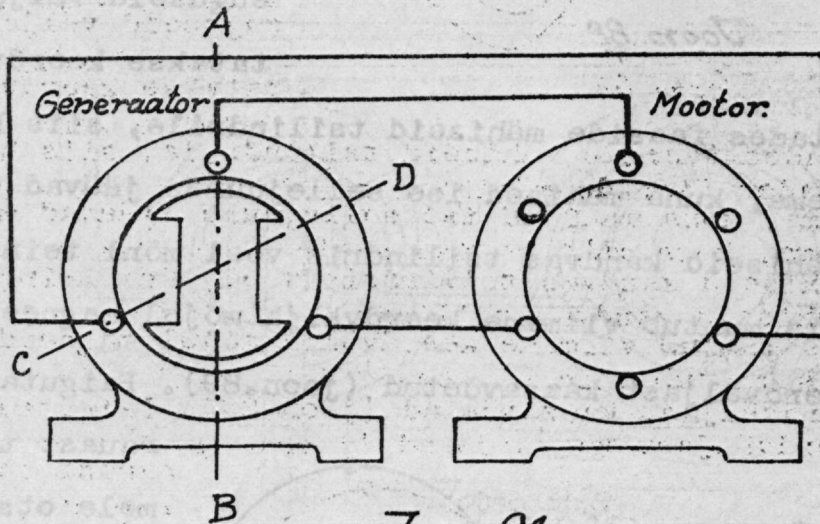
põhjustel keerdmomenti esile, mille tagajärjel hakkab silmus  
tiirlema (vaata peatükk „Elektrodünaamika ja asünkroon mootorid“).

Paigutades tsilindrile enam kui üks kolmefaasiline vaheld-  
voolu mähis, siis saame ... mitu keerdvälja, kuid need keerd-  
väljad liituvad muidugi jälle üheks resulteerivaks keerdväljaks.

On vaheldvoolu perioodide arv  $\nu$ , nabade arv  $p$  ja tiirude arv minutis  $n$ , siis on meil

$$\nu = p \frac{n}{60} = \frac{pn}{120}$$

Senini käsitasime keerdvälja tekkimist üldiselt, nüüd võtame ligema vaatluse alla keerdvälja tekkimise kolmefaasilises mähises.

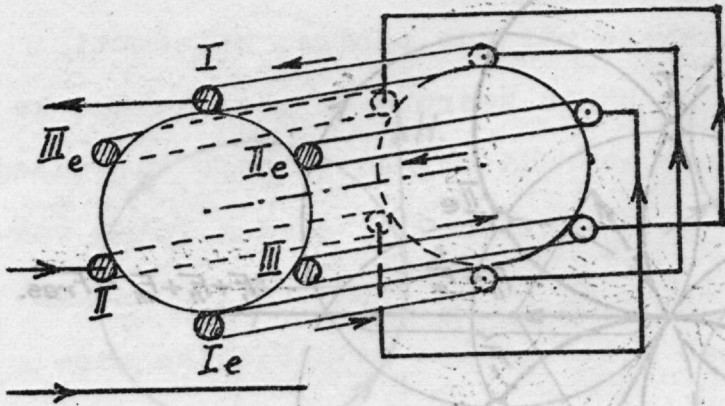


Joon. 91.

Antud on generaator, mille kolmefaasiline mähis on lülitatud tähe järele ja millel on kaheabaline ankur. Pannes seda kaheabalist ankurt tiirlema, indutseerib viimane generaatori mähistes elektromotoorsed jõud, millised omakorda voolusid esile kutsuvad, kui generaatori mähiseid ühendada üle takistuste. Niisuguste takistustena võib lugeda joonisel 91 näidatud mootori mähiseid. Eelpool sai näidatud, et kui juhes voolab elektri vool, siis viimane kutsub juhe ümber esile magnetvälja mingisuguse suuruse ja sihiga. Meie ülesandeks olgu uurida ja kindlaks teha nende väljade mõju.

Joonisel 92 on tugevate selgete joontega välja joonistatud





Joon. 92.

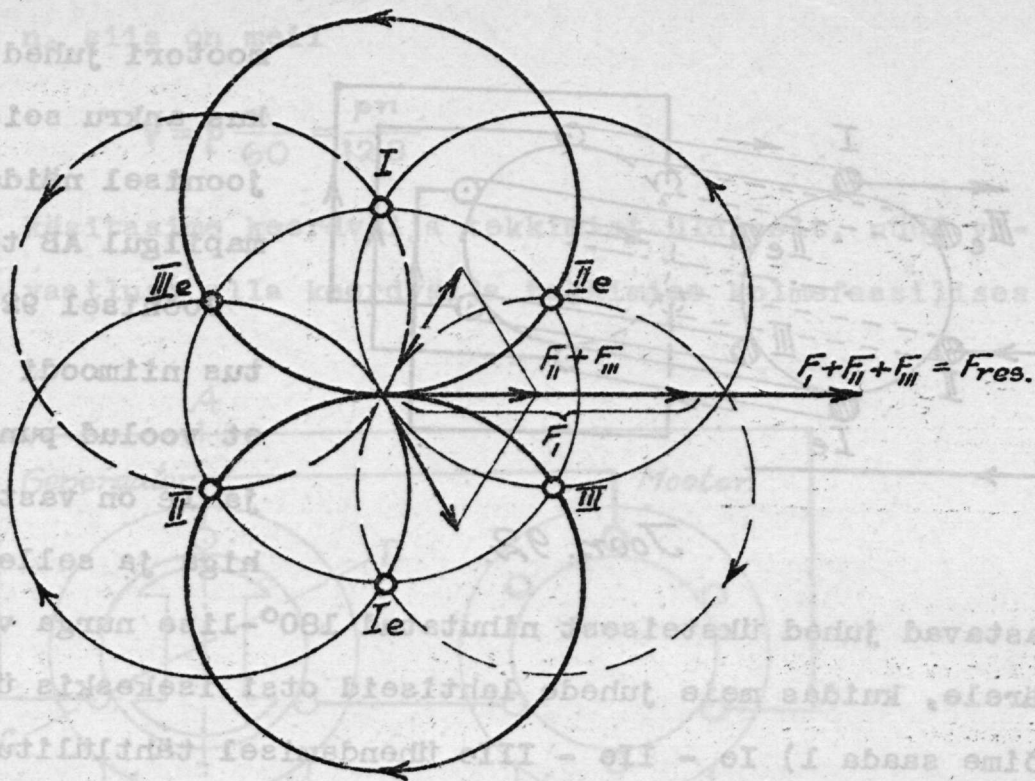
mootori juhed seisakus, kus ankru seisukoht on joonisel näidatud silmapilgul AB teljel.

Joonisel 92 on lülitus niimoodi läbiviidud, et voolud punktides I ja Ie on vastupidise sihiga ja sellejuures on

vastavad juhed üksteisest nihutatud  $180^\circ$ -lise nurga võrra. Sellejärel, kuidas meie juhede lahtiseid otsi isekeskis ühendame, võime saada 1) Ie - IIe - IIIe ühendamisel tähtlülituse ja Ie - II; IIe - III ja IIIe - I ühendamisel kolmnurklülituse.

Magneettungjoonte sihi kindlaks määramiseks juhede ümber tarvitame järgmist vasaku käe reeglit: Hoides vasakut kätt juhe kohal nii, et peopesa on juhe pool ja sõrmed näitavad voolu sihti juhes, siis näitab vasaku käe väljasirutud põial magneettungjoonte sihti. Selle reegli järel on mootori magneetväljade polaardiagrammis (joonisel 93) märgitud magneettungjoonte sihid vastavalt silmapilgule, millal generaatori ankru on asendis AB (joon.91). Varem jõudsime juba selgusele, et ankru asendis AB peavad juhedes II - IIe ja III - IIIe voolama voolud pooles maksimaalvoolu suuruses, kuna juhes I - Ie voolav vool on maksimumis.

Magneetväljal juhe I ümber on igas punktis oma "väljatugevus"  $H$ , mille peale vaatame kui magnetiseeriva tungi peale, mis



Joon. 93.

magneetvälja esile kutsub. Kui magneettungjooned on sirgjooneli-  
sed, siis mõjub magnetiseeriv tung  $H$  ka sirgjooneliselt tung-  
joontega ühes sihis. Vabakujulistel magneettungjoontel mõjub  
magnetiseeriv tung puutujana magneet-tungjoontele.

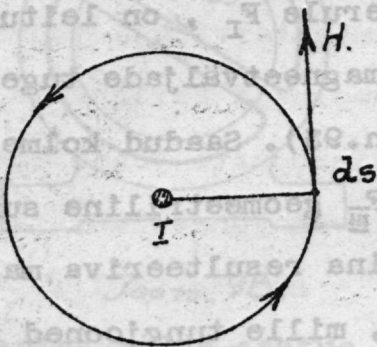
Hopkinsoni järele on magnetiseeriva tungi  $H$  integraal voo-  
lu  $J$  ümbritsevat mingisugust kinnist joont mööda

$$\int H \cdot ds = \frac{4\pi}{10} \cdot J$$

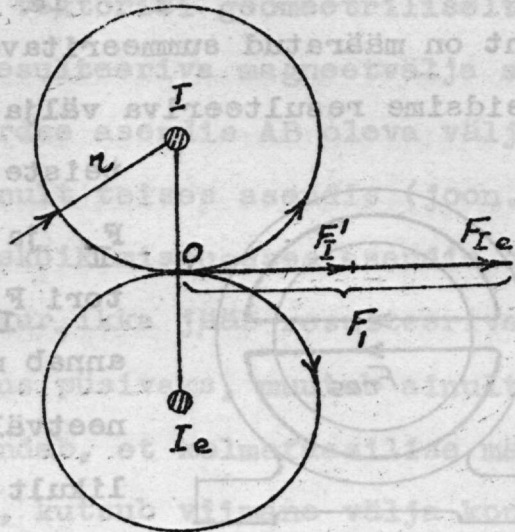
kus  $ds$  on tungjoonte teekonna lõpmata väike pikkus. Omaduste  
poolest võib magnetiseerivat tungi võrrelda elektromotoorse jõu-  
ga kinnises vooluringis ja teda tähendada mingisuguse magneetmo-  
toorse jõuna (mmf). Magneetmootorne jõud kutsub kinnises magnee-



dilises ringis esile magneetvoolu  $N$ , mille voolutugevuse mõtteks on magneetinduktsioon  $B$  (võrdle varem antud definitsioonidega).



Joon. 94.



Joon. 95.

Võttes magneetväljade polaardiagrammist (joon.93) ligema vaatluse alla juhed I ja  $I_e$  (joon.95) ühes nende juurde kuuluvate magneetväljadega, püüame kindlaks teha magneetvälja tunggevust punktis O avalduse järel  $\int H \cdot ds = \frac{4\pi}{10} \cdot J$ . Kujutab magneetjoon enesest kinnist ringi raadiusega  $r$ , siis on

$$\int H \cdot ds = H \cdot 2\pi r = \frac{4\pi}{10} \cdot J \quad \text{ja}$$

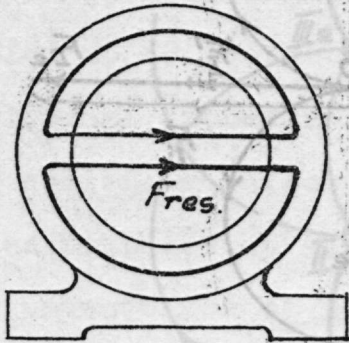
$$H = \frac{2J}{10 \cdot r} = F$$

Et vool juhe algul on samasuur kui juhe lõpulgi  $J_{Ie} = J_I$ , siis on neid voolusid ümbritsevad magneetväljad omavahel võrdsed  $F_I = F_{Ie}$ .

Asub generaatori ankur asendis AB, siis on juhesid II ja III ümbritsevad magneetväljad  $F_{II} = \frac{1}{2} F_I = F_{IIe}$  ja  $F_{III} = \frac{1}{2} F_I = F_{IIIe}$  sest

$$J_{II} = J_{III} = \frac{1}{2} J_I$$

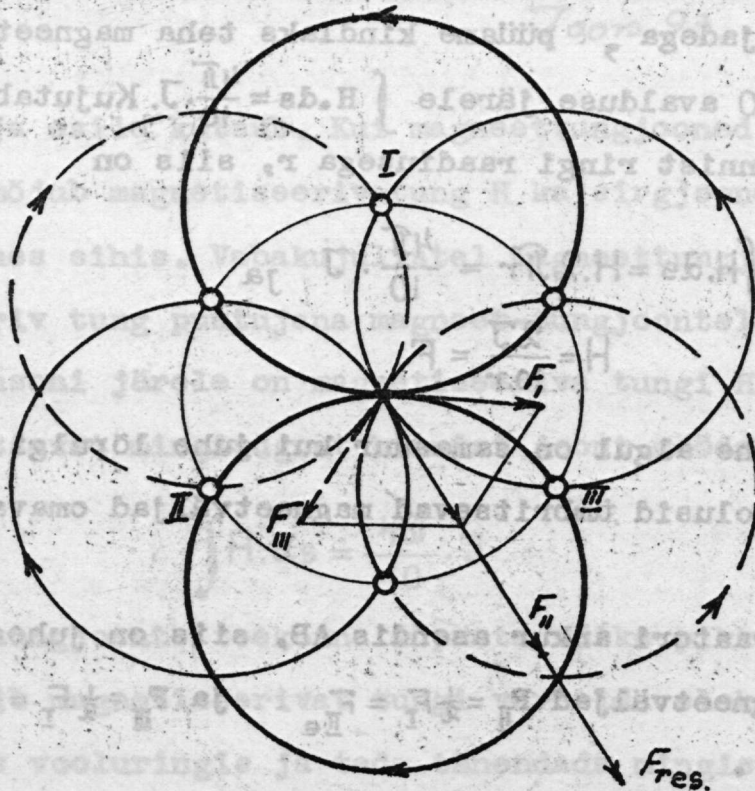
Joonisel 95 on näidatud punktis O valitsevate magnetväljade resulteeriv väli  $F_I + F_{Ie} = F_I$  kusjuures resulteeriva väli ja siht on määratud summeeritavate väljade sihiga. Niisamuti kui leidsime resulteeriva välja ühele keerule  $F_I$ , on leitud ka



Joon. 96.

teiste keerude magnetväljade tugevused  $F_{II}$  ja  $F_{III}$  (joon.93). Saadud kolme vektori  $F_I$ ,  $F_{II}$  ja  $F_{III}$  geomeetriline summa annab meile masina resulteeriva magnetvälja  $F_{res}$ , mille tungjooned tegelikult jooksevad nii kui see on joonisel 96 tähendatud. Nüüd keerame masina ankru asendisse CD (joon.91). Niisuguses

asendis tekib maksimaalne magnetväli II-IIe ümber ja I ning



Joon. 97.



II ümber ainult pooles suuruses. Liites selles asendis magneet-



väljade vektorisi geomeetriliselt, saame resulteeriva magneetvälja suuruselt võrdse asendis AB oleva väljaga, kuid ainult teises asendis (joon.97 ja 98). Ükskõik missuguses asendis on masina ankur, ikka jääb resulteeriva väl-

ja suurus püsivaks, muutub ainult resulteeriva välja aetus. See tähendab, et kolmefaasilise mähi-  
sesse saates kolmefaasilist voolu, kutsub viimane välja kons-  
tantsuurusega keerleva magneetvälja n.n. keerdvälja, mille jä-  
rele sageli kolmefaasilist voolu nimetatakse keerdvooluks. Keerd-  
välja tähtsusest tegelikus elus on peatükki alguses juba nimeta-  
tud.

### ELEKTRIMASINAD.

#### Elektrimasinate üldomadused.

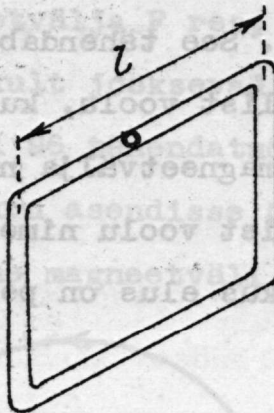
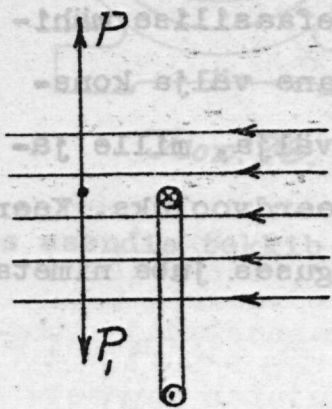
Elektrimasinateks nimetatakse niisuguseid masinaid, millised 1) võivad anda elektri voolu - generaatorid ja dünamomasinad; 2) võivad elektrilist energiat muuta mehaaniliseks energiaks - elektrimootorid; 3) ühe liigilist elektrivoolu võivad muuta teise liigiliseks elektrivooluks - muundajad (umformerid ehk konvertorid).

### Elektrodünaamika põhimõisted.

Maxwelli seaduse järele indutseerub magnetväljas liikuv juhes elektromotoorne jõud  $E = -\frac{dN}{dt} \cdot z$ , mis tarvitaja juures lampides, mootorites, takistustes jne. voolusid esile kutsub.

Alljärgnevas osas püüame selgeks teha, missuguste jõududega meil on tegemist, kui magnetväljas liikutavat juhet läbistab

elektrivool (joon.99)



Joon. 99.

Olgu meile antud kindla-tuntud sihiline magnetväli, millisesse on asetatud kinniseks vooluringiks ühendatud traatsilmus. Silmuse liigutamisel magnetväljas indut-

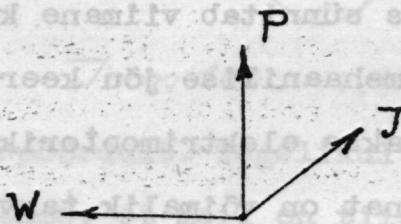
seerub viimases emf-d  $E$ , mis juhes voolu  $J$  esile kutsub, võimaldades seega saada elektri energiat  $L = E \cdot J$  watti, kus  $E$  on mõõdetud voltides ja  $J$  ampeerides. See energia kutsuks kirjeldatud juhusel esile ainult soojusnähtuse (juhesoojenemise). Energia seaduse järele peab juurde toodud energia võrduma edasiantud energiale.

Selleks, et silmusest magnetväljast väljatõmmata ja silmuse ühendavas juhes elektri energiat  $L = E \cdot J$  sünnitada vajasime jõudu  $P_1$ , milline mõjub silmusele liikumise sihis. Jõud avaldab oma mõju ainult siis, kui ta on rakendatud, see tähendab, kui ta peab



võitma mingit teist, vastupidiselt mõjuvat jõudu P. Viimast jõudu nimetame edaspidi vastujõuks. Vastujõudu sünnitab meie juhusel juhes voolav elektrivool J ja mida suurem on ta, seda suurem on ka vastujõud.

Ruumidiagrammis (joon.100) on näidatud elektri voolu, mag-



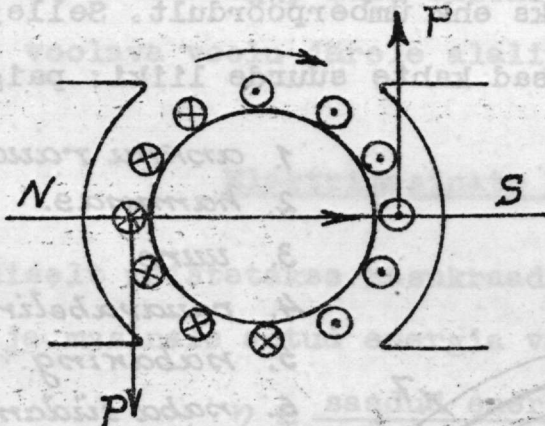
Joon. 100.

neetvälja ja vastujõu sihid. Vastujõu suurus on proportsionaalne juhete ümbritsevale magneetinduktsioonile B, juhe pikkusele l ja voolule J

$$P = c \cdot B \cdot J \cdot l$$

kus "c" on konstant, mis võimaldab vastujõu leidmist kilogrammides. Vool J on mõõdetud ampeerides, induktsioon B tungjoonte arvuga ühe ruutsentimeetri peale ja pikkus l sentimeetrites.

Koeffitsient  $c = \frac{10^{-6}}{9,81}$



Joon. 101.

Joonisel 101 on näidatud dünamomasin, mille ankur tiirleb noole sihis ja mille ankrujuhede voolab vool. Voolu sihid ankrujuhedes on kindlaks määratud paremakäe reegli järel. Rakendusjõu ja vastujõu sihid selguvad meile joonisest

100. Käesoleval juhusel sünnitavad vastujõud jõupaari, milline dünamo ankru liikumise sihile vastu mõjub ja millise suurus ole-  
 1) neb juhes voolava voolu tugevusest J.

Dünamo ankur võib edasi tiirelda ainult siis, kui tiirle-

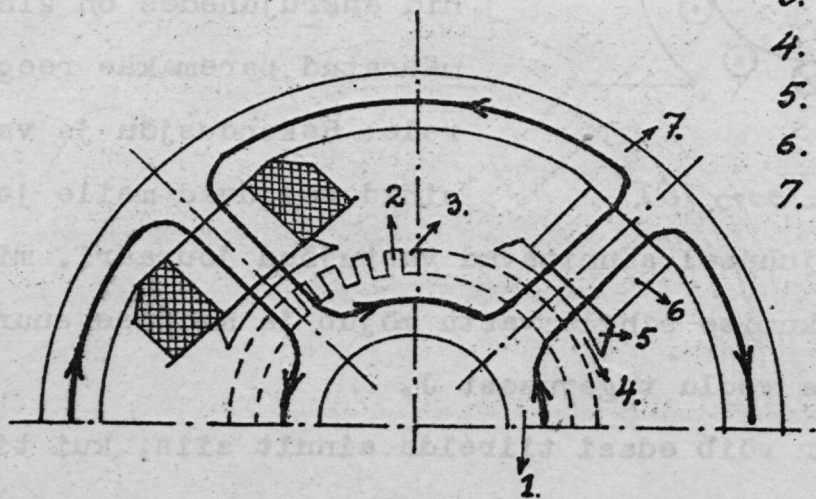
mist väljakutsuva veomasina poolt sünnitatud keerdmoment ületab vastujõudude jõupaari vastumomenti.

On selge, et meil on võimalus mehaanilist energiat ümbermuuta elektriliseks energiaks.

Kui meie joonisel 101 näidatud seisvasse masina ankrusse saadame välisvooluallikast voolu, siis sünnitab viimane keerdmomendi, mis võib ankrule rakendatud mehaanilise jõu keerdmomendi ületada. Niisugust masinat nimetatakse elektrimootoriks. Sellest peatükist selgub, et elektrimasinat on võimalik tarvitada nii generaatoriks kui mootoriks.

### Elektrimasinate üksikosa.

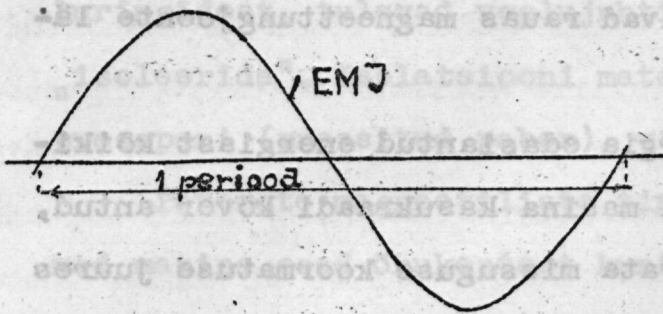
Elektri energia saamiseks on vajaline muuta juhett ümbritsevat magnetvälja, mida saame teha, kas lastes juhedel tiirelda, jättes magnetvälja kohtkindlaks ehk ümberpöörduks. Sellejärele jagunevad elektrimasinate peaosad kahte suurde liiki: paigalseis-



1. ankruraud.
2. hammas.
3. uure
4. rauavaheline ruum.
5. nabaring.
6. naba südamik.
7. ike.

Joon. 102.





Joon. 103.

vateks ja tiirlevateks. Tähtsamate masina osade nimetused on joonisel 102 antud. Samast joonisest paistab selgesti silma, et see on ükskõik, kas tiirleb magneetnabade süsteem ja ankur seisab

või ümberpöörduvalt. Tegelikult on mõlemaid tüüpi masinaid olemas.

Oletame, et meil on tiirlevale ankrule asetatud juhe A, mida jälgime tema mitmesugusel asetusel magneetnabade N-S vahel. Elektromotoorse jõu kõver (joon.103) näitab, et emj-u suurus oleneb juhe asetusest nabade vahel ja et ankrus voolab alati vaheldvool, vaatamata selle peale, kas meil on alalise või vaheldvoolu masin. Õigu pärast peaksime selle järele nimetama kõiki elektrimasinaid vaheldvoolu masinateks, kuid siiski liigitatakse neid välisvooluringis voolava voolu järele alalise ja vaheldvoolu masinateks.

