

Tehnilised õppevihikud.

V. 8.

Käsikirja
õigustega.

Vahelduva voolu
seadused.

Elektrotehnika VII.

III osa.

Dipl.-ins. K. Grimm.

Autori kirjastus.
Tartus 1932.



Lue Palu

TEHNILISED ÕPPFVIHIKUD.

Vihik 8.

Käsi kirja
õigustega.

VAHELDUVA VOOLU
SEADUSED.

Elektrotehnika VII.

III osa.

Dipl.-ins. K.Grimm.

Autori kirjastus.
Tartus 1932.

- II -

S i s u .

| | |
|--|-------------|
| Vahelduva voolu töö ja võimsus . . . | 1hk. 128 |
| Vahelduva voolu võimsuse mõõtmised . . . | 140 |
| Võimsuse teguri $\cos \varphi$ leidmine . . . | 148 |
| Raudsüdamikuga pool vahelduvas voolus | 150 |
| Vahelduva voolu ülesannete lahendamine sümbolite meetodi abil | 166 |
| Vahelduva voolu ülesannete graafiline lahendamine | 175 |
| I.Järjestikune ühendus | 184 |
| II.Paralleelne ühendus | 191 |
| III.Segaühendus | 198 |

Vahelduva voolu töö ja
võimsus.

Väljudes alalise voolu seadusist võime kirjutada, et momentaanne vahelduva voolu võimsus

$$w = e \cdot i,$$

kus e ja i on vahelduva voolu momentaanne pinge ja voolutugevus samal silmapilgul.

Tahame me seda valemit üldistada ja momentaansete suuruste asemele kirjutada maksimaalsed või efektiivsed, siis on see võimalik ainult ühel erijuhul, kus e ja i suuruste muutused langevad aja suhtes ühte, s.t. nendevaheline faasinurk $\varphi = 0$. Siis, nagu näitab joon. 83, mõlemad siinuskõverad samal momendil annavad maksimaalseid suurusi ja võib võimsuse valemisse asetada

$$e = e_{max} = E_0$$

$$i = i_{max} = J_0$$

Seeg oleks saadud

$$W_0 = E_0 J_0$$

On järelikult $\varphi = 0$, siis on vahelduva voolu maksimaalne võimsus W_0 maksimaalne pinge korda maksimaalne voolutugevus. Paneme me maksimaalsete suuruste asemele efektiivsed:

$$\frac{E_0}{\sqrt{2}} = e' \quad \text{ja} \quad \frac{J_0}{\sqrt{2}} = i'$$

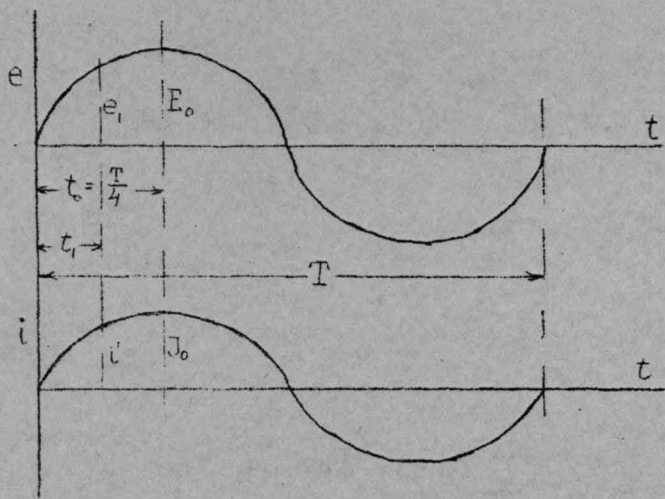
Saame sel erijuhul, kus faasinurk $\varphi = 0$, effek -

tiivse võimsuse

$$W' = e'i' = \frac{E_0 J_0}{\sqrt{2} \cdot \sqrt{2}} = \frac{E_0 J_0}{2} = \frac{W_0}{2}$$

s.t. efektiivne võimsus on maksimaalsest kaks korda väiksem. Otsekohe on selge, et need valemid ei pea paika, kui voolutugevuse muutumine ei lange pinge muutumisega ajalt ühte, s.t. et mõlemate siinuskõverate vahel on olemas faasinurk, mis ei võrdu nulliga, vaid on nullist suurem / induktiivkoormamine / või nullist väiksem / mahtvuskooormamine /

$\varphi \neq 0$ aga $\varphi > 0$ või jälle $\varphi < 0$.



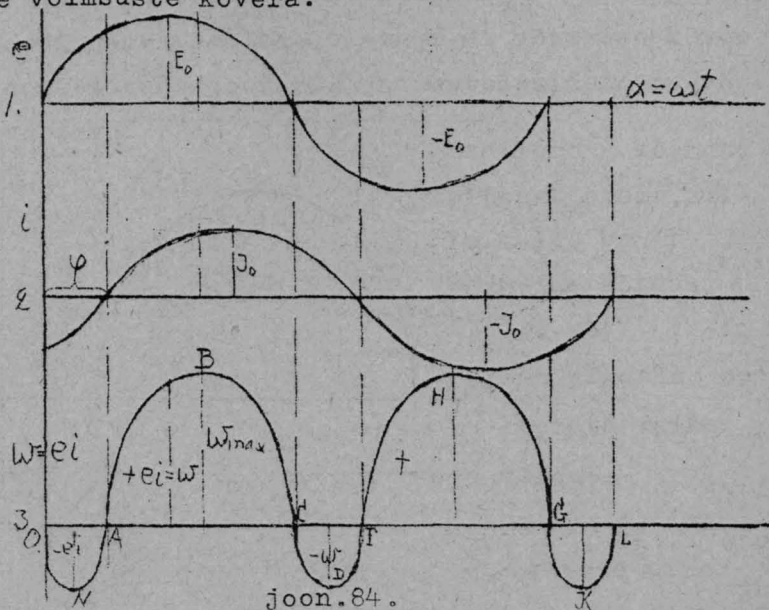
joon.83.

Nüüd momentaansete suurusele E_0 enam ei vasta J_0 sest J_0 kas jääb aja mõttes temast maha ja tekib hiljemini, kui e on juba möödunud oma maksimumist,

või jälle J_0 ruttab ette ja J_0 -le vastab mõni teine i , mis J_0 -st on väiksem.

Saame korrutised:

E_0 ja eJ_0 , aga mitte $E_0 J_0$. Arusaadav, et ka sel juhul peaks olema mingisugune maksimaalne võimsus, kuid tema kättesaamine analüütiliselt teeb raskesti kätte saadav. Selleks joonestame ühise aja mõõtkavas pinge ja voolutugevuse muutumise kõverad /sinusoidid/, arvesse võttes nende faasinurga φ /joon.84/. Korrutades samale silmapilgule vastavad e ja i suurused /antud igal ühisel püstjoonel ordinaatidega e ja i /, ehitame kolmanda, momentaansete võimsuste kõvera.



Joonisest on selge, et maksimaalne ordinaat, mis vastab maksimaalsele võimsusele, asub E_0 ja J_0 vahel ega lange kummagiga neist kokku. Ka ei ole ta $J_0 E_0$ korrutisega võrdne, vaid on

$$W_0 < J_0 E_0$$

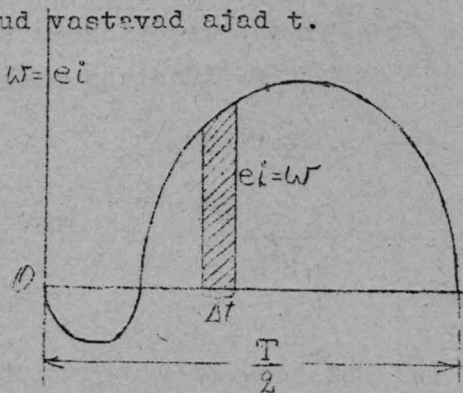
Kõverjoontel on abstsissidena võetud nurk α , mis on, nagu valemist

$$\alpha = \omega t$$

näha, ajaga proportsionaalne.

Järelikult võime lugeda abstsissid ajaks, võetud ω korda suuremas mõõtkavas. Selle tõttu ωt kõverate ja abstsisside telje vahelised pinnad on proportsionaalsed elektrivoolu tööga.

Katsume tuletada elektritööhulga valemi poole perioodi jaoks. Selleks oletame, et võimsuse kõver on joonestatud /joon.85/ ja abstsissidena on võetud vastavad ajad t .



joon.85.

Vaatleme lõpmata kitsast paela, mille laius on Δt ja keskmine kõrgus $e_i = \omega$

Tema pindala on ka lõpmata väike ja võrdub:

$$\Delta s = e_i \cdot \Delta t$$

Võtame me selliste pinna-

keste summa terve poolperioodi ulatuses, s.t. piirides 0 ja $\frac{T}{2}$ vahel, siis leiame:

$$S = \sum_0^{\frac{T}{2}} \Delta s; \quad A = \int_0^{\frac{T}{2}} e i dt$$

Selle integraali lahendamise on võimalik, kui me võtame arvesse, et

$$e = E_0 \sin \omega t /$$

$$i = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + L\omega - \frac{1}{C\omega}} / 2} \sin \omega t - \varphi /$$

ja poole perioodi jooksul tehtud el.-tööhulga valem on:

$$A = \frac{E_0^2}{\sqrt{R^2 + L\omega - \frac{1}{C\omega}} / 2} \int_0^{\frac{T}{2}} \sin \omega t / \sin \omega t - \varphi / dt$$

Trigonomeetria valemite ja integreerimise abil on võimalik saada lõpplahendust kujul

$$A = \frac{E_0 J_0}{2} \cdot \frac{T}{2} \cos \varphi$$

Sellest valenist keskmise võimsuse saamiseks peame tööhulga suuruse jagama ajaga, s.t. meie juhul poole perioodi kestusega $\frac{T}{2}$.

$$W = \frac{A}{\frac{T}{2}} = \frac{2A}{T}$$

või

$$W = \frac{2E_0 J_0}{2T} \cdot \frac{T}{2} \cos \varphi = \frac{E_0 J_0}{2} \cos \varphi$$

Nimetajat võib vaadelda kui

$$2 = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2}$$

See annab efektiivseid suurusi:

$$\frac{E_0}{\sqrt{2}} = e' \quad \text{ja} \quad \frac{J_0}{\sqrt{2}} = i'$$

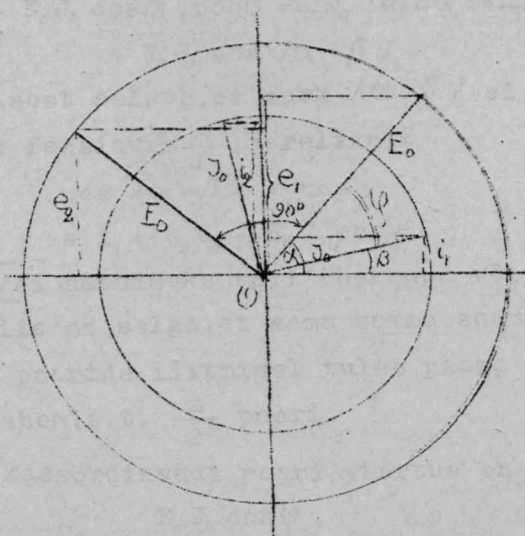
Järelikult

$$W = e' i' \cos \varphi \quad \text{ja} \quad A = \frac{e' i' \cos \varphi}{2V}$$

$$\text{kus} \quad \frac{T}{2} = \frac{I}{2V}$$

Sama valemi tuletamine on läbi viidav ka ilma integraalarvutusest, ainult trigonomeetria abil. Võimsuse kõveratest selgub, et keskmine võimsus on ei-de aritmeetiline keskmine.

S.o. $W = \frac{\sum e_i i}{m}$, kus m on e_i ordinaatide arv. Joonestame J_0 ja E_0 noolraadiuse ringdiagrammi, kus võtame noolraadiused paarikaupa 90° nurga all üksteise suhtes /joon.86/. Noolraadiuste pro-



joon.86.

jektsoonid ordinaatide teljele annavad igale α ja $\alpha + \varphi$ nurgale vastavaid e ja i /momentaanseid / suurusi e_1 , mis vastab E_0 asendile, α nurga all:

$$\begin{aligned} \text{ja} \quad e_1 &= E_0 \sin \alpha \\ i_1 &= J_0 \sin \beta \end{aligned}$$

Nende korrutis annab

$$e_1 i_1 = E_0 J_0 \sin \alpha \cdot \sin \beta$$

e_2 vastab E_0 asendile $\alpha + 90^\circ$ nurga all.

$$\begin{aligned} \text{ja} \quad e_2 &= E_0 \sin /90^\circ + \alpha / = E_0 \cos \alpha \\ i_2 &= J_0 \sin /90^\circ + \beta / = J_0 \cos \beta \end{aligned}$$

Nende korrutis

$$e_2 i_2 = E_0 J_0 \cos \alpha \cdot \cos \beta$$

ja nende summa

$$\begin{aligned} e_1 i_1 + e_2 i_2 &= E_0 J_0 \sin \alpha \cdot \sin \beta + \\ &+ E_0 J_0 \cos \alpha \cdot \cos \beta = E_0 J_0 / \sin \alpha \sin \beta + \cos \alpha \cos \beta / \\ &= E_0 J_0 \cos / \alpha - \beta / \end{aligned}$$

Joonisest selgub, et nurk $/ \alpha - \beta /$ ei ole midagi muud, kui faasinurk φ , järelikult

$$\begin{aligned} \text{ja} \quad \cos / \alpha - \beta / &= \cos \varphi \\ e_1 i_1 + e_2 i_2 &= E_0 J_0 \cos \varphi \end{aligned}$$

Kui $\sum e_i$ saamiseks tuli ühekaupa võtta m ordinaati, siis on selge, et sama summa saamiseks ordinaatide paaride liitmisel tuleb paarid võtta kaks korda vähem, s.t. $\frac{m}{2}$ paari.

Iga kaasordinaadi paari väärtus on

$$E_0 J_0 \cos \varphi,$$

järelikult

$$\sum ei = \frac{m}{2} E_0 J_0 \cos \varphi$$

ja võimsus

$$W = \frac{\sum ei}{m} = \frac{m E_0 J_0 \cos \varphi}{2m} = \frac{E_0 J_0 \cos \varphi}{2}$$

või jälle 2. asenelo pannes $2 = \sqrt{2} \cdot \sqrt{2}$, saame efektiivsed väärtused

$$\frac{E_0}{\sqrt{2}} = e' \quad \text{ja} \quad \frac{J_0}{\sqrt{2}} = i'$$

Seega

$$W = e' i' \cos \varphi$$

Näide. Vahelduva voolu ahelikuga ühendatud mõõ-

duriistad näitavad: amperneeter voolutu-
gevust $i' = 4,8 \text{ amp.}$, voltmeeter $e' = 220 \text{ v.}$ Pea-

le selle $\cos \varphi$ mõõtja näitab $\cos \varphi = 0,78$.

Küsitakse, kui suur on selles ahelikus el-
voolu võimsus?

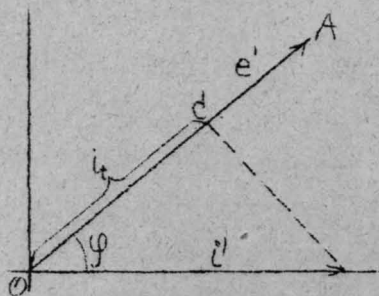
$$W = e' i' \cos \varphi$$

$$W = 220 \cdot 4,8 \cdot 0,78 \approx 825 \text{ vatti}$$

või kilovattides

$$W = \frac{825}{1000} = 0,825 \text{ kW}$$

Pöörame tagasi pinge ja voolutugevuse nooldia-
grammi juurde. Oletame, et on antud pinge e' ja voo-
lutugevus i' faasinurgaga φ /joon. 87/. Voolutugevu-
se noolt võime lahutada kaheks komponendiks, nii
et üks neist \overline{OC} langeb sihilt pinge noolega \overline{OA} üh-
te ja teine \overline{BC} on sihitud pinge noolele risti. See-



joon.87.

ga saame voolutugevus-
te kolmnurga OCB nur-
kadega φ , 90° ja $90^\circ - \varphi$.
Kolmnurga kaatetid on
 $\overline{OC} = i_t$, mis langeb pin-
ge noole suunaga ühte
ja on tuntud "tegeva
voolutugevuse" nime
all; $\overline{BC} = i_e$ seisab pin-

ge noole suhtes risti ja teda nimetatakse "eba-
voolutugevuseks". Saksa keeles on nad "Wirkstrom"
ja "Blindstrom".

$$\text{ja} \quad \begin{aligned} i_t &= i \cos \varphi \\ i_e &= i \sin \varphi \end{aligned}$$

Moodustame kõigi kolme voolutugevuse korruti -
sed pinge e' suurusega. Võib ette näha, et nad on
mingisugused võimsused.

Nii saame:

$$\begin{aligned} W &= e' i' \\ W_t &= e' i_t = e' i' \cos \varphi \\ W_e &= e' i_e = e' i' \sin \varphi \end{aligned}$$

Esimene neist on kõige suurem, on üldvõimsus ja
teda nimetatakse "näivaks võimsuseks" / "Schein-
leistung" / .Teine pole midagi muud, kui varemini
tuletatud vahelduva voolu keskmine võimsus, teda
nimetatakse "tegevaks võimsuseks" / "Wirkleistung"

ja kolmas on tuntud "ebavõimsuse" /"Blindleis - tung"/ nime all.

Et kõige rohkem on tegemist tegeva võimsusega, siis harilikult ei panda sõna "tegev"juurde, sa - muti jäetakse indeks "t" ära ja kirjutatakse ai - nult "W". Tegev- ja ebavõimsuse ühikutena on jae - tud vatt ja kilovatt, kuna näiva võimsuse jaoks on valitud "volt-amper"/VA/ ja "kilovolt-amper"/kVA/. Viimasel ajal hakati tarvitama kW-st ja kVA -st veel tuhat korda suuremat ühikut, nimelt "mega - vatt"/MW/ ja "mega-volt-amper" /MVA/.

Me võime voolude kolmnurga suurusi vähendada e' korda ja saame sel juhul juhtivuste kolmnurga /v.peatükk "paralleelühendused vahelduvas voolus" lhk.88.IIosa/.

$$\frac{i'_t}{e'} = K_t ; \frac{i'_e}{e'} = K_e \text{ ja } \frac{i'_e}{e'} = K'$$

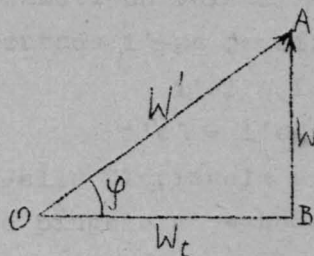
Tegevale voolule vastab siin tegev juhtivus, eba - voolule - ebajuhtivus ja üldvoolule - näivjuhti - vus.

Samuti võime koostada e' korda suurenda - tud voolude kolmnurga suurustest võimsuste kolm - nurga.

$$e'i' = W'; e'i'_t = e'i' \cos \varphi = W_t \text{ ja}$$

$$e'i'_e = e'i' \sin \varphi = W_e$$

kus üldvoolule vastab näivvõimsus, tegevale voo - lule - tegev-, või lihtsalt võimsus ja ebavoolule - ebavõimsus /joon.88/.