### Elektrimasinate kasukraad.

Üldiselt mõistetakse kasukraadi all suhet masinalt saadud energia ja masinale antud energia vahel.

$$\eta = \frac{\text{saadud energia}}{\text{antud energia}} < 1$$

Elektrimasinas on palju kaotusi, mida jagame kolme erirühma.

- 1) kaotused mehaaniliste mõjutuste tagajärjel laagri ja õhu õõrumiste näol.
- 2) juhet läbistava voolu poolt väljakutsutud soojuse kaotused.

3) raua kaotused, millised sünnivad rauas magneettungjooonte läbistumisel.

Üldiselt on juuretoodud energia edasiantud energiast kõikide kaotuste võrra suurem. On meil masina kasukraadi kõver antud, siis ei tee raskust kindlaks määrata missuguse koormatuse juures masin majanduslikult kõige kasulikumalt töötab. (Joon. 104.)

### Elektrimasinate konstruktsioonid.

Imestamisväärne kiiresti on arenenud elektrimasinate ehitustehnika, nii et võib juba öelda, et elektrimasinad on kohanenud väga mitmekesiste tarvitustingimistega. Neid tarvitatakse kõigis tööstusharudes, tervishoiu alal jne. ja igalpool on tema ehitus ülesande ja töötingimuste kohaselt läbiviidud. Oma ehituse poolest on elektrimasinad lahtised ja kinnised. Lahtised masinad on niisugused, kus välis õhk vabalt pääseb masina sisemiste osade juure, jahutades viimaseid. Õhk sisaldab eneses aga alati niiskust ja igasuguseid auruksid, mis masina sisemust võivad rikkuda. Niiskuse vastu on võimalik masina hügrooskoobilisi osi kaitsta neid imbutades vastavate õlidega ja lakkidega. Lahtiseid masinaid võib tarvitada siiski ainult kuivades, kinnistes ruumides. Väga niisketes ruumides ja väljas, kus masinad kannatavad ilmas- tiku mõju all, tarvitatakse "kinniseid" masinaid. Viimaste valmistamise kere on täieliselt kinnine, kaitstes masina sisemust õhu, niiskuse ja aurude eest. Tarviduse korral võib tihendust läbiviia niivõrd hästi, et masinad võivad töötada isegi vee all.

Masina sisemuses on voolu juhtivad osad paigutatud väga

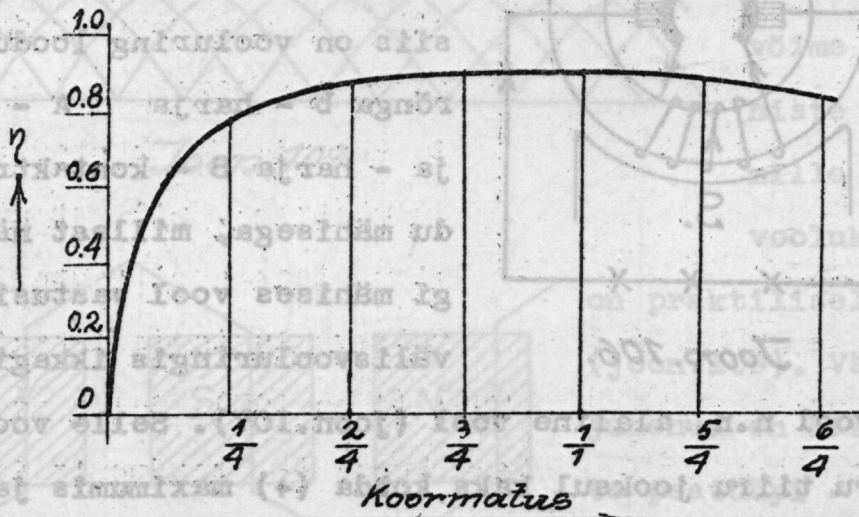


üksteise ligi (joon.102). Et hoiduda igasugustest soovimata vooluringidest, tulevad voolujuhtivad osad üksteisest eraldada, "isoleerida". Isolatsioonimaterjalina tarvitatakse puuvilla, presspani (pressitud paber), vilgukivi, mitmesuguseid lakkisid jne. Paremate magneetiliste tingimuste saamiseks ehitatakse mitmed masina osad õhukestest kuni 0,3 m/m paksudest raudplekkidest, missugused üksteisest on "pöörivoolu" kaotuste vähendamise mõttes isoleeritud õhukese paberikihiga.

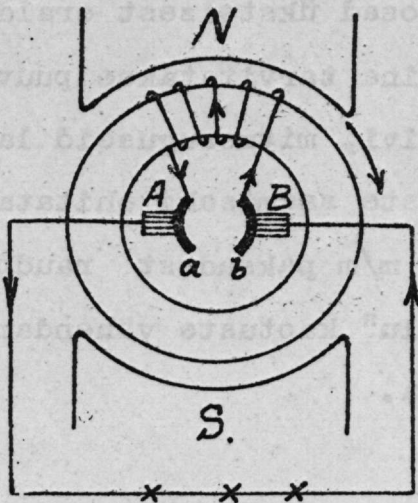
### Alalise voolu masinad.

Alalise voolu masinateks nimetatakse niisuguseid elektrimasinaid, milliste ankrus voolab vaheldvool, kuid välisvõrku annavad ehk välisvõrgust saavad praktiliselt püsivasihilist voolu. Voolu muundamine on võimalik sisseseade abil, mida nimetatakse kollektoriks. Ülevaadet kollektori töötamise viisist andku alljärgnev näide.

Olgu meil rõngale monteeritud mähis, milline tiirleb magnet-



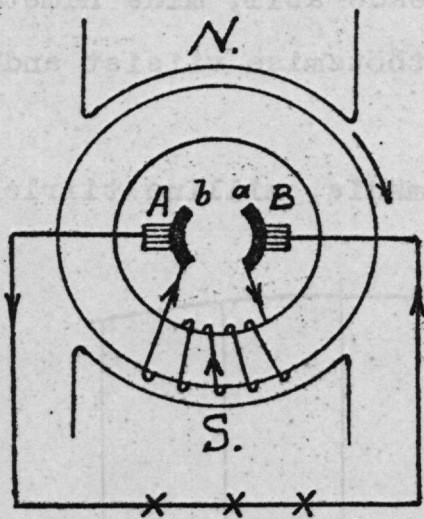
Joon. 104.



Joon. 105.

väljas. Mähise otsad on ühendatud võllile asetatud kontakt-rõngastega a ja b, kusjuures rõngad on niimoodi kinnitatud, et nemad oma asetust mähise suhtes ei muuda. Kontakt-rõngaid vastu on vedru abil surutud harjad A ja B, millised on kinnitatud masina kere külga, nii et nad ei saaks kontakt rõngastega kaasa-tiirelda.

Voolusihti mähises määrame kindlaks paremakäe reegli järele. Joonisel 105 näidatud mähise asendis voolab mähisest sünnitatud elektromotoorse jõu poolt väljakutsutud vool kontaktrõnga a ja

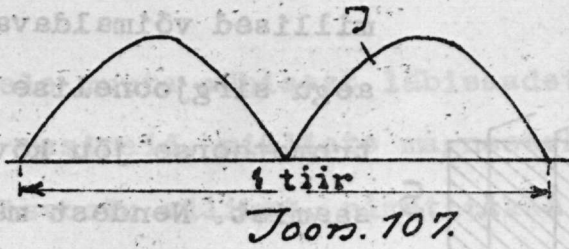


Joon. 106.

harja A kaudu välisvoolu ringi, sealt üle tarvitajate harja B ja kontakt-rõnga b kaudu mähisesse tagasi. Asub meil mähis lõunanaba all (joon 106), siis on vooluring loodud üle kontakt-rõnga b - harja A - välistarvita- ja - harja B - kontaktrõnga a kau- du mähisega, millest näeme, et olgu- gi mähises vool vastusihiline, voolab välisvooluringis ikkagi ainult ühesi- hiline vool n.n. alaline vool (joon.107). Selle voolu suurus on

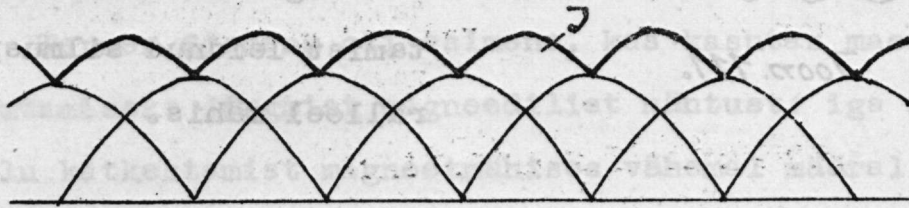
ühe ankru tiiru jooksul kaks korda (+) maksimumis ja kaks korda nullis. Kui samale rõngale asetada ühe mähise asemel kaks mähist





Joon. 107.

vastavate kontakt-rõngaste-  
ga, siis saame resulteeriva  
voolukõvera (joon.108) mis  
enam nullini ei kahane ja mil-  
le kõikumine maximumi ja mi-

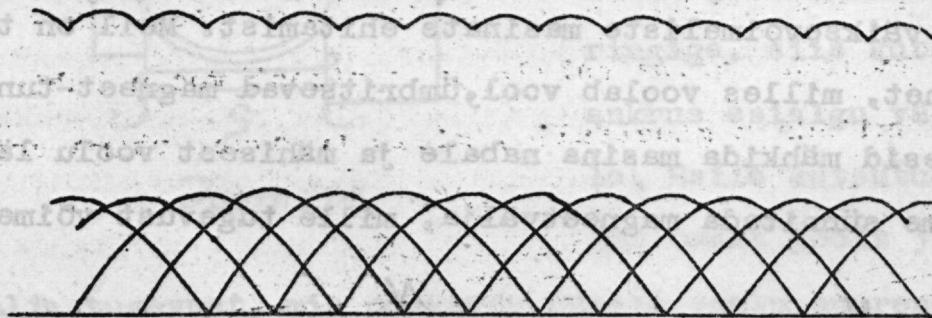


Joon. 108.

nimumi vahel  
on märksa väik-  
sem kui ühe  
mähisega masi-  
nal.

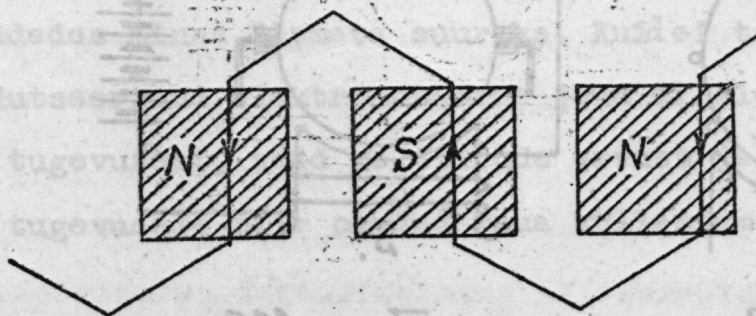
Mähised.

Mida rohkem mähiseid rõngalepaigutada, seda väiksemaks lä-



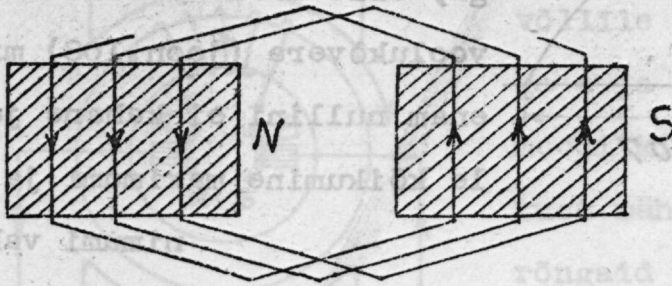
Joon. 109.

heb kõikumine  
voolu maximumi  
ja minimumi va-  
hel ja meie  
võime leida mä-  
histe arvu,  
mille juures  
voolukõikumine



Joon. 110.

on praktiliselt null  
(joon.109). Väljaku-  
junenud on kaks mähis-  
te peattüpi - laine  
(joon.110) ja silmu-  
semähis (joon.111),

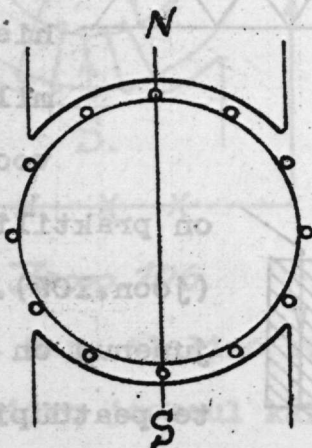


Joon. 111.

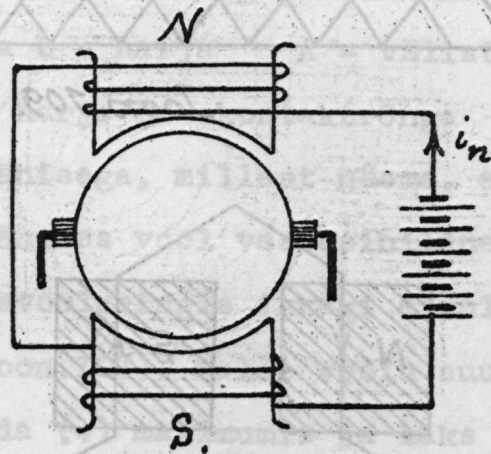
millised võimaldavad pea-  
aegu sirgjoonelise elek-  
tromotoorse jõu kõvera  
saamist. Nendest mähiste  
põhitüüpidest on tuleta-  
tud väga laialdast tarvi-  
tamist leidnud silmuspa-  
ralleel mähis.

Dünamoelektriline printsip.

Käsitades mähiseid ja nendes voolavaid voolusid, jätsime lahti-  
seks magnetvälja küsimuse. Magnetvälja sünnitamiseks võime loo-  
mulikult tarvitada permanent magnetisi (joon. 112); kuid need või-  
maldavad ainult väiksevõimeliste masinate ehitamist. Meil on teada,  
et igat voolujuhet, milles voolab vool, ümbritsevad magnet-tung-  
jooned. Kui juhesid mähkida masina nabale ja mähisest voolu läbi-  
saata, siis saame sünnitada magnetvälja, mille tugevust võime soo-



Joon. 112.

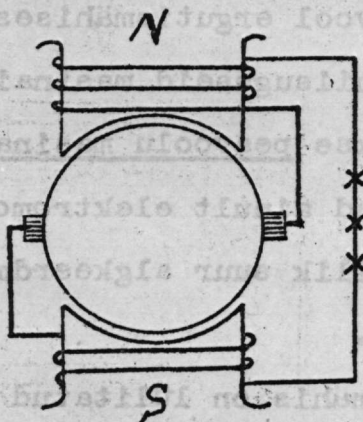


Joon. 113.



vi järele muuta mähisest läbisaadetava voolu tugevusega. Niisuguseid masinaid, milliste magneetväljade sünnitamiseks tarvitatakse välisvoolu allikat, nimetatakse välisergutisega masinateks. Selle tüübiliste masinate hulka kuuluvad kõik vaheldvoolu generaatorid.

Werner Siemens oli esimene, kes kasutas masina magneetide ergutamiseks järgmist magneetilist nähtust: iga raud jääb peale voolu katkestamist magneetmähises vähemal määral magneetiliseks.

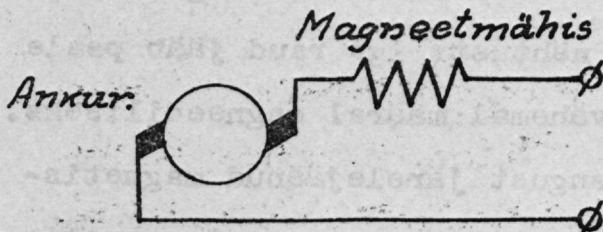


Joon. 114.

Niisugust järelejäänud magnetismi nimetatakse remanent-magnetismiks, ehk lühidalt remanentsiks. On meil näiteks ankur ühendatud üle magneetmähiste välisvooluringiga, siis kutsub remanents ankrus esialgu väikese voolu esile. Esile kutsutud vool suurendab omalt poolt jälle magneetvälja tugevust, mis omakorda uuesti voolu suurendab, kuni tarvilik masina pinge on kättesaadud. Võib kergesti mõttele tulla, et niimoodi võiksid vool ja magneetväli vastastiku üksteist suurendades minna lõpmata suureks. Kuidei tohi unustada, et ankrus indutseeritud elektromotoorne jõud ei olene üksipäini magneetvälja tugevusest, vaid ka tiirude arvust ja päälegi on magneetvälja tugevusele piir pandud raua küllastumisega.

Peavoolu, haruside ja kompondmasinad.

Sellejärele, kuidas magnetide ergutismähis ankru suhtes on lülitatud, liigitatakse alalise voolu masinaid peavoolu, haruside- ja kompondmasinateks. Joonisel 115 on skemaatiliselt näida-



Joon. 115.

tud ankur ja ergutismähis, kusjuures viimane on ühendatud ankruga järjestikku. Niisuguse lülituse juures voolab terve ankruga vool ergutismähisest läbi ja niisuguseid masinaid nimetatakse peavoolu masinateks.

Tarvitamist leiavad selletüübilised masinad ainult elektromootoritena ja peamiselt seal, kus on tarvilik suur algkeermoment, näiteks trammi-, kraana- jne. mootoritel.

Teine tüüp on niisugune, kus ergutismähis on lülitatud ankruga paralleel. Niisuguste masinate ergutisvool ei olene enam



Joon. 116.

ankru voolust, vaid ainult ankruga näpitspingest. Püsivate tiirude juures jääb ergutisvool " $i_n$ " ka püsivaks. Selletüübilisi masinaid tarvitatakse nii dünamoteks kui ka mootoriteks. Dünamoks tarvitamisel on haruside masinal võrdlemisi konstant pinge, mootoritel aga püsivad tiirud.

Kolmas tüüp on kombinatsioon kahest eelpool nimetatud tüüpidest, pea- ja haruside masinatest ja tema esindajat nimetatakse





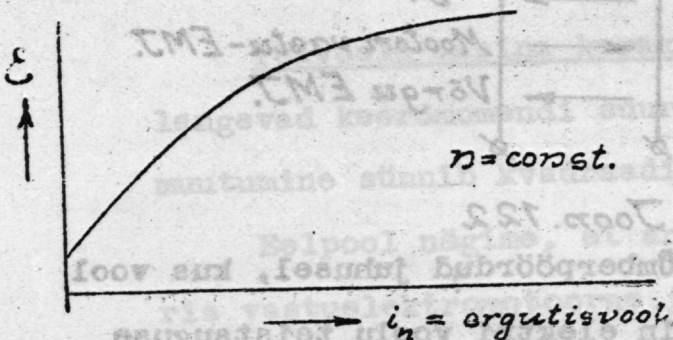
Joon. 117.

kompondmasinateks (joon.117). Viimase tüübilisi elektrimasinaid tarvitatakse peasjalikult generaatoriks seal, kus suurte koormatuste kõikumise juures on vajaline pinget konstant hoida.

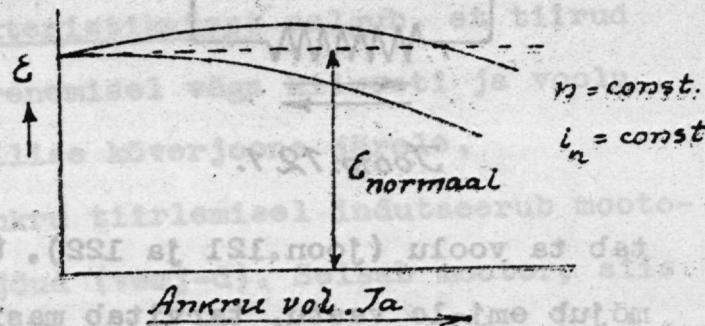
Alalise voolu dünamod.

Alalise voolu dünamotena tarvitatakse peasjalikult haruside ja kompondmasinaid. Nende omadusi dünamona tarvitamisel õpime tundma dünamoid iseloomustavatest kõverjoontest n.n. „karakteristikatest“, eestkätt tühijooksu ja koormatuse karakteristikatest.

Tühijooksu karakteristika (joon.118) on kõverjoon, mis näitab meile, kui kõrget pinget  $E$  suudab masin anda püsivate tiirude juures, olenevalt magneetide ergutisvoolust „ $i_n$ “ [ $E = f(i_n)$ ]. Nagu näha on pingetõusul piir olemas, millest üle enam ei tõuse vaatamata ergutisvoolu suurendamise peale. See on seisukord, kus masina magneetide raudosad on magneeditiliselt küllastatud.



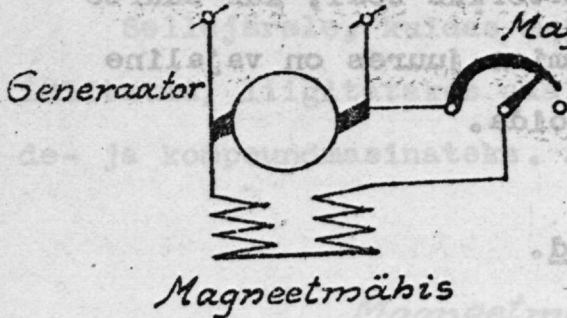
Joon. 118.



Joon. 119.

Koormatuse karakteristika (joon.119 näitab pinget muutumisi masina koormamisel, kus pinget on funktsioon ankrui voolust [ $E = f(J_a)$ ] kui tiirud on püsivad.

Tühijooksu karakteristik näitab, et meil on pingemuutumisel tarvis muuta masina ergutisvoolu, milleks lülitakse er-



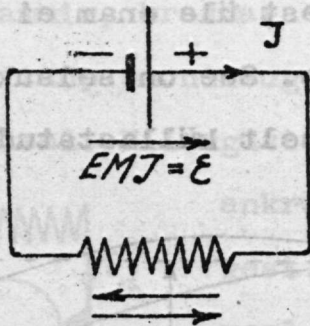
Joon. 120.

Magneetregulaator: ergutise vooluringi reguleeritav takistus, mida nimetatakse lihtsalt "regulaatoriks" (joon.120).

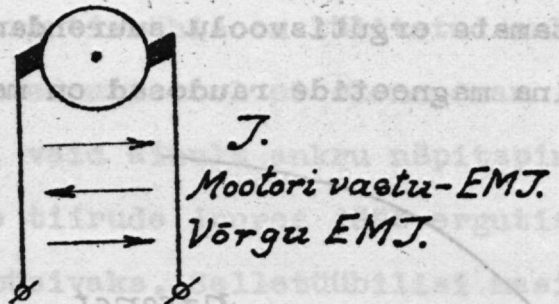
Alalise voolu mootorid.

Elektrodünaamika põhimõistete juures tutvunesime mootorites valitsevate jõududega. Voolu ja elektromotoorse jõu suhtelised sihid määravad kindlaks, kas elektrimasin annab, või saab voolu. On masina emj-d ja vool ühele poole sihitud, siis sünni-

*Mootor.*



Joon. 121.



Joon. 122

tab ta voolu (joon.121 ja 122). Ümberpöörduv juhusel, kus vool mõjub emj-le vastu, tarvitab masin elektri voolu teistsuguse energia sünnitamiseks (akkumulaatorite täitmine, elektrimootorid).

Analoogiliselt dünamotele on ka mootoritel omad karakteristikad, mida käsitame tarvitamist leidnud peavoolu ja haruside

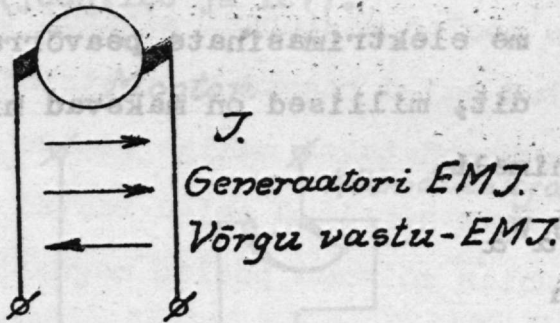


mootorite tüüpidel. Kompoundmootorisi tarvitatakse väga harva.

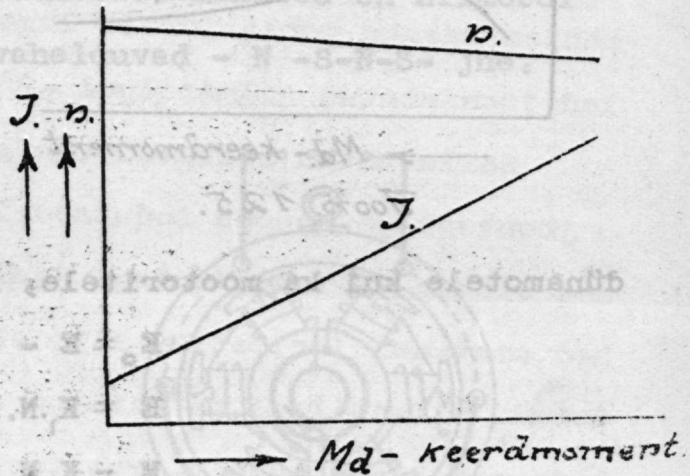
Haruside mootori karakteristik.