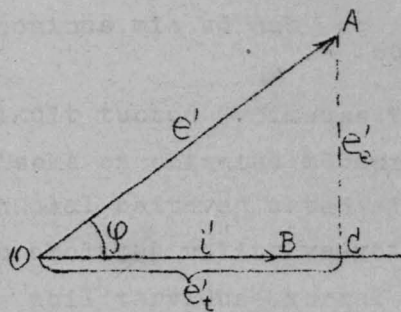
joon.88.

Kolmnurk OAB kaudu võime väljendada W_t ja W_e näiva võimsuse W' ja nurga φ funktsioonide läbi.

$$W_t = W' \cos \varphi \quad \text{ja} \\ W_e = W' \sin \varphi$$

Nagu eelmisest näha, eba-

vool i_e' ei mõju vahelduva voolu kasulikule võimsusele, seepärast nim. teda tihti veel "vattva - baks voolu komponendiks". Näiva, tegeva ja ebavõimsuse väärtused ja kolmnurga võime saada ka välju - des nooldiagrammi abil koostatud pingete kolmnurgast /joon.89/. Selleks lahutame üldpinge e' kaheks komponendiks, millest üks e_t' langeb sihilt -



joon.89.

ühete voolu noolega i' ja teine e_e' seisab temale risti. Jälle võime nimetada pinget e' üld- või näivaks pingeks, e_t' - tegevak pingeks ja e_e' - ebapingeks. Nagu takistus - te /Flemmingi/ kolmnurk oli saadud pingete kolm-

nurga suurust i' korda vähendades:

$$\frac{e_t'}{i'} = R_t \quad ; \quad \frac{e_e'}{i'} = R_e \quad \text{ja} \quad \frac{e'}{i'} = R'$$

Samuti on võimalik pingete kolmnurga suurusi korrutada $i'e'$ -ga ja nii saada võimsused:

$$i'e'_t = i'e' \cos \varphi = W_t$$
$$i'e' = i'e' \sin \varphi = W_e \quad \text{ja} \quad i'e' = W'$$

Jälle üldpingele e' vastab näivvõimsus W' , tegevale pingele e' - tegev-, või lihtsalt vahelduva voolu võimsus W_t ja ebapingele e' - ebavõimsus W_e . Saadud näivvõimsus ja tema komponendid moodustavad võimsuste kolmnurga /joon.88/. El.-tööhulk, mida vahelduv vool võimsusega $W_t = e'i' \cos \varphi$ t sekundi jooksul ära teeb, on

$$A = Wt = e'i't \cos \varphi$$

El.-töö ühikud jäävad endiseks, s.t. I džoul /dž/, I vatt-sekund, I vatt-tund /Wh/, I kilovatt-tund /kWh/ ja I mega-vatt-tund /MWh/. Faasinurga koosinus, mis võrdub

$$\cos \varphi = \frac{W}{e'i'} \quad , \text{ on hari -}$$

likult tuntud "võimsuse teguri" nime all. Tema mõõtmiseks on ehitatud mõõduriistad, mis gradueeritud skaalal näitavad antud silmapilgul vahelduva voolu ahelikus valitseva võimsuse tegurit $\cos \varphi$, mille abil tarviduse korral on võimalik kindlaks teha ka faasinurka .

Näide. On antud voolu-aheliku pinge $e' = 220$ volti ja voolutugevus $i' = 12,8$ amp. Faasinurga koosinus /võimsuse tegur/ on $\cos \varphi = 0,75$. Küsitakse, kui suu-

red on näivvõimsus, tegev- ja ebavõimsus?

Näivvõimsus võrdub

$$W' = e'i' = 220 \cdot 12,8 = 2816 \text{ VA}$$

või kilovolt-amprites

$$W' = \frac{2816}{1000} = 2,816 \text{ KVA}$$

Tegev- või lihtsalt võimsus on

$$W = e'i' \cos \varphi = 220 \cdot 12,8 \cdot 0,75 \approx 2115 \text{ vatti}$$

ja kilovattides

$$W = \frac{2115}{1000} = 2,115 \text{ KW}$$

Ebavõimsuse leidmiseks võime tarvitada kaht teed:

$$W_e = W' \sin \varphi = 2816 \cdot 0,66 \approx 1859 \text{ vatti}$$

või

$$W_e = \sqrt{W'^2 - W^2} = 2816 - 2115 \approx 1860 \text{ vatti}$$

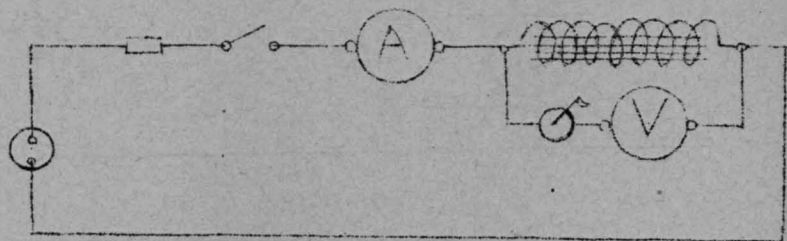
$$W_e \approx 1,86 \text{ KW}$$

Vahelduva voolu võimsuse mõõtmised .

I. Näivtakistuse mõõtmine sünnib vahelduva voolu jaoks ehitatud ampermeetriga ja voltmeetriga . Nende näidud tuleb lihtsalt omavahel korrutada , siis saame näiva võimsuse suuruse voltamprites. $W' = e'i'$. Selle mõõtmise ühenduse skeemi näitab 90. joonis.

Nagu skeemist näha, on voltmeeter varustatud oma katkestajaga. Ampermeetri näidu lugemise ajal tuleb katkestada ühendus voltmeetriga, et am

permeerile mõjuks ainult pooli läbiv vool. Muidu võib väikeste voolutugevuste ja suure poolitakistuse juhul tekkida võrdlemisi suur viga, mille korrigeerimine arvutamisel teeb palju raskusi. /Volt-



joon.90.

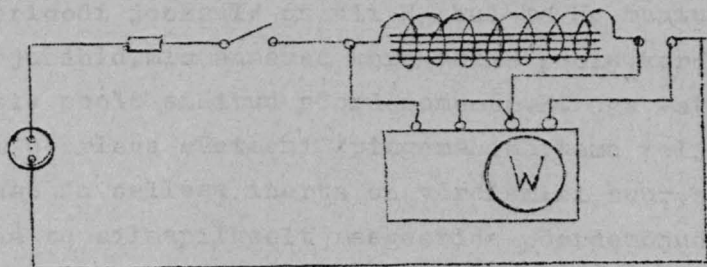
meetril on oma induktiiv-, paremini öeldult, näiv - takistus, mille faasinurk harilikult teada ei ole!

II. Näiva takistuse mõõtmine on võimalik ka teisel teel. Nimelt kui pingevõrgus on alati püsiv suurus /linna elektrijaamad/, siis on võimalik ampermeetrit gradueerida otsekohe näiva takistusühikute järgi, s.t. kas volt-amprites või kilo-volt - amprites.

Arusaadav, et selline näivtakistuse mõõtja iga teissuguse pingekuures ei näita enam õieti.

III. Kasuliku võimsuse mõõtmiseks ei saa tarvitada ainult amper- ja voltmeetrit, sest nende näitude korrutis annab mitte tegeva, vaid näiva võimsuse. Sellepärast tegeva võimsuse P_t mõõtmiseks

tarv. elektrotehnikas vattmeedit.Tema ühenduse skeem on antud joonisel 91.



joon.91.

Et vattmeeter näitab tegevat võimsust

$$W = e'i'\cos\varphi \quad ,$$

on seletatav sellega, et magnetvälja tugevused vattmeetri peamähises /pingemähises/ muutuvad üksteisest rippumatuks, esimeses kaasaegselt voolutugevuse muutumisega, teises kaasaegselt pinge muutumisega. Selle tõttu nende maksimumid võivad mõjuda üksteisele ainult sel juhul, kui voolu ja pingemuutused langevad ühte, s.t. faasinurk $\varphi = 0$ ja $\cos\varphi = 1$. Iga teise faasinurga φ juures tekib ühe mähise magnetvälja tugevuse maksimum teise mähise omast hiljemini või varem, vattmeetri näit a on aga proportsionaalne nende magnetvälja tugevuste korrutisega:

$$a = C.H_1.H_2 \quad ,$$

kus H_1 all tuleb mõista silmapilkset magnetvälja tugevust peamähises, H_2 all silmapilkset mag -

netvälja tugevust pingemähises, mis oleneb momentaanses e -st. Terve perioodi jooksul /või ka poolperioodi jooksul/ on nii H_1 , kui ka H_2 muutuvad mõjusihid, mis annavad kord ühele poole, kord teisele poole sihitud pöördemomente. Et aga vattmeetri pöörleva süsteemi /pingemähise, tema telje jne/ mass ja sellega inerts on võrdlemisi suur, siis ei saa ta silmapilkselt reageerida pöördemõjudele ja jääb seisma mingisuguses keskmises asendis, mis on keskmise võimsusega proportsionaalne. Keskmise võimsus, delpool-seletatu põhjal ongi tegev või kasulik vahelduva voolu võimsus W_t . /v. joon. 84, mil tuleb kujutella i asemel H_1 , e asemel H_2 ja w asemel nende korrutist. Selle korrutise märgile vastab ka pöördemõju siht/.

Mida suurem on faasinurk φ , seda väiksem on ta koosinus ja ühtlasi seda väiksemad on positiivsed pinnad ja seda suuremad negatiivsed pinnad 84. joonise kõveral w . Äärmine juht, kui faasinurk $\varphi = 90^\circ$ ja tema $\cos \varphi = 0$. Positiivsed ja negatiivsed pinnad on siis võrdsed, järelikult igale pöördemõjule ühes sihis järgneb võrdne pöördemõju vastassihis; ja pöördmähises; sellega ühes ka osutid jäävad paigale - vattmeetri näit võrdub nulliga. Sama annab ka teoreetiline valem

$$W_t = e' i' \cos \varphi$$

ja kui võimsuse tegur $\cos\varphi = 0$, siis ka $W_t = 0$.

IV. Vattmeeter on õige kallis mõõduriist. Peale hea laboratooriumi või suurema elektriijaama teda tarvitatakse harva ja vabamüügil, nagu on amper - meetrid ja voltmeetrid, teda elektriärides meie maal pole.

Sellepärast vahelduva voolu võimsuse mõõtmiseks tuleb tihti tarvitada kaudseid teid. Neist tuleks tõsta esikohale võimsuse mõõtmise hariliku - vahelduva voolu lugeja abil, mille hind on tihti paarkümmend korda vattmeetri omast väiksem ja mis on kõikjal kättesaadav.

Temaga ettevõetud mõõtmised annavad praktiliselt küllalt täpsaid tagajärgi.

Kuigi voolulugeja õieti on elektritöö lugeja, siis ometi võimaldab ta kätte saada ka voolu võimsust /v. 6. vihk, Elektrotehnika praktikum "Mõõduriistade praktikum", Katse 11/. Aluseks võtame elektritöö valemi

$$A = Wt = e'it \cos\varphi,$$

kust

$$W = \frac{A}{t}$$

On voolulugeja kilbil ära tähistatud konstant C, jälgitud lugeja ankru /ketta/ tiirude arv n ja aeg, mille jooksul on vaatlemist toimetatud, t sek, siis võrdub voolulugeja poolt registreeritud el.-

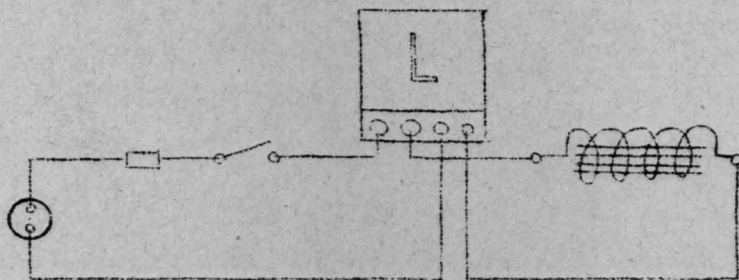
töö džoulides:

$$A = \frac{3,6 \cdot 10^6 n}{C} \quad \text{džouliga}$$

ja võimsus

$$W = \frac{3,6 \cdot 10^6 n}{Ct} \quad \text{vatiga}$$

On soovitatav katsed korrata 2-3 korda ja aeg t võtta võimalikult pikaks /2.-3., isegi kuni 5. mi - nutini/ ja arvatatud võimsuse suurustest W_1, W_2, W_3 jne võtta aritmeetiline keskmine. Voolulugeja lülitamise skeem on kujutatud joonisel 92.



joon.92.

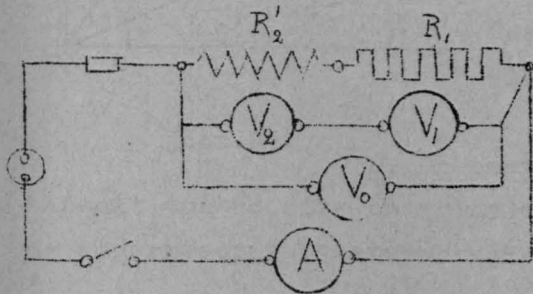
Näide. Voolulugeja ankur, mille konstant $C=4200$, tegi 2. minuti jooksul 98 tiiru. Küsitakse, kui suur on selle aja jooksul registreeritud el.-töö A ja voolu võimsus W ?

$$A = \frac{3,6 \cdot 10^6 \cdot 98}{4200} = 84000 \text{ dž}$$

Võimsus $W = \frac{3,6 \cdot 10^6 \cdot 98}{4200 \cdot 2 \cdot 60} = 700 \text{ vatti} = 0,7 \text{ kW}$

V. Kaudsel teel võib vahelduva voolu tegevat võimsust leida kolme voltmeetri lülitamise abil.

Oletame, et on antud pool, mida toidetakse vahelduva vooluga. Tuleb leida selles poolis tarvitatav võimsus W . Lülitame pooliga järjestikku ootakistuse R_1 /skeem joonisel 93/. a. Mõõduriistadest võtame amper-



joon. 93.

meetri ja kolm voltmeetrit. Voltmeetrid näitavad: V_1 - pingelangust ootakistuses e_1' , V_2 - pingelangust näivas takistuses e_2' ja V_0 - üld-/resultant-/ pinge -

langust - e_0' .

Seame kokku meie ühenduse jaoks pingete ja voolu nooldiagrammi /joon. 94/. Pingenool e_1' langeb sihtilt voolunoollega i' ühte, kuna pingenool e_2' ruttab tenast φ nurga võrra ette. /voolunool i' jääb e_2' -s noolest φ nurga võrra maha/.

Rakendades parallelogrammile koosinuslause, leiame:

$$e_0'^2 = e_1'^2 + e_2'^2 - 2e_1'e_2' \cos /180^\circ - \varphi/ ,$$

et aga $\cos /180^\circ - \varphi/ = -\cos \varphi$,

siis saame
$$e_0'^2 = e_1'^2 + e_2'^2 + 2e_1'e_2' \cos \varphi$$

Toome välja

$$\cos \varphi = \frac{e_0'^2 - e_1'^2 - e_2'^2}{2e_1'e_2'}$$

Asetades ta võimsuse valemisse, leiame:

$$W_2 = e_2' i' \cos \varphi = e_2' i' \frac{e_0'^2 - e_1'^2 - e_2'^2}{2e_1' e_2'}$$

Peale koondumist jääb

üle:

$$W_2 = i' \frac{e_0'^2 - e_1'^2 - e_2'^2}{2e_1'}$$

joon.94.

b. On oontakistus suuruselt

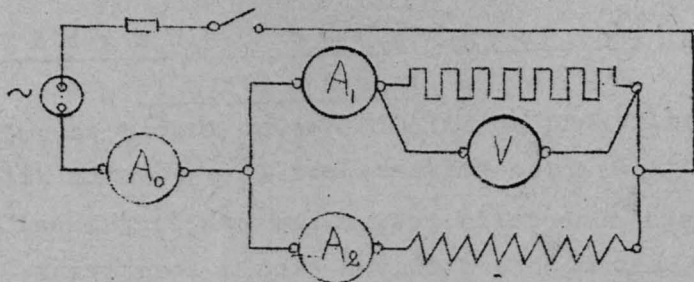
täpsalt tuntud, siis on võimalik läbi saada ka ilma ampermeetrita, asetades valemisse:

$$\frac{i'}{e_1'} = \frac{1}{R_1}$$

ja võimsuse valem kujuneb järgmiseks:

$$W_2 = \frac{e_0'^2 - e_1'^2 - e_2'^2}{2R_1}$$

VI. Lülitades oontakistuse näiva takistusega paralleelselt, võime võimsuse leidmise üle viia jälle kaudsele teele, ainult nüüd kolme ampermeetri abil /v.skeemi joonisel 95/.



joon.95.

Pinge ja voolude nooldiagramm annab jälle see -
kord voolude parallelogrammi, mille koosinuslause

$$i_0'^2 = i_1'^2 + i_2'^2 - 2i_1'i_2' \cos /180^\circ - \varphi /$$

ehk
$$i_0'^2 = i_1'^2 + i_2'^2 + 2i_1'i_2' \cos \varphi$$

lahendatult koosinuse suhtes, annab

$$\cos \varphi = \frac{i_0'^2 - i_1'^2 - i_2'^2}{2i_1'i_2'}$$

Asetame $\cos \varphi$ avaldise võimsuse valemisse ja
leiame

$$W_2 = e'i_2' \cos \varphi = ei_2' \frac{i_0'^2 - i_1'^2 - i_2'^2}{2i_1'i_2'}$$

a. On ootakistus suuruselt teadmata, siis kasu -
tame voltmeetri näitu. Peale koondamist saame võim -
suse valemi kujul

$$W = e' \frac{i_0'^2 - i_1'^2 - i_2'^2}{2i_1'}$$

b. Kui aga ootakistus on tuntud, siis asetame
avaldise

$$\frac{e}{i_1'} = R_1 \quad \text{ja saame}$$
$$W_2 = R_1 \frac{i_0'^2 - i_1'^2 - i_2'^2}{2}$$

Võimsuse teguri $\cos \varphi$
leidmine.

Võimsuse teguri $\cos \varphi$ leidmine on praktiliselt
võimalik mitmesugusel teel; eeskätt $\cos \varphi$ näitaja -
te ja isekirjutajate kaudu. Need riistad on aga kal -
lid ja tarvitusel ainult suuremates jaamadest ja
laboratooriumides.

Teine tee on $\cos\varphi$ leidmine näiva ja tegeva võimsuse mõõtmise kaudu. Viimaseid võib mõõta eelmises peatükis seletatud viisil. Nende suhe ongi otsitav võimsuse tegur:

$$\cos\varphi = \frac{W'}{W_t} = \frac{e'i'}{W_t}$$

Näide I Võimsuse mõõtmiseks on võetud kolm volt- ja ampermeetrit. Oontakistuseks on võetud hõõglambid, mille takistus tuntud ei ole. Voltmeetrite näidud on: $e_1' = 33$ volti, $e_2' = 42$ volti ja $e_0' = 70$ volti.