Joonisel 123 on näidatud masina vool ja tiirude arv kui funktsioon keerdmomendist. Ligemal vaatlusel näeme, et masina tiirud muutuvad võrdlemisi väga vähe keerdmomendi kasvamisel ja et vool  $J$  muutub ka peaaegu proportsionaalselt keerdmomendile.

Generaator.



Joon. 123.

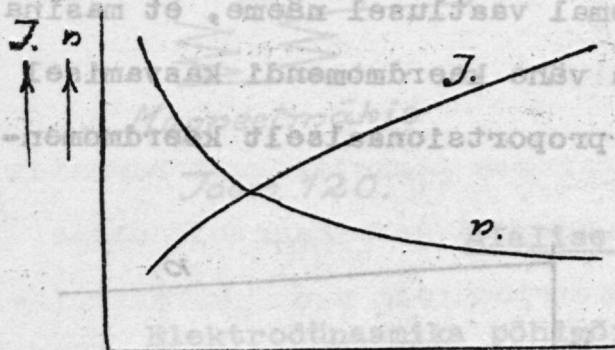


Joon. 124.

Peavoolu masina karakteristikatest selgub, et tiirud langevad keerdmomendi suurenemisel väga kiiresti ja voolu muutumine sünnib kvadraadilise kõverjoone järele.

Eelpool nägime, et ankru tiirlemisel indutseerub mootoris vastuelektromotoorne jõud (vemj-d). Seisab mootor, siis ei indutseeru temas mingisugust vemj-du. ja siis tuleb vaadata masina ankru takistuse ja voolu korrutisele kui mingisugusele vemj-le, milline aga võrreldes indutseeritud vemj-ga

väga väike on. Näeme, et masinat varitseb hädaoht vahenditult võrku lülitamisel, sest seismisel on tema hoopis teistsugustes elektrilistes tingimustes, kui käimisel. Masina kaitsmise mõttes lülitakse alati ankru vooluringi reguleeritav lisatakistus n.n. käimalaskja (joon.125), mis võimaldab ankru voolu hoidmist



→  $M_d$  - keerdmoment.  
Joon. 125.

teatavates piirides niikaua, kuni mootori tiirlemise läbi saab indutseeritud vastavemj-d s.t. kuni mootor on jõudnud normaal tiirudeni.

Lõpuks puudutame veel kolme elektrimasinate peavõrrandit, millised on maksvad nii

dünamotele kui ka mootoritele, nimelt.

$$E_o = E - J_a W_a$$

$$E = K_1 N \cdot n$$

$$M_d = K_2 N \cdot J_a$$

kus tähendavad:

$E_o$  - masina harjade vahelist pinget

$E$  - " - elektromotoorset jõudu

$M_d$  - " - keerdmomenti

$N$  - " - magnetvoolu

$J_a$  - " - ankru voolu

$W_a$  - " - " - takistust

$n$  - " - tiirude arvu minutis

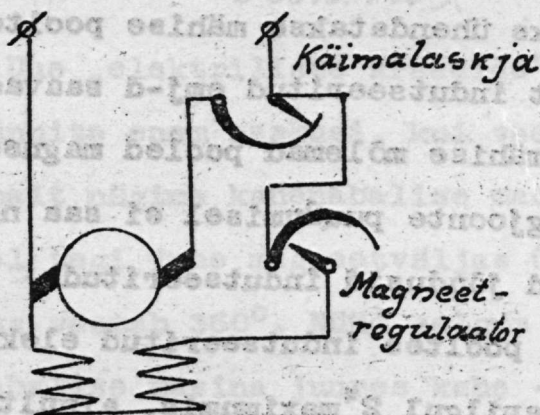
$k_1, k_2$  - " - konstruktsioonist olenevaid koeffitsientisid.



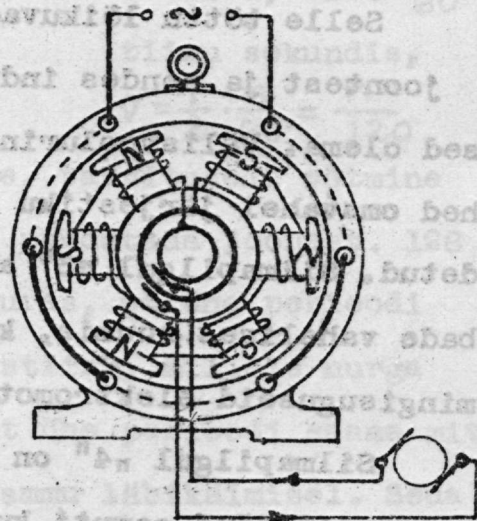
### Vaheldvoolu masinad.

Vaheldvoolu sünnitamiseks, ehitatakse vaheldvoolu generaatorid, peamiselt sünkroonmasinad. Kõikidel vaheldvoolu masinatel nimetatakse tiirlevat osa rootoriks ja paigalseisvat - staatoriks. Joonisel 126 näidatud sünkroonmasinal tiirlevad magneetnabad, millistesse vastavate kontaktrõngaste kaudu magneetide ergutamiseks saadetakse välisest vooluallikast alalist voolu. Magneetnabade mähised on niimoodi korraldatud, et nende nabad vahelduvad - N-S-N-S- jne. (joon.126 ja 127).

Mootor.



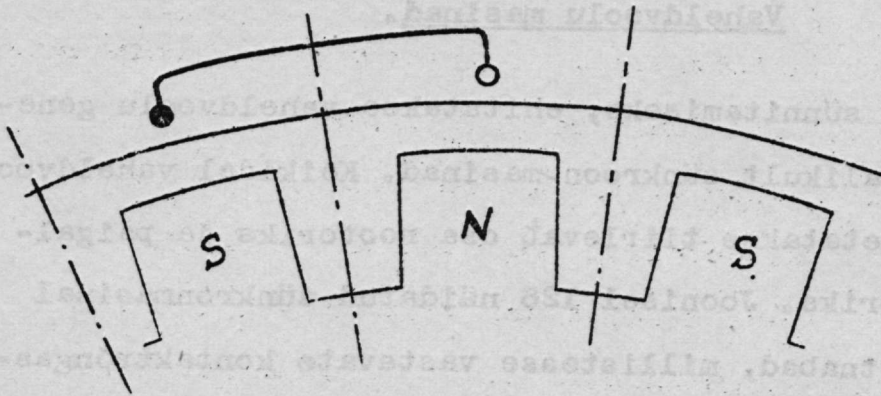
Joon. 126.



Joon. 127.

Ülevaatlikkuse saavutamiseks kujulame ette, et meil on rootor kui ka staator "lahtikeeratud" (joon.128 a) ja staatorist joonestame välja ainult juhed vastavalt nende paigutusele staatoril.

Joonisest 128 a selgub, et meil on ükskõik, kas meil tiir-



Joon. 128.

levad mähised  
või magneedid.  
Oletame, et käes-  
oleval juhusel  
seisaksid magnee-  
did ja liiguksid  
voolumähised noo-  
le sihis. Voolu-

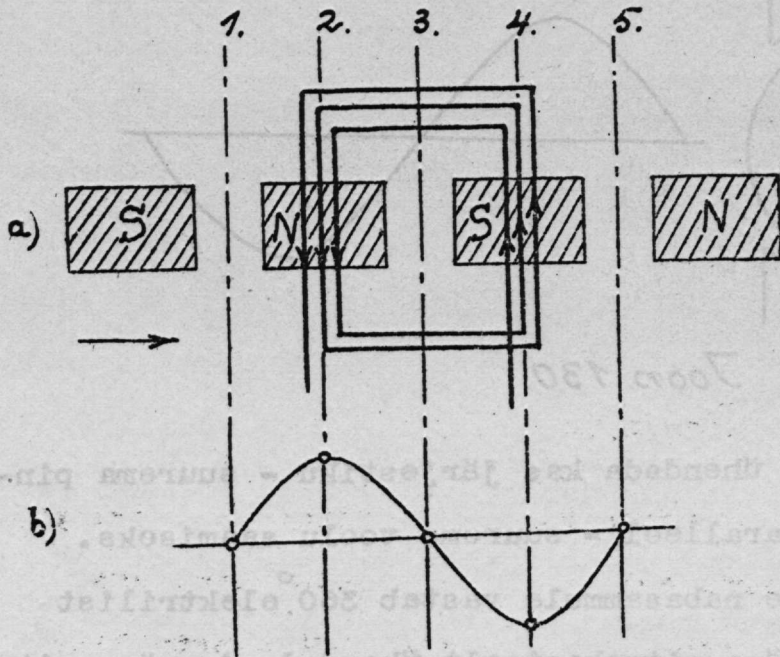
mähise vasaku poole järele lugedes asuvad mähise mõlemad poo-  
led joonistatud silmapilgul "2" isenimeliste magneetnabade all.

Selle tõttu löikuvad mähise pooled vastupidi sihitud tung-  
joontest ja nendes indutseeritud emj-d peavad ka vastsihili-  
sed olema. Välisvooluringi jaoks ühendatakse mähise poolte ju-  
hed omavahel järjestiku nii, et indutseeritud emj-d saavad lii-  
detud. Silmapilgul "3" asuvad mähise mõlemad pooled magneetna-  
bade vahelises ruumis, kus tungjoonte puudumisel ei saa neis  
mingisuguseid elektromotoorseid jõudusid indutseeritud.

Silmapilgul "4" on mähise pooltes indutseeritud elektro-  
motoorsed jõud samuti kui silmapilgul "2" maximumis, ainult on  
nende siht välisvooluringi suhtes vastupidine, sest remj-d  
muutsid oma sihti mõlemates mähise pooltes, sattudes teiseni-  
meliste nabade alla.

Käsitatud silmapilkudele vastavalt on ehitatud emj-u aja-  
diagramm (joon.129 b). Pikkused "1-3" ja "3-5" jne. nimetatak-  
se nabasammuks. Ühe tiiru kestel mööduvad ühe mähise poole ju-  
hed "p" nabast, s.t. käib läbi "p" nabasamm. Joonise 129 b



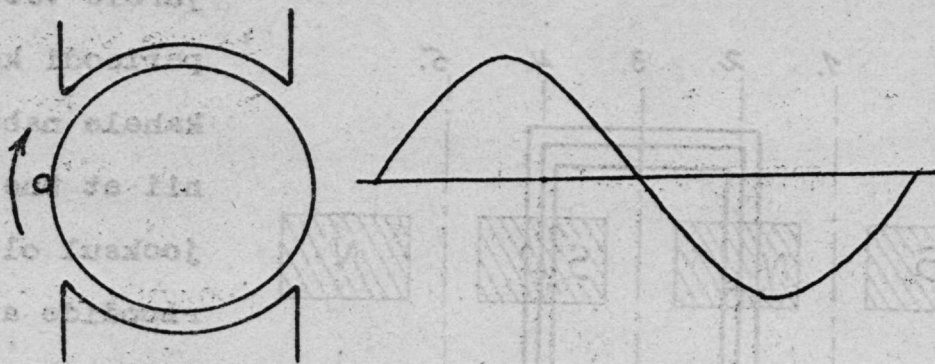


Joon. 129.

järele vastab ühe perioodi kestvus kahele nabasammule, nii et ühe tiiru jooksul oleks perioodide arv  $\frac{p}{2}$ . Selle järele on masina perioodide arv sekundis, kui masin teeb minutis  $n$  tiiru, s.o.  $\frac{n}{60}$  tiiru sekundis, 
$$v = \frac{p}{2} \cdot \frac{n}{60} = \frac{p \cdot n}{120}$$

Uue „elektriliste kraadide“ mõiste, tarvitusele võtmine ei sünnita enam raskusi, kui veel kord puudutada joonest. 128 Varemalt nägime kahe-nabalise masina juures, et ühe perioodi kestel tegi juhe magnetväljas ühe täistiru, millele nurga mõõdus vastab  $360^\circ$ . Nüüd selgus aga, et ühe perioodi saame mitme nabalise masina juures kahe - nabasammu läbikäimisel. Seda pikkust märgitakse  $360^\circ$  elektrilise kraadiga, mis vastab ühele täisperioodile.

Jagades näiteks kahte nabasammu „1-5“ (joon.129) kolmeks võrdosaks, vastab igale osale 120 elektrilist kraadi. Kolm 120 elektrilise kraadi võrra üksteise suhtes nihutatud juheta annavad emf-du, milliseid liites saame keerdvoolu. (joon.131). Arusaadav, et elektriliselt ühesugustes tingimustes olevaid mähi-



Joon. 130.

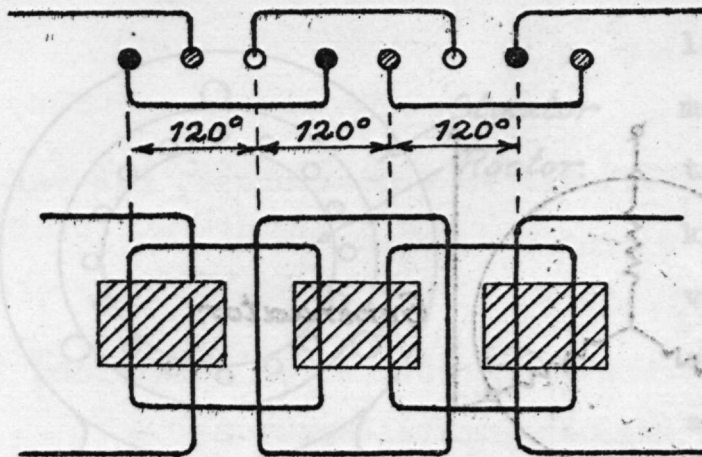
seid võime soovi järele ühendada kas järjestiku - suurema pin-  
ge saavutamiseks, või paralleel - suurema voolu saamiseks.  
Silmaspidades, et kahele nabasammule vastab 360 elektrilist  
kraadi, võime mähised väga mitmekesiselt ühendada ja väga mit-  
mekesiselt ankrule paigutada.

Olles tundma õppinud sünkroon masinate sisemist ehitust,  
käsitame edaspidi nende masinate töötamise viisi ja töötamisel  
tarvisminevaid aparate.

Magneetide ergutamiseks tarvismineva alalise voolu saami-  
seks ehitatakse sageli sünkronmasinaga ühe võlli peale alalise  
voolu masin. On ergutamiseks mõni teine alalise voolu allikas  
olemas, siis võib muidugi viimast kasutada.

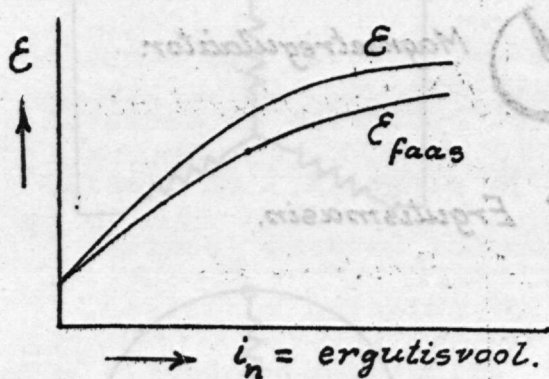
Peatüki alguses sai juba nimetatud, et sünkroon masinaid  
kasutatakse peamiselt generaatoriteks, väga harva mootori-  
teks, sest mootoriks kasutamist raskendab asjaolu, et neid ma-  
sinaid ei saa käimalasta lülides võrguga masina seismise ajal.  
Sünkron mootoril tuleb enne mõne teise masinaga ringi ajada,  
s.t. sünkronismi viia ja alles siis võrguga paralleel lülida.



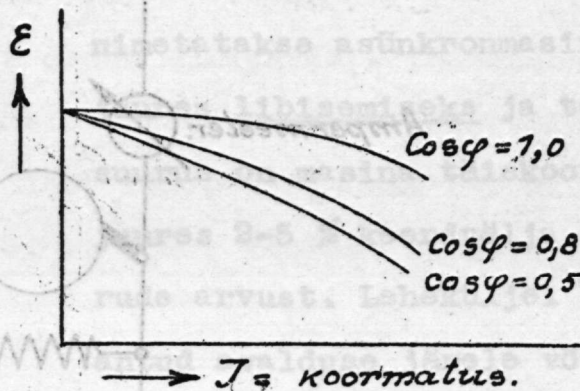


Joon. 131.

nisel 133 ülevaade, kus on ühtlasi vastavate osade nimetused



Joon. 132.



Joon. 133.

tähendatud.

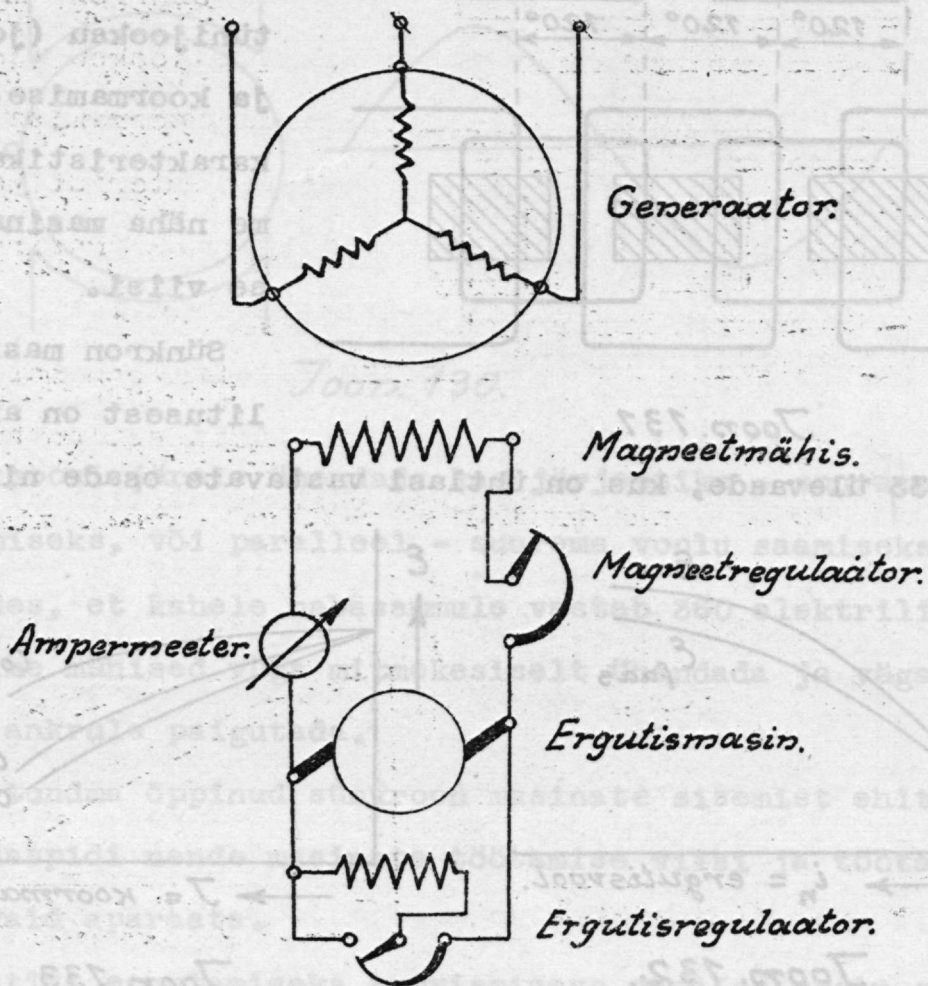
Asünkron masinad.

Asünkron masinaid tarvitatakse kõige rohkem mootoritena vaheld- ja keerdvoolu sisseseadetes. Nende laialdaselt tarvitusele võtmine on tingitud eestkätt masinate odavusest ja rikevabast töötamisest.

Joonisel 134 skitseeritud asünkron masina staatorile on paigutatud kolmefaasiline mähis. Rotorile paigutatud kolme-

Sünkron masinate tühijooksu (joon.131) ja koormamise (joon.132) karakteristikatest võime näha masina töötamise viisi.

Sünkron masinate lülitusest on antud joo-

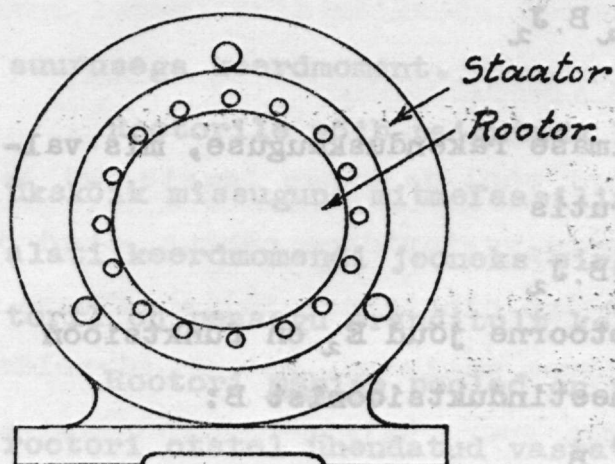


Joon. 134.

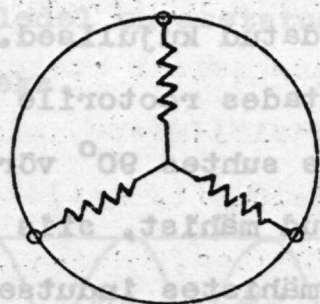
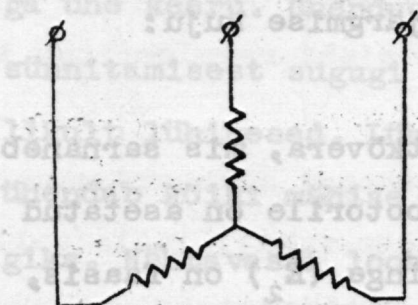
faasilist mähist on võimalik otsesidestada. Staatori kolmefaasilisse mähisesse saadetud kolmefaasiline vool kutsub esile igas faasis ruumiliselt kohtkindlad ja praktiliselt sinuskujulised magneetväljad, milliste resulteerivaks on konstant amplituudiga keerdväli. (joon.135.)

Nimetatud keerdväli indutseerib rootori mähises em<sub>u</sub> ja viimane kutsub rootoris voolu  $J_2$  esile (joon.136). Niipea kui rootori mähises voolab vool ( $J_2$ ), sünnib rootoris dünamoelektri-





lise printsiibi järele keerdmoment, mis paneb rootori tiirlema. Rootori tiirlemise kiirus peab olema natukene väiksem keerdvälja tiirlemise kiirusest, sest muidu ei saaks keerdväli lõigata rootorile asetatud juhesid ja rootoris voolu väljakutsuda. Niisugust tiirude mahajäämist nimetatakse asünkronmasinate juures libisemiseks ja tema suurus on masina täiskoorma juures 2-5 % keerdvälja tiirude arvust. Leheküljel 71 antud avalduse järele võrdub voolu poolt väljakutsutud jõud



Joon. 135

$$P = C_1 B J_2 l$$

kui

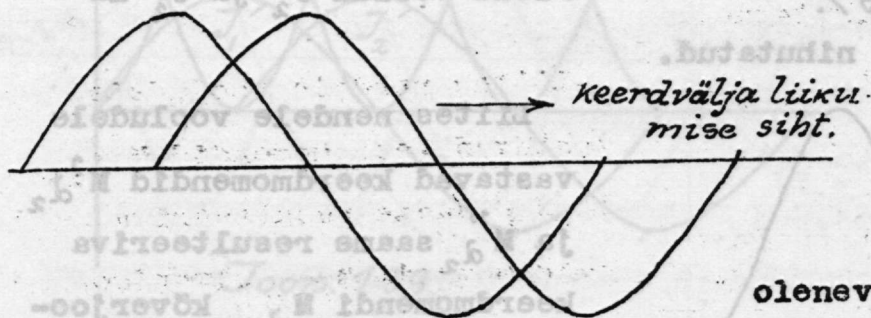
$l$  = juhe pikkus

$B$  = induktsioon

$J_2$  = rootori vool

$C_1$  = masina ehitusest olenev koefitsient.

Valmisehitatud masinal on juhe pikkus  $l$  = konstant, nii et



Joon. 136.

Valmisehitatud masinal on juhe pikkus  $l$  = konstant, nii et

$$P = C_2 B J_2$$

kus  $c_2 = c_1 \cdot l$ .