Ampermeeter näitab $i' = 6,5$ amp. Kui suur on $\cos\varphi$ ja võimsus W_x ?

$$\cos\varphi = \frac{e_0'^2 - e_1'^2 - e_2'^2}{2e'e'} = \frac{70^2 - 33^2 - 42^2}{2 \cdot 33 \cdot 42}$$

$$\cos\varphi = \frac{1047}{2 \cdot 33 \cdot 42} \approx 0,74$$

$$W_x = i' \cdot \frac{e_0'^2 - e_1'^2 - e_2'^2}{2e'} = e_2' i' \cos\varphi$$

$$W_x = 42 \cdot 6,5 \cdot 0,74 \approx 201,5 \text{ vatti}$$

Näide II. Kolm voltmeetrit näitasid: $e_1' = 120$ volti, $e_2' = 92$ volti ja $e_0' = 175$ volti. Oontakistus on tuntud ja võrdub $R_1 = 24$ oomiga. Kui suur on mõõdetud võimsus?

$$W_x = \frac{e_0'^2 - e_1'^2 - e_2'^2}{2R_1} = \frac{175^2 - 120^2 - 92^2}{2 \cdot 24} \approx 161,5 \text{ vatti}$$

Näide III. Leida kolme ampermeetri ja tundmata oontakistuse abil võimsus, kui teada on, et

ampermeetrite näidud on: $i_1' = 4,65 \text{ amp}$, $i_2' = 2,2 \text{ amp}$, $i_0' = 6,25 \text{ amp}$ ja voltmeeter näitab pinge - langust $e' = 150 \text{ volti}$:

$$W_2 = e' \frac{i_0'^2 - i_1'^2 - i_2'^2}{2i_1'} =$$

$$= 150 \frac{6,25^2 - 4,65^2 - 2,2^2}{2 \cdot 4,65} = \frac{150 \cdot 12,6}{2 \cdot 4,65} \approx 203,5 \text{ vatti.}$$

Näide IV. Kolm ampermeetrit näitavad: $i_1' = 1,8 \text{ amp}$, $i_2' = 3,1 \text{ amp}$ ja $i_0' = 4,5 \text{ amp}$. Tuntud oomtakistus $R_f = 210 \text{ oomi}$. Kui suur on võimsuse tegur $\cos \varphi$ ja võimsus ise?

$$\cos \varphi = \frac{i_0'^2 - i_1'^2 - i_2'^2}{2i_1'i_2'} = \frac{4,5^2 - 1,8^2 - 3,1^2}{2 \cdot 1,8 \cdot 3,1} \approx 0,664.$$

ja võimsus

$$W_2 = R_f \frac{i_0'^2 - i_1'^2 - i_2'^2}{2} =$$

$$= 210 \frac{4,5^2 - 1,8^2 - 3,1^2}{2} = \frac{210 \cdot 7,4}{2} \approx 777 \text{ vatti}$$

R a u d s ü d a m i k u g a p o o l
v a h e l d u v a s v o o l u s .

Kõik eelpool-välja-toodud valemid on tuletatud oletusega, et poolid, s.t. vooluahelik ei si - salda rauda. On aga pool varustatud raudsüdami - ga, siis eneseinduktsiooni tegur L ei ole enam kon - stantne, vaid muutub koos magnetiseeriva voolu tu - gevusega. Peale soojuse kaotuse juhtmes tekivad veel kaotused raua ümbermagnetiseerumise ja rauas indutseerunud Foucault' /loe "Fukoo"/ voolude töt -

tu. Viimaseid nim. tihti "pöörisvooludeks".

Übermagnetiseerumise tagajärjel tekkinud võimsusekaotused lasevad end kindlaks teha tuntud Steinmetz'i valemi abil. /v. vihik "Voolu magnetiline mõju"/.

$$W_u = \frac{\eta B_0^2 V \nu}{10^9} \text{ vatti,}$$

kus W_u on übermagnetiseerumisele kulunud võimsus, η - tegur, mis oleneb raua magnetilistest omadustest /harilikul pehmel raudplekil $\eta = 0,0033/$, B_0 - magnetiline induksioon gaussides, V - raua maht cm^3 -tes, ν - übermagnetiseerumiste arv sekundis /vahelduva voolu juhul langeb ta ühte voolu sageduse arvuga/.

Ka on võimalik W_u leida vastavate kõverikkude abil /übermagnetiseerumise kõver - das vihiku

Pöörisvoolude tõttu tekkinud võimsuse kaotus on

$$W_f = c \frac{\nu \Delta B^2 V}{10^{10}} \text{ vatti}$$

Siin on c - konstant, mis ei olene raua magnetilistest omadustest nagu η , vaid oleneb raua eritakistusest ja jätkukohtadel kokkupuutuvate otsapindade väljatöötusest. Nagu kogemused transformatoritega näitavad, kõigub c - 2. ja 2,5. vahel. Raud eritakistus oli varemini /vihik 1/ arvatud $\rho = 0,1$ kuni 0,12, tegelikult on võimalik ρ tõsta erikoosseisuga plekki valmistades kuni $\rho = 0,5$ ja isegi

$\rho = 0,6$, mille juures η väheneb $0,0033$ kuni $\eta = 0,0007$ ja $0,0008$. Need plekid on tuntud dünamo- ja transformaatorite plekkide nime all. /sulatisplekid, legierte Bleche/. Nende saamiseks lisatakse rauale 3-4% rüni /Silicium/ ja kuni 1% alumiiniumi.

Ohmi seaduse valemite tuletamisel vahelduva voolu kohta, nägime me II juhul /induktiivtakistus/, et momentaanne voolutugevus

$$i = \frac{e + e_s}{R}$$

$$iR = e + e_s,$$

kus e_s on momentaanne omainduktsiooni elektromotoorne jõud. Tema jaoks oli omal kohal välja toodud valem:

$$e_s = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \left\{ 10^{-8} \text{ volti} \right.$$

Teiselt poolt

$$e = E_0 \sin / \omega t /$$

ja kui $R = 0$, siis

$$e_s = - e = - E_0 \sin / \omega t /$$

Võrrandite vasakud pooled on võrdsed, järelikult on paremad pooled ka võrdsed ja me saame

$$e_s = -E \sin / \omega t / = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \left\{ 10^{-8} \right.$$

Või lahendatult $\Delta\Phi$ suhtes:

$$\Delta\Phi = \frac{E_0 \sin / \omega t / \Delta t}{10^{-8}}$$

Integreerime mõlemad pooled, saame:

$$\int \Delta \phi = \int \frac{E_0 \sin / \omega t / dt}{\xi 10^{-8}} =$$

$$= \frac{E_0}{\xi 10^8} \int \sin / \omega t / dt$$

ja

$$= - \frac{E_0 10^8}{\xi \omega} \cos / \omega t /$$

Nagu valemist selgub, on ϕ momentaanne tungjoonte voog /lühidalt "magnetvoog"/. Ta muutub ühes $\cos / \omega t /$ muutumisega ja saab maksimaalse suuruse, kui $\cos / \omega t / = 1$, s.t. nurk $/ \omega t / = 0$. Sel juhul on

$$\phi_{\max} = \phi_0 = \frac{E_0 10^8}{\xi \omega}$$

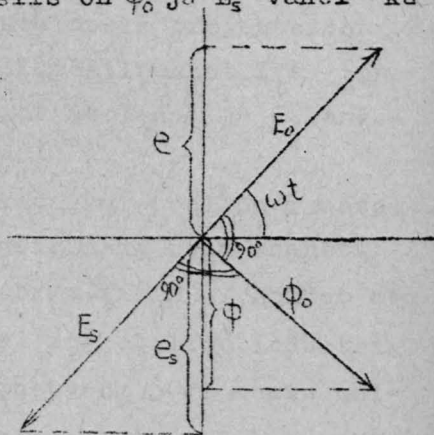
Asendades leiame, et

$$\phi = - \phi_0 \cos / \omega t /$$

Kujutame me magnetvoo noolena, siis võime koostada nooldiagrammi /joon. 96/, millest on näha, et ϕ_0 ja E_0 vahel on 90° nurk. Et omainduktsiooni - elektromotoorse jõu nool E_s on võrdne E_0 -ga ja temale vastupidi sihitud, siis on ϕ_0 ja E_s vahel ka 90° nurk.

Noolte projektsioonid vertikaalteljele annavad momentaanseid suurusi. Nooldiagrammi alusel võime kirjutada põhilaused:

IVa. Kui vool voelab ootakistusest vahet peale, siis jääb nool-



joon. 96.

diagrammis magnetvoo nool pinges noolest 90° nurga võrra maha.

Võti: IVb. Kui vool voolab ootakistusest vabas poolis, siis ruttab nooldiagrammis magnetvoo nool omainsuktsiooni elektromotoorse jõu noolest E_c -st / 90° nurga võrra ette. Viimane IVb lause jääb maks-
vaks ka siis, kui poolil on ootakistus.

Magnetvoo momentaanne väärtus ϕ on magnetaheliku Ohmi seaduse põhjal

$$\phi = \frac{\Psi_m}{R} = \frac{0,4\pi \xi i}{R}$$

Selles valemis Ψ_m on *magneto* mootorne jõud ja võr-
dub

$$\Psi_m = 0,4\pi \xi i.$$

/Gooti R/ - magnetaheliku kogutakistus. Nool-
diagrammis on ϕ igal silmapilgul maksimaalse mag-
netvoo ϕ_0 noole projektsioon vertikaalteljele ja
i maksimaalse voolutugevuse noole projektsioon
samale teljele. Valemist II, põhilausest IVA ja
nooldiagrammist on selge, et nooled ϕ_0 ja J_0 lange-
vad sihilt ühte.

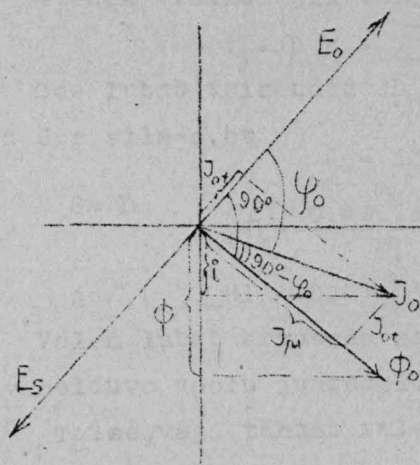
See kõik on õige nii kaua, kui pool on rauata.
Asub poolis raudsüdamik, siis, nagu raua magneti -
listest omadustest järgneb /v.vihik 4/, hakkab mõ-
juma raua hüstereesis, s.o. magnetiline induktsi-
oon B ega temaga ühes magnetvoog ϕ ei muutu nul-
like, voolutugevuse i ja temaga seotud magnetväl-

ja tegevuse H nulliks muutumise puhul.

Viimane nähe on võimalik ainult sel juhul, kui magnetvoo Φ_0 ja maksimaalse voolutugevuse J_0 nooled nooldiagrammis ühte ei lange, vaid moodustavad mingisuguse nurga $90^\circ - \varphi_0$, kus φ_0 on pinge ja voolu noolte vaheline nurk. See nurk φ_0 ei võrdu enam, nagu rauata poolil, 90° -ga, vaid on temast väiksem

$$\varphi_0 < 90^\circ$$

Selle tõttu raudsüdamikku sisaldava pooli jaoks tuleks nooldiagramm kujutada teisiti, s.t. nii, nagu see on näidatud joon. 97. Lahutame nooldiagrammis



joon. 97.

diagrammis maksimaalse voolutugevuse noole J_0 kaheks komponendiks nii, et üks J_{ot} langeks pinge noole E_0 -ga ühte, kuna teine magnetvoo noole Φ_0 -ga.

Esineb neist

$J_{ot} = J_0 \cos \varphi$ ja kujutab tegevat komponenti, kuna teine J_{μ} on ebavool ja võrdub

$$J_{\mu} = J_0 \cos /180^\circ - \varphi_0/ = J_0 \sin \varphi_0$$

Teda nimetatakse "magnetisatsioonivaks voolu komponendiks" või ka "vautvobaks komponendiks", sest

et tema tegevõinsus

$$W = e' i_{\mu}' \cos 90^{\circ} = 0$$

Voolu magnetiseeriva komponendi efektiivne suurus on saadud maksimaalsest suurusest J_{μ} harilikul teel, s.o. jagamisega $\sqrt{2}$ -le:

$$i_{\mu}' = \frac{J_{\mu}}{\sqrt{2}}$$

Magnetvoo maksimaalne väärtus Φ_0 tekib maksimaalse magnetiseeriva voolutugevuse J_0 mõjul ja eelpoolne valem muutub

$$\Phi_0 = \frac{0,4\pi \int J_{\mu}}{\mathcal{R}} \text{ /maksveili/}$$

4.-das vihikus oli välja toodud valem

$$\Psi_j = \Phi_0 \mathcal{R} = \sum Hl$$

See lubab teisendada Φ_0 valemit, selle juures pidades silmas, et

$$J_{\mu} = i_{\mu}' \sqrt{2}$$

saame

$$\Phi_0 = \frac{0,4\pi \int i_{\mu}' \sqrt{2}}{\mathcal{R}}$$

$$\text{ja } \sum Hl = 0,4\pi \int i_{\mu}' \sqrt{2}$$

Valem lubab arvutada magnetaheliku suurusi ka vahelduva voolu juhtudel.

Teise, väga tähtsa valemi tulotame väljudes võrrandist

$$\Phi_0 = \frac{E_0 10^8}{\int \omega}$$

$$\text{Arvesse võttes; } \omega = 2\pi \nu \text{ ja } E_0 = E_s = e_s' \sqrt{2}$$

saame:

$$\Phi_0 = \frac{e_s' \sqrt{2} \cdot 10^8}{\int 2\pi \nu}$$

Võti lahendamises omainduktsiooni elektromotoorse jõu e_s' suhtes, leiame

$$e_s' = \frac{2\pi \nu \frac{1}{2} \Phi_0}{\sqrt{2} \cdot 10^8} = \frac{\sqrt{2} \pi \nu \frac{1}{2} \Phi_0}{10^8}$$

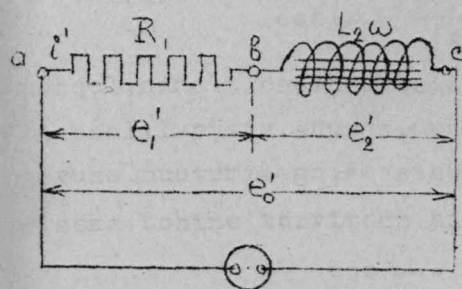
$$e' = \frac{4,44 \Phi_0 \nu}{10^8} \quad \text{volti}$$

Kuni selle ajani oletasime, et pooli ootakistus -
tus

$$R_1 = 0.$$

Nüüd vaatame, kuidas muutuvad valemid ja nooldiagramm reaalsel, praktilisel juhul, kus poolil on kindel ootakistus R .

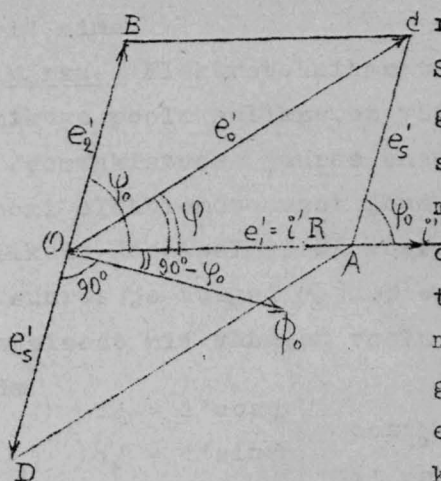
Nooldiagrammi koostamiseks tarvitame endist võtet: oletame, et pooli takistus kujutab kahe järjestikku ühendatud takistuse kombinatsiooni. Üks neist on puht-induktiivtakistus, teine ootakistus /joon.98/. Pingete voolu ja magnetvoo nooldiagramm on koostatud kõigi põhilause arvesse võtmisega joonisel 99. Selles nooldiagrammis langeb



joon.98.

pinge e_1 nool. I põhilause järele, voolu i' noolega sihilt ühte. Pinge nool e_2 , mis rauata poolil ruttas voolu i' noclest 90° võrra ette, nüüd noodustab temaga nurga

$\varphi_0 < 90^\circ$. Diagrammi \overline{OC} kujutab -



joon.99.

resultantpinget e'_0 . See pinged e'_0 on tegelik pooli pinged, selle tõttu, et skeemil näidatud ühenduspunkt b takistuste vahel on ainult mõeldud, oletatud, tegelikult teda aga ei ole ja mõlemad takistused on füüsiliselt üksteisega lahutamata seotud.

Kolmnurk OAC, mis rauata poolil oli täisnurkne, on nüüd nürinurkne. Poolis kulutatud võimsus:

$$W = e'_0 i' \cos \psi$$

Sellest valemist ei saa arvutada $\cos \psi$ takistuste valemit

$$\cos \psi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + L \omega^2}}$$

põhjal; nimelt omainduktsiooni tegur, mis oli rauata poolil püsiv suurus, muutub nüüd ühes voolugevuse muutumisega. Faasinurga koosinuse arvutamiseks tohine tarvitada ainult võimsuste valemit

$$\cos \psi = \frac{W}{e'_0 i'}$$

Siin on $e'_0 i' = W$ näivvõimsus ja $\cos \psi$ ise kannab, nagu varemini oli tähendatud, "võimsuse te -

guri" nime.

Märkus. Elektrotehnikas tarvitatakse raudsüdamikuga poole selleks, et väikse traadi takistuse /oontakistuse/ juures saada suurt omaindukt-siooni elektromotoorset jõudu. Selle tõttu on tegelikult joonisel 99 \overline{OA} võrreldes \overline{AC} -ga väga väike suurus ja nurgad φ_0 ja φ erinevad praktiliselt üksteisest nii vähe, et voolu komponente võib lugeda

$$\left. \begin{aligned} i'_M &= i' \cos \varphi \\ i'_t &= i' \sin \varphi \end{aligned} \right\} \begin{array}{l} \cos \varphi_0 \text{ ja } \sin \varphi_0 \text{ asemele.} \\ i'_t \text{ on voolu tegev kompo-} \\ \text{nent ja on saadud /v.joon.97/ } J_0 \sqrt{2}\text{-ga jagami-} \\ \text{sel:} \end{array}$$

$$i'_t = \frac{J_0}{\sqrt{2}}$$

Pingete kolmnurgast AOC järeldub:

$$e'_s = \sqrt{e_0'^2 + e_1'^2 - 2e_0'e_1' \cos \varphi}$$

Toome e_0' juurenärgi alt välja ja asetame $e_1' = i' R$

$$e'_s = e_0' \sqrt{1 + \frac{i'R}{e_0'} - \frac{2i'R \cos \varphi}{e_0'}}$$

$\frac{i'R}{e_0'}$ on väga väike murd ja praktiliselt võib te tähelepanemata jätta; siis on:

$$\begin{aligned} e'_s &= e_0' \sqrt{1 - \frac{2i'R \cos \varphi}{e_0'}} = \\ &= e_0' \left(1 - \frac{2i'R \cos \varphi}{e_0'} \right)^{1/2} \end{aligned}$$

Rakendades Newton'i binoomi lauset, leiame liigikaudselt:

$$e'_s \approx e_0' \left(1 - \frac{i'R}{e_0'} \cos \varphi \right)$$

$$e_s' \approx e_0' - i'R \cos \varphi$$

Eelpool-tuletatud valemite rakendamise prakti-
listele juhtudele teeb raskusi. Seepärast on väga
soovitav põhjalikult läbi töötada sellele peatü-
kile juurdelisatud ülesanded ja näited.

Ülesanne I. Vahelduva voolu ahelikku lülitatud
raudsüdamikuga poolil on mõõdetud pinge $e_0' = 20$ volt-
ti, voolutugevus $i' = 2$ amp, võimsus $w = 20$ vatti ja
oontakistus $R = 0,5$ ohmi.

Otsitakse:

1. Faasinurga koosinust $\cos \varphi$.
2. Pingelangust $e_1' = i'R$.
3. Omainduktsiooni EMJ - e_s' .
4. Võimsuse kaotust Joule'i soojuse kaudu traad-
ides.
5. Võimsuse kaotust ümbermagnetiseerumise ja
pöörivoolude kaudu.
6. Voolu magnetiseerumise komponenti.

1/. Võimsuse valemist

$W = e_0' i' \cos \varphi$ järeldub, et faasinurga
koosinus on

$$\cos \varphi = \frac{e_0' i'}{W} = \frac{20 \cdot 2}{20} = 0,5.$$

2/. Pingelangus on joon. 99 põhjal \overline{OA}

$$e_1' = i'R = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ v.}$$

3/. Kolmnurk OAC koosinuse lause järele on oma-
induktsiooni EMJ

$$e_s' = \sqrt{e_0'^2 + e_1'^2 - 2e_0'e_1'\cos \varphi}$$
$$e_s' = \sqrt{20^2 + 1^2 - 2 \cdot 20 \cdot 1 \cdot 0,5} = \sqrt{381} \approx 19,5 \text{ v.}$$

Täpsan

$$e_s' = \sqrt{381} = 19,5192.$$

Ligikaudne valem

$$e_s' = e_0' - i'R \text{ oleks andnud}$$

$$e_s' = 20 - 2 \cdot 0,5 = 19,5 \text{ volti}$$

$$\text{Vahe} = 19,5192 - 19,5 = 0,0192 \text{ volti}$$

teeb välja protsentides

$$\delta = \frac{0,0192}{0,01 \cdot e'} = \frac{0,0192}{0,01 \cdot 20} = 0,096\%, \text{ mis}$$

praktiliselt võib julgesti tähele panemata jätta.

4/.Joule'i seaduse valemist saame:

$$i^2 R = 2^2 \cdot 0,5 = 2 \text{ vatti}$$

5/.Ülejäänud võimsuse osa kujutab übermagnetiseerumise ja pöörivoolude kaotusi

$$W_u + W_f = W - i^2 R = 20 - 2 = 18 \text{ vatti}$$

6/.Kolmnurgast OAC' lahendatud külje \overline{OC} sühtes /joon.99/, leiame:

$$e_0'^2 = e_1'^2 + e_2'^2 + 2e_1'e_2'\cos\varphi_0,$$

et

$$\cos\varphi_0 = \frac{e_0'^2 - e_1'^2 - e_2'^2}{2e_1'e_2'}$$

$$\begin{aligned} \cos\varphi_0 &= \frac{20^2 - 1^2 - 19,5^2}{2 \cdot 1 \cdot 19,5} = \frac{400 - 1 - 380}{39} = \\ &= \frac{19}{39} \approx 0,4875. \end{aligned}$$

ja magnetiseerumise voelukomponent

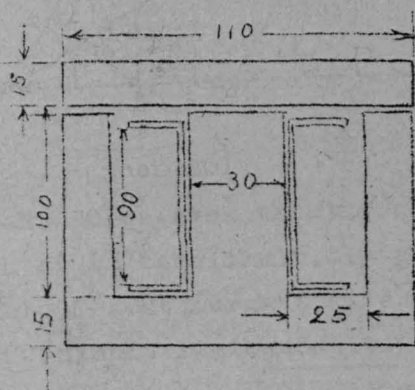
$$i_{\mu}' = i' \cos\varphi_0 = 2 \cdot 0,4875 = 0,975 \text{ amp.}$$

Ligikaudne valem aga annab:

$$i_{\mu}' = i' \cos\varphi = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ amp.}$$

Ülesanne II. Oontakistust, mille voolutugevus $i' = 10 \text{ amp.}$ ja pinge $e_1' = 30 \text{ volti,}$ toidetakse vahelduva vooluga. Voolu sagedus on $\nu = 60 \text{ per/sek}$ ja tema pinge $e_0' = 50 \text{ volti.}$ Voolutugevuse reguleerimiseks ühendatakse paispool järjestikku oontakistusega.

Paispooli mõõdud on antud joonisel 100 /millimeetrites/. Pooli keerdude arv $\varphi = 180,$ oontakistusega $R_2 = 0,1 \text{ looni.}$ Pooli südantik on kocs-



tetud siidpaberiga isoleeritud plekidest, paksusega $\Delta = 0,5 \text{ mm.}$ Südantiku ristiläbilõige on ruut.

Otsitakse:

1. Omainduktsiooni

$$EMJ - e_s' .$$

joon.100.

2. Magnetvoogu $\Phi_0 .$

3. Magnetilist takistust $R .$

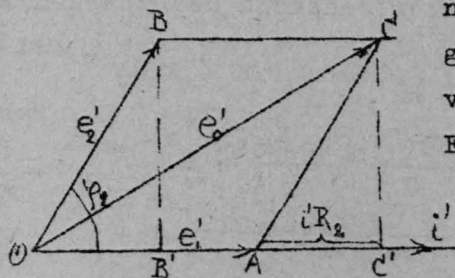
4. Õhuvahet $\tilde{d} .$

5. Võimsuse kaotusi.

6. Magnetiseerumise voolukomponenti $i_{\mu}' .$

1/. Omainduktsiooni EMJ leidmiseks oletatakse, et kolmnurk OAC on täisnurkne kolmnurk. 90° -se nurgaga A tipul /joon.99/. Koostane pingete ja

voolu nooldiagrammi (joon.101). Oohtakistuse pinget $e_1 (=30\text{volti})$ nool langeb sihilt i' noolega ühte. Pooli pinget nool e_2' ruttab i' noolest φ_2 võrra ette. Diagonaal \overline{OC} annab üldpinget $e_0' = 50\text{volti}$. Kolmnurk $OB'B$ on pooli pingete kolmnurk ja $\overline{BB'}$ on võrdne omainduktsiooni EMJ-ga. Peale selle



$\overline{CC'} = \overline{BB'} = e_2'$
 $\overline{OC'} = \overline{OA} + \overline{AC'} =$
 $= e_1' + i'R_2 =$
 $= 30 + 10 \cdot 0,1 = 31\text{volti}$.

joon.101.

$= 30 + 10 \cdot 0,1 = 31\text{volti}$.

Et 90° -ne nurk tipul A oli ainult oletatud nurk ja et ta tegelikult, olgugi vähe, aga ikkagi erineb 90° -sest nurgast, siis saame eneseinduktsiooni EMJ ainult ligikaudselt.

$$e_2' \approx \sqrt{50^2 - 31^2} \approx 39,2\text{volti}.$$

2/. Magnetvoo suurus järgneb valemist

$$\Phi_0 = \frac{e_2' \cdot 10^8}{4,44 f N} = \frac{39,2 \cdot 10^8}{4,44 \cdot 180 \cdot 60} \approx 81700 \text{ maks-velli}.$$

3/. Magnetaheliku takistus on saadav valemist

$$\Phi_0 = \frac{0,4 \pi i' \sqrt{2}}{R} \text{ väärt. l'rk. 164 - II v'la alt.}$$

v. l'rk 165

Temale vastab raua magnetiseerumise kõvera järgi magnetvälja tugevus $H_2 = 4,9$ gaussi /oersted/.

Õhuvahe ristilõige on raua ristilõikest 1,1

korda suurem:

$$Q_0 = 1,1 \cdot Q_1 = 1,1 \cdot 8,1 = 8,91 \text{ cm}^2$$

Magnetvälja tugevus õhuvahes

$$H_0 = \frac{\Phi_0}{Q_0} = \frac{81700}{8,91} \approx 9170 \text{ gaussi/oerstedid/}$$

Ja kahekordset õhuvahet võime arvutada valemi järelle

$$H_1 l_1 + H_0 l_0 \approx 0,4 \pi \cdot i'_1 \sqrt{2} \quad ,$$

kust

$$l_0 \approx \frac{0,4 \pi \cdot i'_1 \sqrt{2} - H_1 l_1}{H_0}$$

$$l_0 = \frac{0,4 \cdot 180 \cdot 10 \sqrt{2} - 4,9 \cdot 31}{9170} \approx 0,3041 \text{ cm}$$

$$\text{ja } \delta = \frac{l_0}{2} = \frac{0,3041}{2} = 0,152 \text{ cm} = 1,5 \text{ mm}$$

5/. Võimsuse kaotused koosnevad: el.-soojuste kaotustest juhtmes ja raua kaotustest ümbermagnetiseerumise ja pöörisvoolude v. edasi lhk 165 - s. rida alla i'_1 ei ole veel täpsalt leitud, võtame tema ligikaudselt i' -ga võrdseks, s.t. $i'_1 \approx 10 \text{ amp}$.

$$\mathcal{M}_1 = \frac{0,4 \pi \cdot 180 \cdot 10 \sqrt{2}}{81700} \approx 0,0387$$

4/. Õhuvahet δ arvutamiseks leiame enne raudsüdami ristilõike Q ja keskmise tungjoone pikkuse l_1 . Q arvutamisel tuleb meil arvesse võtta siidpaberi isolatsioonipaksus, mis vähendab tegelikku raua paksust 0,9 korda, seega

$$Q = \frac{30 \cdot 0,9 \cdot 30}{100} = 8,1 \text{ cm}^2$$

Keskmise tungjoone pikkuse leiame joonise 100.

põhjal /täppjoonega märgitud/

$$l_r = 2 \frac{110}{2} - 27,5 / + / 100 + 2 \cdot 7,5 / 2 =$$

$$= 310 \text{mm} = 31 \text{cm}$$

Magnetilise induktsiooni suurus

$$B_r = \frac{\Phi_2}{Q_r} = \frac{81700}{8,1} = 10080 \approx 10000 \text{gaussi}$$

PhK.164 kaudu *jätq PhK.163 ja 164*

El.-soojuse kaotus:

$$W_s = i^2 R_2 = 10^2 \cdot 0,1 = 10 \text{ vatti}$$

Raua maht, ette arvatult ühise paksusega 30mm ehk 3cm.

$$V = 11,13 - 2,5 \cdot 2 \cdot 10 / 0,93 = 251 \text{cm}^3$$

Übermagnetiseerumise kaotust vattides arvesse võttes parema raua jaoks $\eta = 0,002$.

$$W_u = \frac{\eta B_r^2 V}{10^7} \text{ vatti}$$

Logaritmimise teel leiame:

$$\lg W_u = \lg \left[\frac{\eta B_r^2 V}{10^7} \right]$$

$$\lg W_u = \lg 0,002 + 1,6 \lg 10080 + \lg 251 + \lg 60 - 7 \lg 10$$

$$\lg W_u = 7,8789 - 7 = 0,8789$$

kust $W_u = 7,57 \text{ vatti}$

Kaotus pöörisvoolude kaudu:

$$W_f = \frac{C \Delta B V^2}{10^{10}} \text{ vatti}$$

C võtame võrdseks 2,5-ga.

$$W_f = \frac{2,5 / 0,5 \cdot 10080 \cdot 60 / 0,251}{10^{10}} \approx 5,74 \text{ vatti}$$

Kogukaotus

$$W_x = W_s + W_u + W_f =$$

$$= 10 + 7,57 + 5,24 = 23,31 \text{ vatti}$$

6/.Võimsuse tegur

$$\cos \varphi_2 = \frac{W}{e_s' i'} = \frac{23,3}{39,2 \cdot 10} \approx 0,0595.$$

$$\varphi_2 \approx 86^\circ 35'$$

Seega magnetiseerumise voolu komponent

$$i_{\mu}' = \frac{\sqrt{i'^2 - i' \cos \varphi_2}}{1} = \sqrt{10^2 - 0,0595^2} \approx 10 \text{ amp.}$$

Kui oleks tarvis suure täpsusega arvutust, siis võiks eeltoodud kalkulatsiooni korrata saadud andmete põhjal. Tegelikult aga puudub säärane vajadus, sest et praktiliselt on võimalik nii hästi ϕ_0 kui ka temaga seotud eneseinduktsiooni EMJ - e_s' reguleerida suurendades või vähendades õhuvahet δ , näiteks paberi või õhukeste papilehekete vahelpanemisega.

Vahelduva voolu ülesannete lahendamine sümboolite meetodi abil.

Vahelduva voolu arenemise ja levimisega on tekkinud vajadus lihtsustada vahelduva voolu valemite ja tema ülesannete lahendusi. Selleks hakati tarvitama uut valemite kirjutamisviisi, nn. sümboolite abil. Sümbooliteks võetakse tähed, millega ei tähistata harilikul viisil algebralisi suurusid, vaid mille all lepitakse kokku mõistekindlat avaldist, mis koosneb kahest osast: ühest re-

aalsest ja teisest - komplektsest. Selle tõttu 2 sümboolit ei allu harilikudele algebralistele tehetele, näiteks neid ei saa lihtsalt jagada või korrutada omavahel. Näiteks vahelduvas voolus Ohmi seadus oleks väljendatud sümboolitega:

$$\overset{\circ}{E} = \overset{\circ}{J} \overset{\circ}{Z}$$

Kujult ta ei erine alalisel voolul Ohmi seaduse kirjutamisviisist, kuid sisuliselt tähendavad punktid, et tegemist on sümboolitega, millel on kokku lepitud algebraline kuju. Nii $\overset{\circ}{Z}$ all mõistetakse - näivtakistust /impedants/ ja tema valem oleks:

$$\overset{\circ}{Z} = r - jx \quad ,$$

kus r on reaalne osa ja tähendab oomtakistust $r = L\omega$ - on induktiivtakistus või „ebatakistus“ või, teise nimetuse järele, "tegev takistus" $\rightarrow \sqrt{p_0}$ - $x = -\frac{1}{C\omega}$ oleks mahtuvustakistus või "negatiivne ebatakistus" /negatiivne reaktants/.

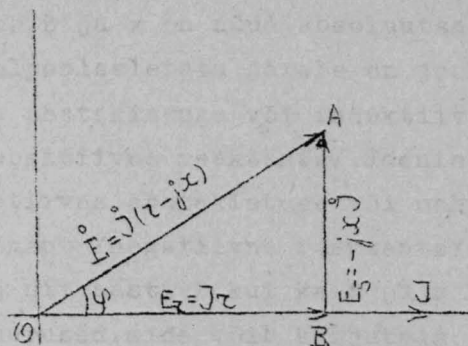
- $j = \sqrt{-1}$ on üldiselt algebraliselt kompleksne /irreaalne/ arv, kuna siin tähendab ta, et nool diagrammis on temaga seotud suuruse nool /ebatakistus või teine tak./ sihitud reaalse osa noolest 90° võrra ette /+x/ või taha /-x/.

Paneme valemisse $\overset{\circ}{Z}$ asemele tema avaldise:

$$\overset{\circ}{E} = \overset{\circ}{J} \cdot \overset{\circ}{Z} = \overset{\circ}{J} / r - jx / \quad ,$$

saame esimese vahelduva voolu peavalemi kirjutatult sümboolite abil. Temast järeldub, et pinget $\overset{\circ}{E}$.

on võimalik lahutada kaheks osaks. Üks osa on reaalne $\dot{E}_r = E_r = Jr$, mille nool nooldiagrammis langeb sihilt voolunoolega ühte, kuna täna, $\dot{E}_s = -jJx$, ruttab voolu noolest 90° võrra ette /joon.102/.



joon.102.

Täisnurksest kolmnurgast OAB järel-
dub Pythagoras' e
lause põhjal:

$$E^2 = \sqrt{Jr}^2 + \sqrt{-jxJ}^2$$

$$= \sqrt{Jr^2 + J^2 x^2}$$

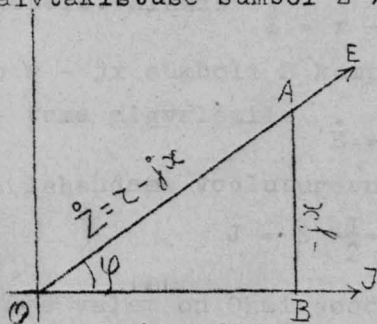
$$E^2 = J^2 / r^2 + x^2 /$$

$$E = J \sqrt{r^2 + x^2}$$

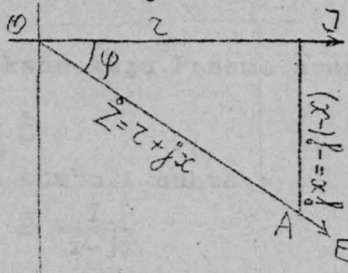
Neis valemeis on

kõik suurused mitte sümbolid, vaid reaalsed absoluutsed suurused, millele võime rakendada harilikud algebralised tehted. Sel teel on meil kindlustatud üleminek sümbolitest absoluutsetele suurustele.

Samasugusel viisil laseb end lahendada näiytakistuse sümbol \dot{Z} /joon.103a ja 103b/.



joon.103a.



joon.103b.

Kolmnurgad OAB lubavad koostada valemi:

$$Z^2 = r^2 + x^2$$
$$Z = \sqrt{r^2 + x^2} \quad ,$$

kus Z ja x on nüüd absoluutsed, reaalsed suurused. Eelpoolseletatu järele on joon.103a -jx positiivse ebatakistuse või induktiivtakistuse komponent. /positiivne reaktants/. Joonisel 103b on -j/-x/negatiivne ebatakistuse või mahtuvustakistuse komponent /negatiivne reaktants/. Viimastes valemites on nii hästi Z kui ka r ja x harilikud reaalsed - suurused, mida võib kirjutada:

$$Z = R' \quad - \quad \text{näivtakistus.}$$

$$r = R \quad - \quad \text{oortakistus.}$$

$$x = L\omega \quad - \quad \text{induktiivtakistus.}$$

Kõik vahelduva voolu järjestikused ühendused lahevad end käsitada ja lahendada nende võrdlemisi lihtsate valemite abil. Veel suurema tähtsuse annab sümbolitega kirjutamise viis paralleelühendustele. Valemis

$$\overset{\circ}{Z} = r - jx$$

on r - jx sümboli $\overset{\circ}{Z}$ kompleksne kuju. Paneme asemele tema algvalemile

$$\overset{\circ}{E} = \overset{\circ}{J} \overset{\circ}{Z}$$

ja lahendame voolutugevuse sümboli suhtes:

$$\overset{\circ}{J} = \overset{\circ}{E} \frac{1}{\overset{\circ}{Z}} = \overset{\circ}{E} \frac{1}{r - jx}$$

See valem on Ohmi seaduse valemi teine kuju, kus

$\frac{1}{Z}$ võib vaadelda näiva juhtivusena, millele vastaks alalise voolu alal $\frac{1}{R} = K$. Seega $\frac{1}{Z}$ on näiva juhtivuse sümbol ja tema kompleksne kuju $\frac{1}{r - jx}$

Valemit
$$\dot{J} = \dot{E} \frac{1}{r - jx}$$
 on võimalik teisendada, korrutades tema paremat poolt $\frac{r + jx}{r + jx} = 1$ -ga.