Keerdmoment on jõu P ja viimase rakenduskauguse, mis val-  
mismasinal on püsiv suurus, korrutis

$$M_d = C' B J_2$$

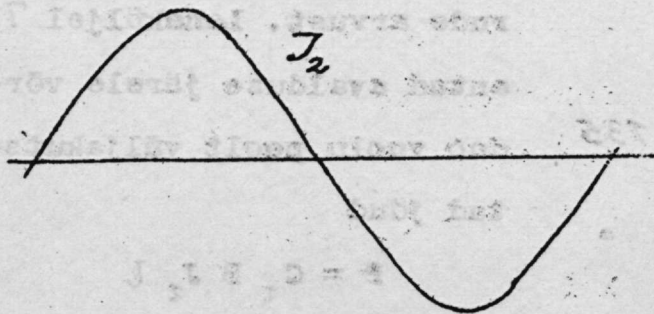
Rootoris indutseeritud elektromotoorne jõud  $E_2$  on funktsioon  
staatori voolust sünnitatud magnetinduktsioonist B:

$$E_2 = C'' B$$

ja meie võime keerdmomendi valemile anda järgmise kuju:

$$M_d = C J_2 E_2$$

Keerdmomendi ajadiagramm annab sinuse-ruutkõvera, mis sarnaneb  
vaheldvoolu võime kõverale. Oletame, et rootorile on asetatud  
ainult üks mähe ja rootori vool ( $J_2$ ) ja pinge ( $E_2$ ) on faasis,  
siis oleksid rootori voolu ja keerdmomendi kõverad joonisel

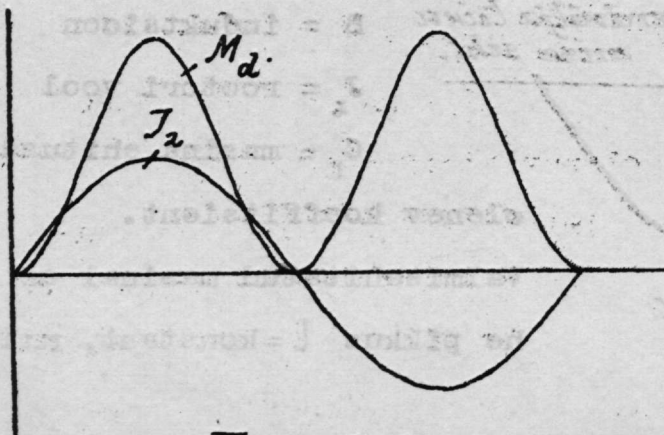


137 näidatud kujulised.

Paigutades rootorile kaks  
üksteise suhtes  $90^\circ$  võrra  
nihutatud mähist, siis on  
nendes mähistes indutsee-  
ritud voolud  $J_2'$  ja  $J_2''$  ka

Joon. 137.

suhteliselt  $90^\circ$  võrra nihutatud.



Liites nendele vooludele  
vastavad keerdmomendid  $M_{d_2}'$   
ja  $M_{d_2}''$  saame resulteeriva  
keerdmomendi  $M_{d_{res}}$  kõverjoo-  
neks sirgjoone, s.t. et  
mootoris valitseb püsiva

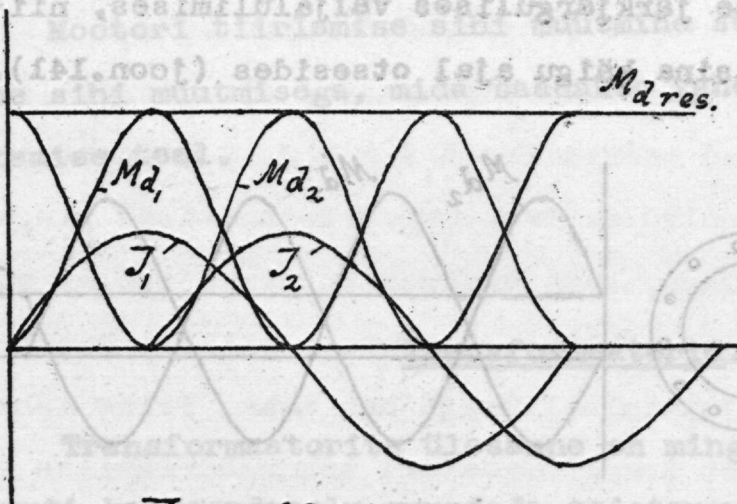
Joon. 138.



suurusega keermoment.

Rootorile võib paigutada kahe  $90^\circ$  võrra nihutatud mähise ükskõik missugune mitmefaasiline mähise süsteem ja meie saame alati keermomendi jooneks sirgjoone. Kontakt - rõngastega rootoril on peaaegu eranditult kolmefaasilised mähised.

Rootori mähise pooled on vasest lattidest, millised on rootori otstel ühendatud vastavate ühenduskaartega, luues seega ühe keeru. Ühenduskaared ei võta emj-u ja keermomendi sünnitamisele sugugi osa, sellepärast tuleksid nad teha võimalikult lühikesed. Lühendamise tulemus on vasest rõngas, mis ühendab kõiki mähise poolte lattisi üheks kinniseks vooluringiks. Nähtavasti loob ühes latis voolav vool ühendusrõnga kaudu vastava latiga ise kinnise vooluringi. Niisugused rootorid millel on asetatud ühendusrõngad, nimetatakse otseside rootoriteks.



Joon. 139.

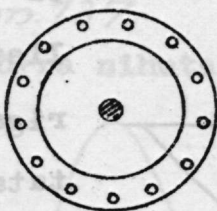
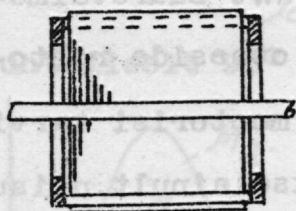
Otseside rootoriga asünkron masinad ehitatakse võimega kuni ca 5 kw. Suurevõimelisi otseside rootoriga mootorisi tarvatakse ainult niisugustes vabriku elektrivõrkudes, millised

suuri voolutõukeid ei karda.

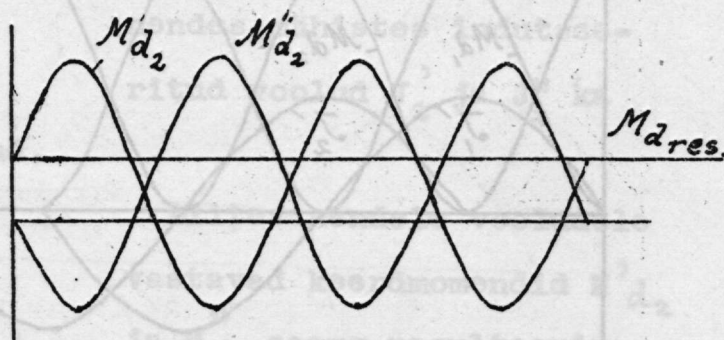
Astinkron masina käimalaskmine.

Oletus, nagu oleksid rootori vool ja pinge faasis, ei leia kinnitust, sest esile tuleb hoopis vastupidine nähtus - nad on mootori tühijooksul üksteisest väga nihutatud. Selle nähtuse peapõhjuseks on rootori induktiivne takistus, mis on võrreldes rootori oomilise takistusega väga suur. Valmishitatud masina induktiivset takistust ei saa enam muuta, küll aga oomilist, lülides rootori vooluringi käimalaskmise ajaks reguleeritav takistus, mida nimetatakse käimalaskiaks.

Käimalaskja tarvitamine suurendab mootori algkeerdmomenti, vähendades nihknurka rootori voolu ja pinge vahel. Pääle selle takistab käimalaskja suurte voolutõugete tekkimist käimalaskmisel. Käimalaskja ühendamine rootoriga sünnib rootorile asetatud kontaktrõngaste kaudu ja käimalaskmine seisab rootorile ettelülitatud takistuse järkjärgulises väljalülimises, nii et rootori mähis oleks masina käigu ajal otsesides (joon.141).



Joon. 140.



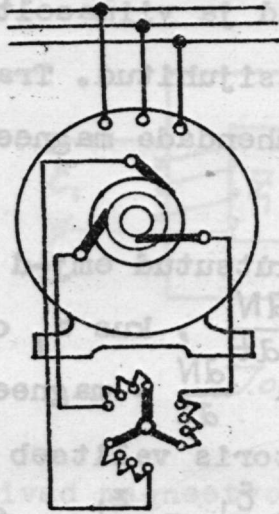
Joon. 141.

Faaside nihkumise tagajärjel  $E_2$  ja  $J_2$  vahel muutub osa faasi keerdmomendist negatiivseks, mille tõttu resulteeriv keerdmom-



ment loomulikult väike on (joon.141).

Asünkron masina töötamisviisi kokkuvõttes olgu tähendatud, et staatori ja rootori voolude kupeldamine sünnib magneetilise keerdvälja kaudu, kusjuures viimase ülesandeks on võrgult staa-



Joon. 142.

torile antud elektrienergia üleandmine rootorile. Sageli nimetatakse asünkron masinaid ka induktsioon-masinateks, sest staatori vool indutseerib ju rootorivoolu. Keerdvälja kiirus oleneb masina naba-

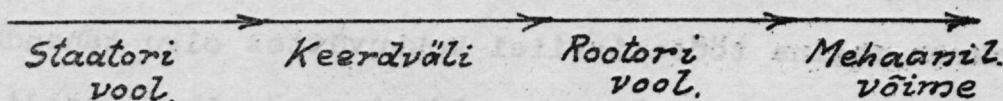
de arvust  $p$  ja voolu frekventsist  $\nu$ . Viiekümne perioodilises voolust sünnitatud keerdvälja kiirus, mis tegelikkult arvitamist leiab, on - kahenabalistele masinatele ( $p=2$ ) - 3000 t/min neljana-

balistele - 1500 t/m, kuuenabalistele - 1000 t/min. jne. Asünkron mootori tiirusid ei ole võimalik reguleerida.

Mootori tiirlemise sihi muutmise sünnib keerdvälja tiirlemise sihi muutmise, mida saadakse kahe staatori juhe ümberpaigutamise teel.

### Transformaatorid.

Transformaatorite ülesanne on mingisuguse pingelist vaheld. samuti ka keerdvoolu muundada teistsuguse pingeliseks vaheld. ehk keerdvooluks. Selleks kupeldatakse kaks mähist nii, et primäärmähisele juuretöödud elektriline energia saaks magneetili-



Joon. 143.

se kuplungi kaudu sekundäärühisele edasiantud ja viimaselt teistsuguse pingeline elektriline energia edasijuhitud. Transformaatorites tarvitatava raua ülesanne on vähendada magneetiliselt kaotusi magneetiliselt kuplungi loomisel.

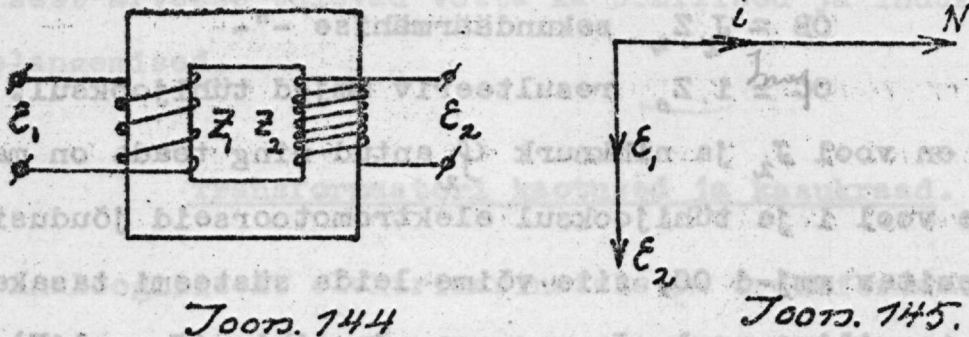
Magneetvoolu poolt primäärühises väljakutsutud emf-d  $E_1 = -z_1 \frac{dN}{dt}$  ja sekundäärühises  $E_2 = -z_2 \frac{dN}{dt}$ , kus  $z_1$  on primäär- ja  $z_2$  sekundäärühise keerude arv ja  $\frac{dN}{dt}$  - magneetvälja muutumine ajal  $dt$ . Et meil transformaatoris valitseb ainult üks resulteeriv magneetvool  $N$ , siis peab  $\frac{E_1}{E_2} = \frac{z_1}{z_2}$ . See tähendab, et meil on võimalik pinget soovi järele muuta, valides vastava keerude vahekorra.

Sekundäärühise koormamisel vooluga  $J_2$  saame viimaselt võimet  $E_2 J_2$ , kuna primäärühisele juuretoodud võime on  $E_1 J_1$ . Kui transformaatori kaotusi jätta tähelepanemata, siis võrdub juuretoodud energia edasiantud energiale:  $E_1 J_1 = E_2 J_2$ , millest leiame, et  $\frac{E_2}{E_1} = \frac{J_1}{J_2}$  s.o. voolud on vastuproportsionaalsed pingele - mida kõrgem on mähise pinge, seda väiksem on temas voolav vool. See on väga laiaulatuslise tähtsusega nähtus, millist kasutatakse elektrilise energia juhtimisel kauge maa taha. Teine tähelepanu vääriv nähtus on, et transformaatori sekundäärühises voolab samaperioodiline vool kui primäärühiseski.

Transformaatorist parema ettekujutuse saamiseks käsitame



transformaatori-diagrammi, jättes lintustamise otstarbel ar-  
vesse võtmata transformatori kaotused. Selleks peame oletama,  
et kõik transformatoris valitsevad magnetvoolud on liitunud  
üheks resulteerivaks magnetvooluks  $N$ . Viimane indutseerib  
primäär- ja sekundärmähistes elektromotoorsed jõud, millised

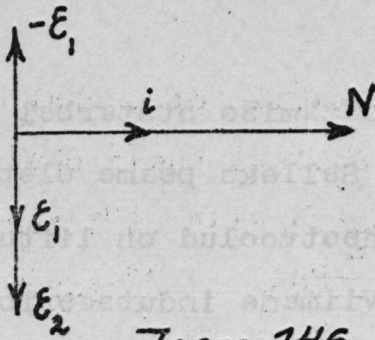


Joon. 144

Joon. 145.

jälgivad magnetvoolule  $90^\circ$  võrra (vaata vaheldvoolu seadused, lhk, 44). Ühendades transformaatrit välisvooluallikaga, rakedame transformaatori primäärmähise külge välisvooluallika elektromotoorse jõu  $E$ , milline suuruselt peab võrduma primäärmähises magnetvoolu  $N$  poolt indutseeritud emf-ile  $E_1$ , kuid sihit olema vastupidine, s.o.  $E = -E_1$ , sest muidu puuduks tasakaal süsteemis.

Voolu  $i$ , milline kutsub välja magnetvoolu  $N$ , nimetatakse magnetiseerimise-vooluks; ta on magnetvooluga  $N$  faasis ja voolab primäärmähises. Transformaatori koormamise voolavad tema mähistes voolud  $J_1$  ja  $J_2$ . Need voolud sünnitavad kumbki omaette magnetomotoorse jõu (mmf-u), mille mõõteks olgu  $J_1 Z_1$  ja  $J_2 Z_2$ . Üksikute mmf-de geomeetrilisel liitmisel saame resulteeriva mmf-u, milline sünnitab resulteeriva magnetvoolu  $N$ . Magnetomotoorsete jõudude sihid on määratud mähistes voolavate voolude sihiga.

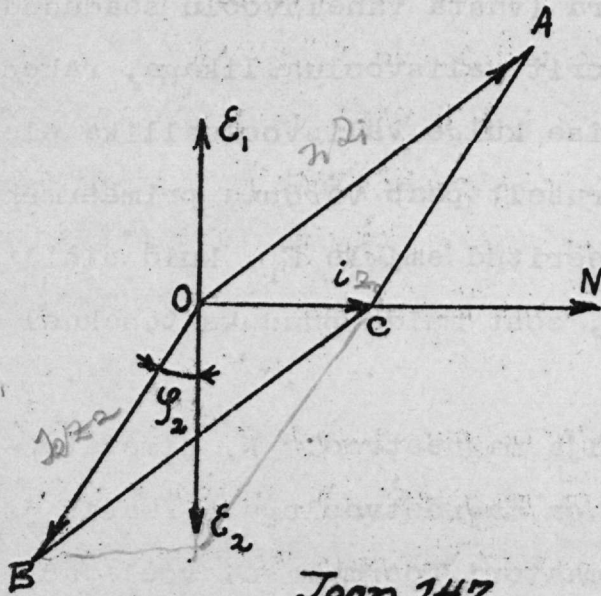


Joon. 146.

Voolab transformaatori sekundäärmähises vool  $J_2$ , siis on voolu ja emj-ude vahel olemas koormamisviisile vastav nihknurk  $\varphi_2$ .

- Olgu meil  $OA = J_1 Z_1$  primäärmähise mmj-d
- $OB = J_2 Z_2$  sekundäärmähise -"-
- $OC = I \cdot Z_0$  resulteeriv mmj-d tühijooksul.

Kui meil on vool  $J_2$  ja nihknurk  $\varphi_2$  antud ning teada on magnetiseerimise vool  $i$  ja tühijooksul elektromotoorseid jõudusid  $E_1$  ja  $E_2$  sünnitav mmj-d  $OC$ , siis võime leida süsteemi tasakaalustamiseks tarvilise voolu  $J_1$  suuruses ja sihis (Joon.147).



Joon. 147.

Parallelogrammis OACB on antud  $J_2 Z_2$ ,  $\varphi_2$  ja  $OC$  ja nende abil tahame leida primäärmähise mmj-du ja sellele vastavat voolu  $J_1$ . Selleks tuleb meil  $OC$  lahutada mmj-de komponentideks ja  $OA$  kujutaks meile primäärmähise magnetomotoorset jõudu  $J_1 Z_1$ , mida jagades keerde arvule  $Z_1$  saame primäär- voolu  $J_1$ . Ei sünniks näiteks

transformaatori primäärmähises vool  $J_1$ , siis liituks mmj-d  $J_2 Z_2$  tühijooksu mmj-ga resulteerivaks mmj-ks, milline kutsuks primäärmähises välja elektromotoorse jõu, mis oleks suurem, kui transformatori primäärmähise külge rakendatud välisvooluallika emj-d ja transformator peaks niisugusel juhusel võrku elek-



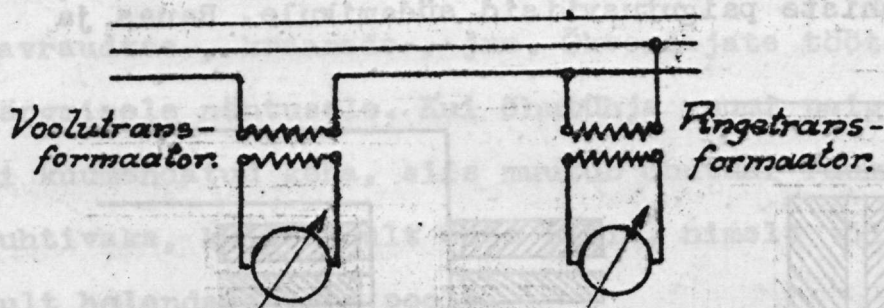
trilist energiat andma. See on aga täiesti võimata, sest siis peaks transformaatore muutuma energia allikaks. Et süsteemis ei saaks elektriline tasakaal rikutud, peab vastuelektromotoorne jõud  $E$  võrduma välisvooluallika elektromotoorsele jõule.

Tegelikult on transformaatore diagrammid palju keerulisemad, sest arvesse tulevad võtta ka oomilised ja induktiivsed pingelangemised.

### Transformaatore kaotused ja kasukraad.

Analoogiliselt elektrimasinatele on transformaatoreis raua- ja vasekaotused. Rauakaotused tekkivad kohe transformaatore lüümisel võrku, kuna vasekaotused leiavad aset ainult transformaatore koormamisel.

Transformaatoreite kasukraad  $\eta = 95 \rightarrow 97 \%$ , mispärast transformaatoreisi tarvitatakse väga palju, eeskätt elektrienegia juhtimisel kauge maa taha. Peale nimetatud juhuse tarvitatakse



Joon. 148.

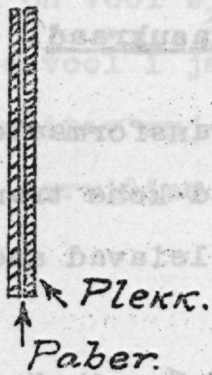
transformaatoreisi mõõtmise vahendina. On meil näiteks vajadus mõõta kõrget pinget, siis ei tehta seda vahenditult vaid üle pingetransformaatore.

Tegelikult mõõdame siis küll madalpinget, kuid voltmeetri skaala on jaotatud vastavalt kõrgepingele. Sama põhimõtte järele tarvi-

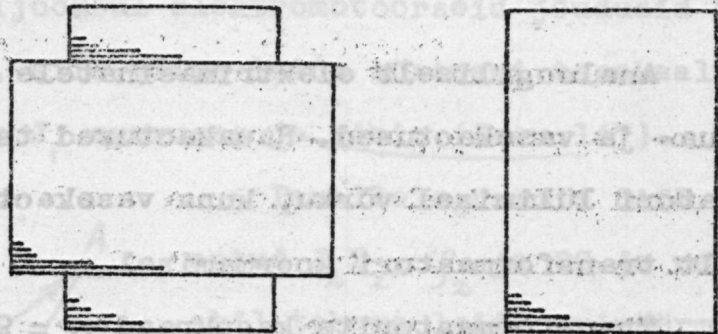
tatakse suurte vaheldvoolude mõõtmiseks voolutransformaatoreid (Joon.148).

Transformaatorite ehitus.

Transformaatorite raudsüdamikud valmistatakse õhukestest plekkidest, millised on üksteisest õhukeste paberikihtidega isoleeritud (Joon.149). Rauakaotuste vähendamiseks sisaldavad

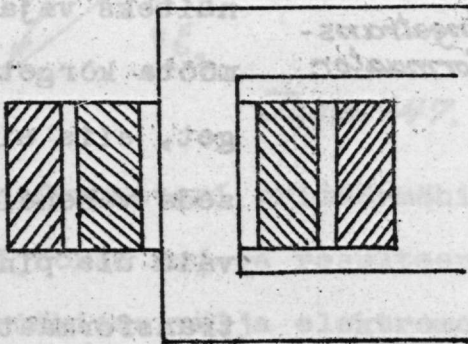


Joon. 149.



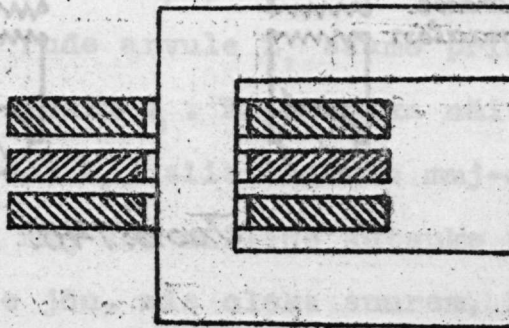
Joon. 150.

plekid rohkesti silitsiumi (Si). Joonisel 150 on näidatud kõige rohkem tarvitamist leidnud raudsüdamikude profiilid ja joonisel 151 ja 152 mähiste paigutusviisid südamikule. Rauds ja



Tsilindermähkis

Joon. 151.

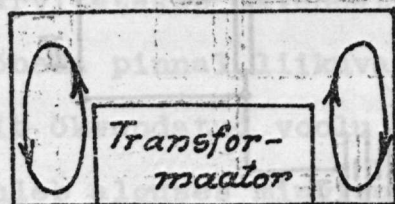


Sheibimähkis

Joon. 152.



vases tekkivad kaotused avalduvad soojuste tekkimises. Soojuste eemaldamiseks tuleb transformaatorit jahutada. Parimateks jahutusvahenditeks on osutunud õli ja õhk. Õhujahutusega ehitatakse



Õlitsirkulatsioon.

Joon. 153.

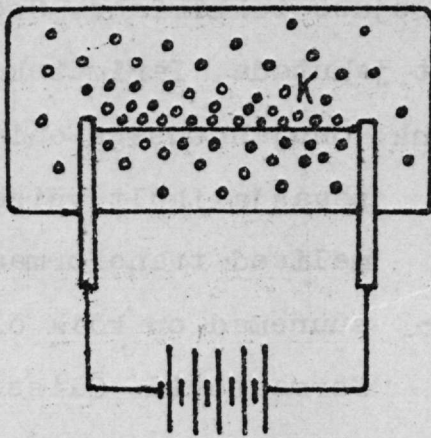
peasjalikult väikesevõimelised transformaatrid, suuremad on kõik õlitransformaatrid. Õlisse asetatud transformaatori südamikud ja mähised annavad tekkinud soojuste

õlile üle, kuna õli, tsirkuleerudes nõus, annab selle omakorda kasti seintele edasi.

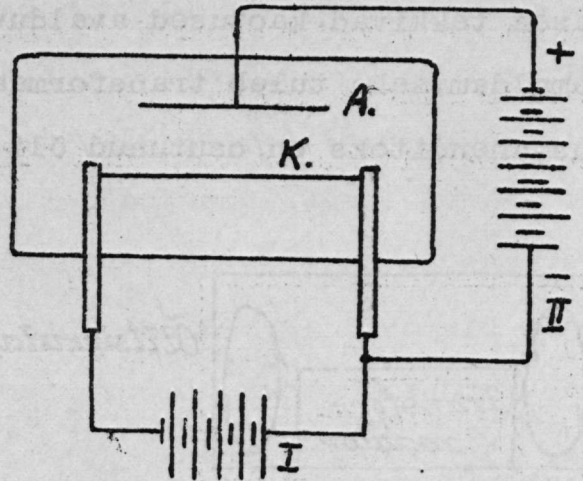
### Õkvendajad (Gleichrichter).

Õkvendajate ülesanne on ühe- ehk mitmefaasilist vahelduvoolu muundada alaliseks vooluks. Niimoodi saadud alalist voolu tarvitatakse peasjalikult akkumulaatori patareide laadimiseks, kuid ka suurtes alalise voolu sisseseadetes, näiteks tänavraudtee-, kraanade-, jne. Õkvendajate töötamisviis tugeb järgmisele nähtusele. Kui õhutühja ruumi paigutada helendamise ni kuumendatud keha, siis muutub õhutühi ruum elektri voolu juhtivaks, kuid ainult ühes sihis, nimelt võib vool pääseda ainult helendava keha poole.

Joonisel 154 näidatud vooluring on loodud üle õhutühja klaaskehha paigutatud raskestisulava metallniidi. Voolu läbitumisel soojeneb metallniit umbes 2000° C temperatuurini. Niisugune klaaskehha piiratud ruum muutub metallniidi hõõgumise



Joon. 154.



Joon. 155

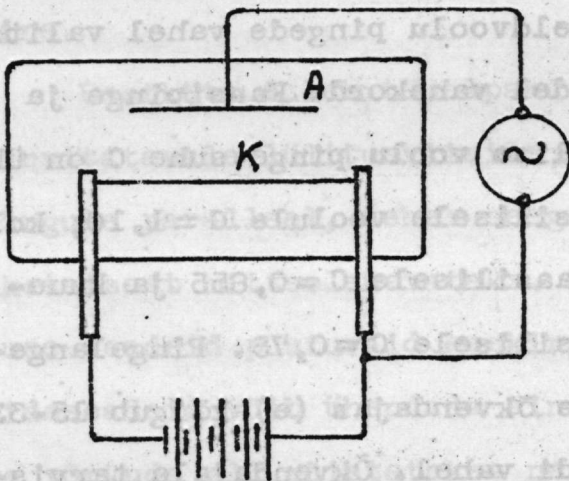
ajal elektrivoolujuhtivaks, kuid ainult ühes kindlas sihis - läbi õhutühja ruumi helendava metallniidi poole. Seda nähtust seletatakse järgmiselt: kehad kiirgavad enestest kõrgete temperatuuride juures negatiivselt laetuid väikseid osakesi n.n. elektroone välja. Hõõguvalt kehalt lenduvad negatiivsed laengud, sattudes teistele kehadele, muudavad viimaste elektrilisi laenguid. Meil on teada, et elektrilaengute (elektriväljade) muutmine kutsub elektri voolu välja. Asetades niisugust negatiivsete elektroonidega täidetud ruumi elektrivälja, siis võib elektroonide liikumine sündida ainult ühes kindlas sihis.

Kui näiteks paigutada õhutühja ruumi peale hõõguva keha K veel üks mittehõõguv plaat A (joon.155), milline on ühendatud alalise voolu allika II positiivse näpitsaga, siis võime vooluallikale luua kinnise vooluringi läbi õhutühja ruumi, ühendades vooluallika II negatiivset näpitsat hõõguva kehaga K. Metallniidi K temperatuuri tõstmine kuni niidi helendamiseni sünnib alalise, vooluallikast I võetava, vooluga, ja seda vooluallikat nimetatakse harilikult küttepatareiks.



Küttepatarei asemel võib tarvitada kütmiseks ka vaheldvoolu ehk voolu allikat II läbistuvat voolu, kui see küllaldaselt suur on. Viimaste õkvendajate hulka kuuluvad n.n. „elavhõbeda-auru leekõkvendajad“, millistes hõõguva keha saamiseks tarvitatakse õkvendatud voolu. Töötamise ajal võib näha elavhõbeda pinnal liikuvat tulekera „katoodi plekki“, milline sünnib õkvendatud voolu läbistumisel. Niisugustel õkvendajatel tuleb alguses mingisuguse lisaseadega elavhõbe (K) hõõguvasse seisukorda viia; pärastist hõõgumist hoiab alles õkvendatud vool ise.

Kui plaadiga A ühendatud alalise voolu allika asemele



Joon. 156.

panna vaheldvoolu allikas, siis võib vool vooluringis voolata ainult nendel silmapilkudel, kui plaat A on laetud positiivselt. Vaheldvoolust saaks seega antud lülituse (joon.156) juures kasutatud ainult pool lainet (joon.157). Et võimalik oleks ka teisi laine-

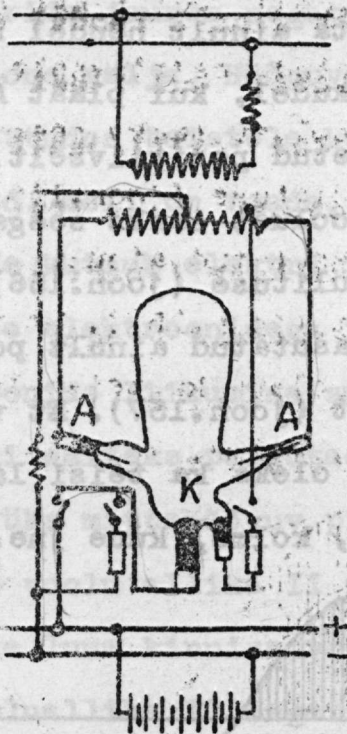
osi kasutada, ehitatakse õkvendajad kahe, kolme, kuue jne.



Joon. 157.

anoodiga. Hõõguvaks kehaks tarvitatud elavhõbeda on veel tänuväärt omadus auruda, vähendades seega õkvendaja sisemist takistust ja ühtlasi ka pingelangemist. Elavhõbeda aur, puutudes teada ümbritseva klaaskeha seintega kokku, kondenseerub ja langeb uuesti katoodile, uuendades viimast. Õkvendajate kasukraad võib olla õige suur. Kasukraadi suurus oleneb alalise voolu pingest. Pingedele kuni 60 volti on kasukraad kuni 75 %, 550 voldile - 95 %, tähendab suurem kui üheankrulisel muundajal ehk mootor-generaatoril. Saadud alaline vool on ikkagi lainekujuline, mispärast tema mõõtmiseks on soovitatav tarvitada dynamomeetrilisi ehk kuumustreat riistu.

Alalise voolu pinge ja vaheldvoolu pingede vahel valitseb



Joort. 156.

kindel vahekord. Faasipinge ja alalise voolu pinge suhe  $C$  on ühefaasilisele voolule  $C=1,10$ ; kolmefaasilisele  $C=0,855$  ja kuuefaasilisele  $C=0,75$ . Pingelangemine õkvendajas ( $e$ ) kõigub 15-33 voldi vahel. Õkvendajale tarvitaminev vaheldvoolu pinge  $E$  peab olema vähemalt

$$E = [E_{gl} + e] 1,02 \text{ volti}$$

kus  $E_{gl}$  = nõetav alalise voolu pinge.

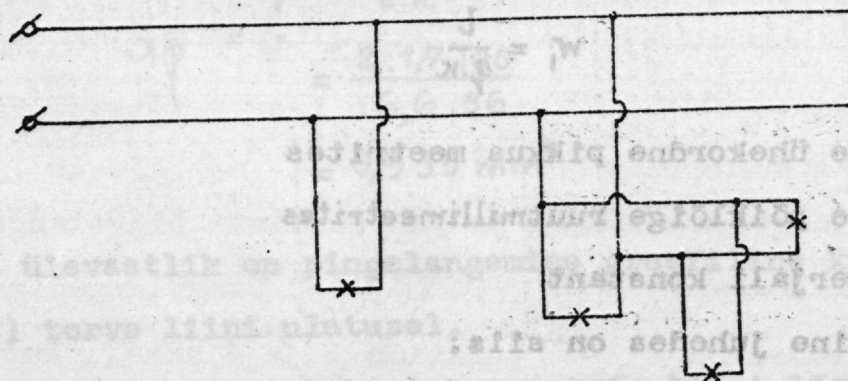


### ELEKTRIJUHEDE ARVESTAMINE.

Võimalus elektrilist energiat tarvitada vabalt oma soovi järele on tunduvalt kaasaaidanud elektri tarvitamise levinemisele. Majanduslikkuse kui ka tehnilise läbiviidavuse mõttes on ükskõik, kas tarvitajani juhitakse elektrilist energiat suurtes ehk väikeses hulkades. Mis puhtub elektrilist energiat sunnitavatesse seadetes n.n. elektri keskjaamadesse, siis on majandusliselt kasulikum neid ohitada võimalikult suurteks.

Käesoleva peatüki ülesandeks olgu elektri energia juhtimisel keskjaamast kuni tarvitajani tekkivate nähtuste selgitamine.

Eestkätt tuleb tähelepanu juhtida jaotusseadetes üldiselt tarvitatavale lülitusviisile; nimelt lülitakse kõik tarvitjad võrgule paralleel, tehes seega kõiki tarvitajaid iseseisvateks, üks teisest mitteolenevateks. Samuti tuleb teada elektrivalgustuse seadeid puutuvaid eeskirju, mille järele nõutakse, et lampideseadeid võib ühendada ainult madalpinge võrguga. Madalpinge võrkude all mõistetakse neid seadeid, milliste pinge juhe ja maa vahel ei tõuse üle 250 voldi.



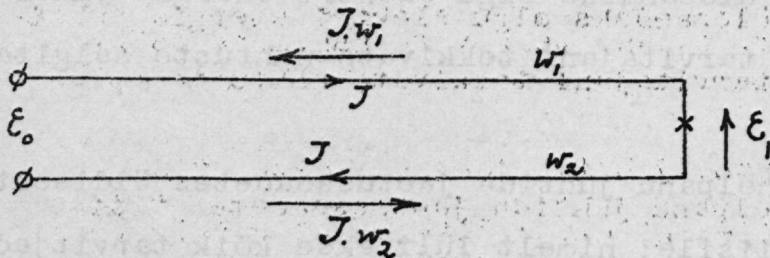
Joon. 159.

Alalise voolu seaded.

Olgu meil tarvitaja vool  $J$  ja pinge tarvitaja juures  $E_1$ ; pinge vooluallika näpitsate juures  $E_0$ ;  $w_1$  ja  $w_2$  elektrijuhte takistused. Tarvitajapinge  $E_1$  peale võime vaadata võrgu suhtes kui vastuelektromotoorse jõu peale (Joon.160) ehk pinge peale, millega tarvitaja voolu tarvitab. Kirchhofi seaduse järele võime siis kirjutada:

$$E_0 = J.w_1 + \mathcal{E}_1 + J.w_2 \dots \dots \dots I$$

$E_0 - E_1 = J.(w_1 + w_2) = e =$   
= pingelangemine juhes, mille sünnitab vool juhesid läbistades. Kui mõlemad juhed on ühest materjalist, ühesuguse põiklõikega ja



Joon.160.

ühelikused, siis on nende takistused  $w_1 = w_2 =$  võrdsed ja võrrand I omab lihtsama kuju:

$$E_0 - E_1 = e = 2.J.w_1$$

Meil on teada, et juhe takistus

$$w_1 = \frac{l}{q.k} \quad \dots \quad r = \frac{l}{q.k}$$

kus  $l$  = juhe ühekordne pikkus meetrites

$q$  = juhe põiklõige ruutmillimeetrites

$k$  = materjali konstant

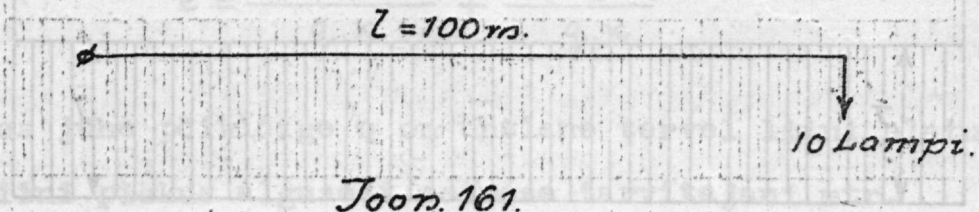
Pingelangemine juhes on siis:

$$e = 2.J.w_1 = \frac{2.J.l}{q.k} ;$$



Pingelangemise avalduse kasutamine alalise voolu juures, kui tarvitaja asub juhe lõpul.

Antud on keskjaamast 100 meetri kaugusel võrguga ühendatud 10 elektrilampi. Iga lamp on 25 W ja võimetarvitus ühe Hefner küünla peale on  $1,5 \text{ W/W}$ . Lubatud on juhedes 3 % pingelangemist ja keskjaama pinge on 220 volt. Materjali konstant on 56. Joon.161.



Joon.161.

Üldine küünlate arv seades on  $= 25 \cdot 10 = 250 \text{ W}$ .

Üldine võimetarvitus lampides  $= 1,5 \cdot 250 = 375 \text{ Watt}$ .

Pingelangemine juhedes (lubat.)  $= \frac{220 \cdot 3}{100} = 6,6 \text{ volt}$

Tarvitaja vool  $= \frac{375}{220} = \sim 1,7 \text{ Amp}$ .

Juhe ühekordne pikkus  $= 100 \text{ m}$ .

Juhe materjali konstant  $= 56$ .

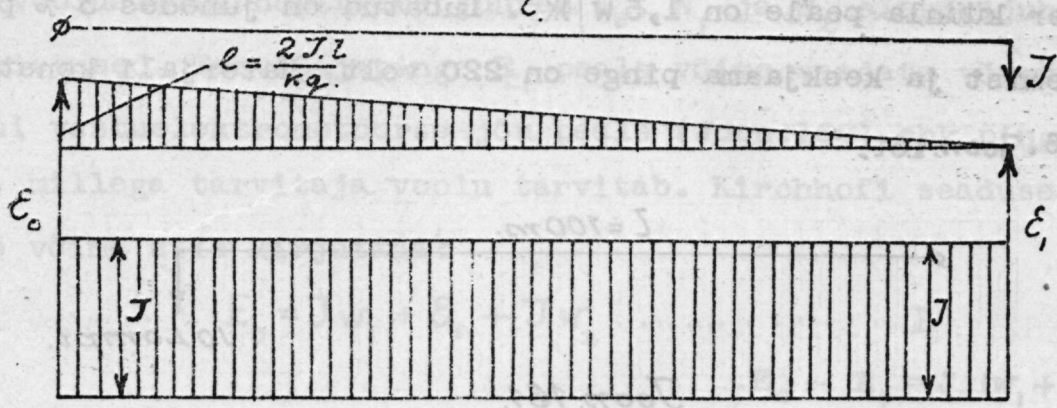
Pingelangemise avaldusest  $e = \frac{2 \cdot J \cdot l}{q \cdot \kappa}$  näeme, et meil on tundmatuks juhe põiklõige, mille suuruse leiame

$$\begin{aligned} q &= \frac{2 \cdot J \cdot l}{e \cdot \kappa} \\ &= \frac{2 \cdot 1,7 \cdot 100}{6,6 \cdot 56} \\ &= 0,935 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Väga ülevaatlik on pingelangemise graafiline kujutus (Joon.162) terve liini ulatusel.

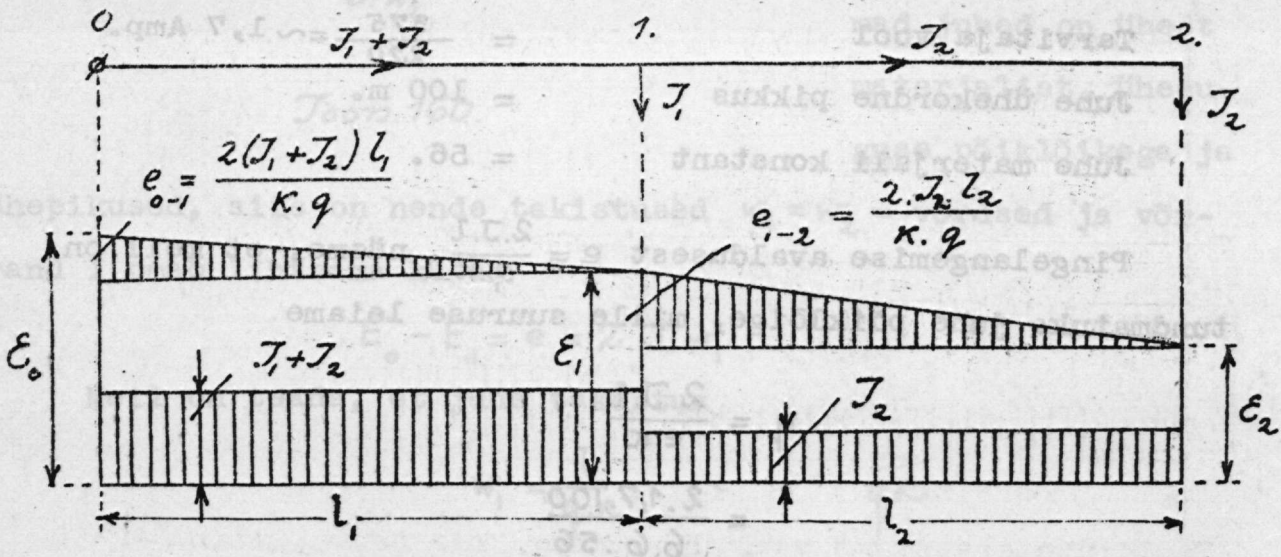
Kui liin on kahest kohast koormatud, liini lõpul ja min-

gisuguses vahepealses punktis, siis tuleb liini arvestada osade kaupa: liini algusest esimese tarvitajani ja siis esimesest tarvitajast liini lõpuni s.o. viimase tarvitajani varem lei-



Joon. 162.

tud pingelangemise avalduse järelle. Silmas tuleb pidada, et juheosades voolavad voolud saaksid õieti arvesse võetud. (vaata joon. 163).



Joon. 163.

Pingelangemine liinis "e" on osaliste pingelangemiste  $e_{0-1}$  ja  $e_{1-2}$  summa:  $e = e_{0-1} + e_{1-2}$  kus  $e_{0-1}$  = pingelangemine punktide 0 ja 1 vahel ja  $e_{1-2}$  = punktide 1 ja 2 vahel. Punktist 0



kuni punktini 1. voolavad mõlemad tarvitajate voolud koos ( $J_1 + J_2$ ) ja esimesest tarvitajast kuni liini lõpuni vool  $J_2$  (vaata joon. 162).

Üldine pingelangemine

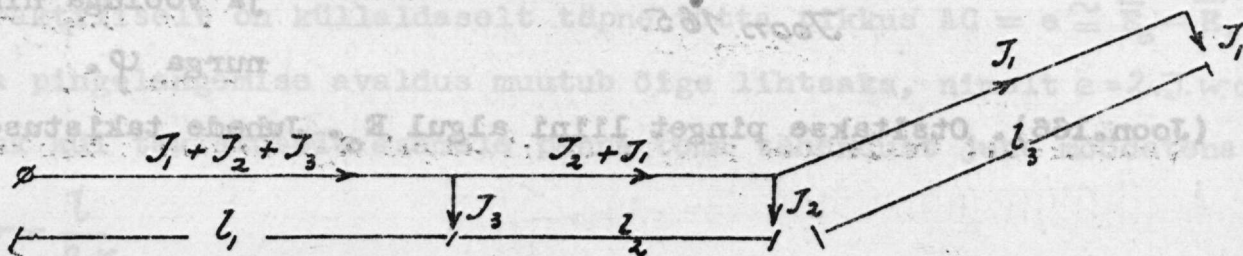
$$e = \frac{2 \cdot (J_1 + J_2) \cdot l_1}{q \cdot \kappa} + \frac{2 \cdot J_2 \cdot l_2}{q \cdot \kappa}$$

kusjuures juhe põiklõige  $q$  on ühtlane tervel liini ulatusel ja

$l_1$  = liini pikkus algusest esimese tarvitajani mtr.

$l_2$  = liini pikkus esimesest tarvitajast liini lõpuni mtr.

Juhime veel kord tähelepanu sellele, et kõigepealt tulevad kindlaks määrata voolud üksikutes liini osades ja alles siis asuda liini arvestamisele.



Joon. 164.

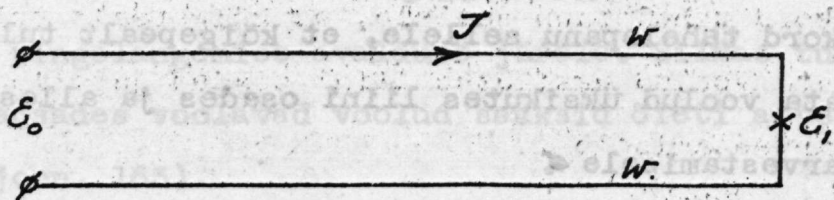
Lõpuks arvestame veel ühe näite, kus tervel liini ulatusel on kolm tarvitajat (Joon.164). Pingelangemine liinis

$$e = e_1 + e_2 + e_3 = \frac{2 \cdot (J_1 + J_2 + J_3) \cdot l_1}{q \cdot \kappa} + \frac{2 \cdot (J_1 + J_2) \cdot l_2}{q \cdot \kappa} + \frac{2 \cdot J_1 \cdot l_3}{q \cdot \kappa}$$

Käsitatud arvestusviisid tarvitatakse kõikide alalise voolu siseinstallatsioonide ja lahtiste õhuliinide arvestamisel.

Vaheld- ja keerdvoolu seaded.

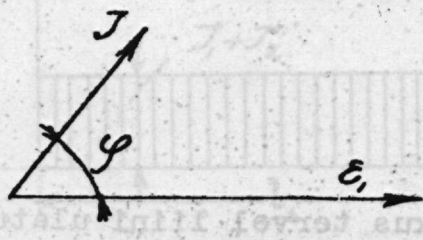
Võrrandite väljatoomisel vaheldvoolu tarvis kasutame graafilist meetodit, sest üksikuid suuruseid on graafiliselt kõige selgem ettekujutada. Pääle selle tuleb vaheldvoolu liinide arvestamisel neid suuruseid geomeetriliselt liita ja lahutada.



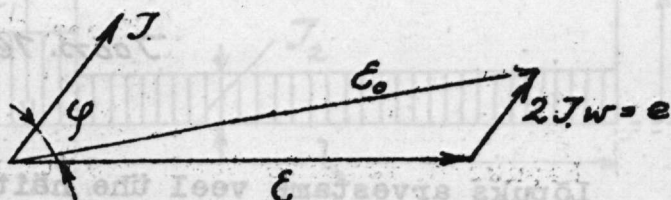
Antud on meile tarvitaja pinget  $E_1$ , mis sünnitab tarvita- ja vooluga nihk- nurga  $\varphi$ .

Joon. 165.

(Joon. 166). Otsitakse pinget liini algul  $E_0$ . Juhede takistuse



Joon. 166.



Joon. 167.

võtame arvesse kui puhtoomilise takistuse. Varemalt leidsime et oomilise takistuse poolt väljakutsutud vastuelektromotoor-



ne jõud on vooluga faasis.  $E_0$  leidmiseks tulevad tarvitaja pinge  $E_1$  ja pingelangemised geomeetriselt liita (Joon. 167). Meid huvitab aga peamiselt pingelangemine  $\overline{E}_0 - \overline{E}_1 = e$  (geomeetiline vahe). Joonise 168 järele võime kolmnurkade



Joon. 168.

ABC ja OBC abil leida

$$E_0 = \sqrt{(E_1 + 2.J.w.\cos\varphi)^2 + (2.J.w.\sin\varphi)^2}$$

Praktiliselt on küllaldaselt täpne võtta pikkus  $AC = e \approx \overline{E}_0 - \overline{E}_1$ , ja pingelangemise avaldus muutub õige lihtsaks, nimelt  $e = 2.J.w.\cos\varphi$  ehk kui takistusele asemele panna tema tähendust juhe mõõdetena

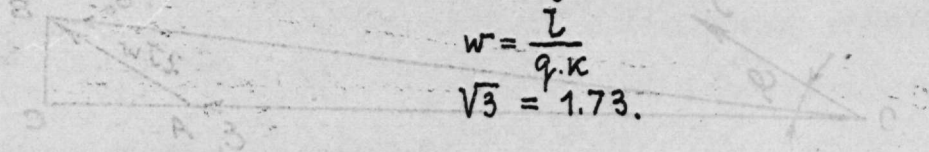
$$w = \frac{l}{q \cdot \kappa}$$

$$e = \frac{2.J.l}{q \cdot \kappa} \cdot \cos\varphi$$

Kui  $\cos\varphi = 1,0$  nii kui see valgustusseades tegelikult ongi, siis on  $e = \frac{2.J.l}{q \cdot \kappa}$ . Nagu näha, on vaheldvoolu pingelangemise avaldus väga sarnane alalise voolu pingelangemise avaldusega ja muutub täiesti identseks induktsioonvaba koorma juures (kui  $\cos\varphi = 1,0$ ).