Saame:

$$\begin{aligned} \dot{J} &= \dot{E} \frac{1}{r - jx} \cdot \frac{r + jx}{r + jx} = \\ &= \dot{E} \left[\frac{r}{r^2 + x^2} + j \frac{-x}{r^2 + x^2} \right] \end{aligned}$$

Otsekohe on selge, et avaldis sulgudes võrdub suurusele nii hästi $\frac{1}{r - jx}$ -ga kui ka $\frac{1}{Z}$ -ga. Selle tõttu on võimalik teda pidada sümboli $\frac{1}{Z}$ teiseks kompleksseks kujuks /sbikuju, ebivorm/. Ta koosneb jälle reaalsest ja irreaalsest osast.

$\frac{r}{r^2 + x^2} = G$ tegevjuhtivus, näiva juhtivuse reaalne komponent, oomjuhtivus /Konduktantz/ siin väljendatud näiva takistuse komponentide abil.

$\frac{-x}{r^2 + x^2} = b$ positiivne ebajuhtivus, induktiivjuhtivus /indukt. Suszeptantz/.

$\frac{-x}{r + x} = -b$ negatiivne ebajuhtivus, kapatsiitjuhtivus /või mahtuvusjuhtivus/ [kapazit. Suszeptantz] :

Nende suuruste sulgudesse asetamisega leiame:

$$\frac{1}{Z} = G + jb = Y$$

kus Y on näivjuhtivus /Admittantz/ või Ohmi vale-

mi kujul

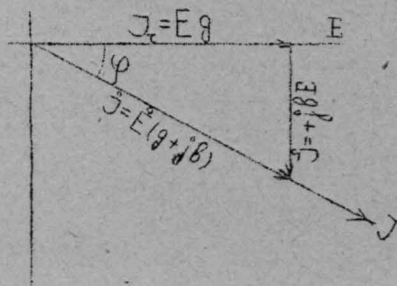
$$\dot{J} = \dot{E} / g + jb/$$

$$\dot{J} = \dot{E}\dot{Y}$$

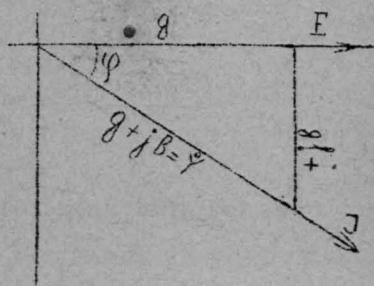
Nooldiagrammi kaudu on jälle võimalik õige lihtis üleminek reaalsele suurustele /joon.104 ja 105/. Lahutame voolutugevuse noole kaheks komponendiks

$$\dot{J}_r = J_r = EG$$

See on voolu reaalne osa.



joon.104.



joon.105.

Kuna $\dot{J}_s = +j\dot{E}b$ on irreaalne voolu komponent, mis pinge noolest E jääb 90° võrra maha. Joonistest selgub, et reaalsed suurused on:

$$J^2 = /EG/^2 + /Eb/^2$$

$$J = E \sqrt{G^2 + b^2}$$

Ja näiv juhtivus

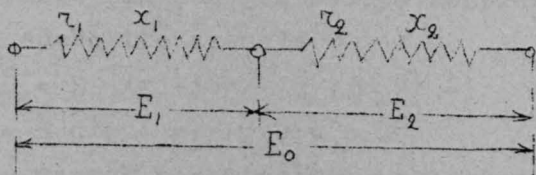
$$\gamma^2 = G^2 + b^2 \quad ; \quad \gamma = \sqrt{G^2 + b^2}$$

Olgu veel siin lühidalt näidatud, kuidas kuju - neb ülesannete lahendamine sümbolite abil jär - jestikku ja paralleelselt ühendatud süsteemides

I. Järjestikune ühendus.

Olgu lülitatud kaks /või rohkem/ näivta - kistust /skeem joonisel 106/. Pingete võrrand süm- bolite abil kirjutatult:

$$\begin{aligned} \mathring{E} &= \mathring{E}_1 + \mathring{E}_2 = \mathring{J}_1 \mathring{Z}_1 + \mathring{J}_1 \mathring{Z}_2 \\ \mathring{E} &= \mathring{J}_1 / \mathring{Z}_1 + \mathring{Z}_2 / = \mathring{J}_1 \mathring{Z}_0 \end{aligned}$$

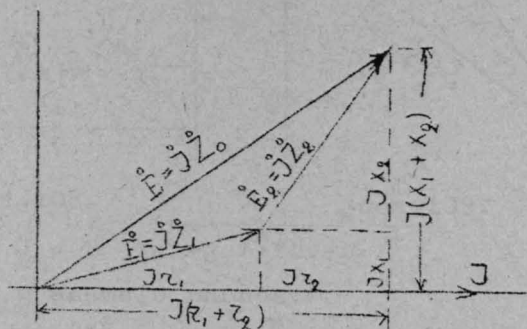


joon.106.

Paneme sümboolite \mathring{Z} asemele nende komplekssed väärtused:

$$\begin{aligned} \mathring{E} &= \mathring{J} [r_1 - jx_1 + r_2 - jx_2] = \\ &= \mathring{J} (r_1 + r_2 - j(x_1 + x_2)) \end{aligned}$$

Võrrandile vastab nooldiagramm joonisel 107.



joon.107.

Üleminek reaalsetele suurustele annaks:

$$E = J \sqrt{r_1 + r_2 / x_1 + x_2 / 2}$$

kus r_1 ja r_2 on kontaktistused, x_1 ja $x_2 = L_1 \omega$ ja $L_2 \omega$ induktiivtakistused, või eelpool väljatoodud valem

$$E = J \sqrt{R_1 + R_2 / 2 + L_1 \omega + L_2 \omega / 2}$$

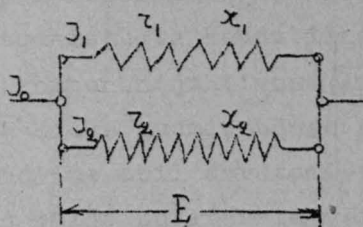
II. Paralleelne ühendus. /joon.108/.

$$\dot{J}_0 = \dot{J}_1 + \dot{J}_2 = \dot{E} \dot{Y}_1 + \dot{E} \dot{Y}_2 = \dot{E} / \dot{Y}_1 + \dot{Y}_2 / = \dot{E} \dot{Y}_0$$

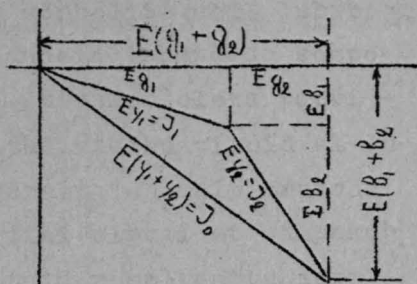
Paneme jälle näivate juhtivuste kompleksed väärtused sümbolite asemele

$$\begin{aligned} \dot{J}_0 &= \dot{E} [g_1 + j b_1 + g_2 + j b_2] = \\ &= \dot{E} [g_1 + g_2 + j(b_1 + b_2)] \end{aligned}$$

Sellele vastab nooldiagramm, mille kuju on antud joonisel 109. Tahame üle minna reaalsetele suurustele, siis saame:



joon.108.



joon.109.

$$J_0 = E \sqrt{g_1 + g_2 + j(b_1 + b_2) / 2}$$

või g_1 ja g_2 asemele pannes:

$$g_1 = \frac{r_1}{r_1^2 + x_1^2} = \frac{R_1}{R_1^2 + L_1 \omega / 2}$$

$$g_2 = \frac{r_2}{r_2^2 + x_2^2} = \frac{R_2}{R_2^2 + L_2 \omega / 2}$$

ja b_1 ja b_2 asemele

$$b_1 = \frac{x_1}{r_1^2 + x_1^2} = \frac{L_1 \omega}{R_1^2 + L_1 \omega / 2}$$

$$b_2 = \frac{x_2}{r_2^2 + x_2^2} = \frac{L}{R_2^2 + L_2 \omega / 2}$$

See annab:

$$J_0 = E \sqrt{\left(\frac{R_1}{R_1^2 + L_1 \omega / 2} + \frac{R_2}{R_2^2 + L_2 \omega / 2} \right)^2 + \left(\frac{L_1 \omega}{R_1^2 + L_1 \omega / 2} + \frac{L_2 \omega}{R_2^2 + L_2 \omega / 2} \right)^2} \quad *$$

Korrutades ja koondades saame lihtsama vale - mi, mida oleks võimalik teisel teel leida ainult differentsimise abil.

$$J_0 = \sqrt{\frac{E}{\frac{R_1^2 + L_1^2 \omega^2}{R_1 + R_2} + \frac{L_2^2 \omega^2}{L_1 \omega + L_2 \omega / 2}}}$$

Nii näeme, et arvutamine sümbolite abil lubab ka paralleelühenduse ülesandeid lahendada komponenttakistuste kaudu, ilma et varem oleks tarvilik komponentjuhtivusi. Antud vihiku piirid ei luba kahjuks ruumpuuduse pärast lähemalt arutada sümbolite abil arvutamiskiisi, olgugi et ta pakub õige palju huvitavaid võtteid resultanttakistusse, võimsuse, võimsuse teguri jne leidmiseks.

Kes asjast oleks huvitatud, sellele võiks soovitada väikest raamatut sel alal:

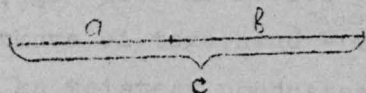
"Die symbolische Methode zur Lösung von Wechselstromaufgaben". Von Hugo Ring. II Auflage. Verlag v. Julius Springer, Berlin. 1928. Hind 4 kr.

V a h e l d u v a v o o l u ü l e s -
a n n e t e g r a a f i l i n e l a -
h e n d a m i n e .

Ülesannete lahendamine nõuab tihti suuremaid matemaatilisi teadmisi, peale selle üksikuid arvutusi, kscäranis neid, kus tulevad ette suuremad arvud ja pikad keerulised valemid, nagu näiteks on üldtakistuse /resultanttakistuse/ leidmine segaühenduse juhul. Tehnika ülesanne oli alati kõike, mida ainult võimalik, lihtsustada, olgu need masinad, nende osad, joonised, töötamise võtted jne.

Samuti katsuh tehnika ülevaatlikumaks teha ja lihtsustada matemaatilisi arvutusi. Selleks hakati viimasel ajal õige laialt tarvitama nn. "graafilise arvutamise meetodeid". Põhimõte on lihts-
- arvu kujutatakse kokkulepitud pikkusega joone-
na. Kahe sellise joone liitmine sünnib täiesti joo-
nestamise teel ja joonlaua /möötpuu/ abil leitak-
se üldpikkus, mis kujutab nüüd kahe arvu algebra-
list summat /v. joon. 110/. Joonisel on liidetud ar-
vud a ja b, millede summa

$$a + b = c.$$



c on joone üldpikkus ja

joon. 110.

kokkulepitud mõõtkavas an-

nab ta c, s. t. a ja b summa. Tarvitades abiks geo -

meetria, trigonomeetria ja logaritmi valemiteid, kujutisi ja ^{on võimalik saada,} omadusi puht joonestamise teel õige ruttu ja praktiliselt küllalt suure täpsusega mitmesuguste ülesannete lahendusi.

Ka elektrotehnikas on vastu võetud ja laialt tuntud graafiline arvutamine. Iseäranis kasulikuks võiks teda pidada just vahelduva voolu ülesannete piirkonnas, kus ta lubab arvutusi ette võtta ka isikul, kel matemaatilised teadmised on puudulikud või jälle isikul, kel aega ei oleks pikki ja tülikaid tehteid läbi töötada. Töö tulemused graafilisel arvutamisel olenevad suurel määral joonestamise hoolisusest. Sellepärast olgu siin enne tähelepanu pööratud üksikutele joonestamise võtetele.

1. Joonestamine, töö kiiruse ja täpsuse huvides, sündigu alati joonestuslaual, kuhu nelja kinnistiga kinnitame joonestuspaberi. Joonestama peab N3 pliiatsiga, mis oleks hästi terav, sest mida peenemad jooned, seda suurem on töötäpsus.

2. Mõõtkava valitakse paberilehe kohaselt, nii et arvatav joonestis veel hästi paberile mahuks. Üldiselt, mida suurem mõõtkava, seda täpsam töötulemus, aga tuleb ka meeles pidada, et ainult suur mõõtkava ei taga ^{tööd} head - vead joonestamisel tulevad ka teistest põhjustest, nii nurkade suuruse joonestamisest, riistade ebatäpsusest, silma puu -

dustest jne. Selle tõttu üleliigselt suured mõõtkavad raskendavad ainult tööd ja ei anna soovitavaid tagajärgi.

3. Joone pikkuse otsimine suurema täpsusega, kui 0,2-0,5mm on otstarbetu, nii-kui-nii meie käsi, olgu ta ka hästi vilunud, ja meie silm ei luba asetada paberile joone pikkust suurema kui 0,5mm täpsusega. Järelikult joone pikkuse leidmine täpsusega 0,01 või isegi 0,001mm on kalli aja raiskamine.

4. Punkt kolmandaga ühenduses saame, et töötäpsuse % /vea %/ on järgmine:

| | | | | |
|----------------------|---|-----|------|-------|
| Joone pikkus paberil | 1 | 1cm | 10cm | 100cm |
| Suhteline viga | % | 5% | 0,5 | 0,05% |

Praktika nõudmised on täiesti rahuldavad /üldjuhtudel/, kui viga on 1% kuni 3-5%.

Peame ju silmas pidama, et elektri "tehnilised" mõõduriistad /harilikud volt-, amper- jne meetrid/ ei luba nende näite ära lugeda ka suurema täpsusega, kui 1-3%, ka nad ise, oma takistuste, kaotuste ja puuduste tõttu ei suuda näidata suurema täpsusega /välja arvatud laboratoorsed pretsisioonriistad/.

5. Valitud mõõtkava märgime joonestuspaberile enne töö algust ja alati kujul M:1cm - m volti. /näiteks: M:1cm - 5volti/.

See märkimisviis tähendab, et ühesentimeetrilisele joone pikkusele paberil vastab tegelikult 5/või üldiselt $m/volti$. Tahane joone pikkustest saada vooltide arvu, siis peame korrutama joone pikkuse sentimeetrite ^{arvu} arvuga m . Näiteks, on mõõtkava järele, kus M Icm-20volti, joone pikkus $l=6,45$ cm. Kui suur pinge vastab selle joone pikkusele?

$$m = 20.$$

$$V = I_m = 6,45 \cdot 20 = 129 \text{volti}.$$

Võib ka tarvitada mõõtkava M I_{mm} - m /ampriit, oomi jne/, aga mitte kunagi

$$10\text{mm} - m, \text{ või } 1,5\text{cm} - m.$$

See teeb üleminekul joone pikkusest vastavale suurussele ja vastupidi asjata keeruliseks. Samuti arv m on soovitatav valida võimalikult lihtis; eelistatud oleksid arvud 1,5, 10, 20, 50 jne või jälle 0,5; 0,1; 0,05 jne.

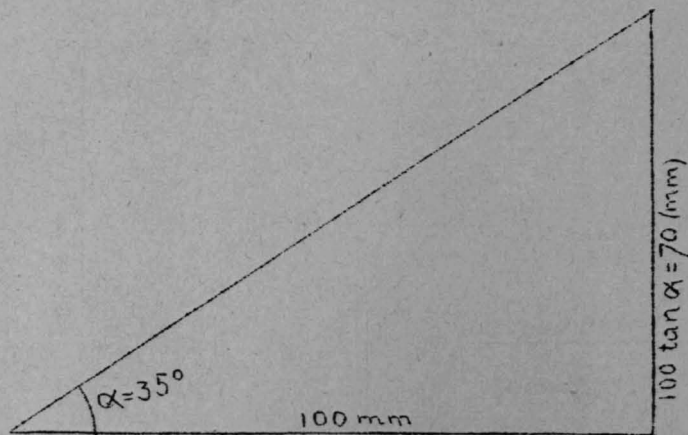
6. Nurga paberile kandmine sünnib harilikult malli abil. Mall lubab täpsust kuni $0,5^\circ$, harva $0,2^\circ$.

Seepärast nurga joonestamiseks suurema täpsusega tarvitame me abivõtteid.

a. Nurga joonestamine tangensi abil. Selleks asetame abstsisside teljele 100mm /joon. 111/ ja ot - sast püstitame perpendikulaari, millel mõõdame ära 100 tan α mm./näiteks tuleks joonestada nurk $\alpha=35^\circ$, mille tan $\alpha = 0,700$ ja perpendikulaarile asetami -

seks tuleks

$$100 \cdot 0,7 = 70 \text{ mm}$$



joon.111.

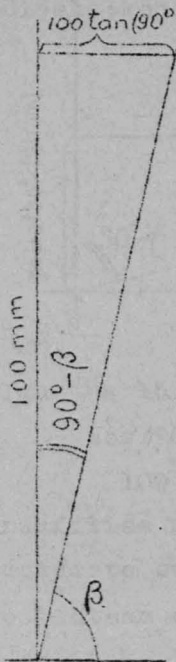
Sel teel võib hästi joonestada nurki kuni 50° - 60°
Suuremad nurgad tulevad ebatäpsalt välja ja nende
joonestamine on soovitatav läbi viia täiendus $\frac{\text{null}}{\text{ga}} 90^{\circ}-\alpha$
- abil. Tema konstruktsioon selgub joonisest 112
Olgu näiteks antud nurk $\beta = 78^{\circ}$. Täiendusnurk $90^{\circ}-\beta =$
 $90^{\circ}-78^{\circ} = 12^{\circ}$.

$$\tan 12^{\circ} = 0,213 \quad \text{ja}$$

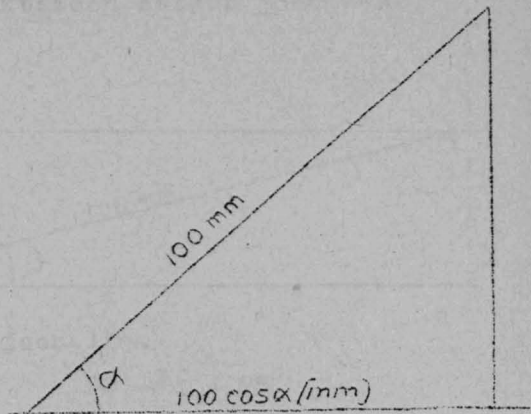
$$100 \cdot 0,231 \text{ mm} = 21,3 \text{ mm} ,$$

mille asetame y-telje ristjoonele, kuna y-teljele
on asetatud 100mm.

Arusaadavalt, ruumipuudusel pole võimalik võtta
mitte $100 \tan \alpha$ või $100 \tan / 90^{\circ}-\beta / \text{mm}$, ega ka $50 \tan \alpha$
mm või isegi $20 \tan \alpha$ mm vastavalt asetades teisele
teljele, ka mitte 100mm, vaid 50mm või 20mm.



joon.112.



joon.113.

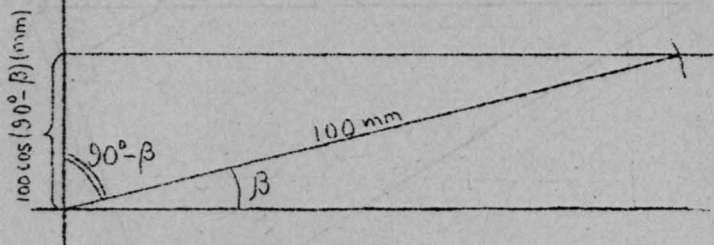
b. Nurga ehitamine koosinuse abil. Nüüd asetame horisontaal - teljele $x/$ $100 \cos \alpha$ /joon.113/. Näiteks tuleks joonestada nurk $\alpha = 48^\circ$, mille koosinuse leiame

tabelist:

$$\cos 48^\circ = 0,743.$$

x-teljele asetame $100 \cdot 0,743 = 74,3 \text{ mm}$ ja joonlõigu otsast püstitame ristjoone. Edasi sirkli otste vahel võtame 100 mm ja nurga tipust tõmbame kaare kuni lõikumiseni ristjoonega. Lõikepunkti ühendame nurga tipuga. Nii-saadud nurk ongi otsitav. 30° -st väiksemad nurgad ei tule korralikult välja lõikepunkti ebatäpsa saamise tõttu. Sel juhul võib ehitada nurk jälle kaudsel teel - täiendusnurga $90^\circ - \alpha$ abil /joon.114/. Nurga $90^\circ - \alpha$ joonestame y-tel-

je küljele; konstruktsioon selgub joonist.



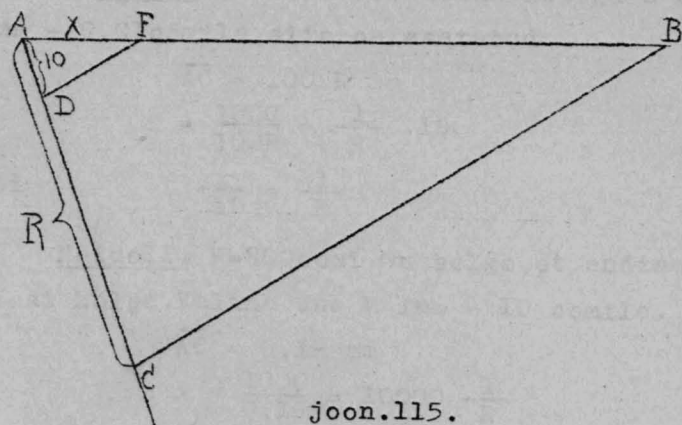
joon.114.

$$\text{Olgu } \beta = 15^\circ \text{ ja } 90^\circ - \beta = 75^\circ$$

$$\cos / 90^\circ - \beta / = \cos 75^\circ = 0,259.$$

$$100 \cdot 0,259 = 25,9 \text{ mm}$$

Graafilise arvutuse juures tekitavad raskusi vastupidiste suuruste $\frac{1}{R}$, $\frac{1}{Z}$, $\frac{1}{K}$ jne leidmise kõige lihtsam on neid võtta matemaatika tabeli - test /näiteks "Hütte'st", inseneride kalendrist jne/. Puudub see võimalus, siis peame kas lihtsalt ühe jagama vastava arvuga või tarvitama graafilisi meetodeid. Viimased põhjenevad proportsionaal - sel jagamisel, mis on tuntud geomeetrilise joonestamise kursusest. Oletame, et tuleb graafiliselteel leida $\frac{1}{R}$, kus $R = 48$ oomiga. Selleks asetame horisontaalteljele 100mm /joon.115/. Vabaltvõetud nurga α all /soovitav 90° ümber/ tõmbame nurga teise külje, millele asetame joone pikkuse, mis kujutab R -i nõõtkavas M:1mm - loomi. Joone otsa ühendame teise nurga külje otsaga. Saame kolmnurga ABC.



joon.115.

Küljele AC asetame pikkuse $\overline{AD}=10\text{mm}$ ja tõmbame nii-saadud punktist rööpjoone BC-le.

Leitud joonlõik $\overline{AF}=x$ on mõõtkavas lmm. - 1/1000 otsitav juhtivus K.Kolmnurgad ABC ja ADF on sarnased. Selle tagajärjel:

$$\frac{x}{\overline{AD}} = \frac{100}{\overline{AC}} \quad ; \quad \begin{array}{l} \overline{AD} = 10 \\ \overline{AC} = R \end{array}$$

Saame

$$\frac{x}{10} = \frac{100}{R} \quad \text{või} \quad x = \frac{1000}{R} = \\ = \frac{1}{R} \cdot 1000$$

Võime ka kirjutada:

$$\frac{x}{1000} = \frac{1}{R}$$

On R nii väike või jälle nii suur arv, et mõõtkava järele lmm - 1000, tulevad ebasoodsad kolmnurgad, siis on võimalik võtta R ka teises mõõt -

kavas.

Näide I. $R=0,500\text{m}$; soodus mõõtkava oleks $M\text{ lmm} - 0,0100\text{m}$, siis on asetatud

$$\overline{AC} = 100 R \text{ mm}$$

$$x = \frac{1000}{100R} = \frac{1}{R} \cdot 10$$

või

$$\frac{x}{10} = \frac{1}{R}$$

Näide II. $R=8000\text{m}$. On selge, et endine mõõtkava ei kõlpa. Valime uue $M\text{ lmm} - 10\text{ m}$ oomile.

$$\overline{AC} = 0,1R \text{ mm}$$

$$x = \frac{1000}{0,1R} = 10000 \frac{1}{R}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{x}{10000} = x \cdot 10^{-4}$$

Paralleelühendustel tuleb tihti ette vastupidine ülesanne: antud juhtivuse K kaudu leida takistus R . Ülesanne sarnaneb eelmisega, nüüd on tuntud: $100, x$ ja 10 , otsitav on $R, x = \frac{1}{R} \cdot 10\text{ mm}$.

Sarnaste kolmnurkade ABC ja ADF joonestamine sünnib nüüd teises järjekorras: tõmbame horisontaaljoone AB pikkusega 100mm ; temale vabalt-võetud nurga α all teine külg AC , millele asetame $\overline{AD} = 10\text{mm}$ ja siis AB möödame ära $\overline{AF} = x$.

Nüüd ühendame D ja F punktid ja ühendusjoonele DF rööbiti tõmbame punktist B sirgjoone lõikumiseni AC -ga punktis C . \overline{AC} kujutab vastavas mõõtkavas otsitavat takistust R oomides.

Resultant- ja komponentpingete, resultantse voo-

lutugevuse, takistuse, juhtivuse ja võimsuse leidmiseks, samuti nende komponentide saamiseks võtame me tarvitusele juba hästi tuntud voolude ja pingete nooldiagrammid ja teiseks neist tuletatud takistuste ja juhtivuste diagrammid. Graafilised lahendused võtame läbi samas järjekorras, mis teooria, s. t. esmalt järjestikune ühendus, siis paralleellülitus ja lõpu poole segaühendused. Ruumipuudusel piirdume tüüpiliste ülesannetega, jättes üldkuju ja teoreetilised arvutlused tahaplaanile.

I. Järjestikune ühendus.

1/. Takistuste /Flemming'i/ kolmnurk.

a. On antud pool /rauata/ oomilise takistusega $R=260\text{oomi}$ ja näivtakistusega $R'=300\text{oomi}$. Kui suur on tema induktiivtakistus $L\omega$ ja faasinurk φ ?

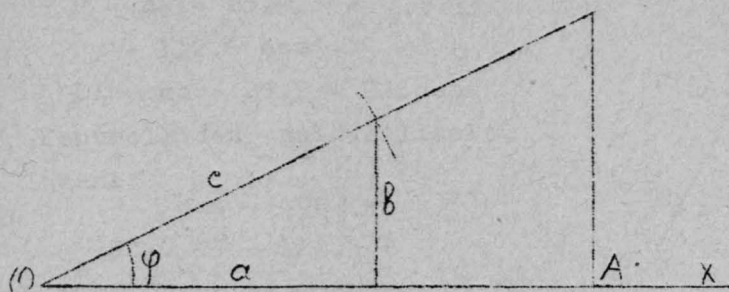
Möötkava valime M $1\text{cm} - 5.00\text{mille}$ ja ehitame täisnurkse kolmnurga hüpotenuusi pikkusega $c = \frac{30}{5} = 6\text{cm}$, kaateti pikkusega $a = \frac{26}{5} = 5,25\text{cm}$ /joon. 116/ Saame teise kaateti pikkuse $b = 2,97\text{cm}$, millele ^{vastab} induktiivtakistus

$$L\omega = mb = 5.2,97 = 14,85\text{oomi}$$

Nurga φ koosinuse leidmiseks pikendame külge C ja asetame talle 100mm . Saadud otspunktist tõmbame ristjoone x -teljeni, millele möödame joonlõigu \overline{OA} :

$$\overline{OA} = 87\text{mm} = 100 \cos \varphi / \text{mm/}$$

$$\cos \varphi = \frac{87}{100} = 0,87.$$



joon. 116.

Sellele koosinusele vastab nurk /tabeli järgi /

$$\varphi = 29^{\circ}30'.$$

Kontrollime oma tööd analüütiliselt:

$$\begin{aligned}L\omega &= \sqrt{R'^2 - R^2} = \sqrt{30^2 - 26^2} = \\ &= \sqrt{224} \approx 15 \text{ oomi.}\end{aligned}$$

$$\text{Ja } \cos \varphi = \frac{R}{R'} = \frac{26}{30} = 0,867.$$

b. On antud pool. Tema kohta on teada, et tema näivtakistus $R' = 250$ oomi ja $\cos \varphi = 0,45$. Kui suur on pooli oom- ja induktiivtakistus?

Koosinuse abil ehitame nurga φ /joon.117/. Valime mõõtkava M lcm - 25 oomi. Saame, et täisnurkse kolmnurga hüpotenuus

$$c = \frac{R'}{m} = \frac{250}{25} = 10 \text{ cm}$$

Asetame tema nurga küljele ja tõmbame ristjoone x-teljele /b/. Kaatetid a ja b ongi otsitavad

takistused R ja $L\omega$.

$$R = ma = 25.4,5 =$$

$$= 112,5 \text{ oomi.}$$

$$L\omega = mb = 25.9 = 225 \text{ oomi}$$

Kontrollides analüütiliselt,

saame:

$$R = R' \cos \varphi =$$

$$= 250.0,45 = 112,5 \text{ S2}$$

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

$$= \sqrt{250^2 - 112,5^2} \approx 223 \text{ oomi.}$$

2/. Järjestikku on

ühendatud oomtakistus $R_1 =$

12 oomi ja näivtakistus in-

duktiivse iseloomuga $R'_2 =$

= 18 oomi, $\cos \varphi_2 = 0,75$. Kü-

sitakse, kui suur on resultanttakistus R'_0 ja $\cos \varphi_0$

?

Abstsisside teljele asetame R_1 vasta -
vas mõõtkavas /näiteks M lcm - 2 oomi/. Tema otsa

ehitame nurga φ_2 , koosinuse abil ja kaldküljele

asetame R'_2 samas mõõtkavas /joon.118/.

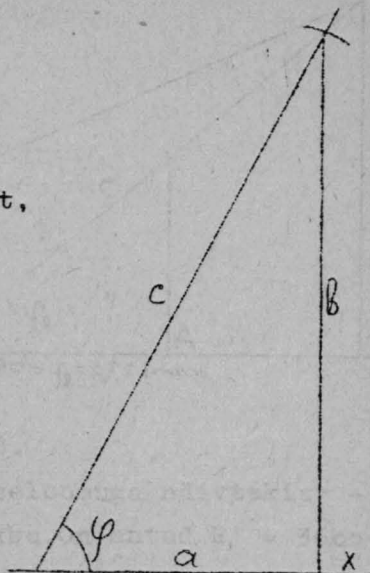
$$a = \frac{R_1}{m} = \frac{12}{2} = 6 \text{ cm}$$

$$c = \frac{R'_2}{m} = \frac{18}{2} = 9 \text{ cm}$$

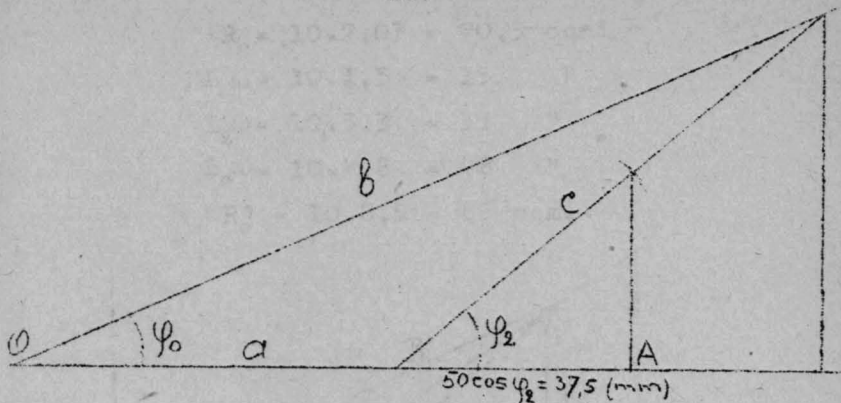
$$R'_0 = mb = 2.14,1 = 28,2 \text{ oomi}$$

$$\overline{OA} = 100 \cos \varphi_0 / \text{mm} / = 91 \text{ mm}$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{91}{100} = 0,91.$$



joon.117.



joon.118.

3/. Kaks induktiivse iseloomuga näivtakistust on ühendatud järjestikku. On antud $R_1' = 3600$ ohmi, $\cos \varphi_1 = 0,9$ ja $R_2' = 500$ ohmi ja $\cos \varphi_2 = 0,75$. Küsitakse, kui suured on: nende komponenttakistused R_1, L, ω, R_2 ja kui suur on resultanttakistus R_0' ja tema $\cos \varphi_0$?

Ühenduse skeem ja nooldiagrammi skitsid on antud joonistel 43, 46 ja 47. Nende põhjal ja tabelist-leitud nurkede $\varphi_1 = 25^\circ 50'$ ja $\varphi_2 = 41^\circ 20'$ abil ehitame näivtakistuste parallelogrammi/joon 119/mõõtkavas võttes M 1cm - 10 ohmi. Parallelogrammi küljed R_1' ja R_2' lahutame komponentideks, mille pikkused mõõtkava m -ga korrutatult annavad otsitavaid:

$$R_1 = 10 \cdot 3,25 = 32,5 \text{ ohmi}$$

$$R_2 = 10 \cdot 3,78 = 37,8 \text{ "}$$

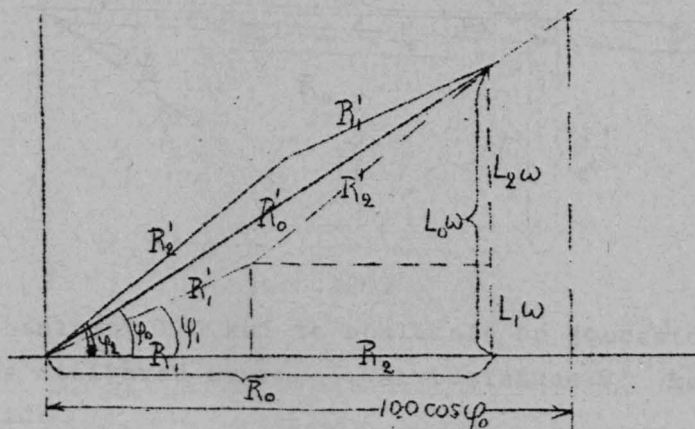
$$R_0 = 10.7,03 = 70,3 \text{ oomi}$$

$$L_1\omega = 10.1,5 = 15 \text{ "}$$

$$L_2\omega = 10.3,3 = 33 \text{ "}$$

$$L_0\omega = 10.4,8 = 48 \text{ "}$$

$$R'_0 = 10.8,5 = 85 \text{ oomi.}$$

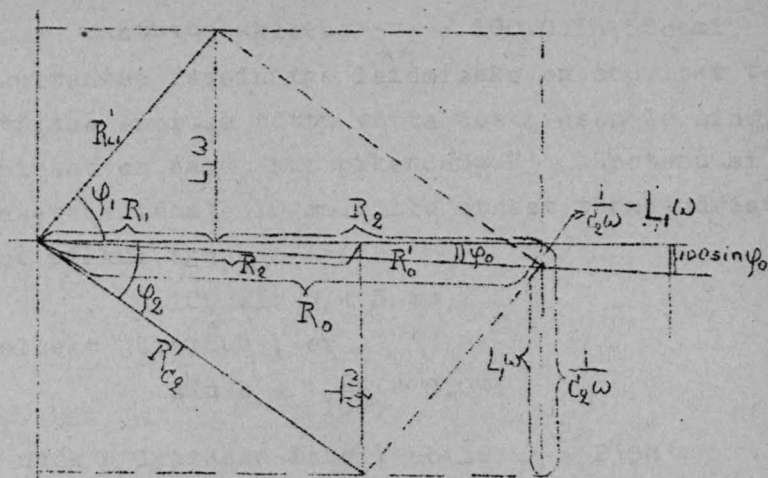


joon.119.

$100 \cos \varphi_0 = 82,7$; $\cos \varphi_0 = 0,827$,
 kust tabeli abil leiame, et $\varphi_0 = 34^\circ 10'$.

4/. Kaks näivtakistust, üks induktiivse iseloomuga $R'_1 = 450$ oomi, $\cos \varphi_1 = 0,62$ ja teine kaptsitiivse iseloomuga $R'_2 = 640$ oomi, $\cos \varphi_2 = 0,8$. Otsitakse jälle komponenttakistusi $R_1, L_1\omega, R_2$ ja $\frac{1}{C_2\omega}$; peale selle $R_0, L_0\omega$ või $\frac{1}{C_0\omega}$, kui mahtuvustakistus peaks ülekaalus olema/ ja R'_0 ja $\cos \varphi_0$.

Mõõtkava valime M lcm - 100 oomi. Tabelist võtame $\varphi_1 = 51^\circ 40'$ ja $\varphi_2 = 36^\circ 50'$ ja asetame malliga /joon.120/.



joon.120.