Kolmefaasilise voolu jaoks võime leida analoogiliselt pingelangemise avaldusse, arvesse võttes, et liitpinge kahe juhe vahel on  $\sqrt{3}$ -me kordne faasipinge. Faasipingelangemine  $e_{ph} \approx J \cdot w \cdot \cos \varphi$  ja liit- pingelangemine.

$$e_1 = \sqrt{3} \cdot J \cdot w \cdot \cos \varphi$$



$$w = \frac{L}{q \cdot k}$$
$$\sqrt{3} = 1.73$$

$$e_1 = \frac{1.73 \cdot J \cdot L}{q \cdot k} \cdot \cos \varphi$$

Seda avaldust tarvitatakse väga palju valgustus-seadete arvestamisel, kus  $\cos \varphi = 1.0$  ja avaldus omab kuju  $e_1 = \frac{1.73 \cdot J \cdot L}{q \cdot k}$ ;

Vaheld- ja keerdvoolu juures ei ole pingelangemine juhes identne juhekaotustele, nii kui see alalise voolu juures on, sellepärast tarvitatakse sageli põiklõike  $q$  leidmiseks veel ühte teist avaldust, mille väljatoomist meie siin ei käsita.

$$q = \frac{L \cdot L}{\rho \cdot k \cdot E_v^2 \cdot \cos^2 \varphi}$$

kus tähendavad:

$L$  = ülekantavat võimet Wattides;

$p = \frac{n}{L}$  ;  $n$  = võimekaotus juhedes Wattides;

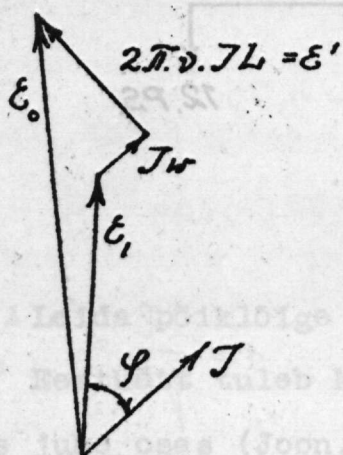
$E_v$  = liitpinget voltides;

$\cos \varphi$  = faaside nihkumist ehk võimetegurit;

$k$  = materjali konstanti



Senini jätsime vaheld- ja keerdvoolu liinide arvestamisel tähelepanemata omainduktsiooni nähtuse, mis tunduvalt esile kerkib pikkade liinide juures, millede liinipinge on suurem kui 1000 volti. Meil on teada, et juhul, milles voolab vaheldvool, ümbritsevad vahelduvad magnetväljad, millised omakorda juhes eneses indutseerivad emf-u, nõndanimetatud omainduktsiooni emf-u.



Joon. 169.

Oomiline pingelangemine  $J.W$  on faasis juhes voolava vooluga, nii et tema geomeetrisel liitmisel tarvitava faasipingega  $E$ , on tema siht paralleelne voolule  $J$ . Pääle oomilise pingelangemise on veel induktiivne pingelangemine (omainsuktsiooni emf-du kompenseeriv pinge), milline voolu suhtes on nihutatud  $90^\circ$  võrra, nii et sihi poolest tuleb ta võtta oomilisele pingelangemisele perpendikulaarselt. Induk-

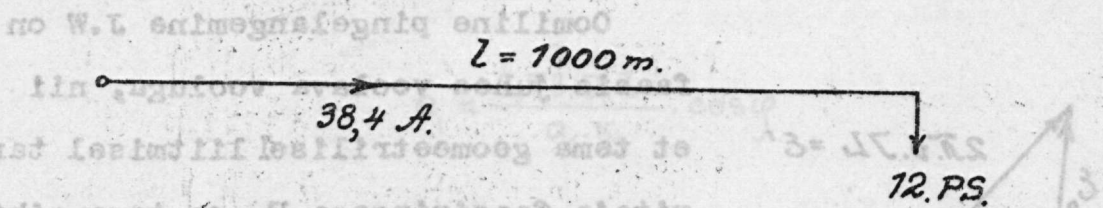
tiivse pingelangemise suurus on  $E' = 2\pi\nu LJ$ , kus  $L$  on omainduktsiooni tegur Henrides. Tarvitava pinge, oomilise ja induktiivse pingelangemiste geomeetriseline summa on liini alulvalitsev faasipinge  $E_0$ .

Pikkade liinide juures, milliste pinge on suurem kui 50000 volti, tuleb arvesse võtta veel mahtuvuse ja koroona kaotusi. Neid kaotusi madalpinge juures arvesse ei võeta,

sest nad on praktiliselt väga väikesed.

Näide 1.

Arvestada keskjaamast ühe kilomeetri kaugusel asuva 12 hobusejõulise mootori toiteliin, kui tarvitaja juures on lubatud 5% madalam pinge, kui see jaamas on. Jaama pinge on 230 volti ja juhe materjaliks on vask.



$J = 38,4 \text{ A}$        $W = 170$

$e = 0,05 \cdot E = 0,05 \cdot 230 = 11,5 \text{ volt.}$

$12 \text{ H} = 8840 \text{ watt.}$

$J = \frac{W}{E} = \frac{8840}{230} = 38,4 \text{ Amp.}$

$q = \frac{2 \cdot J \cdot l}{e \cdot \kappa} = \frac{2 \cdot 38,4 \cdot 1000}{11,5 \cdot 56} = 119 \text{ mm}^2 \sim 120 \text{ mm}^2.$

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

$\frac{\Delta P}{P} = \frac{q \kappa U^2}{2 l^2 \rho}$

$q = \frac{2 l}{\rho \kappa} \cdot \frac{W^2}{U^2}$

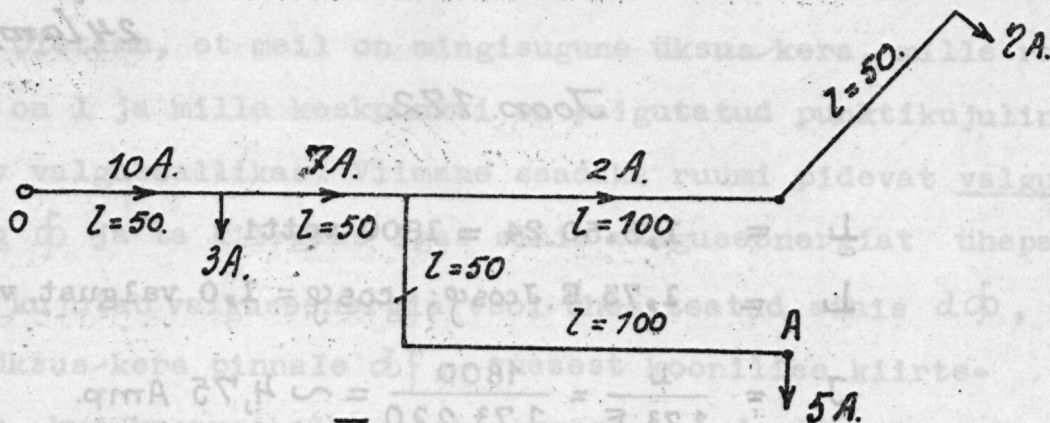
Harilikult ei monteerita niisuure põiklõikega juheta, vaid tema asemel võetakse kaks juheta paralleel. Meie ülesandes tuleks võtta kaks 70 mm<sup>2</sup>-list juheta, mis annaksid üldpõiklõike 140 mm<sup>2</sup>.

Näide 2.

Antud on:



$E = 220$  volt = jaama pingeline  
 $e = 3\%$  = pingelangemine OA vahel  
 $k = 56$



Joon. 171.

Leida põiklõige  $q$  ?

Eestkätt tuleb kindlaks teha, kui suured voolud voolavad igas juhe osas (Joon.171) ja siis leida üldine pingelangemine osaliste pingelangemiste abil.

$$e = \frac{2 \cdot J \cdot l}{q \cdot \kappa} = 6,6 = \frac{2 \cdot 10 \cdot 50}{q \cdot 56} + \frac{2 \cdot 7 \cdot 50}{q \cdot 56} + \frac{2 \cdot 5 \cdot 150}{q \cdot 56}$$

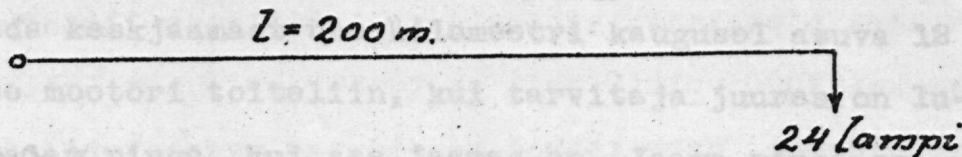
$$q = \frac{2}{6,6 \cdot 56} [10 \cdot 50 + 7 \cdot 50 + 5 \cdot 150]$$

$$= 8,65 \sim 10 \text{ mm}^2.$$

Näide 3.

Kui suur on pingelangemine keerdvoolu võrgus, milline toidab kahtekümmend nelja viiekümnekiümlalist lampi ?

Lampide eritarvitus on  $1,5 \text{ w/}\mu$ . Liinipikkus võrdub 200 meetrile; jaama pinge on 220 volti ja vaskjuhe põiklõige  $10 \text{ mm}^2$ .



Joon. 172.

$$L = 1,5 \cdot 50 \cdot 24 = 1800 \text{ vatti}$$

$$L = 1,73 \cdot E \cdot J \cdot \cos \varphi; \quad \cos \varphi = 1,0 \text{ valgust. võrgule.}$$

$$J = \frac{L}{1,73 \cdot E} = \frac{1800}{1,73 \cdot 220} = \sim 4,75 \text{ Amp.}$$

$$e = \frac{1,73 \cdot J \cdot L}{q \cdot \kappa} = \frac{1,73 \cdot 4,75 \cdot 200}{10 \cdot 56} = 2,93 \text{ volt}$$

Pingelangemine on võrgupingest

$$e \% = \frac{2,93 \cdot 100}{220} = 1,33 \%$$

Tarvitusel ei ole igasuguse suurusega juhede põiklõiked, sest nad on normaliseeritud järgmiselt:

$Q \text{ mm}^2 = 1. 1,5. 2,5. 4. 6. 10. 16. 25. 35. 50.$

70. 95. 120. Tarvitusel olevate materjalide konstandid on:

Vasele  $\kappa = 56 - 57$

Alumiiniumile  $\kappa = 32$

Rauale  $\kappa = 8.$



Valgustustehnika.

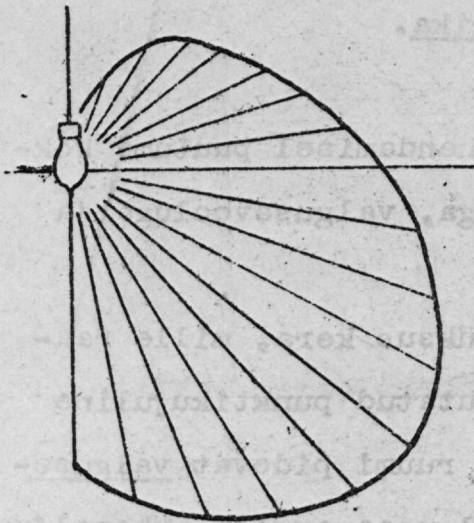
Valgustustehniliste küsimuste lahendamisel puutume kokku kolme põhimõistega: valgustugevusega, valgusevooluga ja valgustusega.

Oletame, et meil on mingisugune üksus/keras, mille raadius on  $l$  ja mille keskpunkti on paigutatud punktikujuline pidev valgusallikas. Viimane saadaks ruumi pidevat valgusevoolu  $\Phi$  ja ta kiirgaks igas sihis valguseenergiat ühepalju. Siis kujutab valguseenergia vool ühes teatud sihis  $d\Phi$ , mis langeb üksus/keras pinnale  $df$ , enesest koonilise kiirtekimbu, kus koonuse alus oleks kerapinnal ja tipp keras keskpunktis. Suhet  $d\Phi/df = J$  - nimetatakse valgusetugevuseks ehk intensiteediks ja tema mõõteks on Hefnerküünal. Seega oleks valgusevool antud sihis  $d\Phi = J \cdot df$  ja punktikujulisest valgusallikast üksuskerale saadatud kogu valgusevool

$$\Phi = 4\pi \cdot J$$

mida mõõdetakse Lumenites.

Tegelikult ei ole valguse allikad punktikujulised ja nad ei kiirga igas sihis ühtlase valguse-tugevusega valguseenergiat. Niisuguste valguse allikate valgusetugevuse määramiseks kujutatakse valguse allika vertikaaltelge läbistav tasapind ja määratakse kindlaks valgusetugevused igas sihis antud tasapinnal. Kandes leitud valgusetugevusi polaarkoordinaatide süsteemi, saame lambi valgusejaotuse kõverjoone (Joon.173). Valguse jaotuse kõverjoonest võime leida keskmise valgusetugevuse nimetatud tasapinnas. Lambi horisontaal tel-



Joon. 173.

se kõverjoone kuju on võimalik soovijärele muuta reflektori-  
te ja kiirtemurdjate abil.

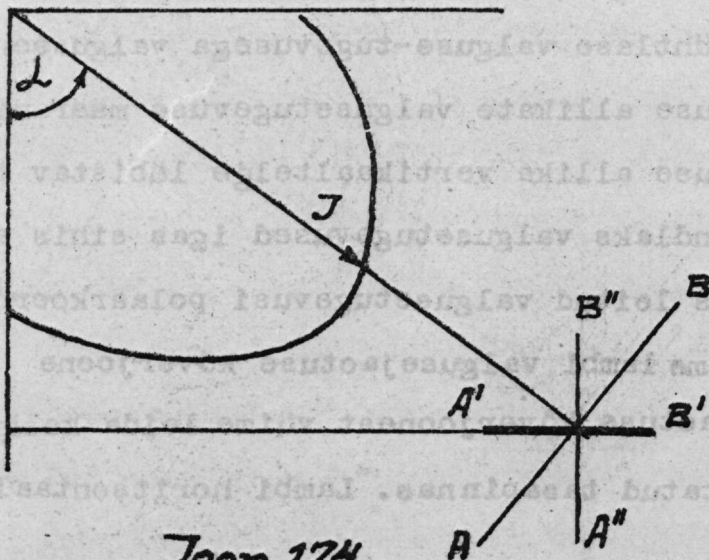
Valgustuse all mõistetakse valguseallikast valgustatava-  
le pinnauksusele, mille kaugus valguseallikast on  $r$ , lange-  
vat valgusevoolu, s.t.  $E = \frac{d\phi}{df \cdot r^2} = \frac{J}{r^2}$  ;  
valgustust mõõdetakse Luxides ehk meeterküünlates.

Langevad valgustatavale pinnaelemendile AB valgusekiired  
perpendikulaarselt, siis on selle pinna valgustus  $E_N = \frac{J}{r^2} \text{ n.n.}$   
normaalvalgustus Luxides, kui

$J$  = valgusetugevus  
antud valgusealli-  
kal  $\mathcal{H}$  .

$r$  = kaugus valguseal-  
lika ja pinna va-  
hel mtr.

Sünnitab valgusekiir  
vertikaalteljega nur-  
ga  $\alpha$  , siis on verti-  
kaalselt asetatud pin-  
naelemendi  $A''B''$  verti-



Joon. 174.



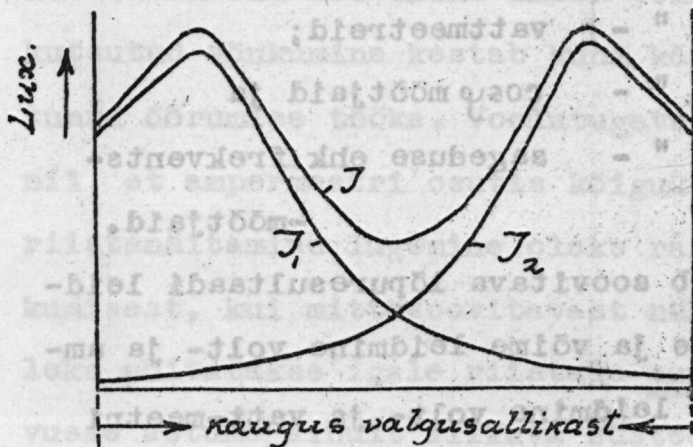
kaalvalgustus

$$E_v = \frac{J}{r^2} \cdot \sin \alpha$$

ja horisontaalse pinna A'B' horisontaalvalgustus

$$E_H = \frac{J}{r^2} \cdot \cos \alpha$$

Nende avalduste abil võime arvestada valgustustugevusi



Joon. 175.

ma (Joon.175).

Lampide valgustustehnilised andmed ei anna küllaldast alust lampide üldiseks hindamiseks. Sellepärast on elektrilampide võrdlemiseks loodud uus mõõde, mis näitab mitu vatti elektrilist energiat vajame ühe MK sünnitamiseks ( $W/MK$ ) ja teda nimetatakse eritarvituseks.

Eritarvitust võib arvestada lambi maksimaalse, keskmise ehk minimaalse valgusetugevuse järele.

Viimasel ajal leiab tarvitamist veel üks teine mõõde, mis näitab mitu Luxeni valgusevoolu suudab sünnitada üks vatt elektrienegi (Lm/W).

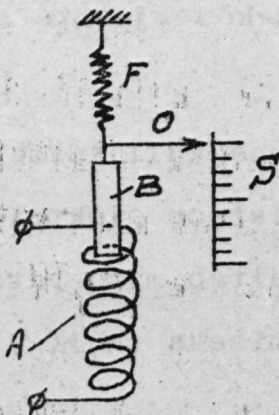
igasuguse valguseallika. kauguse jaoks ja saadud andmete järele ehitada valgustuse kõverjoone. On teatud kaugusel rohkem kui üks lamp, siis on resulteerivaks valgustuse kõverjooneks üksikute lampide valgustuse kõverjoonte summa

Mõõduriistad ja mõõtmiseviisid.

Mõõdetava suuruse kindlaks-tegemine sünnib kahel viisil: vahenditult ja kaudselt. Vahenditult kindlakstegemine sünnib mõõtmise teel vastava mõõduriistaga, kusjuures tarvitatakse

1. voolutugevuse mõõtmiseks ampermeetreid;
2. pinget - " - voltmeetreid;
3. võime - " - vattmeetreid;
4. nihknurga - " -  $\cos\varphi$  mõõtjaid ja
5. sageduse - " - sageduse ehk frekvents-  
-mõõtjaid.

Kaudne mõõtmiseviis seisab soovitava lõpuresultaadi leidmises arvestuse teel (takistuse ja võime leidmine volt- ja ampermeetriga; nihknurga ( $\cos\varphi$ ) leidmine volt- ja vatt-meetri abil jne.).



Joon. 176.

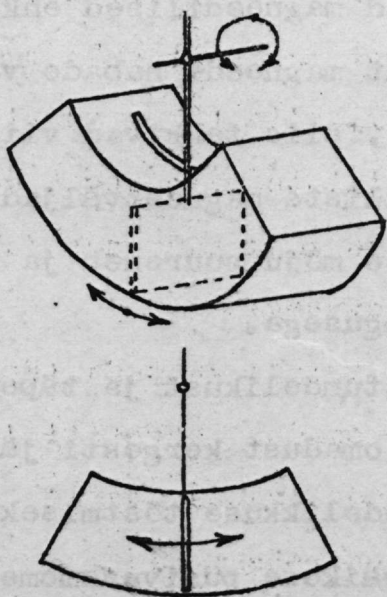
Joonisel 176 on kujutatud vahenditult mõõtmiseks tarvitatav Kohlrauschi elektromagneediline ampermeeter. Katset (solenoidi) A läbistav vool sünnitab keerusid ümbritseva magneetvälja, mille tugevus on proportsionaalne voolutugevusele. Magneetväli mõjub katsaligiduses olevale raudpulgale B külge-

tõmbavalt. Raudpulk on riputatud vedru F külge ja tema liikumine sünnib ainult niikaua, kuni magneediline külgetõmbejõud võrdub vedrujõule. Jgale tasakaaluseisakule vastava voolutugevuse loeme raudpulga külge kinnitatud osutise O abil skaa-



lalt S .

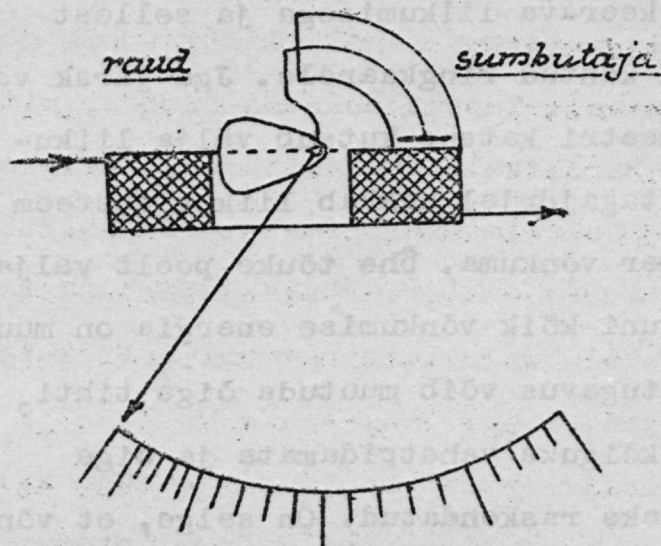
Samuti kui kirjeldatud ampermeetril on igal vahenditult näitamisega mõõduriistalkaks süsteemi - paigalseisev ja liikuv. Viimane on harilikult keerava liikumisega ja sellest tingitult on skaalajaotused kantud ringkaarele. Jga järsk voolutugevuse muutumine ampermeetri katsas kutsub välja liikuvast süsteemis tõuke, mille tagajärjel hakkab liikuv süsteem uue tasakaalu-seisukoha ümber võnkuma. Ühe tõuke poolt väljakutsutud võnkumine kestab kuni kõik võnkumise energia on muutunud õõrumise tööks. Voolutugevus võib muutuda õige tihti, nii et ampermeetri osutis kõiguks vahetpidamata ja õige riistanäitamisega lugemine oleks raskendatud. On selge, et võnkumisest, kui mittesoovitavast nähtusest tuleb vabaneda. Selleks ehitatakse igale riistale sumbutaja, milline peab tegevusse astuma ainult liikuva süsteemi liikumise ajal; süsteemi paigalseismisel ei tohi sumbutaja töötada, sest muidu väheneks riista tundelikkus ja täpsus.



Joon. 177.

Tarvitamisel on peamiselt õhu- ja magneetilised sumbutajad. Esimestel (Joon. 177) võngub kinnises karbis liikuva süsteemiga kaasa viimase külge kinnitatud kerge metall-leht ja surub vahetpidamata õhku ühest karbi poolest teise ja tagasi, pidurdades sellega liikumist. Õhu-

takistus, s.t. pidurdamise mõju on seda suurem, mida kiirem on liikumine ja kaob süsteemi seisemisel.



Joon. 178.

Õhusumbutaja täidame vedelikuga, näiteks õliga (õlisumbutajad). Õlisumbutajad leiavad tarvitamist ostsillograafi mõõtsilmustes.

Teistsugusel põhimõttel töötavad magneetilised ehk pöörisevoolu sumbutajad. Liigub permanent magneedi nabade vahel metallseib (harilikult alumiiniumist), siis tekkivad viimases induktsiooni mõjul pöörisevoolud, milliste magnetväljad takistavad seibi liikumist. Pidurdamise mõju suureneb ja väheneb seibi liikumise kiiruse tõusu ja langusega.

Eelpool nimetasime mõõdurista tundelikust ja täpsust. Tundelikkuse all mõistetakse riista omadust kergesti jälgida igale voolutugevuse muutumisele. Tundelikkuse tõstmiseks ehitatakse liikuv süsteem õige kerge (väikese püsivusemomentiga) ning vähendatakse tappide ja laagrите õõrumist viimse võima-

Joonisel 178 on näidatud teist tüüpi õhusumbutaja. Temal on karbi asemel võetud kinnise otsaga toru (tsilinder), milles liigub väike kolbe. Töötab samal põhimõttel, kui varem kirjeldatud õhusumbutaja. Õige intensiivse sumbutaja saame, kui



luseni, asetades tappisid kunstkalliskivist laagritele või riputades liikuvat süsteemi paela ehk niidi otsa, kusjuures niidi elastsust kasutatakse vastujõuna.

Mööduriista täpsuse all mõistame vahet riista poolt näidatud ja tõelise väärtuse vahel. Täpsus on seda suurem, mida väiksem on nimetatud vahe. Harilikult avaldatakse kõrvalekaldu mist protsentides riista mõõduulatusest (maksimaal väärtusest). Kõrvalekaldu mine võib tekkida ebatäpse skaalajaotuse tagajärjel ja välistel põhjustel, nagu temperatuuri, niiskuse, kõrvaliste magnetväljade jne. mõjul.

Sellejärele, kuidas mööduriistas sünnitatakse mehaaniline keerdmoment, on väljakujunenud järgmised mööduriistade süsteemid:

1. pehme raua ehk elektromagneedilised riistad. Nende juures antakse pehmeraua tükile keerav liikumine paigalseisva katsa (solenoidi) poolt, mille lähist läbib möödeta vool;
2. keerdkatsa riistad, süsteem Deprez d'Arsonval. Siin läbib möödeta vool permanent magneedi nabade vahele asetatud liikuvat katsat;
3. dünamomeetrilised riistad (elektrodünamomeetrid) koosnevad kahest katsast, millistest üks on liikuv. Mõlemates katsades voolab möödeta vool. Mehaaniline keerdmoment sünnib katsade vastastikuse mõju tõttu;
4. kuumustraata riistad. Siin kasutatakse voolusoojusest tekkinud deformatsioone osutise liikuma panemiseks;

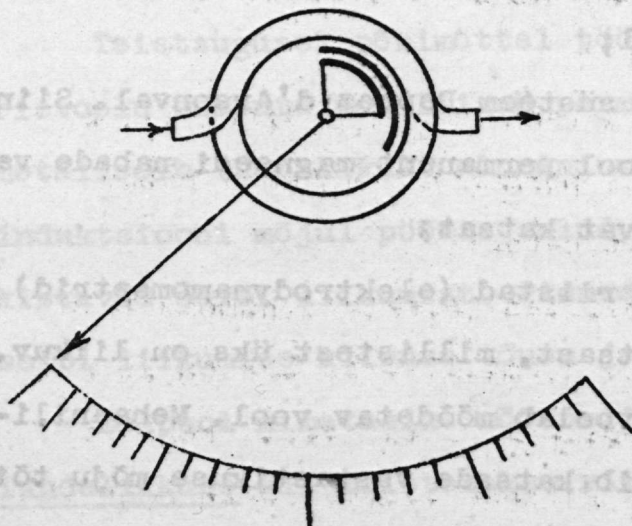
5. induktsioon ehk Ferraris-riistad, milliste töötamine põhjeneb induktsiooni nähtustel;
6. elektrostaatilised riistad. Osutise väljalöök kut-  
sutakse esile nagu elektroskoopide juureski elektri-  
liste laengute abil.

Nendest riistadest võimaldavad keerdkatsa riistad (p.2) ainult alalise voolu ja induktsioonriistad (p.5) ainult vaheld-  
voolu mõõtmist.

Ülejäänud süsteemiliste riistadega mõõdetakse nii alalist kui ka vaheldvoolu.

### 1. Pehmeraua riistad.

Need riistad kannatavad tugeva ja lihtsa ehituse tõttu suuri ülekoormatusi. Konstruktsiooni poolest on need mõõduriis-  
tad kahte tüüpi: a) millised tõmbavad pehmeraua voolust-lä-



Joon. 179.

bistatavasse katsasse (Joon.178) ja b) mil-  
liste voolukatsasse ase-  
tatud kaks raua tükki  
saavad katsat läbistava  
voolu poolt ühenimeli-  
selt magnetiseeritud,  
mille tõttu nad üksteist  
eemale tõukavad (Joon.179).  
Osutis on kinnitatud  
liikuva rauatüki külge.

Vastujõuna kasutatakse spiraalvedrusid ehk väikseid raskuseid.



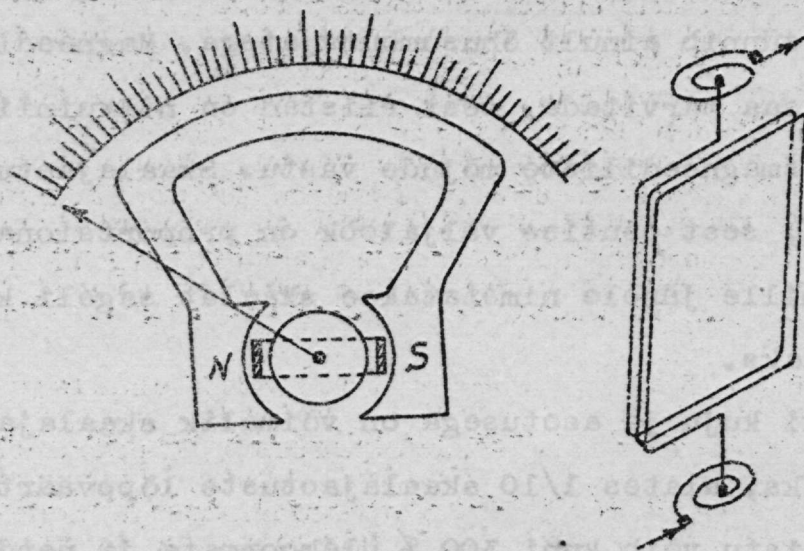
Viimased on kinnitatud kangikese abil liikuva süsteemi külge. Sumbutamine sünnib ainult õhusumbutajatega. Magneetilisi sumbutajaid ei saa tarvitada, sest riistad on niikuinii väga tundelikud välismagneetiliste mõjude vastu. Skaalajaotused ei ole ühtlased, sest osutise väljalöök on proportsionaalne vooluruudule, mille järele nimetatakse skaalat sageli kvadratiliseks skaalaks.

Rauatüki kuju ja asetusega on võimalik skaalajaotusi muuta ühtlasemaks, alates 1/10 skaalajaotuste lõppväärtusest. Pehmeraua riistu võib kuni 300 % ülekoormata ja nende täpsus on 2 → 1 %. Neid tarvitatakse nii volt- kui ampermeetritena.

Osutise väljalöök ei olene voolusihist, nii et pehmeraua riistu võib tarvitada alalise ja vaheldvoolu jaoks; viimase mõõtmisel näitab riist vaheldvoolu efektiivsuurust. Hüsteeresise mõjul erinevad vaheldvoolu näitamised alalise voolu näitamistest. Peale selle on osutise väljalöögi suurus võrdsete voolutugevuste juures kasvavale voolule väiksem kui kahanevale voolule, sest rauatükikene jääb teatud viisil magneetiliseks (remanentsi nähtus). Praktiliselt ei võeta neid kõrvalekalandumisi arvesse ja skaala on niimoodi jaotatud, et riistu võib tarvitada mõlemate vooluliikide jaoks.

## 2. Keerdkatse riistad.

Permanent magneedi (Joon.180) nabakingadega on ringikujuline väljalõige; viimasesse on asetatud rauast tsilinder, mille ülesanne on anda tungjoontele radiaaljaotust. Katse on asetatud alumiiniumist raamile, mille ülesandeks on riista sumbu-



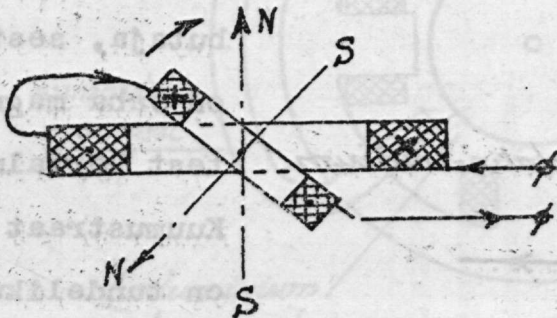
Joos. 180.

tamine. Katsa liigub raamiga tsilindri ja nabakingade vahelises ruumis. Keerdkatsa riista keermoment on niisuguse ehituse juures täiesti proportsionaalne voolule ja kõik tema skaalajaotused on võrdsed (proportsionaalne skaala). Vastujõuna tarvitatakse kaht spiraalvedrut, milliseid ühtlasi kasutatakse voolujuhedena liikuva katsa jaoks. Tugevast magnetväljast ja kergest liikuvast katsast on tingitud riista suur tundelikkus ja mõõdutäpsus (kuni 0,1 %), samuti ka vähene tundelikkus välistmagneetiliste mõjude vastu. Sellejuures on riistad väga õrnad ülekoormamise mõttes ja neid võib tarvitada ainult alalise voolu jaoks, sest osutise väljalöögi siht oleneb mõõdetava voolu sihist. Keerdkatsa riistad ehitatakse väga väikeste voolude jaoks - millivolt- ja ampermeetrid, - ja nad on peenemaid prätsisioon riistu. Mõõduulatuste suurendamine sünnib shuntide ja eeltakistuste abil.



### 3. Dünamomeetrilised riistad.

Järjestiku ühendatud paigalseisvat ja liikuvat katsasid läbistav vool sünnitab katsades magneetväljad, milliste vastastikuse mõju tagajärjel saab liikuv katsa keerava liikumise (Joon.181). Vastujõuna kui ka voolu liikuvale katsale juure



Joon. 181.

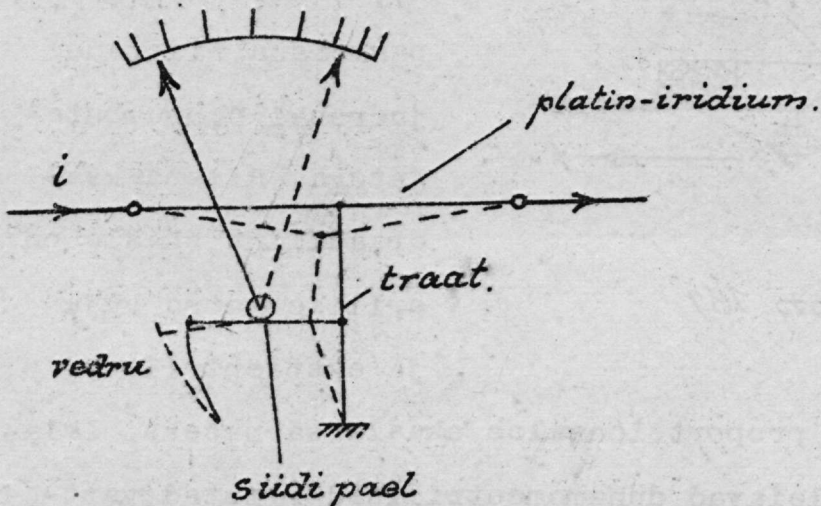
toovate juhedena kasutatakse spiraalvedrusid. Sumbutamise sünnib samuti kui pehmeraua riistade juureski õhusumbutajatega. Riista kvadradiiline skaala on erilise katsa kuju ja ekstsentrilise

asetuse abil muudetud proportsionaalse skaala sarnaseks. Laialisemat tarvitamist leiavad dünamomeetrilised riistad vattmeetrina. Kui näiteks dünamomeetrilise riista paigalseisev katsa ühendada vooluringiga järjestikku ja liikuv katsa vooluringile paralleel s.t. liikuvale katsale lasta mõjuda vooluringi pingel, siis on riista osutise väljalöök proportsionaalne voolu ja pinge korrutisele. Vaheldvoolu juures näitab vattmeeter keskmist võimet ( $E \cdot J \cdot \cos \varphi$ ) ja tema näitamine ei olene voolusagedusest (frekventsist). Dünamomeetriliste vattmeetrite mõõdutäpsus on suur, kuid vattmeetrid on väga tundelikud välismagneetiliste mõjude vastu. Vattmeetrite normimi-

mine sünnib alalise vooluga ja neid võib tarvitada nii alalise kui vaheldvoolu jaoks.

#### 4. Kuumustraata riistad.

Kuumustraata riista kõige tähtsamaks osaks on platin-iridiumist traat, mis voolu läbistumisel tekkinud soojuse mõjul pikeneb. Pikenemine annab joonisel 182 näidatud viisil osutisele keerava liikumise. Tarvitusel on magneetiline sum-



Joon. 182.

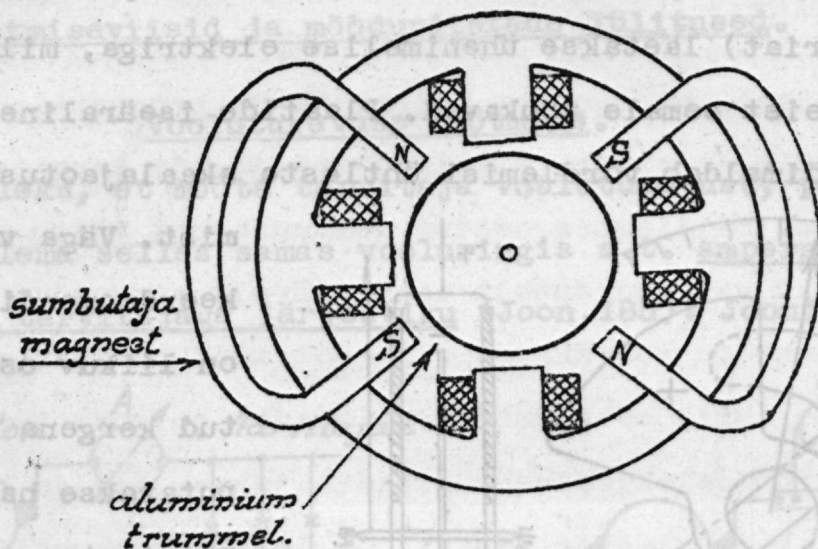
butaja, sest riist on vaba magneetilisest kõrvalmõjudest. Kuumustraata riistad on tundelikud temperatuuri muutumiste vastu; enne mõõtmist tuleb kontrollleerida nullseisu. Parematal, kallimatel riistadel, on vas-

tav sissesead temperatuuri mõjude kompenseerimiseks. Skaala on kvadraadiline, sest soojuse tekkimine on Joule'i seaduse järele proportsionaalne vooluruudule. Kuumustraata riistu tarvitatakse volt- ja ampermeetrina vaheld- ja alalise voolu jaoks. Voolu sagedus ja kaju ei avalda mõju riista näitamise peale.



### 5. Induktsioon- ehk Ferraris-riistad.

Kahe katsä vahele on asetatud alumiiniumist seib ehk tsi-  
linder nii et ta võib keeravat liikumist saada (Joon.183).  
Katsad on omavahel niimoodi ühendatud, et nad sünnitavad sar-  
nase magneetvälja, milline indutseerib alumiiniumist seibis

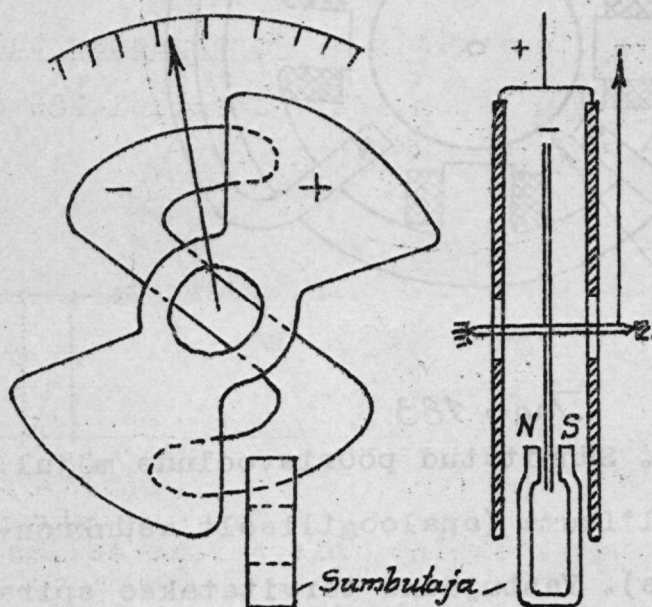


Joon. 183.

(tsilindris) pöörivoolud. Sünnitatud pöörivoolude mõjul hakkab alumiiniumist seib liikuma (analoogiliselt asünkron-  
mootori otseside rootorile). Vastujõuna tarvitatakse spiraal-  
vedrusid ja sumbutajaks permanent magneeti. Tarvitamist leia-  
vad need riistad ainult vaheldvoolu juures volt-, amper- ja  
vatt-meetrina ja näitavad efektiivvoolu ning pinget ja kesk-  
mist võimet ( $EI \cos \varphi$ ). Kõige laialdasemat tarvitamist leiavad  
induktsioonriistad vaheldvoolu kilovatt-tunni lugejatena oma  
lihtsa ehitusviisi, suure keerdmomendi ja liikuvate voolu-  
juhtivate osade puudumise tõttu. Puudusena võib nimetada ole-  
nevust voolu sagedusest ehk frekventsiist.

## 6. Elektrostaatilised riistad.

Elektrostaatilisi riistu saab tarvitada ainult voltmeetritena, sest nad ei kujuta enestest mingisugust voolutarvitajat. Keerdmoment sünnib selle läbi, et kaks plaati (ehk plaatide seeriat) laetakse ühenimelise elektriga, mille tõttu plaadid üksteist eemale tõukavad. Plaatide iseäraline kuju (Joon.184) võimaldab võrdlemisi ühtlaste skaalajaotuste saamist.



Joon. 184.

Väga väikese keerdmomendi pärast on liikuv osa ehitatud kergena ja ta riputatakse harilikult niidi otsa. Vastujõuks on niidi torsioonjõud. Kirjeldusest selgub, et riist on väga õrna ehitusega, mispärast temaga tuleb väga

ettevaatlikult ümber käia. Elektrostaatilised voltmeetrid ehitatakse enamalt jaolt pingedele alates 500 voldist kõrgemale ja neid võib tarvitada mõlemate vooluliikide jaoks.

## Frekvents- ehk sagedusemõõtjad.

Tarvitusel on peasjalikult n.n. ribafrekvents mõõtjad.

Nende ehituse- ja töötamiseviis on järgmine. Vaheldvooluga

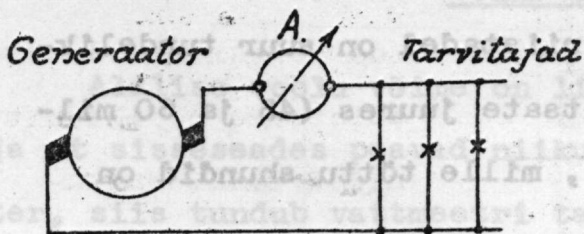


ergutatavate elektromagneetide ette on asetatud rida mitmesugu-  
se omavõnkumise arvuga terasplekist ribasid. Vaheldvoolu frek-  
ventsile vastava omavõnkumise arvuga plekiriba hakkab reso-  
nantsi tõttu kõige tugevamini võnkuma. Frekventsmõõtjad ühen-  
datakse võrguga sarnaselt voltmeetritele.

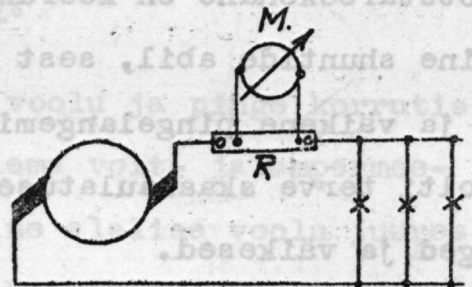
Mõõtmiseviisid ja mõõduriistade lülitused.

Voolutugevuse mõõtmine.

Selleks, et mõõta tarvitaja voolutugevust, peab amper-  
meeter olema selles samas vooluringis s.t. ampermeeter tuleb  
lülitada tarvitajaga järjestiku (Joon.185). Joonisel 186 on

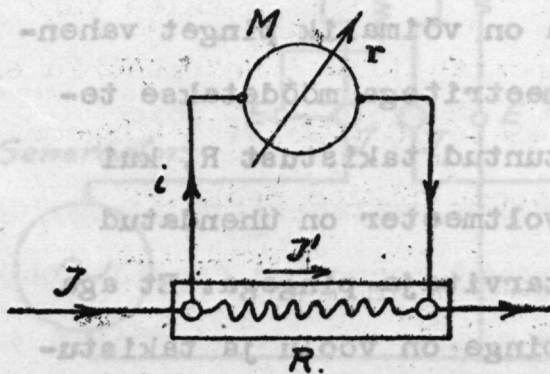


Joon. 185.



Joon. 186.

näidatud kaudne voolutugevuse mõõtmine, mis seisab selles,  
et tarvitaja vooluringi lülitakse takistus R n.n. shunt, mil-



Joon. 187.

le näpitsate juures va-  
litseb voolu läbistumisel  
pinge-vahe, milline saa-  
dab takistusele R paral-  
leellülitatud mõõduriis-  
ta M haruvoolu  $i$ . Selle  
juures on voolujaotus  
järgmine (Joon.187):

$$J = J' + i$$

$$\frac{J'}{i} = \frac{r}{R}$$

kui  $r$  on vooluriista sisemine takistus;

siis on  $J' = i \frac{r}{R}$  ja

$$J = i \left[ \frac{r}{R} + 1 \right] = \kappa \cdot i.$$

Sellest näeme, et osutise väljalöök on proportsionaalne tarvitaja voolule ja riista skaala võime jagada tarvitaja voolu järele. Antud milliampere-meetri mõõduulatust võime vastavat shundi takistust valides vabalt soovi järele suurendada. Eriti otstarbekohane on keerdkatse riistade mõõduulatuse suurendamine shuntide abil, sest nendel riistadel on suur tundelikkus ja väikene pingelangemine näpitsate juures (45 ja 60 millivolti terve skaalaulatuse jaoks), mille tõttu shunid on kerged ja väikesed.

Ampermeetrite mõõduulatuse suurendamine sünnib vaheldvoolu juures voolutransformaatoritega (Joon.148).

### Pinge mõõtmine.

Ainult staatiliste riistadega on võimalik pinget vahenditult mõõta, kõikide teiste voltmeetritega mõõdetakse tegelikult voolu, milline läbib tundud takistust  $R$ , kui



Joon. 188.

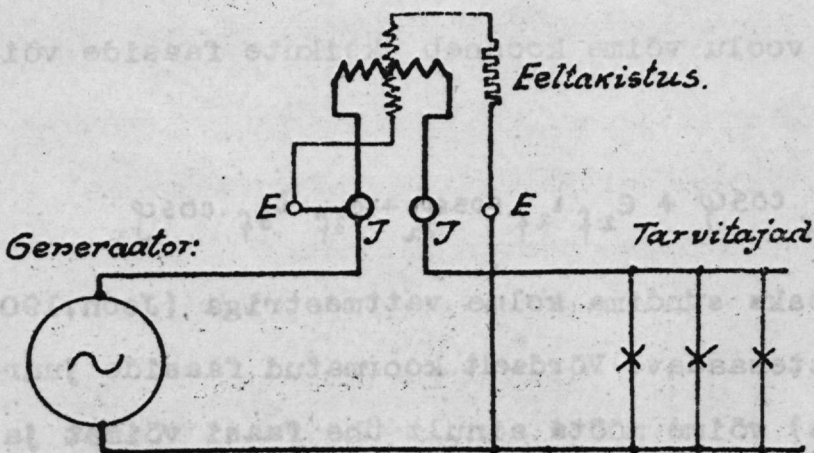
voltmeeter on ühendatud tarvitaja pingega. Et aga pinge on voolu ja takistuse korrutis  $E = i \cdot R$ , siis on riista skaala jaotused



tehtud voltides. Seega on voltmeeter tegelikult ampermeeter, millele joonise 188 järele on lülitatud järjestiku eeltakistus R ja tema lülitakse võrguga kui iseseisev tarvitaja s.o. tema lülitakse mõõdetavale tarvitajale ehk vooluallikale paralleel. Et voltmeetri, kui iseseisva tarvitaja enesetarvitamist vähendada, ehitatakse nad väga suure sisemise takistusega. Voltmeetri mõõduulatuse suurendamine sünnib eeltakistuse ette lüümisega peasjalikult alalise voolu ja pingetransformatoriga vaheldvoolu juures.

### Võime mõõtmine.

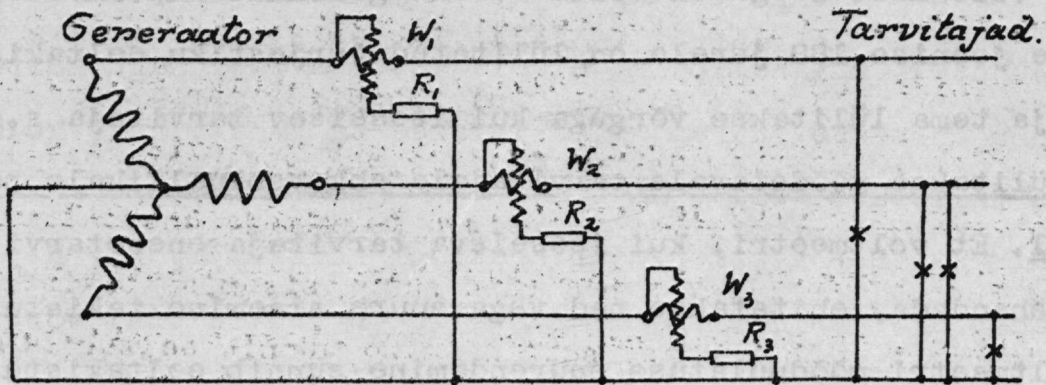
Alalise voolu võime on lihtsalt voolu ja pinge korrutis ja et sisseseades peavad niikuini olema volt- ja ampermeeter, siis tundub vattmeetri tarvitamine alalise voolu juures üleliigsena. Peale selle on võimalik keerdkatsa riistade abil võimet täpsemalt leida, kui see sünnib dünamomeetrilise vattmeetriga.



Ühe- ja mitme-  
faasiliste vaheld-  
voolude juures  
tarvitatakse kas  
dünamomeetrilisi  
või ferraris vatt-  
meetreid, milliste  
lüümine sünnib  
joonise 189 järele:

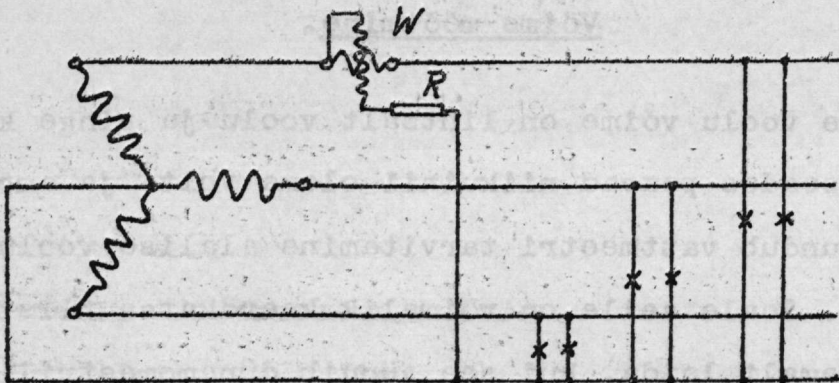
Joon. 189.

vattmeetri volukatsa lülitakse tarvitajaga järjestiku ja



Joon. 190.

pingekatsa ühes eeltakitusega - tarvitajale paralleel.