Joonisest 120, kui ta hoolikalt on joonestatud, seame otsitavad suurused. Näivtakistuse R'_1 komponendid:

Oomtakistus /tegevtakistus/

$$R_1 = 100.2,82 = 282 \text{ oomi}$$

Induktiivtakistus /ebatakistus/

$$L_1\omega = 100.3,45 = 345 \text{ oomi}$$

Näivtakistuse R'_{c2} komponendid:

$$\text{Oomtakistus } R_2 = 100.5,14 = 514 \text{ oomi}$$

$$\text{Mahtuvustakistus } \frac{1}{C_2\omega} = 100.3,83 = 383 \text{ oomi.}$$

Resultantne näivtakistus, nagu joonestusest näha, on kapatsitiivse iseloomuga:

$$R'_{c0} = 100.7,97 = 797 \text{ oomi}$$

Tema komponendid:

$$\text{Oomtakistus } R_0 = 100.7,95 = 795 \text{ oomi,}$$

$$\text{mahtuvustakistus } \frac{1}{C_0 \omega} = 100.0,38 = 3800 \text{ omi}$$

Resultantse faasinurga leidmiseks on soovitatav te-
ma väikse suuruse tõttu võtta $\cos \varphi_0$ asemele $\sin \varphi_0$.
Joonisest on näha /kui pikendame R'_{c0} hüpotenuusi
ja asetame temale 100mm, mille otsast tõmmatud rist-
joone pikkus annab

$$100 \sin \varphi_0 = 5 \text{ mm}$$

Sellest järeldub, et

$$\sin \varphi_0 = \frac{5}{100} = 0,05.$$

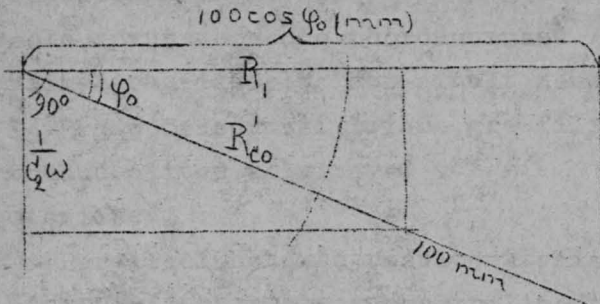
ja nurk φ_0 leitakse tabeli abil: $\varphi_0 = 2^\circ 50'$

5/. On antud järjestikku ühendatud elektri-
hõõglamp, mille takistus /oortakistus/ $R_1 = 1200 \text{ omi}$ -
mi ja kondensaator mahtuvusega $C_2 = 6 \mu\text{F}$. Sagedus on
tehnilise voolu normaalsagedus, s.t. $\nu = 50 \frac{\text{per}}{\text{sek}}$. Küsi-
takse: kui suur on resultanttakistus R'_{c0} , tema nur-
ja pingeparandused $\cos \varphi_0$ ja kondensaatoril e_2 , kui teada
ga koosinus - $\cos \varphi_0$ ja kondensaatoril e_2 , kui teada
on, et üldpinge $e_0 = 380 \text{ volti}$ /joon.24/. Nooldiagram-
mi /joon.25/ ja takistuste diagrammi /joon.26/ põh-
jal ehitame esialgu parallelogrammi üldtakistuse
 R_0 leidmiseks /joon.121/. Et aga kondensaatori ta-
kistus ei ole otsekohe antud, siis arvutame enne ta
suuruse:

$$\begin{aligned} \frac{1}{C_2 \omega} &= \frac{1}{C_2 2\pi \nu} = \frac{1}{6.2.3,14.50.10^{-6}} = \\ &= \frac{10^6}{6.2.3,14.50} = 5320 \text{ omi} \end{aligned}$$

Mõõtkava takistuste joonise jaoks valime $M:1 \text{ cm} -$

- 200 oomi. Joonisest selgub, et:



$$R'_{co} = 200 \cdot 0,66 = 1320 \text{ oomi}$$

$$100 \cos \varphi_0 = 91,2 \text{ mm}$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{91,2}{100} = 0,912,$$

joon.121.

millele vastab nurk $\varphi_0 = 24^\circ 10'$

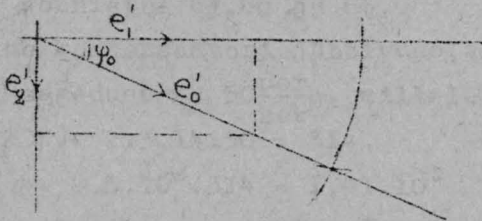
Vabalt-võetud raadiuse kaarega kanname nurga φ_0 üle /joon.122/ ja asetame tema küljele vastavas mõõtka-
vas, näiteks

$$M: 1 \text{ cm} - 100 \text{ volti}$$

$$e' = 380 \text{ volti}$$

Joonisest saame pingelanguse lambis $e'_1 = 100 \cdot 3,5 = 350$ volti ja pingelanguse kondensaatoris:

$$e'_2 = 100 \cdot 1,58 = 158 \text{ volti}$$



joon.122.

II. Paralleelne ühendus.

Paralleelühenduste graafiline käsitus on läbi

viidav kahesugusel viisil. 1/.Antud takistuste jä-
rele arvutame nende pöördsuurused /juhtivused/ ja
viime graafiliselt läbi ainult nende liitmise või
2/. ka pöördsuurusi leiame graafilisel teel.Allpool
toodud näited selgitavad mõlemaid tööta-
mikviise.

Paralleelühenduse resultanttakistus on saadav -
- harude juhtivuste geomeetrisest suurusel - ta
on selle summa /resultantjuhtivuse/ pöördsuurus

$$R'_0 = \frac{1}{K'_0}$$

1. On antud oomtakistus /näiteks el.-hõõglamp /
takistusega $R'_1 = 850$ oomi ja kondensaator mahtuvu-
sega $C_2 = 4,5 \mu F$ paralleelselt ühendatult.Küsitakse:
1.Kui suur on resultanttakistus R'_0 , tema faasinurk
 φ_0 ? 2.Kui suured on haruvoolud i_1 ja i_2 , kui pinge
on $e = 220$ volti? Selle ühenduse skeem, voolude ja
pinge nooldiagrammi ja juhtivuste diagrammi skit -
sid on antud joonistel 64,65 ja 66.

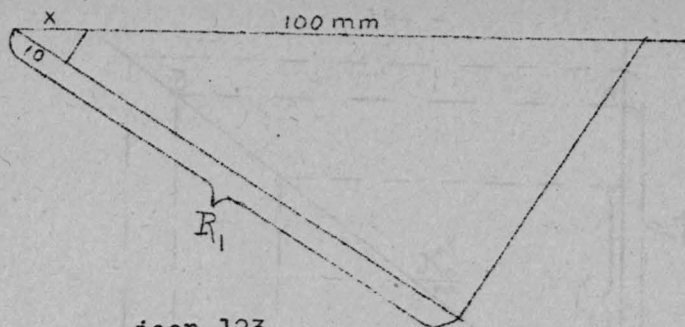
Leiame enne kondensaatori juhtivuse, arvates teh-
nilise voolu sageduse $\nu = 50 \frac{\text{per}}{\text{sek}}$, millele vastab nurk
sagedus $\omega = 2\pi\nu = 2.3,14.50 = 314$.

$$C_2\omega = 4,5 \cdot 10^{-6} \cdot 314 = 1,41 \cdot 10^{-3}$$

Oomjuhtivuse leiame graafiliselt /joon.123/

$$x = 1,15 \text{cm} ; x = 1000 \frac{\text{K}_1 \text{K}_2}{\text{K}_1} 1,15 \cdot 10^{-3}$$

Juhtivuste liitmiseks valime 5 korda suurema
mõõtkava, nii et $M:1 \text{cm} = 2,10^{-3} \frac{1}{\text{ocm}}$.



joon.123..

$$m = 2 \cdot 10^{-3}$$

$$K'_0 = 9,03 \cdot 2 \cdot 10^{-3} = 18,06 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{oom}}$$

$$100 \cos \varphi_0 = 6,17.$$

$$\cos \varphi_0 = \frac{6,17}{100} = 0,617$$

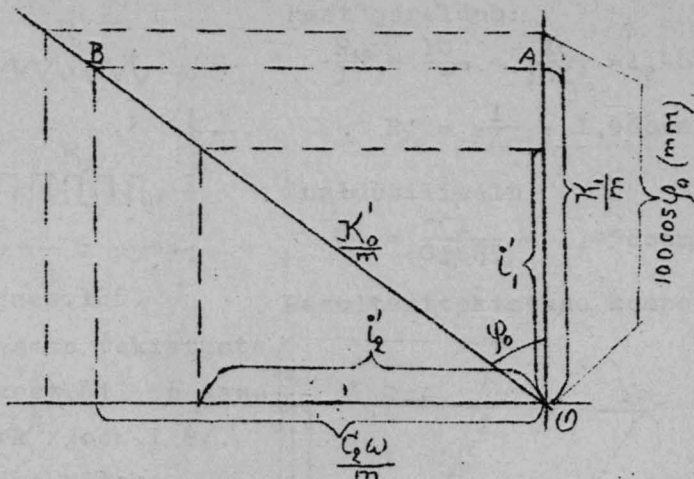
$$\varphi_0 = 51^\circ 50'$$

Teise ülesande poole lahendamiseks arvutame välja üldvoolutugevuse i'_0 .

$$i'_0 = e' \cdot K'_0 = 380 \cdot 18,06 \cdot 10^{-3} \approx 6,86 \text{ amp.}$$

Valides mõõtkava M:lcm - lamp asetame kolmnurga OBA hüpotenuusile $\overline{OC} = 6,86$ cm /ta pikkus kujutab üldvoolutugevust i'_0 /joon.124. Lahutame tema komponentideks ja saame, et $i'_1 = 4,23$ amp ja $i'_2 = 5,45$ amp.

2. On antud paralleelselt ühendatult näivtakistus induktiivse iseloomuga $R'_L = 2,5$ oomi, $\cos \varphi_1 = 0,84$ ja oomtakistus $R_2 = 3,2$ oomi. Küsitakse: kui suur on resultanttakistus R'_0 , tema tegevkomponent R_0 ja $\cos \varphi_0$? Et ühendus on paralleelne, siis arvutame enne



joon.124.

juhtivused. Näivjuhtivus, mis vastab R'_{L1} -le, on

$$K'_{L1} = \frac{1}{R'_{L1}} = \frac{1}{2,5} = 0,4 \frac{1}{\text{oom}}$$

ja oomjuhtivus, mis vastab R_2 -le

$$K'_2 = \frac{1}{3,2} \approx 0,312 \frac{1}{\text{oom}}$$

Nüüd ehitame joon.125. skeemile vastavalt juhti -
vuste diagrammi mõõtkavas $M:1\text{cm} = 0,1 \frac{1}{\text{oom}}$. Joonisest

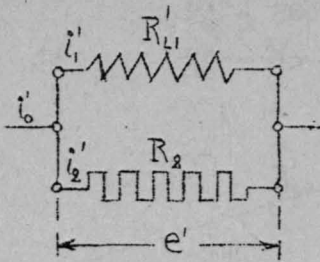
126 saame

$$K'_0 = 0,685 \frac{1}{\text{oom}}$$

ja $100 \cos \varphi_0 = 94,8 \text{ mm}$, kust

$$\cos \varphi_0 = \frac{94,8}{100} = 0,948 \text{ ja nurk } \varphi_0 = 18^\circ 30'$$

Resultantjuhtivus R'_{L0} on resultantjuhtivuse K'_0
pöördsuurus. Tema leidmine on võimalik läbi viia
graafiliselt ja analüütiliselt /joon.127/. Jooni -



joon.125.

nendid saame takistuste kolmnurgast, mil on sama faasinurk φ_0 /joon.128/.
Mõõtkavaks võtame
M:1cm - 0,2oomi.

Joonisest 128 selgub, et oomkomponent $R_0 = 69 \Omega$ ebata kistus. $L_0 \omega = m.2,25 = 0,2.2,35 = 0,4700mi$.

3. Paralleelselt on ühendatud kaks näivtakistust induktiivse ja üks kapatsitiivse iseloomuga.

sest järeldub:

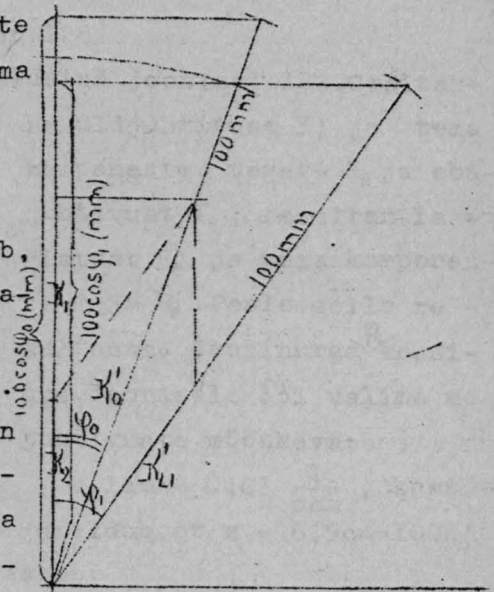
$$\frac{R_{L0}}{1} = \frac{10}{x} = \frac{10}{10K'_{L0}} = 1,46$$

$$R'_{L0} = \frac{1}{K'_{L0}} = 1,4600mi$$

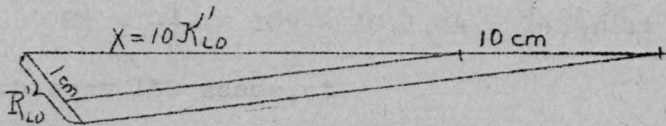
Analüütiliselt

$$R'_{L0} = \frac{1}{0,685} = 1,45800mi$$

Resultanttakistuse kompo-



joon.126.

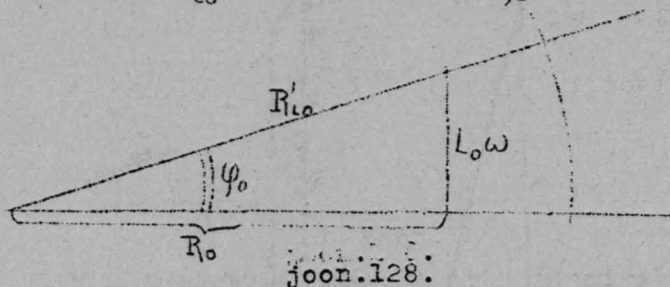


joon.127.

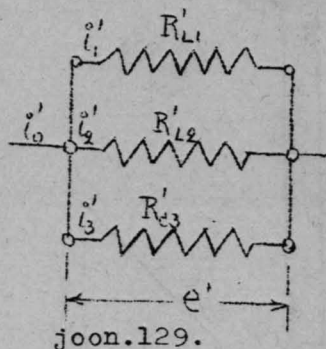
$$R'_{L1} = 4200mi, \cos \varphi_1 = 0,92;$$

$$R'_{L2} = 28 \text{ oomi} , \cos \varphi_2 = 0,64$$

ja $R'_{c3} = 35 \text{ oomi} , \cos \varphi_3 = 0,755.$



Ühenduse skeem on näidatud joonisel 129. Otsitakse



üldjuhtivust K'_0 ja tema komponente: tegev- K_0 ja eba-juhtivust K_e , resultantta- kistust R'_0 ja tema komponente R_0 ja R_e . Peale selle resultantse faasinurga φ_0 koosinus. Joonisele 131 valime me juhtivuste mõõtkava:

$$M: 1 \text{ cm} = 0,01 \frac{1}{\text{oom}} , \text{ kust järeldub, et } x = 6,9 \text{ cm} = 100 K'_0$$

ja joonisest 131 saame:

$$\frac{y}{1} = -\frac{10}{x} = \frac{10}{100 K'_0} = \frac{1}{10 K'_0}$$

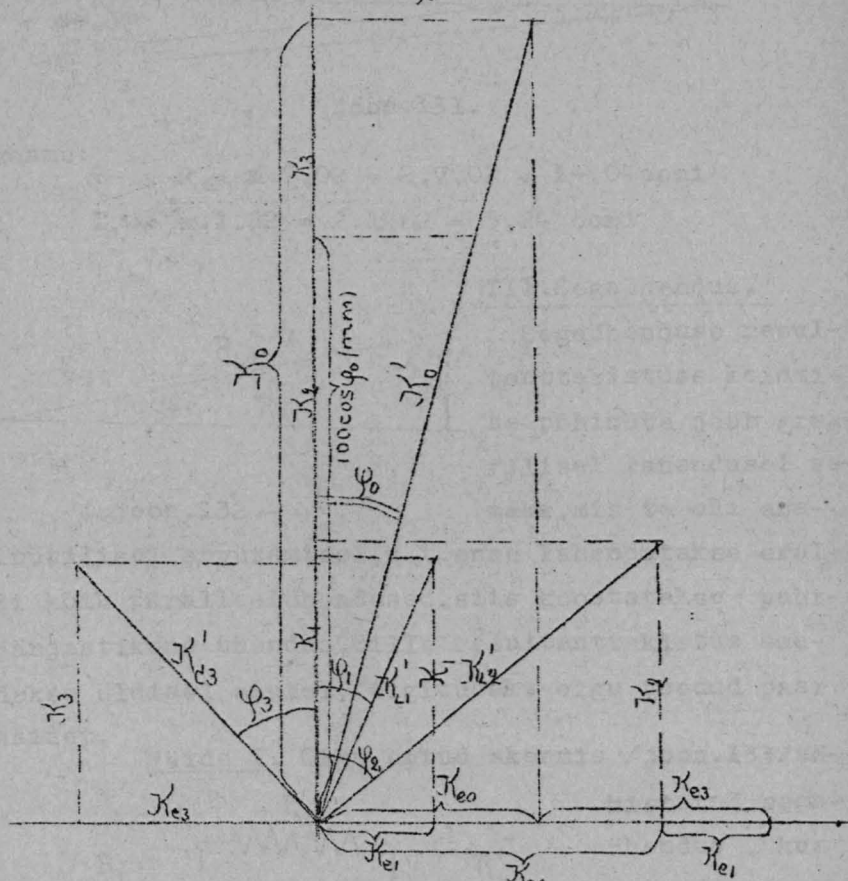
$$R'_0 = \frac{1}{\frac{1}{K'_0}} = 10y = 10 \cdot 1,44 = 14,4 \text{ oomi}$$

Joonisest 130 saame, et

$$100 \cos \varphi_0 = 97,3 \text{ mm.}$$

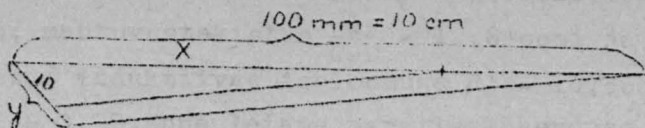
$$\cos \varphi_0 = \frac{97,3}{100} = 0,973, \text{ millele}$$

vastab tabeli järele nurk $(\varphi_0 = 13^{\circ} 20')$.



joon.130.

Resultanttakistuse R'_{L0} / L - indeks, sest joonisest selgub, et K'_0 ja R'_0 on induktiivse iseloomuga / komponendid leidmiseks joonestame takistuste kolmnurga /joon.132/ valides mõõtkavaks $M:1cm - 200m$ ja



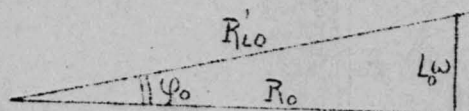
joon.131.

saame:

$$R_0 = m \cdot 7,02 = 2 \cdot 7,02 = 14,04 \text{ oomi}$$

$$L_0 \omega = m \cdot 1,62 = 2 \cdot 1,62 = 3,24 \text{ oomi}$$

III. Segauhendus.

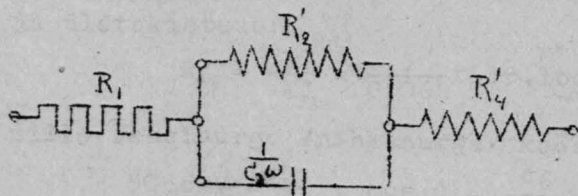


Segauhenduse resultanttakistuse leidmise põhimõte jääb graafilisel lahendusel samaks, mis ta oli analüütilisel arvutamisel, s.t. enne lahendatakse eraldi kõik paralleelühendused, siis koostatakse puhtjärjestikune ühendus, mille resultanttakistus saadakse üldisel alusel. Selgituseks olgu toodud paar näidet.

joon.132.

Analüütilisel arvutamisel, s.t. enne lahendatakse eraldi kõik paralleelühendused, siis koostatakse puhtjärjestikune ühendus, mille resultanttakistus saadakse üldisel alusel. Selgituseks olgu toodud paar näidet.

Näide I. Olgu antud skeemis /joon.133/ tä-

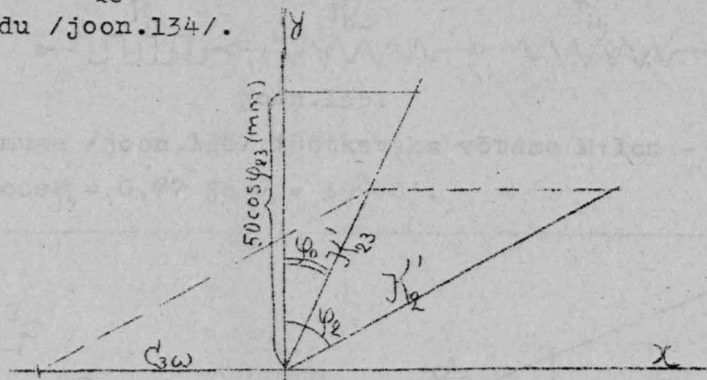


joon.133.

histatud segauhendus, kus oomtakistus $R_1 = 5,2$ oomi, näivtakistus induktiivse

iseloomuga $R_2' = 8,4$ oomi, $\cos \varphi_2 = 0,5$, mahtuvustakis -

tus induktiivse iseloomuga $R_2' = 8,4$ oomi, $\cos \varphi_2 = 0,5$; mahtuvustakistus $\frac{1}{C_3 \omega} = 12,8$ oomi ja näivtakistus induktiivse iseloomuga $R_4' = 10,3$ oomi ja $\cos \varphi_4 = 0,77$. Enne leiame paralleelühenduse üldtakistuse R_{23}' harujuhtivuste geomeetrilise liitmise kaudu /joon.134/.



joon.134.

Näivjuhtivus $K_2' = \frac{1}{R_2'} = \frac{1}{8,4} \approx 0,078 \cdot \frac{1}{\text{oom}}$. Mõõtkava nende jaoks olgu $M:1\text{cm} = 0,02 \frac{1}{\text{oom}}$. Nurk φ_2 tabeli järgi võrdub $\varphi_2 = 60^\circ$.

Joonisest saame harude üldjuhtivuse:

$$K_{23}' = m \cdot 3,3 = 0,02 \cdot 3,3 = 0,066 \frac{1}{\text{oom}}$$

ja üldtakistuse:

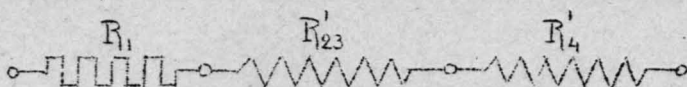
$$R_{23}' = \frac{1}{K_{23}'} = \frac{1}{0,066} \approx 15,1 \text{ oomi},$$

mille faasinurga /nihkenurga/ koosinus

$$50 \cos \varphi_{23} = 46; \quad \cos \varphi_{23} = \frac{46}{50} = 0,92$$

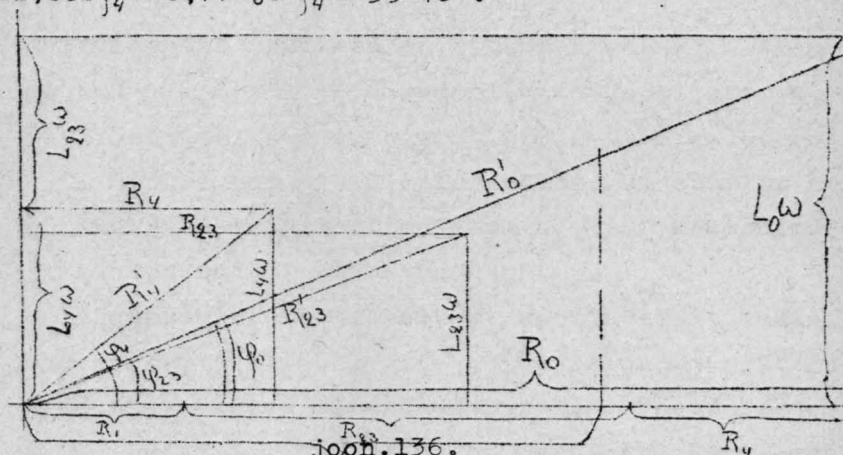
ja nurk $\varphi_{23} = 23^\circ$.

Koostame uue skeemi ainult järjestikuse ühendusega /joon.135/. Liidame geometriliselt takistused R_1 , R'_{23} ja R'_4 . Nad on kõik induktiivse iseloo -



joon.135.

loomuga /joon.136/. Mõõtkavaks võtame $M:1cm - \bar{2}00$ mi, $\cos \varphi_4 = 0,77$ ja $\varphi_4 = 39^\circ 40'$.



joon.136.
100 cos φ_0 (mm)

Joonisest saame otsitavad suurused. Resultant -

takistus:

$$R'_0 = m.14,95 = 2.14,95 = 29,900\text{mi}$$

Tema nihke-/faasi-/nurk:

$$100 \cos \varphi_0 = 91,2 \text{ /mm/}, \cos \varphi_0 = 0,912$$

$$\text{ja } \varphi_0 = 24^\circ 10'.$$

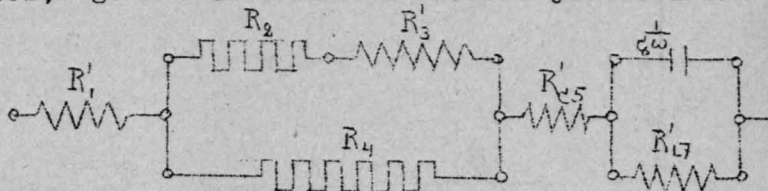
Resultanttakistuse tegevkomponent

$$R_0 = m.13,65 = 2.13,65 = 27,300\text{mi}$$

ja ebatakistuse komponent

$$L_0 \omega = m.6,13 = 2.6,13 = 12,26 \text{oomi}$$

Näide II. On antud seitse takistust segaühenduses, nagu see on näidatud skeemis jdonisel 137.



joon.137.

Takistuste suurused on ette nähtud: $R'_1 = 4200$ - mi, $\cos \varphi_1 = 0,951$; $R_2 = 2400$ mi, $R'_3 = 3700$ mi, $\cos \varphi_3 = 0,56$
 $R_4 = 7500$ mi, $R'_5 = 3200$ mi, $\cos \varphi_5 = 0,94$, $\frac{1}{C_2 \omega} = 10600$ mi,
 $R'_7 = 8500$ mi, $\cos \varphi_7 = 0,6$. Küsitakse, kui suur on kogu ühenduse resultanttakistus R'_0 , tema komponendid ja nihkenurk φ_0 ? /faasinurk φ_0 /.

Alguses leiame tabelitest koosinustelega vastavad nurgad: $\varphi_1 = 18^\circ$, $\varphi_3 = 34^\circ$, $\varphi_5 = 20^\circ$ ja $\varphi_7 = 37^\circ$. Lahendamist algame esimesest paralleelühendusest, s. t. R_2 , R'_3 ja R_4 . Et R_2 ja R'_3 on ühendatud järjestiku ja moodustavad ühe haru, siis tuleb enne leida nende ükdtakistus R'_{23} . Nende jaoks on kokane mõõtkaava: $M:1cm = 500$ mi /joon.138/.

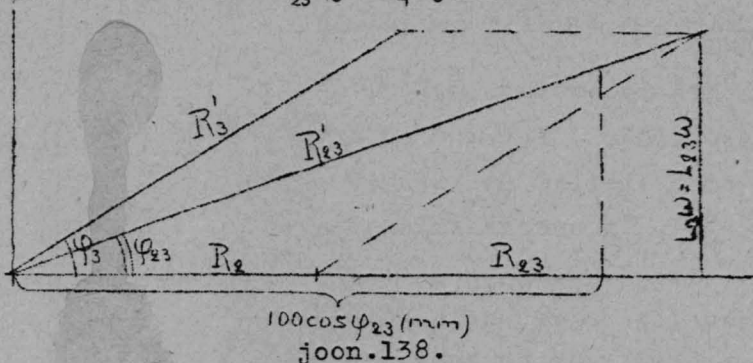
Joonisest järeldub, et

$$R'_{23} = m.11,65 = 5.11,65 \approx 58,300 \text{mi}$$

ja $100 \cos \varphi_{23} = 93,6 \text{mm}$.

$$\cos \varphi_{23} = \frac{93,6}{100} = 0,936; \varphi_{23} = 20^\circ 35'.$$

Nüüd võime leida R'_{23} ja R_4 juhtivused.



$$K'_{23} = \frac{1}{R'_{23}} = \frac{1}{58,3} \approx 0,0171 \frac{1}{\text{oom}}$$

$$K_4 = \frac{1}{R} = \frac{1}{75} \approx 0,0133 \frac{1}{\text{oom}}$$

Geomeetiline liitmine annab /joon.139/ harude üldjuhtivuse K'_{234} mõõtkavas: $M:1\text{cm} - 0,002 \frac{1}{\text{oom}}$.

Graafilisel liitmisel saame joonisest 139:

$$K'_{234} = m \cdot 14,95 = 0,002 \cdot 14,95 = 0,0299 \frac{1}{\text{oom}}$$

ja pöördsuurus on otsitav harude üldtakistus

$$R'_{234} = \frac{1}{K'_{234}} = \frac{1}{0,0299} \approx 33,4 \text{ oomi}$$

Nihkenurga suurus:

$$100 \cos \varphi_{234} = 97 \text{ /mm/}; \cos \varphi_{234} = \frac{97}{100} = 0,97$$

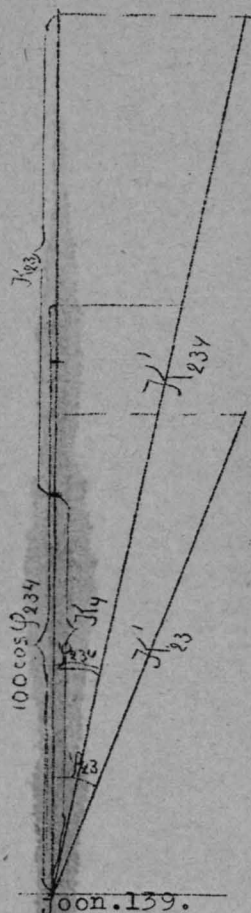
ja nurk ise $\varphi_{234} = 14^\circ$.

Edasi lahendame teise haruühenduse $\frac{1}{C_0 \omega}$ ja R'_{L7} .

Leiame nende juhtivused:

$$C_0 \omega = \frac{1}{106} \approx 0,00945 \frac{1}{\text{oom}}$$

$$\text{ja } K'_{L7} = \frac{1}{R'_{L7}} = \frac{1}{85} \approx 0,01775 \frac{1}{\text{oom}}$$



Ehitame juhtivuste diagrammi
mõõtkavas $M:1\text{cm} = 0,002 \frac{1}{\text{oom}}$.

/joon.140/. Leiame, et üldjuhtivus $K'_{67} = m.7,1 = 0,002.7,1 = 0,0142 \frac{1}{\text{oom}}$. Sellele vastab harude üldtakistus $R'_{67} = \frac{1}{K'_{67}} = 0,0142 = 70,5 \text{ oomi}$

Võtame nihkenurga siinuse, mis annab täpsama tagajärje ja saame joonisest $100 \sin \varphi_{67} = 9/\text{mm}/$.

$\sin \varphi_{67} = \frac{9}{100} = 0,09$ ja nurk

$$\varphi_{67} = 5^{\circ}10'.$$

Saadud andmete abil koostame uue puht-järjestikuseühendusega skeemi /joon.141/.

Takistuste diagrammi ehitamiseks valime mõõtkava $M:1\text{cm} = 10 \text{ oomi}$ /joon.142/ ja saame:

Resultanttakistuse

$$R'_0 = m.16,2 = 10.16,2 = 162 \text{ oomi}$$

Tegev takistuse komponent

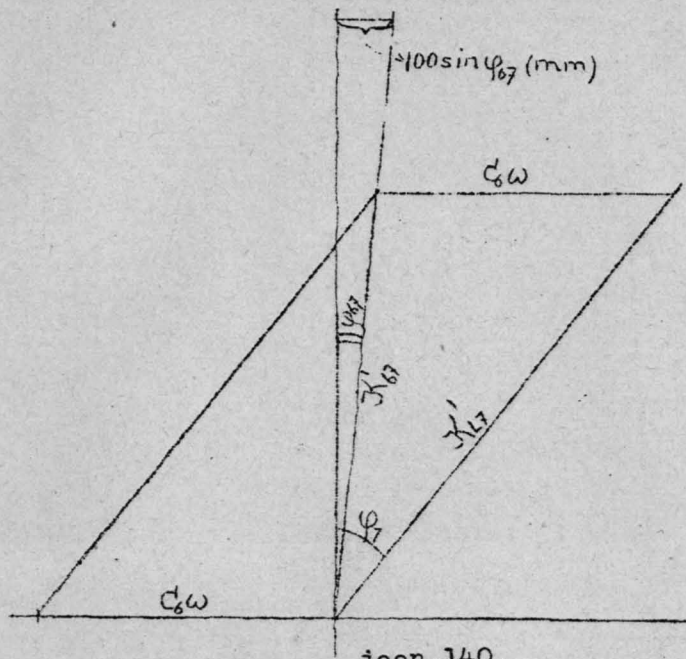
$$R_0 = m.16,18 = 161,8 \text{ oomi}$$

Ebataktistuse komponent

$$L_0 \omega = m.1,5 = 10.1,5 = 15 \text{ oomi}$$

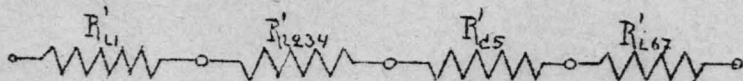
Nihkenurga /faasinurga/ suurus

$$100 \sin \varphi_0 = 9,4 \text{ /mm/}$$



$$\sin \varphi_0 = \frac{9,4}{100} = 0,094 \text{ ja } \varphi_0 = 5^\circ 25'.$$

Ruumipuudusel ei saa selles vihikus käsitel-

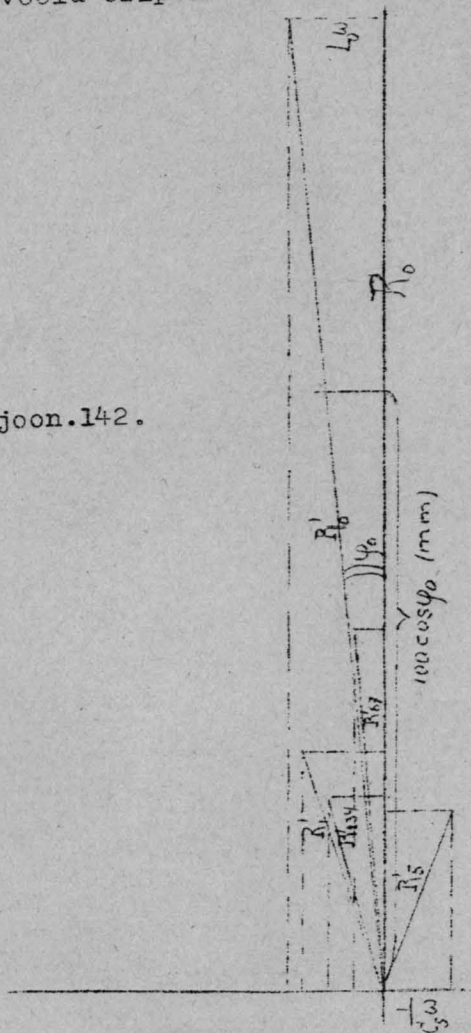


joon.141.

la tervet rida tähtsaid ja huvitavaid vahelduva
voolu küsimusi, nagu: resonantsjuhtu, rändlaineid,
lühiühendust, pulseerivat voolu jne. Need küsimu-
sed koos keerleva voolu teooriaga moodustavad

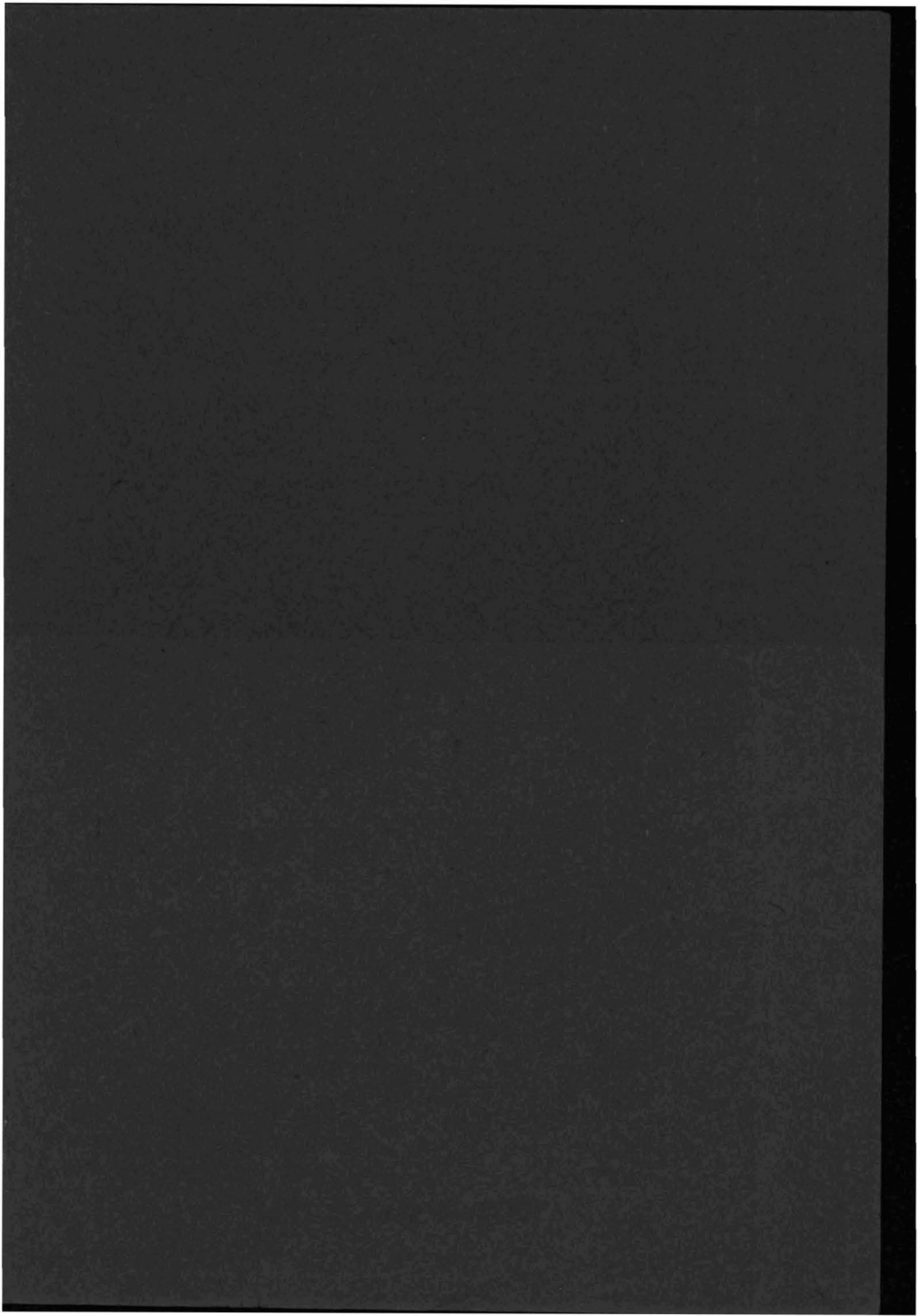
järgmise vihiku./Vihik10."Keerleva voolu seadused" ja "Vahelduva voolu eripeatükid"/.

joon.142.



EEGI
RAHVUSRAAMATUKOGU
AR

AR 2-05-02246



HIND 90 SENTI.