Joon. 191.

Kolmefaasilise voolu võime koosneb üksikute faaside võimetest:

$$W = e_{1f} i_{1f} \cos \varphi_1 + e_{2f} i_{2f} \cos \varphi_2 + e_{3f} i_{3f} \cos \varphi_3$$

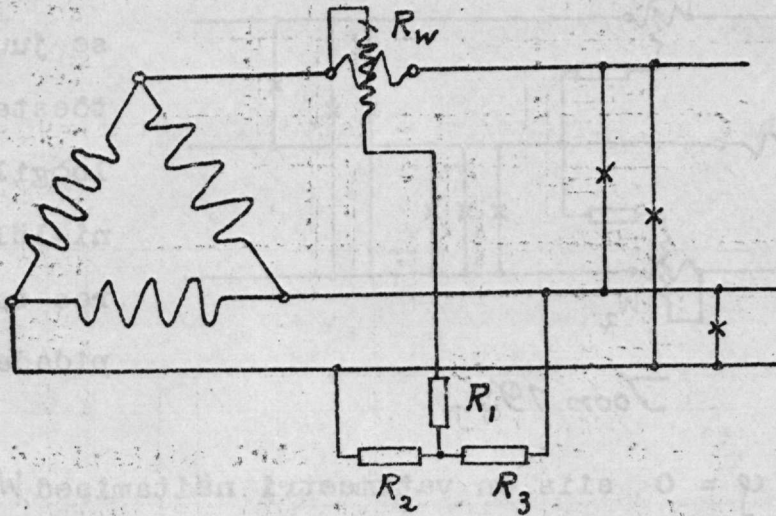
ja täpne mõõtmine peaks sündima kolme vattmeetriga (Joon.190), kui nullpunkt on kättesaadav. Võrdselt koormatud faaside juures (mootorite koormatus) võime mõõta ainult ühe faasi võimet ja viimast korrutada kolmega (Joon.191):



$$W = 3 e_f \cdot i_f \cdot \cos \varphi$$

Juhusel, kui nullpunkt ei ole kättesaadav, nagu näiteks kolmnurk ühenduse juures, siis luuakse ta kunstlikult kolmevõrdse takistuse abil

$R_2 = R_3 = R_1 +$  vattmeetri pingeringi takistus  $= R_1 + R_w$   
ühendades viimaseid omavahel tähte  $\lambda$  ja vabaid otsi võrguga (Joon.192).



Joon. 192.

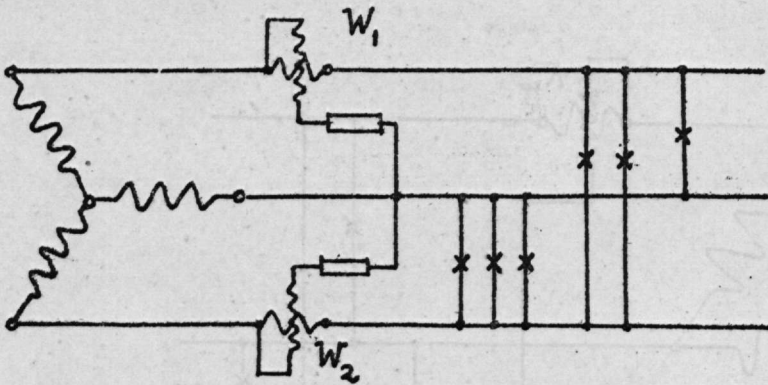
Mitteühtlaselt koormatud faaside juures on võimalik keerdvoolu võimet mõõta kahe vattmeetriga n.n. Aroni-lülitust kasutades (Joon.193). Nimetatud lülituse kasutamisel on keerdvoolu võime mõlemate vattmeetrite andmete summa, mida alljärgneva tööstame: võime mingisugusel silmapilgul s.t. momentvõime on (Joon.194):

$$W = e_1 i_1 + e_2 i_2 + e_3 i_3$$

Keerdvoolu juures peab igal silmapilgul  $i_1 + i_2 + i_3 = 0$ , siis on

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

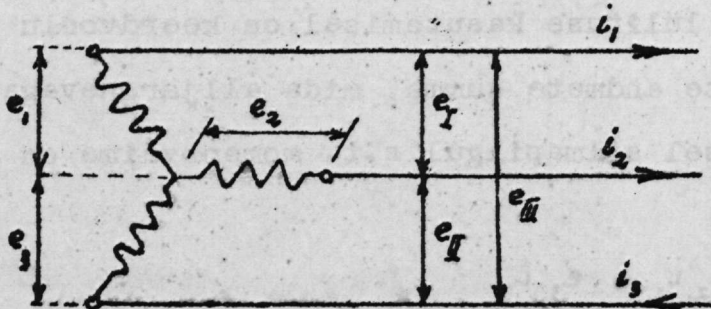
$$\begin{aligned} W &= e_1 i_1 - e_2 i_1 - e_2 i_3 + e_3 i_3 \\ &= i_1 (e_1 - e_2) + i_3 (e_3 - e_2) \\ &= i_1 e_I + i_3 e_{II} \\ &= W_1 + W_2 \end{aligned}$$



Joon. 193.

Kolmnurk ühenduse juures on töestamine analoogiline. Aro-ni-lülituse juures tuleb silmaspidada järgmist:

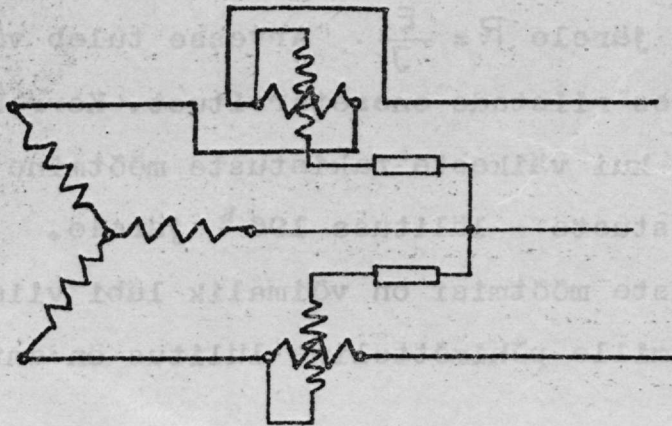
kui nihknurk	$\varphi = 0$	siis on vattmeetri näitamised	$W_1 = W_2$	ja	$W = 2W_1 = 2W_2$
"	"	$\varphi \neq 0$	"	"	"
"	"	$\varphi = 60^\circ$	"	"	"
"	"	$\varphi > 60^\circ$	"	"	"



Joon. 194.

Kui ühe vattmeetri näitamine muutub negatiivseks, s.t. vattmeeter näitab tagurpidi, siis tulevad vattmeetril kas voolujuhed või pingejuhed omavahel ümbervahetada, nagu see joonisel 195





Joon. 195.

on näidatud ja ümberühendatud wattmeetri andmed arvestuses võtta negatiivse märgiga:

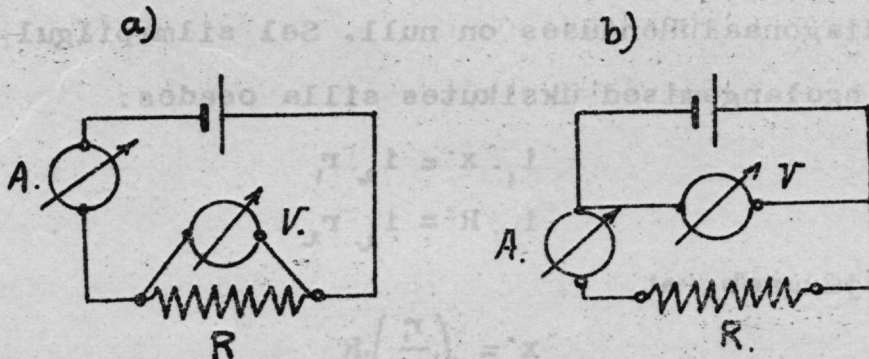
Faaside nihkmurga määramine sünnib watt-, volt- ja ampermeetri abil

$$\cos \varphi = \frac{W}{E \cdot J} \quad (\text{ühefaasilisele vaheldvoolule})$$

$$\cos \varphi = \frac{W}{\sqrt{3} E \cdot J} \quad (\text{keerdvoolule})$$

Takistuse mõõtmine.

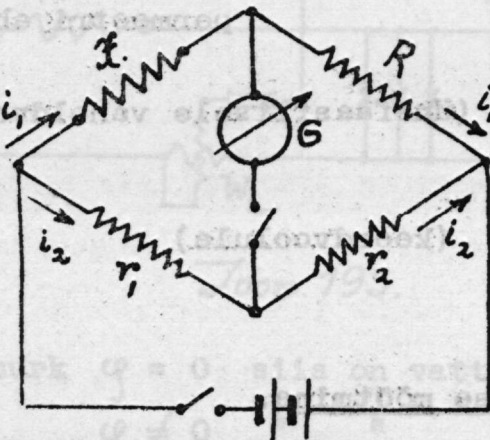
Takistusi on võimalik mõõta volt- ja ampermeetriga, lülitades neid joonise 196 järele. Saates voolu läbi mõõdetava



Joon. 196.

takistuse, mõõdame voltmeetriga pingelangemist takistuses, siis on Ohmi seaduse järel  $R = \frac{E}{J}$ . Arvesse tuleb võtta nende ühenduste juures riistade enesetarvitust. Korrektsioon võib tegemata jääda, kui väikeste takistuste mõõtmine sünnib 196<sup>a</sup> ja suurte takistuste - lülituse 196<sup>b</sup> järel.

Täpseid takistuste mõõtmisi on võimalik läbi viia Wheatstoni sillaga, mille põhimõtteline lülitus on antud joonisel 197.



Joon. 197.

Kolm tuntud takistust  $R$ ,  $r_1$  ja  $r_2$  ning üks tundmata takistus  $x$  on ühendatud üksteisega järjestikku, moodustades kinnise nelinurga, mille ühte diagonaalühendusse on lülitatud galvanomeeter ja teisse - vooluallikas

(Joon.197). Tuntud takistuste vastava valikuga on võimalik leida takistuste kombinatsiooni, mille juures vool galvanomeetri diagonaalühenduses on null. Sel silmapilgul peavad olema pingelangemised üksikutes silla osades:

$$i_1 \cdot x = i_2 \cdot r_1$$

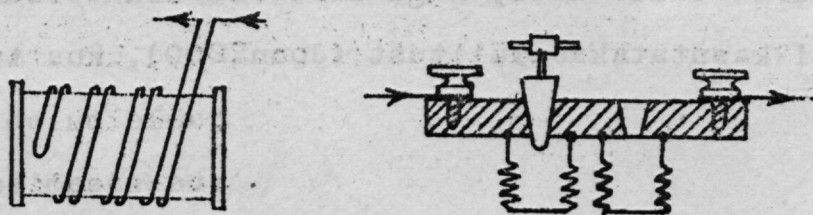
$$i_1 \cdot R = i_2 \cdot r_2$$

millest järgneb, et

$$x = \left( \frac{r_1}{r_2} \right) \cdot R$$



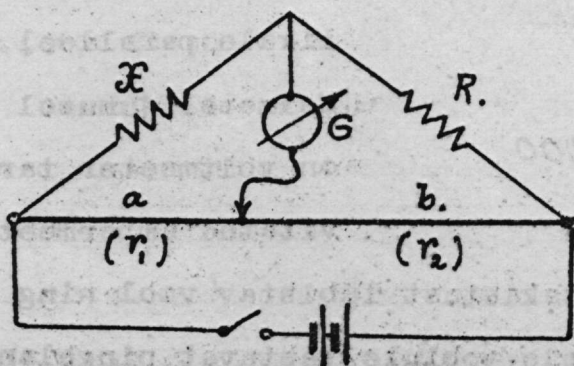
On otstarbekohane anda suhtele  $\frac{r_1}{r_2}$  kindel tähendus, näiteks 1 : 1; 1:10; 1 : 100 jne. või 10 : 1; 100 : 1 jne. ja takistusega R niikaua varieerida, kuni galvanomeeter on nullseisakus, siis on otsitav takistus võrdlustakistuse R ja suhte  $\frac{r_1}{r_2}$  korrutis. Võrdlustakistused on peasjalikult topp-takistused (Joon.198), millede takistusmaterjaliks on



Joon. 198.

väikese temperatuuriteguriga manganin - traat, mis on bifilaarsel mähitud (Joon.198) omainduktsioonist vabanemise otstarbel.

Wheatstoni silla teisendit näeme joonisel 199 kujutatud



Joon. 199.

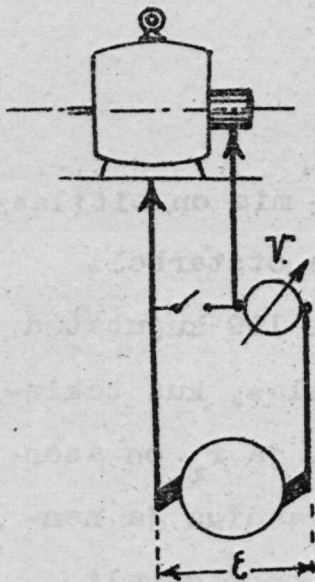
traatsillas, kus takistused  $r_1$  ja  $r_2$  on asetatud traadiga ja nende suhe on pidevalt muudetav. Takistuse mõõtmine sünnib eelpool kirjeldatud viisil  $x = \frac{r_1}{r_2} \cdot R$ . Asenda-

des takistusi  $r_1$  ja  $r_2$  neile proportsionaalsete pikkustega a ja b, mis kalibreeritud mõõdutraadi juures on täiesti võimalik, võime otsitava takistuse leida:

$$x = \frac{a}{b} \cdot R;$$

Veel lihtsamaks muutub takistuse mõõtmine, kui meie kanname mõõdutraadi juures asuvale skaalale pikkuste  $a$  ja  $b$  asemele suhted  $\frac{a}{b}$ : ehk suhetele vastavad takistused, kusjuures võrdlustakistus  $R$  jääb püsivaks ja on riista sisse ehitatud.

Väga suurte takistuste, nagu elektrimasinate isolatsiooni, mõõtmisel kasutatakse lülitust (Joon.200), kus tarvitusele tuleb suu-



*Isolatsiooni takistus  
ankru mähise ja  
masina kere vahel.*

*Joon. 200.*

re sisemise takistusega õige tundelik voltmeeter, mis ühendatakse ükskord mõõdetava takistusega järjestiku, teinekord vooluallikale paralleel. Esimesel juhusel on voltmeeter tarvitatud ampermeetri-

na ja teda läbib tundmatut takistust läbistav vool ning voltmeetri skaalalt loeme sellele voolule vastavat pingelangemist voltmeetril  $e = i r_v$ . Teisel juhusel, kui voltmeeter on ühendatud vooluallikale paralleel, mõõdame vooluallika pinget  $E$ , mis peab olema  $E = i(x + r_v)$ . Elimineerides  $x$  nendest avaldustest, leiame et



$$x = r_v \cdot \frac{E - e}{e} \Omega$$

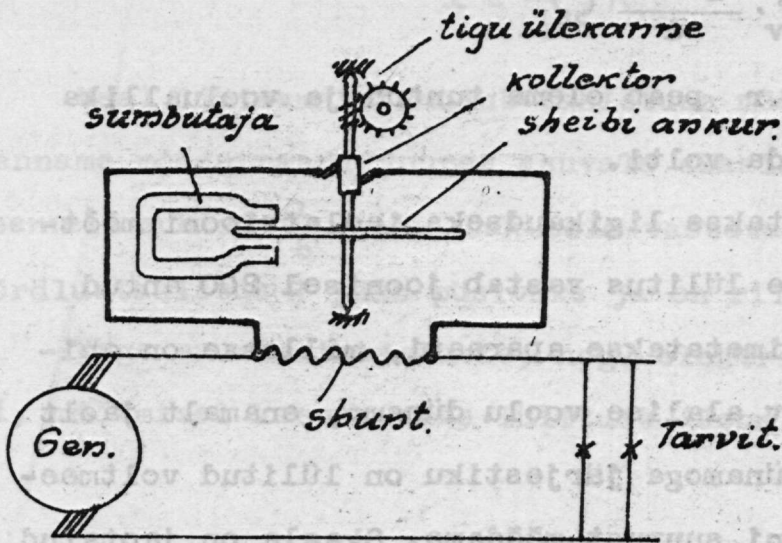
Voltmeetri sisetakistus  $r$  peab olema tuntud ja vooluallika näpitspinge vähemalt sada volti.

Harilikult tarvitatakse ligikaudseks isolatsioonimõõtmiseks induktorit, mille lülitus vastab joonisel 200 antud skeemile. Induktoriks nimetatakse aparati, millesse on ehitatud käsitsi ringi-aetav alalise voolu dünamo, enamalt jaolt pingega üle 100 voldi. Dünamoga järjestiku on lülitatud voltmeeter, millega isolatsiooni suurust mõõdame. Skaala on jaotatud oomidesse.

Riistade mõõdu täpsuse kontrollimisel võrreldakse kontroleeritavat riista prätsisioonriistaga. Võrdlemiseks lülitatakse ampermeeter prätsisioonriistaga järjestiku ja voltmeeter viimasele paralleelile.

### Elektrilugejad.

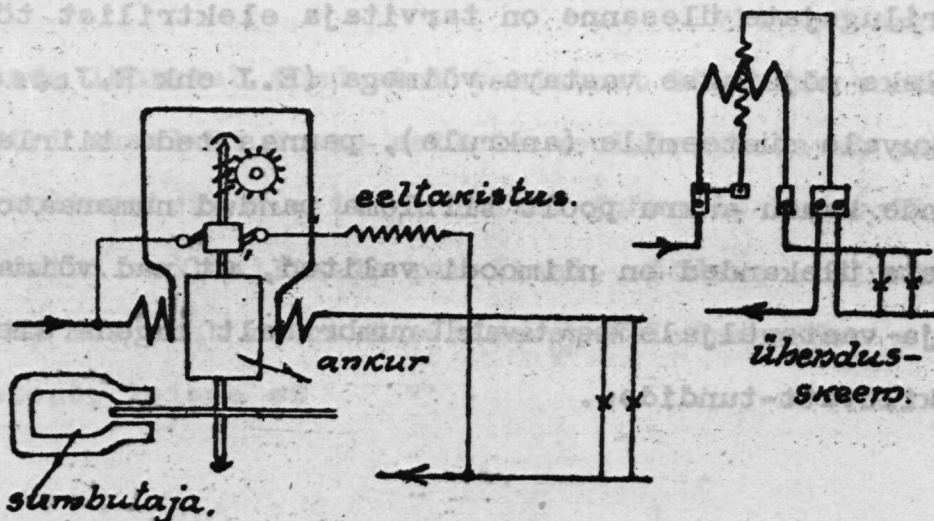
Elektrilugejate ülesanne on tarvitaja elektrilist tööd mõõta. Selleks mõjutakse vastava võimega ( $E \cdot J$  ehk  $E \cdot J \cos \varphi$ ) lugeja liikuvale süsteemile (ankrule), pannes teda tiirlema. Tigü ülekande kaudu ankru poolt tiirlema pandud numeraatori hammasrataste ülekanded on niimoodi valitud, et nad võimaldavad lugeja vaateväljale keeratavatelt numbritelt lugeda elektrilist tööd kilovatt-tundides.



Joon. 201.

Joonisel 201 on näidatud lugeja, mis sarnaneb alalise voolu mootorige. Tal on seibehk trummankur, mis tiirleb permanent magnetidest sünnitatud magnetväljas. Ankur saab voolu

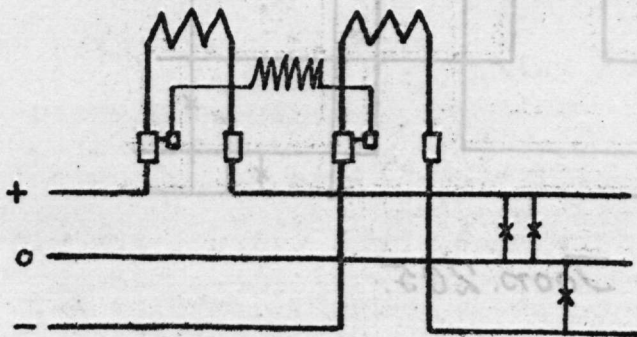
peavooluringi ühendatud shundilt üle harjade ja kollektori. Et magnetväli on püsiv, siis oleneb ankrude tiirude arv ainult pingelangemisest shundis ja on seega proportsionaalne tarvitaja voolule. Niisuguseid lugejaid nimetatakse ampertunni lugejateks, olgugi et nende numeraatoritelt loeme kilovatt-tundisid ja neid võib tarvitada ainult seal, kus võrgu pingele vastab lugejal tähendatud pingele ja on püsiv. Ampertunni lugejad ehitatakse harilikult ainult alalise voolule.



Joon. 202.



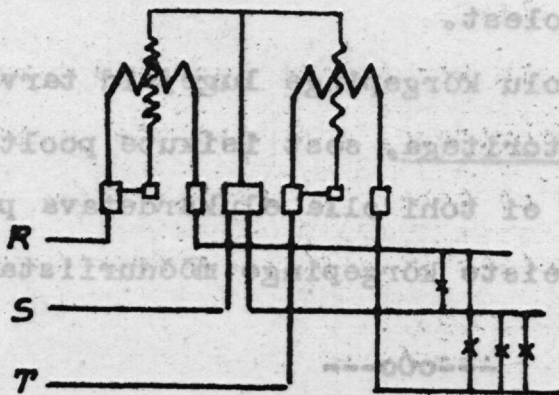
Alalise voolu vatt- ehk kilovatt-tunni lugejal on permanent magnetide asemel (Joon.202) kaks voolumähist ja ankur on ühendatud pingeringiga. Sellased lugejad on dünamomeetriselised riistad ja nende lülitus vastab vattmeetri lülitusele. Kilovatttunni-lugejatel on suur käimamineki keerdmoment ja mõõ-



Joon. 203.

saab + ja - juhede vahelist pinget.

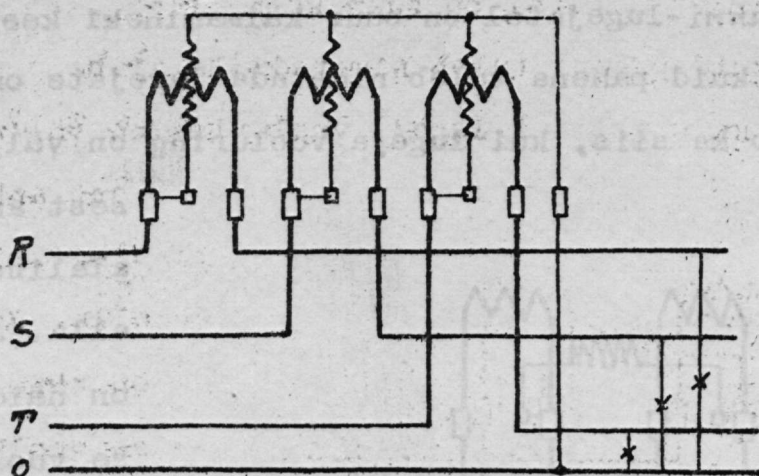
sest ankur jääb alaliselt pinge alla. Joonisel 203 on näidatud alalise voolu kolmejuhe süsteemilise lugeja skeem, mille järele voolumähised on ühendatud + ja 0-ga ning - ja 0-ga, kuna ankur



Joon. 204.

Vaheld- ja keerdvoolu lugejad ehitatakse induktsiooni (Ferraris) põhimõtte järele ja nad on sellepärast lihtsa ehitusega ning rikkevaba töötamisega.

Ühefaasilise vaheldvoolu lugeja skeem on sama, kui joonisel 202 antud alalise voolu kilovatt-tunni lugejalgi. Keerdvoolu lugejates tarvitatakse Aroni-lülitust (võime mõõtmine kahe



Joon. 205.

vattmeetriga), joon.204, ehk kui nulljuhe on kättesaadav, joonisel 205 antud lülitust.

Peale käsitatud lugejate, millised on leidnud üldist tarvitamist, on olemas veel väga mitmesuguseid lugejate tüüpe, mis erinevad eelpool kirjeldatud lugejatest nii süsteemi kui ka eriülesannete poolest.

Vaheld- ja keerdvoolu kõrgepinge lugejaid tarvitatakse ainult mõõdutransformatoritega, sest isikute poolt järele vaadatavad mõõduriistad ei tohi olla elukardetava pinge all. Seesama on maksev ka teiste kõrgepinge mõõduriistade kohta.



Ar 928 B  
Reinwaldt